

XVIII CONGRESO NACIONAL TIG

APLICACIONES DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA (TIG) PARA EL DESARROLLO ECONÓMICO SOSTENIBLE

Málaga, 29, 30 de junio y 1 de julio de 2016
Asociación de Geógrafos Españoles (AGE)
Grupo de Tecnologías de la Información Geográfica
www.congresotig2016.com



DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA



Aplicaciones geotecnológicas para el desarrollo económico sostenible

XVII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica

Créditos

©Edición Federico Benjamín Galacho Jiménez
 Jesús Vías Martínez
 Sergio Reyes Corredera

© Grupo de Tecnologías de la Información Geográfica. Asociación de Geógrafos Españoles (AGE) y Departamento de Geografía, European Topic Centre (ETC) y Facultad de Turismo de la Universidad de Málaga. Campus de Teatinos, 29071 Málaga (España).

ISBN- 13: 978-84-940784-9-1

Año de edición 2016

Maquetación www.everywhere.eu

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de esta edición puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento electrónico o mecánico, incluyendo fotocopia, grabación magnética o cualquier almacenamiento de información y sistema de recuperación, sin permiso de la entidad editora.

ÍNDICE

- 5 **Presentación**
- 6 **Comités**
- 7 **LÍNEA TEMÁTICA 1**
Aplicaciones TIG (Aplicación de métodos y modelos de geoprocésamiento)
- 8 **Calidad del aire en Euskadi: mapas de no₂ y exposición de la población.**
Amaia Albizuri-Churruca
- 18 **Georreferenciación de documentos cartográficos históricos para el análisis del trazado fluvial del bajo Segura, vega media (Murcia).**
Yolanda Álvarez-Rogel, Juan R. Tamayo- De La Torre y Carmelo Conesa-García
- 28 **Viabilidad de imágenes landsat (ETM+ y OLI) para la determinación de conflictos de uso de la tierra en el cantón Portoviejo, Ecuador.**
Francisco D. Cabrera-Torres y María J. López-García
- 40 **Desarrollo de un modelo basado en agentes para simular el crecimiento urbano: submodelo de ocupación residencial.**
Carolina Cantergiani y Montserrat Gómez-Delgado
- 51 **Caracterización del entorno urbano saludable centrado en actividad física y alimentación: un método basado en SIG.**
Alba Cebrecos-Eguren, Julia Díez-Escudero, Pedro Gullón-Tosio, Manuel Franco-Tejero, Francisco Escobar-Martínez
- 62 **Valoración de la calidad y fragilidad del paisaje en la bahía de Pasaia, Gipuzkoa. Un análisis con técnicas SIG.**
Enrique R. De Rosa-Giolito, Yves Meyer
- 73 **Incidencia de la intensificación agraria en la tendencia del NDVI. Uruguay 2000-2011.**
Ismael Díaz, Mauricio Ceroni, Marcel Achkar
- 83 **Estimación de la pérdida de biomasa y de las emisiones de co₂ generadas por la combustión de masas forestales de pinus halepensis mill. en el incendio del municipio de Luna (Aragón), mediante datos LIDAR-PNOA.**
Darío Domingo-Ruiz, M. Teresa Lamelas-Gracia, Antonio L. Montealegre-Gracia y Juan de la Riva-Fernández
- 89 **Estudio comparativo de la aplicación de los modelos de fragmentación de hábitats y accesibilidad a la fragmentación urbana.**
Alejandra Ezquerro-Canalejo, Isabel Otero-Pastor, Esther Núñez-Uzquiano, Belén Martín-Ramos y Emilio Ortega-Pérez
- 99 **Accesibilidad a los equipamientos sanitarios mediante transporte público. Un análisis comparado en la ciudad de Palma (Baleares, España).**
José Francisco Feliu De La Peña - Pons; Mauricio Ruiz-Pérez y Joana María Seguí - Pons
- 109 **El pago de servicios ambientales por preservación del valor paisajístico del norte del estado de Morelos.**
Oscar-E. Figueroa-Rodríguez y Valentino Sorani
- 120 **Procedimiento de análisis combinado con SIG y técnicas multicriterio de la evaluación de la aptitud y el régimen de uso de senderos, caminos y pistas en espacios naturales.**
Federico B. Galacho-Jiménez, Sergio Reyes-Corredera y Juan A. Arrebola-Castaño

- 131 **Patrones espaciales de concentración de turistas en Madrid a partir de datos geolocalizados de redes sociales: Panoramio y Twitter.**
Juan Carlos García Palomares, Javier Gutiérrez Puebla, Gustavo Romanillos Arroyo y Henar Salas-Olmedo
- 140 **Diagnóstico de la movilidad en los campus de la Universidad de Extremadura.**
José A. Gutiérrez-Gallego, Enrique E. Ruiz-Labrador y Rubén De Rodrigo-Muñoz
- 155 **¿Qué futuro queremos? Generación de indicadores medioambientales para escenarios de futuro.**
Richard Hewitt, Verónica Hernández Jiménez, Marta Lasierra Navarro, Azucena de la Cruz Lecanda y Francisco Escobar²
- 165 **Geocodificación y análisis de redes en la planificación de rutas óptimas para itinerarios geográficos culturales.**
Juan J. Lara-Valle
- 176 **Cartografía de la biomasa aérea total en masas de pinus radiata d. Don mediante análisis multivariante a partir de datos públicos LIDAR (PNOA) e IFN 4.**
Irati Lekuona-Zuazo, Antonio L. Montealegre-Gracia y María Teresa Lamelas-Gracia
- 184 **Análisis de la distribución de los recursos educativos en Extremadura mediante herramientas SIG y análisis de localización espacial.**
Ana Nieto-Masot, Gema Cárdenas- Alonso y Ángela Engelmo-Moriche
- 194 **Comarcalización y ordenación territorial de Extremadura.**
Ana Nieto-Masot, Ángela Engelmo-Moriche y Gema CÁRDENAS- Alonso
- 204 **El coste del ahorro temporal en una autopista de peaje. El caso de la AP-7 en la costa del sol occidental.**
Abraham Nuevo López y Juan Francisco Sortino Barrionuevo
- 214 **Medición de la vulnerabilidad socio-ambiental intraurbana: un ensayo exploratorio basado en SIG.**
Antonio Moreno-Jiménez, Antonio J. Palacios-García y Pedro Martínez-Suárez
- 224 **Métodos de adscripción y tratamiento espacial para la generación y visualización de indicadores de vivienda (GRID) a través de catastro.**
Juan P. Pérez-Alcántara, M. del Pilar Díaz-Cuevas, José I. Alvarez-Francoso y José Ojeda-Zújar
- 235 **Desde la caracterización del olivar hacia propuestas territoriales de cooperación para la eficiencia agraria: el problema del sistema de propiedad en la provincia de Jaén.**
Manuel Perujo Villanueva y Sergio Colombo Autor
- 243 **La sierra de la Contraviesa: medio siglo de cambios en el paisaje de una montaña mediterránea.**
Laura Porcel-Rodríguez, Jesús Camacho-Castillo y Yolanda Jiménez-Olivencia
- 253 **Estrategias de transferencia espacial para la evaluación de peligrosidad múltiple en el entorno de infraestructuras viarias.**
Sergio Reyes-Corredera, María J. Perles-Roselló y Juan F. Sortino-Barrionuevo
- 263 **Medición de riesgos climáticos para el cultivo de la uva moscatel en la Axarquía (Málaga, España). Combinación de técnicas agroclimáticas y SIG para el estudio de un caso aplicado durante el año 2014-2015 en una parcela experimental en Almáchar.**
Jesús Rodrigo-Comino, José M. Senciales-González, Manuel Sánchez-Villalba, Manuel Seeger, José D. Ruiz-Sinoga, Johannes B. Ries

- 274 **Análisis comparativo entre la distribución de usos del suelo en Andalucía y su percepción visual. Rediam.**
Daniel Romero-Romero, Andrés L Romero-Morato, Juan J. Guerrero-Álvarez, Francisco Cáceres-Clavero, Fernando Giménez-De Azcárate y José M. Moreira-Madueño
- 286 **Injerencia visual y protección del patrimonio paisajístico en la ordenación del territorio. Rediam.**
Daniel Romero-Romero, Andrés L Romero-Morato, Juan J. Guerrero-Álvarez, Fernando Giménez de Azcárate-Fernández, Francisco Cáceres-Clavero y José M. Moreira-Madueño
- 298 **Realidad esquematizada. Interpretación del paisaje a través de los horizontes visuales. Rediam.**
Daniel Romero-Romero, Andrés L Romero-Morato, Juan J Guerrero-Álvarez, Luis Cuenca Montes, Fernando Giménez de Azcárate-Fernández, Francisco Cáceres-Clavero y José M Moreira-Madueño
- 309 **Validación y propuesta para la mejora de la capa de alta resolución de humedales del proyecto Copérnico.**
Rebeca Ruíz-Martínez, Ana Isabel Marín-Guerrero, Dania Abdul Malak
- 319 **Metodología para la evaluación de la ciclabilidad de la red urbana de carriles bici. Aplicación a la ciudad de Málaga.**
Manuel Sánchez-Villalba
- 329 **Puesta al día de métodos para el estudio de espacios cognitivos a través de sistemas de información geográfica.**
Roberto Valiente, Julia Diez, Paloma Conde, Manuel Franco y Francisco Escobar
- 339 **Evaluación del cambio de uso de suelo en la sierra del Ajusco, ciudad de México y modelado de escenarios de crecimiento urbano.**
Sarai Vázquez González, Alicia Chacalo Hilu, Armando Cortés Ortiz, Isabelle Barois Boullard y Griselda Benítez Badillo
- 350 **LÍNEA TEMÁTICA 2**
Geodatos, Geolocalización y Análisis Exploratorio de Datos (Minería de Datos)
- 351 **La información geográfica en las páginas web de los destinos turísticos de España: de la geolocalización online a los geoportales.**
Gersón Beltrán-López
- 359 **Modificación del algoritmo random forest para su empleo en clasificación de imágenes de teledetección.**
Fulgencio Cánovas-García, Francisco Alonso-Sarría y Francisco Gomariz-Castillo
- 369 **Una aproximación a la gestión, análisis y difusión de yacimientos arqueológicos de recintos de fosos mediante herramientas de software libre.**
Ana M. Cruz-Martín y José L. Caro-Herrero
- 380 **Escala y modelización: ¿cuál es la relación entre la escala de la cartografía LUCL empleada y la extensión del área modelada?**
David García-Álvarez y María Teresa Camacho Olmedo
- 390 **Análisis de conjuntos de multitrizas GNSS procedentes de rutas de servicios de paquetería.**
Paula Gil-De-La-Vega, Francisco J. Ariza-López y Antonio T. Mozas-Calvache
- 400 **Predicción de la distribución potencial del alcornoque en montes de Málaga mediante modelos de nicho ecológico a partir de registros de presencia y variables ambientales in situ y ex situ.**
Oliver Gutiérrez-Hernández, José M. Senciales-González, María T. Camacho-Olmedo y Luis V. García

- 411 **Clasificación y caracterización de unidades territoriales. El caso de los municipios de Honduras.**
Dania V. Mena-Arzú, José A. Gutiérrez-Gallego, Francisco J. Jaraíz-Cabanillas y José M. Pérez-Pintor
- 421 **Identificación del espacio residencial en Andalucía a partir de datos catastrales.**
M^a Dolores Noguero-Hernández, Ismael Vallejo-Villalta, Eduardo Ramírez-Moreno y Ana Ramírez-Torres
- 431 **Caracterización de la demanda potencial de los centros de salud de la ciudad de Sevilla. Aportaciones del análisis espacial al mapa de atención primaria.**
Virginia Rodríguez Díaz y Serafín Ojeda Casares
- 443 **Filtrado de datos twitter para capturar patrones de movilidad de un área metropolitana. Aplicación al área de Valencia.**
Carmen Zornoza-Gallego, Julia Salom-Carrasco e Ignacio Maestro-Cano
- 453 **LÍNEA TEMÁTICA 3**
Geomática y Geotecnologías
- 454 **Small data para educación: más de un millón de pirámides de población de España.**
Benito M. Zaragoza-Zaragoz, José Torres-Prieto, Antonio Belda-Antolí, Andrea Rosado-Abad, Carlos Cortés-Samper y Alfredo Ramón-Morte
- 463 **Análisis de sensibilidad de la topografía convencional y la derivada de LiDAR aéreo para el cálculo de áreas de inundación en zonas urbanas.**
Jairo Escobar-Villanueva, Luis Iglesias-Martínez y María Castro
- 474 **Plataforma tecnológica para el control de la plaga de la mosca del olivo.**
José Francisco Feliu de la Peña-Pons, Mauricio Ruiz – Pérez, Ferran Valdes –Crespí, Bartomeu Alorda – Ladaira, Carlos Barceló – Seguí, Mar Leza – Salord y Miguel Ángel Miranda – Chueca
- 484 **La esferaimagen como técnica de virtualización del entorno y construcción de simuladores virtuales geográficos. Proyecto DYCAM-SEG SVGVS.**
Abelardo López-Palacios y Humberto Martínez-Barbera
- 494 **Diseño de un geoportal web para el cálculo de costes de carburante en el transporte de la cosecha de aceituna.**
Sergio Lorente-Sánchez, Ángel Marqués-Mateu y Gaspar Mora-Navarro

Presentación

Promovido por la AGE (Grupo de Tecnologías de la Información Geográfica), la Universidad de Málaga (Departamento de Geografía, European Topic Centre y Facultad de Turismo) y el Colegio de Geógrafos de España, el propósito de la XVII edición del Congreso es reunir al mayor número de expertos del ámbito académico, de la investigación, la empresa y la institución en el ámbito de las Tecnologías de la Información Geográfica con el objetivo de promover la transferencia de conocimiento y el avance de las distintas áreas con la finalidad de que este conocimiento se convierta en un bien generador de empleo y riqueza.

Con una visión integradora e innovadora, el XVII Congreso quiere ser un punto de encuentro y dinamización de las distintas áreas que intervienen en el ámbito de las Tecnologías de la Información Geográfica, desde el desarrollo de aplicaciones y métodos con base geotecnológica hasta los diversos usos de la información geográfica, especialmente los geodatos.

El Congreso se desarrolla en dos sedes: Rectorado de la Universidad de Málaga y el Complejo de Estudios Sociales y de Comercio en el Campus de Teatinos. El programa contempla sesiones plenarias, seminarios temáticos y técnicos, talleres y cursos, conferencias, zona expositiva de instituciones y empresas y una agenda de encuentros que busca promover el acercamiento entre investigadores, instituciones y empresas. También se desarrollará un completo programa social con visitas a espacios emblemáticos de la ciudad.

En nombre del Comité Organizador les presentamos la publicación de las Actas que recogen las aportaciones que han sido evaluadas por el Comité Científico. Queremos aprovechar estas líneas para agradecer la labor realizada y reconocerles el gran valor de las recomendaciones o de las correcciones propuestas. También queremos agradecer las aportaciones de todos los participantes en las mesas redondas, sesiones técnicas y talleres; actividades que han supuesto una excelente aportación para conseguir los objetivos que se habían propuesto y cuyos materiales quedarán incluidas en la página Web del Congreso.

Federico Benjamín Galacho Jiménez

Presidente Comité Organizador

Comité Organizador

Federico Benjamín Galacho Jiménez, (Presidente) Universidad de Málaga
Juan Antonio Arrebola Castaño, Universidad de Málaga
Carlota Ángela Escudero Gallegos, Universidad de Málaga
Antonio Jesús Gallegos Reina, Universidad de Málaga
María Luisa Gómez Moreno, Universidad de Málaga
Remedios Larrubia Vargas, Universidad de Málaga
Ana María Luque Gil, Universidad de Málaga
Juan Francisco Martínez Murillo, Universidad de Málaga
Matías Mérida Rodríguez, Universidad de Málaga
Enrique Navarro Jurado, Universidad de Málaga
Santiago Manuel Pardo García, Universidad de Málaga
María Jesús Perles Roselló, Universidad de Málaga
Sergio Reyes Corredera, Universidad de Málaga
José Damián Ruiz Sinoga, Universidad de Málaga
Manuel Sánchez Villalba, Universidad de Málaga
Christoph Schröder, Universidad de Málaga
Juan Francisco Sortino Barrionuevo, Universidad de Málaga
Jesús Vías Martínez, Universidad de Málaga
Belén Zayas Fernández, Universidad de Málaga

Comité Científico

Jesús Vías Martínez, (Presidente) Universidad de Málaga
Francisco Alonso Sarriá, Universidad de Murcia
María Teresa Camacho Olmedo, Universidad de Granada
José Antonio Cañete Pérez, Universidad de Granada
David Cocero Matesanz, Universidad Nacional de Educación a Distancia
Carmelo Conesa García, Universidad de Murcia
Federico Benjamín Galacho Jiménez, Universidad de Málaga
José Luis García Cuesta, Universidad de Valladolid
Juan Carlos García Palomares, Universidad Complutense de Madrid
Montserrat Gómez Delgado, Universidad de Alcalá
Javier Gutiérrez Puebla, Universidad Complutense de Madrid
Juan Jesús Lara Valle, Universidad de Granada
María José López García, Universidad de Valencia
Matías Mérida Rodríguez, Universidad de Málaga
Antonio Moreno Jiménez, Universidad Autónoma de Madrid
José Ojeda Zújar, Universidad de Sevilla
María Jesús Perles Roselló, Universidad de Málaga
Xavier Pons Fernández, Universitat Autònoma de Barcelona
Alfredo Ramón Morte, Universidad de Alicante
Ricardo Remond Noa, Universidad de La Habana
José Manuel Sánchez Martín, Universidad de Extremadura
José Miguel Santos Preciado, Universidad Nacional de Educación a Distancia
Luis Ismael Vallejo Villalta, Universidad de Sevilla
Benito Zaragozaí Zaragozaí, Universidad de Alicante

LÍNEA TEMÁTICA 1

Aplicaciones TIG

(Aplicación de métodos y modelos de geoprocesamiento)

CALIDAD DEL AIRE EN EUSKADI: MAPAS DE NO₂ Y EXPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN

Amaia Albizuri-Churruca

Environment and Systems, S.A., C/ Luis Briñas nº 9 1º izda. 48013-Bilbao
amaia.albizuri@environmentandsystems.com

RESUMEN

Hoy en día hay un interés cada vez mayor en conocer aspectos relacionados con nuestra calidad de vida y en particular aquellos que afectan directamente a nuestra salud.

La calidad del aire que respiramos es uno de ellos y es por ello que las autoridades competentes llevan a cabo una evaluación de los niveles que se registran en sus respectivos territorios. A pesar de ello, la información no siempre llega de una forma clara y precisa a los ciudadanos.

El objetivo de este trabajo es elaborar unos mapas, con un tamaño de celda de 1x1 Km², para estimar los niveles a los que estamos sometidos en relación a las medidas en ambiente de NO₂, utilizando los datos horarios registrados en la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire de Euskadi en el año 2014.

En primer lugar, se evalúa la situación en relación al límite anual establecido en la normativa para la protección de la salud y la distribución del conjunto de la población afectada en los distintos rangos de valores, en función también de la edad. En segundo lugar, se pone a punto un esquema para elaborar el mapa del ICA para NO₂ e incluirlo como un producto operativo en las tareas de los gestores de la Red, con el objetivo de informar al ciudadano del estado de la calidad del aire, día a día, en cualquier punto del territorio.

La metodología empleada pertenece al campo de la geoestadística y se basa en la utilización de un GIS y la combinación de técnicas estadísticas de análisis como la Regresión y el Kriging.

Palabras clave: NO₂ (dióxido de nitrógeno); protección de la salud; ICA (Índice de Calidad del Aire); GIS (Geographic Information System); geoestadística; Kriging.

ABSTRACT

Today there is a growing interest in knowing aspects of our quality of life, particularly those that directly affect our health.

The quality of the air we breathe is one of them and that is why the competent authorities carry out an assessment of the levels recorded in their respective territories. Despite, this information does not always reach to the citizens in a clear and precise way.

The aim of this work is to draw some maps, with a 1x1 Km² spatial resolution, to estimate the levels we support in relation to the ambient measures of NO₂, using the hourly data recorded in the Monitoring Network in Euskadi over 2014.

First, the situation is assessed in relation to the annual limit for the protection of health, in accordance with the regulations, and the distribution of all affected in different population ranges of values, depending also on age. Secondly, a scheme is designed for mapping the ICA for NO₂ to include it as a product within the routine tasks of the managers of the Network, with the aim of informing the citizens of the state of air quality, on a daily basis, anywhere in the territory.

The methodology used is in the field of geostatistics and is based on the use of a GIS and the combination and statistical techniques such as Regression and Kriging.

Keywords: NO₂ (nitrogen dioxide); health protection; AQI (Air Quality Index); GIS (Geographic Information System); geostatistics; Kriging.

1. INTRODUCCION

Esta presentación se centra en los resultados obtenidos para NO₂, si bien los trabajos llevados a cabo incluyen también O₃ (ozono) y PM₁₀, (partículas de diámetro inferior a 10 micras) con los mismos objetivos.

La Organización Mundial de la Salud en su último informe técnico publicado en 2013 (WHO, 2013), alerta del efecto sobre la salud que puede tener el NO₂ y no sólo en concentraciones a las que nos exponemos en periodos largos de tiempo (años), sino que valores altos que nos afectan de forma puntual (horas) pueden ser perjudiciales para nuestro organismo.

Además de su efecto directo, indirectamente el NO₂ es un precursor de otros contaminantes como el O₃ y las partículas cuyos efectos en la salud también están documentados.

La principal fuente de NO₂ es el tráfico rodado y es en puntos cercanos a las carreteras donde se registran los valores más altos. Las ciudades en general, tienen una calidad del aire peor debido a la densidad del tráfico en ellas. Los valores más altos se registran en el período de otoño-invierno, debido por un lado a unas condiciones de dispersión más pobres (vientos flojos e inversiones de temperatura que limitan la capa de mezcla) y por otro lado a que las reacciones fotoquímicas en las que se transforma y favorece la formación de O₃ no tienen tanto peso en este período como en primavera-verano, cuando es uno de los principales precursores de ozono. Las concentraciones más altas de O₃ se registran en primavera-verano y no se registran en los puntos en los que las concentraciones de NO₂ son mayores.

Por tanto, las ciudades sufren una calidad del aire peor en relación al NO₂ (sobre todo en otoño-invierno) y en las zonas rurales la calidad del aire es peor en relación al O₃ (sobre todo en primavera-verano).

La norma de referencia aplicable a la gestión y evaluación de la calidad del aire es el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. En él se establecen los objetivos a alcanzar para los principales contaminantes presentes en el aire ambiente y se regula la gestión de la calidad del aire en términos de cómo hay que medir, qué criterios de calidad efectuar, los diferentes métodos de evaluación, que información hay que suministrar a la población y las actuaciones en caso de sobrepasar determinados valores de concentración.

Para NO₂ los límites establecidos en la norma se refieren a la media anual registrada y a los promedios horarios (Tabla 1). Para estos últimos el objetivo de calidad del aire a cumplir para la protección de la salud establece que no debe sobrepasarse un valor de 200 µg/m³ de promedio horario más de 18 veces al año.

| Contaminante | Promedio | Valor límite | Umbral de Alerta | Fecha de cumplimiento |
|-----------------|----------|---|---------------------------------------|-----------------------|
| NO ₂ | Horario | 200 µg/m ³ (18 superaciones como máximo al año) | 400 µg/m ³ (en 3 horas) | 01/01/2010 |
| | Anual | 40 µg/m ³ | | 01/01/2010 |

Tabla 1. Valores objetivo de calidad del aire para NO₂ (RD 102/2011).

Hoy en día el avance de las herramientas asociadas a los GIS hace que la información de variables cuya dimensión espacial es importante se presente a través de visores que facilitan su interpretación y así ocurre con la calidad del aire. En la mayoría de los sitios WEB pertenecientes a los Gestores de las diferentes Redes, los datos medidos en las estaciones se representan mediante símbolos sobre el punto donde se ubican éstas.

Las diferencias entre los niveles en unos sitios y en otros son grandes, dependiendo del tipo (ubicación) de la estación de medida. Las medidas son puntuales, la densidad y la distribución espacial irregular y por otro lado, la legislación exige evaluar la calidad del aire en todo el territorio.

A nivel de España el Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) presenta los datos de las estaciones en tiempo real y la evaluación anual del cumplimiento de los objetivos de calidad del aire a

través de su Geoportal¹, aunque en este último caso la extensión espacial de los datos medidos en las estaciones se hace asociando el valor máximo registrado en cada zona (previa división del territorio atendiendo a criterios diversos) a toda la zona.

El European Topic Centre on Air Pollution and Climate Change Mitigation (ETC-ACM), consorcio de varios Institutos europeos, publica a petición de la Agencia Europea de Medio Ambiente, unos informes anuales en los que se incluyen los mapas con la distribución espacial (resolución de 10 Km) de la evaluación normativa para ozono y partículas a partir de las medidas en las diferentes redes nacionales, el último de ellos, para las medidas del año 2012, en el año 2015 (Horálek et al., 2015).

El desarrollo metodológico para elaborar estos mapas comenzó en 2005 y en 2007 se publicó la revisión y la evaluación de los métodos aplicables (Horálek et al., 2007).

En los últimos años, empiezan a aparecer trabajos, sobre todo para evaluar el impacto en la salud, donde se tratan los datos medidos en las redes de vigilancia de la calidad del aire, para poder ser utilizados en combinación con otros dentro de un sistema integrado de representación espacial (Reis et al., 2012).

Por tanto, la evaluación de la calidad del aire en cualquier punto del territorio con una resolución adecuada no es lo habitual, y menos aún informar diariamente de los niveles calculados de una forma objetiva, a partir de las medidas efectuadas por los equipos instalados en una Red.

El presente trabajo comenzó a gestarse por la demanda de información por parte de los Ayuntamientos de Euskadi, sobre los niveles de contaminación a los que se expone la población, de forma continua y con una resolución espacial y temporal suficiente.

2. ÁMBITO DE APLICACIÓN

La competencia en la evaluación y gestión de la calidad del aire en Euskadi recae sobre el Gobierno Vasco. La principal herramienta utilizada para la evaluación es la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire (RVCA) compuesta por una serie de estaciones de medida y se informa en tiempo real en su WEB² acerca de los datos registrados en ellas.

Anualmente, se elabora un resumen donde se incluye la evaluación acerca del cumplimiento de los objetivos de calidad del aire establecidos en la normativa.

Con el objetivo de hacer esta información más clara, precisa y cercana, los datos de partida analizados han sido los valores horarios registrados en la RVCA de Euskadi en el año 2014. En este documento se presentan los trabajos y resultados obtenidos para el NO₂ medido en 41 estaciones (en total son 45, pero en algunas el porcentaje de datos existente fue bajo y otras han sido descartadas por no adecuarse al objetivo perseguido). Los valores registrados se encuentran por debajo de los límites (Gobierno Vasco, 2014).

3. METODOLOGÍA

Existen varias alternativas, en cuanto a métodos y software disponible, para elaborar mapas espaciales de variables medioambientales mediante GIS. En el año 2007, el Institute for Environment and Sustainability Joint Research Centre de la Comisión Europea publicó una guía donde se discutían los diferentes métodos y se animaba a trabajar con ellos al constatar que existe un desfase entre el avance de las herramientas disponibles y su uso (Hengl, 2007 y 2009).

¹ <http://www.magrama.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/geoportal/> (último acceso 7/4/2016)

² <http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.eus/r49-3614/es/aa17aCalidadAireWar/estacion/mapa?locale=es> (último acceso 7/4/2016)

La metodología empleada en este trabajo para la elaboración de los mapas es la Regresión + Kriging de los residuos; básicamente la misma que utiliza el ETC-ACM para Europa pero con una mayor resolución (1x1 Km²). Los trabajos llevados a cabo han consistido en la búsqueda y selección de variables auxiliares, herramientas de software, selección de los mejores modelos, parametrización,... para implementarla a los datos registrados en la RVCA de Euskadi, con una densidad alta de estaciones de medida, pero con una distribución espacial muy dispar.

Se han empleado varios programas debido a que las carencias de uno eran suplidas por otro. Principalmente el modelo de Regresión ha sido ajustado mediante SAGA v2.1.2 (System for Automated Geoscientific Analyses) desarrollado en 2001, libre y de código abierto, por el grupo que actualmente se emplaza en el departamento de Geografía de la Universidad de Hamburgo.

La mayor dificultad para construir un modelo de Regresión es la búsqueda variables auxiliares que expliquen una proporción de varianza apreciable de la variable de interés. Además para la elaboración del mapa, el formato de las variables auxiliares debe ser de 'grid' o malla con la mayor resolución posible.

Para la interpolación mediante el algoritmo de Kriging se ha trabajado con el programa Surfer® v10 de Golden Software por su mayor abanico de posibilidades y mejor funcionamiento a la hora de ajustar el variograma experimental al modelo teórico.

De forma general un variograma (Figura 1) presenta las siguientes características:

- el efecto 'nugget' puede ser distinto de cero incluso a h=0, asociándose a la incertidumbre de la medida
- el 'sill' que se corresponde con la varianza global
- el rango que es la distancia a la que la que la semivarianza ya no sigue creciendo y el 'rango de influencia' que es la distancia a la que la semivarianza es igual a un 95% del 'sill'.

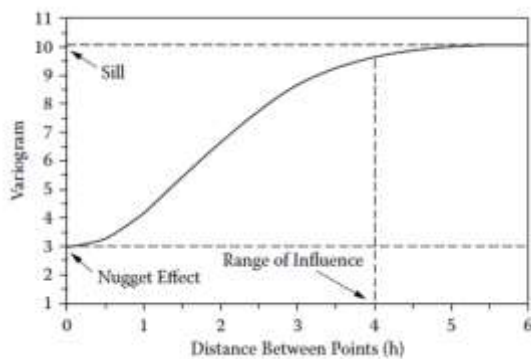


Figura 1. Componentes de un variograma genérico. Fuente: Chapter 9: Spatial-Data Analysis. STATISTICS FOR ENVIRONMENTAL SCIENCE AND MANAGEMENT (Bryan F. J. Mainly - Chapman & Hall 2009)

Finalmente la integración de las diferentes capas y la visualización del resultado final se lleva a cabo con QGIS v2.8.1, Sistema de Información Geográfica libre y de código abierto (que a su vez incorpora muchas de las funcionalidades de SAGA).

Para la evaluación anual del cumplimiento de los objetivos de calidad del aire para la protección de la salud establecidos para NO₂, se ha seleccionado como indicador el estadístico correspondiente al P99,8 de los valores horarios. Si el valor del P99, 8 supera los 200 µg/m³ se estaría sobrepasando las 18 superaciones anuales permitidas).

La única variable auxiliar que se ha adecuado o lo exigido y ha resultado ser influyente para construir el modelo de Regresión para NO₂ ha sido la densidad de población 'Gridded Population of the World, Version 3 (GPWv3): Population Density Grid' obtenida en el Center for International Earth Science Information Network (CIESIN)

de la Universidad de Columbia³ y publicada por el Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC) perteneciente a la NASA. La resolución de la capa raster es de 2,5 minutos de arco (aproximadamente 5 Km). Los archivos han sido adaptados al sistema de referencia de coordenadas utilizado (ETRS89 UTM 30N) y al área de trabajo seleccionada (150x120 Km²).

Tras ajustar el modelo de Regresión se interpolan los residuos ajustando el variograma experimental de éstos a una función predeterminada (esférica, exponencial, lineal,...) y que ofrezca buenos resultados a la hora de aplicar el algoritmo de Kriging Ordinario de forma Global.

El resultado final es la suma de las dos mallas con una resolución de 1x1 Km². Sería equivalente a utilizar el algoritmo de Kriging Universal (donde se introducen las variables auxiliares previo ajuste de los coeficientes del método de interpolación Kriging) pero el hacerlo por pasos permite una mayor interacción y conocimiento del grado de ajuste de las diferentes partes.

Además de la estimación espacial de los indicadores anuales del cumplimiento de los objetivos de calidad del aire establecidos, se ha planteado también adaptar la metodología para las labores de gestión diarias como la elaboración de los Índices de Calidad del Aire (ICA).

La aplicación del método en este caso consiste en ajustar el modelo de Regresión a la media del parámetro utilizado como ICA diario y llevar a cabo la interpolación de los residuos día a día utilizando para ello el ajuste del variograma de la media de los residuos diarios. Cuando la variable a estimar presenta ciclos anuales marcados el modelo de Regresión se ajusta por separado para las distintas épocas del año. En el caso del NO₂ el parámetro asociado al ICA es el valor horario máximo diario y el ajuste se hace para dos periodos: invernal (otoño-invierno) y estival (primavera-verano).

El producto diario (mapa con la distribución espacial del ICA) es muy sencillo de generar, por lo que garantiza la operatividad del mismo. No requiere el ajuste de los parámetros de los modelos ya que estos se ajustan previamente. En este caso, es esencial que la metodología utilizada contemple el ajuste por separado del modelo de Regresión y del Kriging. El modelo de Regresión y el variograma se ajustan previamente utilizando una base histórica de datos y diariamente únicamente es necesario calcular la capa de la interpolación de los residuos mediante Kriging utilizando el variograma ajustado y combinarla con la capa de la Regresión ya estimada para la media.

Sería necesario ir actualizando y/o aumentando la base histórica de datos para dar cuenta del cambio de los patrones y/o del diseño de la Red con una periodicidad a establecer según el caso.

4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En primer lugar se presentan los resultados de la estimación de la distribución espacial del P99,8 anual de los valores horarios de NO₂ para el año 2014.

Los resultados obtenidos para el modelo de Regresión explican casi el 50% de la varianza de las medidas aunque el error estándar es todavía apreciable (Figura 1.A). Los resultados finales del modelo de Regresión + Kriging mejoran mucho la estimación (Figura 1.B).

La pendiente de la línea de ajuste del modelo de Regresión+ Kriging final es ligeramente inferior a uno por lo que los valores más altos son subestimados, tal y como se aprecia en el mapa (Figura 2).

Los valores más altos se registran en el centro urbano de las tres capitales, más extensamente y con estimaciones del P99,8 ligeramente más altos en el centro de Bilbao y Donostia (entre 110 y 115 µg/m³) que en el centro de Gasteiz (donde se alcanzan los 100 µg/m³).

³ <http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/gpw-v3-population-density> (último acceso 7/4/2016)

Los puntos que se sitúan en las estaciones de medida representan las desviaciones respecto a las medidas, el color blanco indican desviaciones de $\pm 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que los colores azules son valores subestimados y los naranjas sobreestimados. Podemos comprobar que las estaciones con un tráfico más intenso en sus cercanías en las tres capitales son las que presentan unas desviaciones mayores en la estimación (subestimadas). Sin embargo, puede aceptarse que la calidad del aire asignada a la celda de trabajo ($1 \times 1 \text{ Km}^2$) pueda estar mejor representada por la estimación (en la que participan también las medidas en estaciones cercanas no afectadas tan directamente por el tráfico) que por la medida puntual.

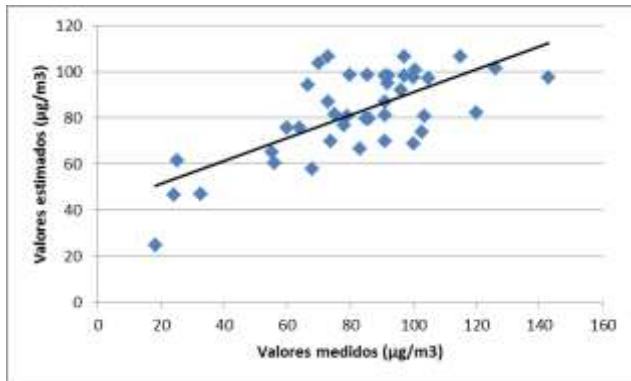


Figura 1. A Ajuste del modelo de Regresión lineal para el P99,8 anual.

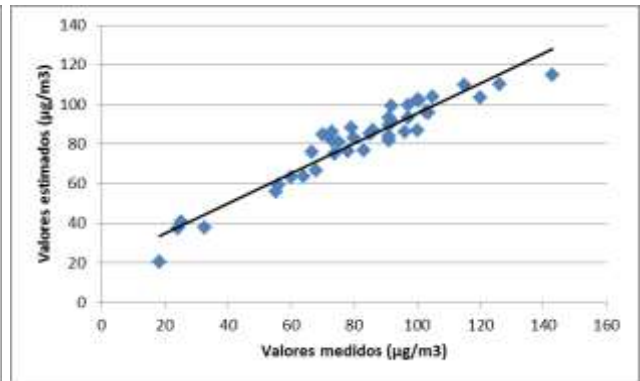


Figura 1. B Ajuste del modelo de Regresión + Kriging para el P99,8 anual.

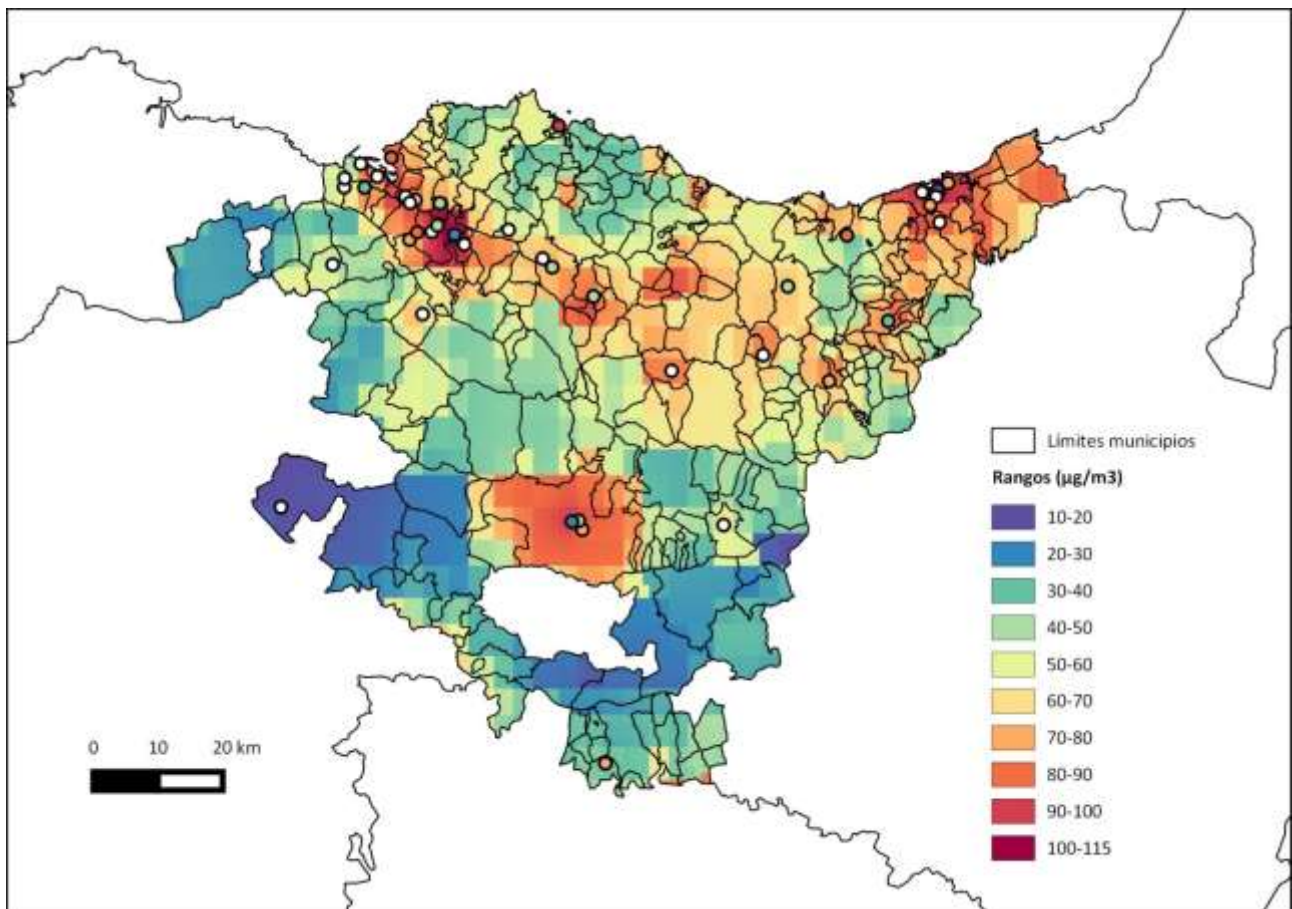


Figura 2. Estimación del P99,8 anual (año 2014) de los promedios horarios de NO₂.

Conociendo la distribución de la población por edades a partir del padrón municipal de habitantes (a fecha 01/01/2014) y desagregada también en celdas de 1x1 Km² disponible recientemente (fecha de creación 30/4/2015) en la Web de Geoeuskadi⁴, se obtiene mediante un cálculo sencillo el nº de habitantes expuestos a cada uno de los rangos de la escala seleccionada para el P99,8 (Figura 3).

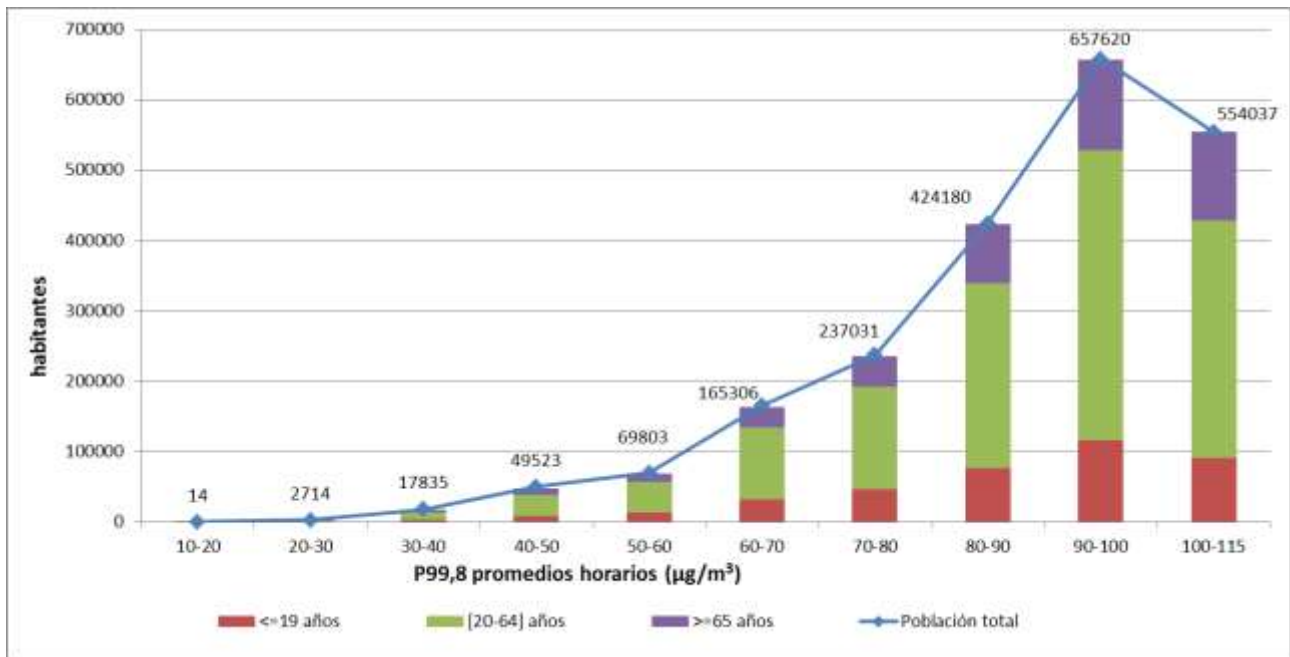


Figura 3. Exposición de la población de Euskadi a los niveles de NO₂ estimados (año 2014).

Como cabía esperar dada la relación entre las concentraciones de NO₂ registradas y la densidad de población, más de la mitad de la población (un 55,63%) está sometida a los niveles más altos del P99,8 anual, por encima de 90 µg/m³ pero sin superar los 115 µg/m³, cuando el límite establecido para la protección de la salud y asociado al P99,8 es de 200 µg/m³.

Los mapas diarios del ICA para NO₂ se elaboran a partir de los máximos horarios registrados en las estaciones. La interpolación se realiza con los residuos, es decir con las diferencias entre éstos y los valores resultantes del modelo de Regresión ajustado a la media de los máximos diarios del período invernal, utilizando el método de Kriging con el modelo de variograma ajustado a la media de los residuos diarios del periodo invernal (Figura 4).

El modelo de variograma ajustado a los valores medios presenta un valor distinto de cero para el parámetro que responde al efecto 'nugget', indicativo de que el método de interpolación no va a ser exacto. Esto es debido a la alta variabilidad de los datos medidos en estaciones cercanas y se explica por los diferentes tipos de estación (emplazamientos) que se tienen en distancias relativamente cortas. Los valores estimados están suavizados subestimando los valores más altos y sobreestimando los valores más bajos.

El resultado final es la suma de las dos capas: grid del modelo de Regresión y grid del resultado del Kriging con una resolución de 1x1 Km².

⁴ <http://www.geo.euskadi.eus/geograficos/malla-de-poblacion-de-1-km-x-1km/s69-geodir/es/> (último acceso 7/4/2016)

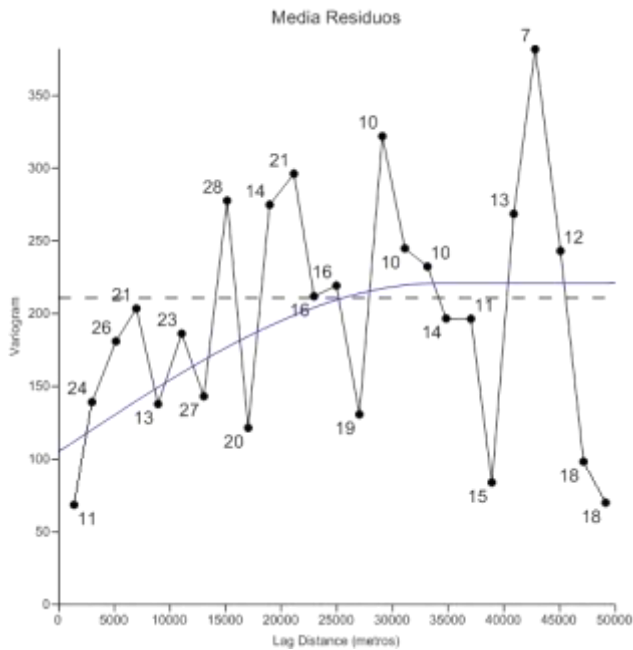


Figura 4. Ajuste del variograma experimental de la media de los residuos diarios de NO₂ (periodo invernal) al modelo esférico.

A modo de ejemplo se presenta el mapa del día 10 de marzo (Figura 5), uno de los días con valores más altos.

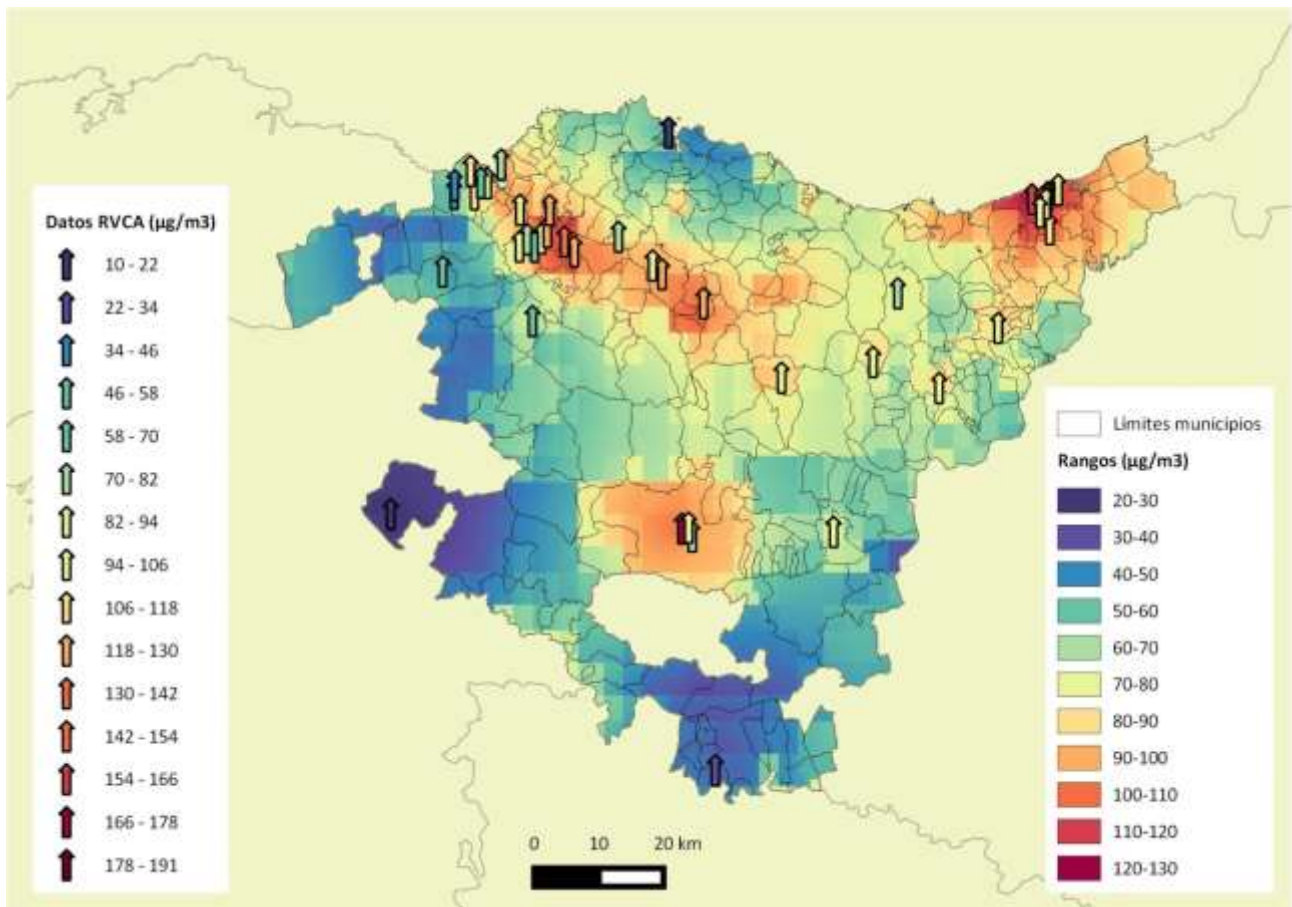


Figura 5. Medidas y estimación del máximo valor horarios de NO₂ para el día 10 de marzo de 2014.

La distribución espacial de las concentraciones es diferente a lo observado en el mapa del P99,8 anual. Los valores más altos se registran en las estaciones de Easo (191µg/m³ de máxima horaria) y Avda. de Tolosa (166 µg/m³) en Donostia. En Gasteiz también se registra un máximo elevado en la estación de Avda. Gasteiz (170 µg/m³) pero las demás estaciones de Gasteiz miden valores bastante más bajos. En Bilbao tampoco se alcanzan valores tan altos, destacando los 143 µg/m³ registrados en la estación de Parque Europa. Los valores estimados no son tan altos pero hay que tener en cuenta que son valores estimados para un área de 1x1 Km² y precisamente los valores registrados en las estaciones orientadas al tráfico se contraponen en algunos casos con estaciones cercanas en zonas más residenciales. Una buena práctica es la presentación conjunta tanto de los datos medidos en las estaciones como de los valores estimados para las celdas.

La utilización de un GIS para presentar los resultados facilita el análisis detallado de los mismos. Por ejemplo se puede visualizar los valores estimados por municipios y así en la Figura 7 se presentan los cálculos resultantes en las celdas incluidas en el municipio de Bilbao (cuando celdas adyacentes tienen el mismo valor se unen) y los valores máximos puntuales registrados en las estaciones cercanas.



Figura 6. Estimación del máximo valor horario de NO₂ en Bilbao y medidas en las estaciones de la Red para el día 10 de marzo de 2014.

5. CONCLUSIONES

Se ha puesto a punto el método de Regresión + Kriging para la estimación espacial (1x1 Km²) de los niveles de NO₂ registrados en Euskadi con el objetivo de mejorar la evaluación efectuada a partir de las estaciones fijas de medida y de informar a la población mediante el uso de un GIS.

A partir de las medidas de NO₂, valores horarios registrados a lo largo del año 2014, en la Red de Vigilancia de la Calidad del Aire, se ha calculado y representado en un mapa la distribución espacial del P99,8, estadístico asociado a uno de los límites establecido para la protección de la salud en la normativa aplicable. A partir de los datos estadísticos del padrón municipal se ha asignado el nº de personas expuestas a dichos niveles, desagregadas por edad.

Otra aplicación del método es la posibilidad de elaborar los mapas diarios de los máximos horarios de NO₂, parámetro asociado al Índice de Calidad del Aire establecido, con la misma resolución, mediante un esquema sencillo que facilita su operatividad. Su extensión desde los valores registrados en las estaciones de medida a todo el territorio constituye la parte más novedosa de este trabajo, cumpliendo el objetivo de informar a la población de una forma clara, precisa y más representativa.

En este punto habría que señalar que el método y el esquema de elaborar los mapas diarios están siendo probados y validados este año 2016, siendo los resultados, hasta ahora, satisfactorios. Un aspecto a cuidar es el control de calidad de los datos de partida, máxime cuando son la piedra angular del método.

Al ser un método muy sensible a errores en los datos de entrada, puede a su vez ser muy útil para efectuar ese mismo control de calidad y apreciar desajustes en los equipos u otras causas que puedan afectar a las medidas.

Por otro lado, conviene también ir actualizando la base histórica de datos con la que se han ajustado los modelos, seguir con las tareas de búsqueda de variables auxiliares, con formatos y resoluciones adecuadas, que mejoren los modelos de Regresión múltiple, optimizar los métodos de interpolación (por bloques) y probar otros programas de software (por ejemplo R). Estas tareas deben ser integradas en un proceso de mejora continua.

En la actualidad es necesaria la asimilación de muchas fuentes de información: medidas en estaciones de superficie, medidas desde satélites, modelos de dispersión,... por lo que se hace indispensable tratar las diferentes bases de datos de una forma que puedan compararse y complementarse fácilmente, mediante herramientas como los GIS que pueden ayudarnos a integrarlas y abrir camino a otros estudios.

6. AGRADECIMIENTOS

Agradecer al Servicio de Aire del Gobierno Vasco su interés en la aplicación del método propuesto en las tareas de gestión que le competen.

7. BIBLIOGRAFÍA

World Health Organization (WHO), 2013: "Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project Technical Report", http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf?ua=1, último acceso 7/4/2016.

Horálek et al., European Topic Centre on Air Pollution and Climate Change Mitigation (ETC/ACM), Technical Paper 2014/4, January 2015: "European air quality maps of PM and ozone for 2012 and their uncertainty", http://acm.eionet.europa.eu/reports/docs/ETCACM_TP_2014_4_AQMaps2012.pdf, último acceso 7/4/2016.

Horálek et al., European Topic Centre on Air Pollution and Climate Change Mitigation (ETC/ACM), Technical Paper 2006/6, March 2007: "Spatial mapping of air quality for European scale assessment", http://acm.eionet.europa.eu/docs/ETCACM_TechPaper_2006_6_Spat_AQ.pdf, último acceso 7/4/2016.

Reis et al., 2012: "Methods for the assessment of human health impacts from air pollution based on monitoring data, atmospheric dispersion model results and contextual data in Scotland" International Environmental Modelling and Software Society (iEMSS), 2012 International Congress on Environmental Modelling and Software Managing Resources of a Limited Planet, Sixth Biennial Meeting, Leipzig, Germany R. Seppelt, A.A. Voinov, S. Lange, D. Bankamp (Eds.), http://www.iemss.org/sites/iemss2012//proceedings/B1_1004_Reis_et_al.pdf, último acceso 7/4/2016.

Gobierno Vasco. Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial, 2014: "Datos de la red de Control y Vigilancia de la Calidad del Aire de la CAPV", http://www.ingurumena.ejgv.euskadi.eus/contenidos/informe_estudio/calidad_aire/es_doc/adjuntos/2014.pdf, ultimo acceso 7/4/2016.

Hengl, European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability (JRC-IES), September 2007: "A Practical Guide to Geostatistical Mapping of Environmental Variables" http://eussoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/eussoils_docs/other/EUR22904en.pdf, último acceso 7/4/2016.

Hengl, 2009: "A Practical Guide to Geostatistical Mapping of Environmental Variables", second and extended version, http://spatial-analyst.net/book/system/files/Hengl_2009_GEOSTATE2c1w.pdf, último acceso 7/4/2016.

GEORREFERENCIACIÓN DE DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS HISTÓRICOS PARA EL ANÁLISIS DEL TRAZADO FLUVIAL DEL BAJO SEGURA, VEGA MEDIA (MURCIA)

Yolanda Álvarez-Rogel¹, Juan R. Tamayo- de la Torre, y Carmelo Conesa-García¹

¹Departamento de Geografía, Universidad de Murcia, Campus de la Merced, s/n, 30001 Murcia, España.

yalvarez@um.es; cconesa@um.es

RESUMEN

El empleo de cartografía histórica en el seguimiento de cambios de morfología fluvial dentro de una llanura aluvial implica generalmente importantes problemas, muchos de ellos asociados a la georreferenciación de mapas y planos de diferente escala y sistema de coordenadas (Uribelarrea *et al.*, 2003; Moreno y Cortés, 2011). Para el caso de la Vega Media del Segura (VMS) se dispone de fuentes cartográficas de los siglos XIX y XX, que requieren un adecuado proceso de georreferenciación antes de proceder al análisis de su trazado fluvial en dicha época.

Este trabajo adopta un método para la georreferenciación completa de series de planos y mapas antiguos de la VMS, basado en la Transformación Bidimensional Conforme de las imágenes (Transformación Helmert), con recorte individual de éstas y su posterior unión para generar mosaicos continuos. El proceso se aplica al MTNP (Mapa Topográfico Nacional Parcelario), escala 1/25.000, ediciones 1ª(1898) y 2ª (1925), y al Plano Parcelario del IGC (Instituto Geográfico Catastral), escalas 1/2.000 y 1/5.000, ediciones 1ª (1955) y 2ª (1980). Estas series cartográficas, así georreferenciadas, permiten mejorar la calidad posicional que define el trazado fluvial en planos y mapas de la VMS editados durante el período 1898-1980, y con ello aportar una mayor precisión que servirá para cuantificar los parámetros geométricos del cauce en planta.

PALABRAS CLAVE: Georreferenciación; cartografía histórica; trazado del cauce, río Segura; Vega Media.

ABSTRACT

The use of historical maps for monitoring fluvial morphological adjustments into a floodplain generally implies important problems. Most of these are referred to georeferencing of maps and plans with different scales and coordinate systems (Uribelarrea *et al.*, 2003; Moreno y Cortés, 2011). For the case of Vega Media of the Segura River (VMS) there are cartographic sources from the 19th and 20th centuries, that need an appropriate georeferencing process before fluvial pattern is analyzed for this periods.

This work shows an approach to completely georeference older map series from the VMS, which was based on the two dimensional conformal coordinate transformation (Transformación Helmert), with individual image cropping and subsequent connection in order to generate continuous mosaic. This procedure was applied to NTMP (National Topographic Map and Parcelario), scale 1/25000, first edition in 1898 and second edition in 1925, and to Parcelario Plan from CGI (Catastral Geographical Institute), scales 1/2000 and 1/5000, 1st edition in 1955 and 2nd edition in 1980. The map series thus obtained allow us to improve the positional quality defining the fluvial pattern in plans and maps of the VMS edited for the period 1898-1980, and in this ways it will provide a greater precision for quantifying the channel planform geometry.

KEYWORDS: Georeferencing; historical cartography; channel pattern, Segura River; Middle Valley.

1. INTRODUCCIÓN

La cartografía, herramienta esencial en el estudio de la información geográfica, ha experimentado una auténtica revolución en los últimos años. El incremento de la demanda de información en una sociedad como la actual, hiperconectada (Martín *et al.*, 2012), ha supuesto una reactivación en la utilización de los mapas, al aumentar el interés por ubicar en el espacio todos los fenómenos que ocurren en la superficie terrestre. Cualquier análisis espacial requiere, además, que los datos estén georreferenciados, es decir, que tengan asociadas unas coordenadas que permitan su localización exacta sobre el territorio.

La popularización del empleo de visores cartográficos y el incremento de la distribución de cartografía vía web mediante el desarrollo de Infraestructuras de Datos Espaciales (IDEs), Centros de Descarga o servicios Web Map Service (WMS) o Web Feature Service (WFS) ha potenciado la difusión de la cartografía, necesaria para implementar los Sistemas de Información Geográfica (SIG), principales demandantes de información georreferenciada. El auge de los SIG ha contribuido en gran medida a la difusión del uso de la cartografía entre diferentes disciplinas científicas, que estudian la distribución espacial de hechos o fenómenos, cuya representación mediante mapas facilita su descripción, comprensión e interpretación. En la actualidad, el acceso a esta información resulta mucho más sencillo que hace algunos años, y suelen ser los mismos generadores de la información los que la ponen a disposición de los potenciales usuarios.

La rectificación espacial se ha visto favorecida también por la implantación masiva de tecnología relacionada con la digitalización de documentos en bibliotecas, archivos, cartotecas, etc., que ofrecen al usuario final un producto, generalmente en formato pdf, tif o jpg, que debe ser tratado previamente para su incorporación al SIG. España ha sido pionera en el desarrollo de iniciativas de digitalización de fuentes cartográficas (Cortés José, 1997) y participa en el proyecto de biblioteca digital europea, EUROPEANA iniciado en 2005. En relación con él, se ha desarrollado una adaptación española denominada Hispania (<http://hispana.mcu.es/>), dependiente del Ministerio de Cultura, Educación y Deporte, que reúne las colecciones digitales de archivos, bibliotecas y museos conformes a la Iniciativa de Archivos Abiertos que promueve la Unión Europea.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

La georreferenciación o rectificación espacial es un proceso que permite determinar la posición de un elemento en un sistema de coordenadas espacial diferente al que se encuentra. Se define como una función matemática del tipo $X = f(x, y)$ e $Y = f(x, y)$, donde la posición de cada entidad geográfica en el sistema de coordenadas destino (X, Y) es función de las coordenadas (x, y) que tiene ese mismo elemento en el sistema origen (Dávila y Camacho, 2012).

Para realizar este proceso se establecen una serie de puntos de control, que deben ser identificados en ambos sistemas (puntos homólogos) y, a partir de ellos, se determinan los parámetros de transformación. La exactitud y precisión de la georreferenciación está directamente relacionada con las características de estos puntos de control, que deben cumplir una serie de condiciones: i) ser “inequívocos” y claramente identificables en los documentos a georreferenciar, ii) pertenecer a elementos representados con exactitud, iii) corresponder a elementos considerados “invariables” en el tiempo, iv) presentar una distribución homogénea y uniforme en toda la superficie del área a estudiar.

El desarrollo de estas técnicas se ha visto favorecido por el impulso generalizado de los Sistemas de Información Geográfica, tanto comerciales (ArcGis, MapInfo, etc.) como de código abierto (gvSIG o Qgis), que contienen herramientas específicas para llevar a cabo la georreferenciación. Propuestas recientes como la herramienta “Georeferencer” puesta en marcha en 2012 por el Instituto Cartográfico de Cataluña, plantean la georreferenciación con ayuda de usuarios o *crowdsourcing* (Ramos y Roset, 2012).

En esta línea destaca la georreferenciación de cartografía histórica, cuya finalidad es situar en el espacio los elementos recogidos en mapas que, en muchas ocasiones, carecen de coordenadas, escala o proyección conocida. La fidelidad con la que aparecen representados estos elementos en los mapas históricos depende en gran medida de la tecnología utilizada en su elaboración. Por regla general, cuanto más antiguo es el mapa

mayor distorsión presenta con respecto a la cartografía de referencia actual y mayor es el nivel de abstracción en la representación. La diversidad de técnicas requiere diversidad de métodos para conocer y valorar esta cartografía histórica.

3. ÁMBITO DE ESTUDIO

La Vega Media del Segura (VMS) ocupa la parte occidental del Bajo Valle del Segura, dentro del sector oriental del Sistema Bético. Se sitúa sobre el contacto entre la zona interna y externa de dicho sistema montañoso (Montenat, 1977), participando de los rasgos geotectónicos de ambos dominios. El borde meridional de la Vega Media (zona interna) está compuesto por materiales del Permotrias y Neógeno, y depósitos de ladera pleistocenos. En el borde septentrional (zona externa) predominan las rocas sedimentarias (margas, areniscas y conglomerados) pertenecientes al Mioceno Superior- Plioceno. La evolución de este amplio valle, orientado de ENE a OSO, está controlada por fallas activas, la prolongación de la falla de Alhama de Murcia al norte y la de Carrascoy al sur. Los frentes montañosos que lo flanquean fueron elevados por la reactivación de ambas fallas en el Mioceno final, y retocados por una actividad tectónica que todavía persiste en la actualidad (Rodríguez Estrella *et al.*, 1999). Desde el Plioceno, varias generaciones de abanicos aluviales se han desarrollado en la base de los frentes montañosos (Goy *et al.*, 1989), dando lugar a un extenso sistema aluvial cuyos frentes distales enlazan directamente con la llanura fluvial del Segura.

La zona de estudio (figura 1) se extiende desde el Azud de Contraparada (infraestructura hidráulica del siglo IX), en la pedanía de Javalí Nuevo, al oeste de la ciudad de Murcia, hasta el municipio de Beniel, al este, en el límite administrativo entre las provincias de Murcia y Alicante. El área de estudio comprende *buffers* de dos y diez kilómetros en torno al eje central del cauce, dependiendo de que se utilicen los mapas de escala 1:2.000 y 1:25.000 respectivamente. Dentro de dichos *buffers* queda encuadrado el cinturón de meandros del río Segura y su llanura de inundación activa adyacente.

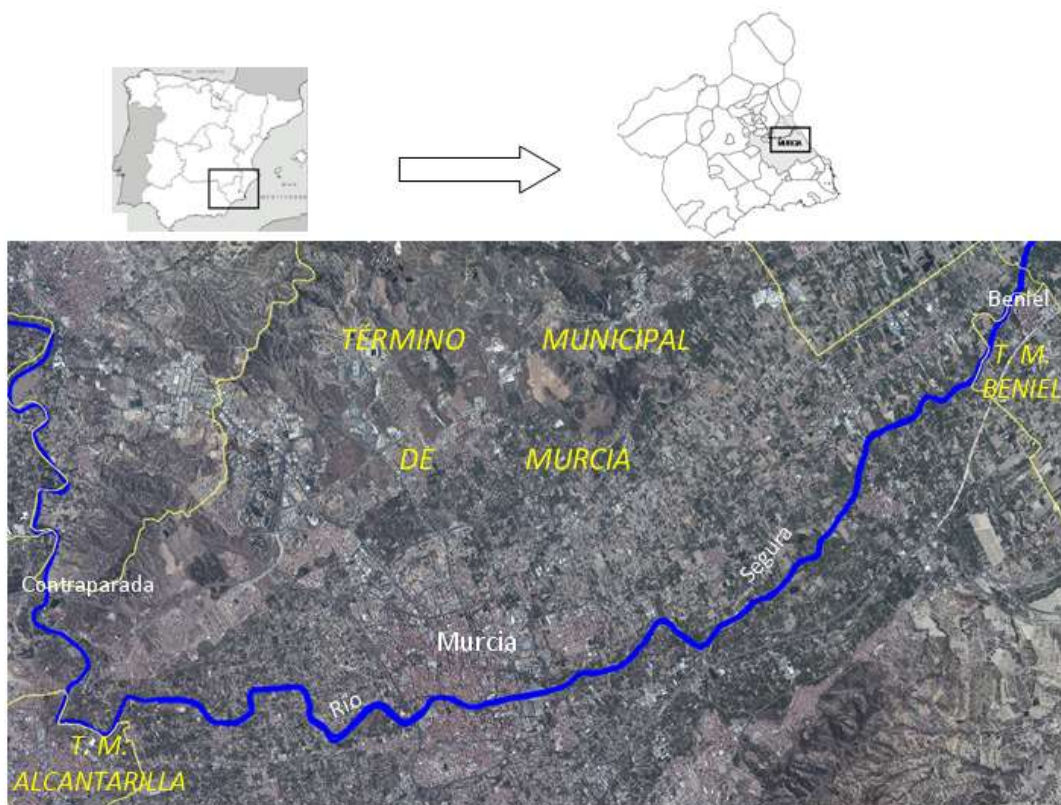


Figura 1: Localización del área de estudio.

4. METODOLOGÍA

La primera fase del trabajo se centra en la recopilación y análisis de la cartografía disponible sobre el área de estudio en diferentes organismos regionales y nacionales (Archivos y bibliotecas regionales y nacionales, Sede Regional del Catastro y Sede Regional del Instituto Geográfico Nacional en Murcia). La cartografía antigua que finalmente ha sido manejada consta de dos tipos de documentos:

(1) En primer lugar un total de veinte mapas a escala 1:25.000 realizados por Comisión Geográfica del Depósito de la Guerra de la Comisión de Estado Mayor del Ejército y por la Dirección General del Instituto Geográfico y Estadístico, bajo la denominación de Trabajos Topográficos, entre los años 1889 y 1900, y una actualización posterior de 1930. Esta cartografía forma parte de un proyecto inicial para la formación del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 y se corresponde con las denominadas minutas cartográficas, que engloban tres tipos de documentos: i) minutas planimétricas con información relativa a cubierta vegetal, hidrografía, vías de comunicación, construcciones y líneas administrativas; ii) minutas altimétricas, que incluyen curvas de nivel y puntos de cota; y iii) minutas conjuntas en las que se combina la información contenida en las dos anteriores. Aunque en origen se trata de documentos en formato papel, desde octubre de 2014 están disponibles en formato de imagen jpg a través del servicio de descargas que el Instituto Geográfico Nacional ofrece en su página web.

Esta cartografía 1:25.000 de finales del siglo XIX principios del XX, denominada genéricamente Mapa Topográfico Nacional Parcelario (MTNP), se presenta georreferenciada, pero no ha podido ser ensamblada en un mosaico continuo, ya que tiene importantes deformaciones que son patentes en el propio formato papel. En ocasiones son simples croquis o dibujos en los que el autor trata de plasmar la realidad del momento, de modo que su ensamblado implicaría deformar artificialmente sin controles de referencia las imágenes para tratar de darles continuidad espacial.

(2) Por otra parte, se ha georreferenciado un total de ochenta y siete planos en formato papel a escala 1:2.000 (algunos a 1:5.000) correspondientes al proyecto de Plano Parcelario elaborados por el Instituto Geográfico y Catastral, relativos al catastro de los términos municipales de Alcantarilla, Murcia y Beniel. Estos planos, que forman parte de los trabajos destinados a elaborar el primer catastro a nivel de parcela en España, muestran un continuo del término municipal formado por polígonos catastrales ("masa" en nomenclatura actual), que a su vez se dividen en parcelas catastrales. Contienen además información geográfica de referencia de gran interés, como caminos, acequias, pequeñas construcciones, topónimos y otros elementos geográficos. Para los dos primeros municipios citados, se dispone de dos ediciones, la primera realizada entre 1950 y 1958 y la segunda en los años ochenta (1982-1984). En el caso de Beniel sólo existe la edición de 1958. Esta documentación carece de coordenadas y se accede a ella en formato papel.

La metodología adoptada para su incorporación al SIG difiere en función de la naturaleza de los datos. En el caso de los mapas 1:25.000 se procede a mejorar su georreferenciación, utilizando como cartografía de referencia la última edición del Mapa Topográfico Nacional de homóloga escala (MTN25).

En el tratamiento de la cartografía en formato papel se establece una fase previa de escaneado, destinada a obtener un fichero digital en formato TIF. En este sentido, es importante la resolución del escaneado, establecida en puntos por pulgada (ppp) y entendida como la densidad de píxeles por unidad de medida (una pulgada equivale a 2,54 cm), con que el original ha sido muestreado. Para la cartografía producida actualmente en los institutos cartográficos, se admite que la precisión planimétrica para cualquier escala es de 0,2 mm, por ser éste el límite de la percepción visual humana (Sánchez Menendez, 2004), lo que supone un error máximo real de 0,4 m.

Para una correcta interpretación visual, el tamaño de la celda en formato papel debe ser la mitad del original, de manera que cada 0,2 mm corresponde a cuatro teselas de 0,1 mm cada una. Por tanto la resolución del escaneo debe ser al menos de 254 puntos por pulgada (ppp). Generalmente 300 ppp se considera una buena resolución para obtener la mejor calidad de reproducción, pero una resolución de 150 ppp en cartografía histórica hace que el archivo sea mucho más pequeño y fácil de manipular sin perder información relevante. La resolución ligada a la escala del documento original permitirá conocer las dimensiones reales en el terreno de cada pixel de la imagen, y por tanto conocer la precisión que es posible obtener durante la georreferenciación (Roset y Ramos, 2012). Otros autores (Romero Fernández, 2014) proponen una resolución de escaneo mínima de 400 ppp. En el caso de la Vega Media del Segura los documentos en formato papel se procesan con una resolución de 600 ppp con la finalidad de facilitar el proceso de digitalización, ya que se trata mapas en blanco y negro.

Teniendo en cuenta las consideraciones de Pérez y Ballell (2015) sobre transformación de coordenadas y considerando que las geometrías están contenidas dentro de las tolerancias gráficas, se asume que los errores derivados del escaneo se deben a la deformación del propio soporte papel, por su falta de estabilidad dimensional, y a la deformación introducida por el escáner debido a la falta de ortogonalidad entre sus ejes.

La mayor parte de la cartografía histórica utilizada en este estudio carece de sistema de referencia y coordenadas, por lo que es preciso llevar a cabo su georreferenciación. Para ello se utiliza el módulo de georreferenciación del programa de uso libre y código abierto Quantum GIS, versión 1.8 Lisboa. Este software permite acceder a información remota mediante servidores Web Map Service definidos por el Open Geospatial Consortium (OGC), facilitando así el acceso a cartografía georreferenciada de la zona de estudio.

En la última fase del procesado de la cartografía 1:2.000 se elabora un mosaico continuo para las dos ediciones del Plano Parcelario. Utilizando el software Global Mapper v.12 que posibilita recortes de imágenes en función de geometrías tipo área y permite el ensamblado correcto de teselas colindantes, se genera un solo fichero ráster para cada una de las ediciones de la serie utilizadas. El resultado son dos imágenes en formato ECW que muestran el trazado del río en el conjunto del área analizada.

5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE GEORREFERENCIACIÓN DE MAPAS Y PLANOS ANTIGUOS

5.1 Descripción del método

Una vez generado el fichero digital sobre el que identificar los puntos de control, éstos se cotejan con la documentación correspondiente a la cartografía catastral actual de la Vega Media del Río Segura, a la que se accede mediante el módulo de descarga masiva de datos en formato shape, disponible en la web de la Sede Electrónica del Catastro (SEC). La georreferenciación se lleva a cabo con el apoyo adicional de los ortofotogramas de la zona correspondientes al Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) para el año 2011 a los que se accede mediante conexión al servicio Web Map Service (WMS) del Instituto Geográfico Nacional, dependiente del Ministerio de Fomento. También se utilizan como referencia las fotografías aéreas del conocido como Vuelo Americano de 1956, a las que se accede mediante conexión al servicio WMS disponible en la web de Infraestructuras Espaciales de la Región de Murcia (IDERM). Como complemento se utilizan los mapas georreferenciados con anterioridad, tratando de no emplearlos como puntos de apoyo para así evitar la concatenación de errores no deseados.

La elección de los puntos de control se realiza teniendo en cuenta las recomendaciones básicas generales para la georreferenciación de cartografía histórica. Para cada mapa se han seleccionado entre nueve y veinte puntos de control (el software requiere un mínimo de tres) todos ellos con una distribución homogénea sobre el territorio y que corresponden a elementos que permanecen sin cambios a lo largo del tiempo. Se ha procurado que se trate de elementos susceptibles de ser identificados directamente en las ortofotos y no sólo en la geometría del catastro actual, ya que se ha constatado que en muchas ocasiones los límites de las parcelas son más fáciles de identificar en las fotografías aéreas que en su representación sobre el papel.

El software empleado, Quantum GIS, permite controlar las deformaciones de cada uno de los puntos, el error medio de la transformación y generar informes pdf de la misma. Se estima que, por los niveles de escala, las deformaciones más significativas están relacionadas con la representación local en el espacio papel, por lo que en todos los casos se utiliza una transformación Helmert de seis parámetros. Es una transformación afín bidimensional incluida en el módulo “georreferenciación GDAL” de QGis, también llamada transformación polinomial de primer orden. Contempla la translación (T_x , T_y) y cambio de escala en ambos ejes “x” e “y” (λ_x , λ_y), y rotación de giro y falta de ortogonalidad (β). Al ser tres las incógnitas para cada una de las dos variables, su resolución requerirá, al menos, de un sistema de tres ecuaciones por lo que serán tres el número de puntos de control a emplear en el ajuste, disponiendo así de seis datos para seis incógnitas. En cualquier caso, la incorporación de más puntos repercutirá en la redundancia de los resultados globales, procurando su distribución homogénea sobre el territorio para mejorar su eficiencia.

Esta transformación es utilizada con frecuencia en fotogrametría durante el proceso de orientación interna, por la posible falta de estabilidad dimensional del soporte o incluso debido a la falta de ortogonalidad de los ejes, por lo que resulta idónea para usar en el caso de georreferenciación de documentos escaneados. Esta metodología se ajusta también a las propuestas de otros autores (Moreno y Cortés, 2011), que señalan la conveniencia de utilizar polinomios de primer grado (transformaciones de cuatro a seis parámetros), ya que los propios puntos de apoyo poseen errores y emplear polinomios de mayor grado puede absorber mejor los errores en el entorno de los puntos de control, pero también introduce deformaciones en el resto del mapa. La utilización de otras proyecciones matemáticamente más complejas, podría depurar artificialmente los posibles errores y maquillar las diferencias reales entre las distintas cartografías.

Al generar la georreferenciación se debe eliminar estas deformaciones artificiales, y, como no se puede mejorar la calidad inicial geométrica de cada plano, al menos no han de añadirse artificialmente errores adicionales. La dilatada experiencia relacionada con la georreferenciación de imágenes por parte de uno de los autores de este estudio como técnico del Instituto Geográfico Nacional, avala la consideración una serie de errores máximos (Tabla 1), que están en función de la escala del documento. Se parte, por tanto, de la premisa de que los mapas no tienen errores geométricos superiores a estos, sin embargo, al escanear los documentos en formato papel para convertirlos a formato digital, puede producirse una deformación de la imagen original, bien por deterioro del propio soporte papel o bien por el propio escaneo.

| Escala | Error máximo (m) |
|------------|------------------|
| 1 : 25.000 | 5,0 |
| 1 : 2.000 | 0,4 |

Tabla 1: Errores máximos de los mapas en formato papel en función de la escala del mapa.

Lo normal es que se estimen los errores máximos plasmados en papel, según la tabla anterior, así como el error propio de identificar el elemento/punto imagen y elemento/punto real. De ahí que el conjunto del error de la georreferenciación (E_g) incluya tanto el error máximo de la imagen de referencia llamada “realidad” (E_r) como el error máximo de la imagen escaneada (E_i). Este último parámetro deberá considerarse, por tanto, dos veces, primero para calcular el propio error del mapa inicial y en segundo lugar para determinar el error de posición del puntero al seleccionar. Su expresión matemática es:

$$E_g = \sqrt{E_r^2 + E_i^2 + E_i^2}$$

Y el error máximo:

$$E_{m\acute{a}x} = 2,54 E_g$$

Teniendo en cuenta que, en el caso de las imágenes utilizadas, se cumple que el tamaño del pixel es igual a la mitad del error máximo (tamaño pixel = $E_{m\acute{a}x}/2$) al georreferenciar las imágenes, los errores máximos teóricos en píxeles, en función de la escala, deberían ser los expresados en la tabla 2:

| Escala | E_i | E_r | E_g | $E_{m\acute{a}x}$ | m/Px | E_{px} |
|------------|-------|-------|-------|-------------------|------|----------|
| 1 : 25.000 | 5,0 | 5 | 8,66 | 22,0 | 2,25 | 9,78 |
| 1 : 2.000 | 0,4 | 1 | 1,15 | 2,92 | 0,2 | 14,6 |

E_i : Error máximo de la imagen referenciada llamada "realidad"; E_r : Error máximo de la imagen escaneada; E_g : Error de la georreferenciación; $E_{m\acute{a}x}$: Error máximo de la georreferenciación; m/Px: metros/pixel; E_{px} : Error teórico en píxeles

Tabla 2: Tabla síntesis de errores teóricos en función de la escala del mapa

Sin embargo, la experiencia demuestra que este desarrollo teórico es inadecuado. Tras realizar multitud de georreferenciaciones para distintos propósitos, se ha llegado a la conclusión de que se debe incorporar un factor de corrección del doble a la hora de interpretación de imágenes, adoptando las ecuaciones de error medio (E_g) y error máximo ($E_{m\acute{a}x}$) las siguientes formas:

$$E_g = \sqrt{(2 \cdot E_r)^2 + (2 \cdot E_i)^2 + E_i^2} \qquad E_{m\acute{a}x} = 2,54 \cdot E_g$$

El escaneado de los planos 1:2.000 no responde a la relación teórica de 0,2 m/Px, sino que, realmente, el tamaño del píxel corresponde a valores que oscilan entre de 0,15 m a 0,13 m por pixel, por lo que se opta por utilizar el valor medio de 0,14 m/Px. Los ráster correspondientes a los croquis parcelarios 1:25.000 no están escaneados a 2,25 m/Px sino a 1,5 m/Px. En la tabla 3 se recogen los valores reales de errores esperados en píxeles.

| Escala | E_i | E_r | E_g | $E_{m\acute{a}x}$ | m/Px | E_{px} |
|------------|-------|-------|-------|-------------------|------|----------|
| 1 : 25.000 | 5,0 | 5,0 | 15,00 | 38,10 | 1,55 | 25,40 |
| 1 : 2.000 | 0,4 | 1,0 | 2,19 | 5,56 | 0,14 | 39,75 |

E_i : Error máximo de la imagen referenciada llamada "realidad"; E_r : Error máximo de la imagen escaneada; E_g : Error de la georreferenciación; $E_{m\acute{a}x}$: Error máximo de la georreferenciación; m/Px: metros/pixel; E_{px} : Error teórico en píxeles

Tabla 3: Tabla síntesis de errores ajustados en función de la escala del mapa o plano.

- Resultados obtenidos en la aplicación

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se efectúa la georreferenciación de las imágenes escaneadas de los mapas en papel correspondientes a los Planos Parcelarios, primera y segunda edición con fechas 1950-1957 y 1982-1984 respectivamente. La similitud de algunas parcelas, que no muestran diferencias entre sus límites entre el antiguo y el actual catastro, justifica la utilización de la cartografía catastral actual como apoyo a la identificación de puntos homólogos. También se utilizan las fotografías aéreas del vuelo americano de 1956 por la proximidad en las fechas con los mapas de la primera edición y los ortofotomapas del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), que pese a ser de 2009 tienen una escala 1:5.000 similar, y en ocasiones igual, a los documentos que se pretende georreferenciar, lo que facilita la identificación de puntos de control.

El software empleado, Quantum GIS, permite un gran control de deformaciones en cada uno de los puntos de georreferenciación, calculando en tiempo real el error de cada punto y el error cuadrático medio para el conjunto de la transformación. La información sobre errores obtenidos se sintetizan en la tabla 4.

| Edición | Nº de imágenes | $E_{min.(px)}$ | $E_{máx.(px)}$ | $E_{p(px)}$ |
|---------|----------------|----------------|----------------|-------------|
| Primera | 42 | 10,9 | 37,1 | 21,2 |
| Segunda | 30 | 4,8 | 31,1 | 22,9 |

$E_{min.(px)}$: Error mínimo obtenido (píxeles); $E_{máx.(px)}$: Error máximo obtenido (píxeles) $E_{p(px)}$: Error promedio mínimo (píxeles)

Tabla 4: Tabla síntesis de errores obtenidos en el proceso de georreferenciación.

De este modo se puede considerar en cada momento la idoneidad de la calidad del resultado obtenido y, si es necesario, rechazar el producto de la georreferenciación volviendo a realizar todo el proceso. En la figura 2 se muestra un ejemplo de los citados informes.

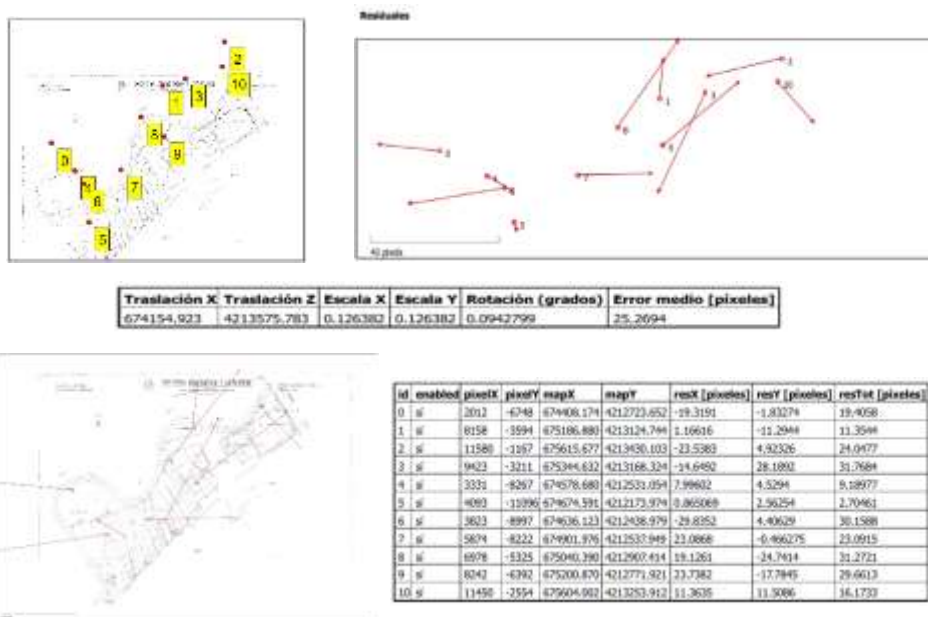


Figura 2: Ejemplo del resultado obtenido del proceso de georreferenciación de una imagen ráster procedente del escaneado del Mapa Topográfico Nacional Parcelario primera edición (1950-1957) de un sector de la Vega Media del Segura (Murcia). Fuente: elaboración propia.

La última fase del estudio consiste en la elaboración de una imagen única y continua, para cada una de las ediciones de la cartografía histórica manejada, que ofrece una visión global del área de estudio de gran interés para la realización de estudios del territorio. Para generar el mosaico continuo del Plano Parcelario se utiliza el software Global Mapper, v.12, con el que se recorta cada imagen de manera individual y se van "ensamblando" sucesivamente todas las imágenes, previamente georreferenciadas, hasta completar la extensión del área de estudio. La figura 3 muestra un ejemplo de la unión de dos de estos ficheros.

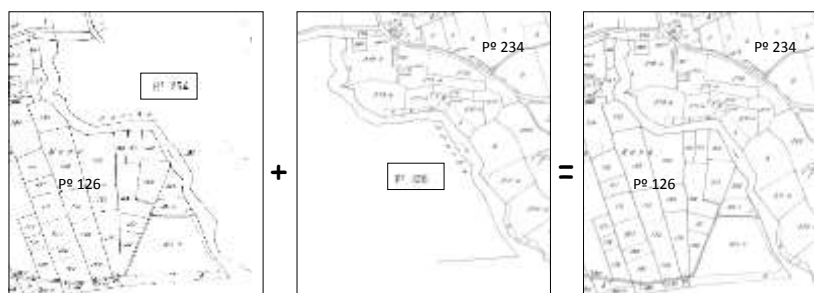


Figura 3: Unión de polígonos catastrales para generar un fichero único en un sector del trazado del cauce del río Segura. Fuente: Elaboración propia a partir del procesado de cartografía histórica.

La generación de una imagen única para cada edición sirve de base, en este caso, para la digitalización sobre pantalla del trazado del río. La comparación de las imágenes georreferenciadas así obtenidas para distintas fechas hace posible un estudio más preciso de los cambios de geometría en planta del Bajo Segura en la VMRS durante un periodo determinado. Cada imagen ráster (figura 4), en formato ECW, concentra en un sólo fichero toda la información, evitando la necesidad de abrir secuencialmente cada una de las imágenes que configuran la zona de estudio.

En el caso de la cartografía histórica 1:25.000 correspondiente al Mapa Topográfico Nacional Parcelario, no ha sido posible realizar el mosaico debido a la imposibilidad de “encajar” adecuadamente sus límites por las características propias de las representaciones gráficas que contienen. Si se trataran de unir forzando la concordancia de puntos de control, se incrementaría la deformación que ya presentan y se producirían deformaciones artificiales que no corresponderían a la realidad.

6. CONCLUSIONES

La georreferenciación de documentos de cartografía antigua es una tarea compleja que requiere gran esfuerzo y experiencia. Su principal finalidad es corregir los problemas que producen errores en la posición de los elementos geográficos, y ello exige tener en cuenta los errores y deformaciones en el papel original que hacen variar la escala en diferentes direcciones, los posibles errores geométricos debidos a los instrumentos y técnicas aplicados en su elaboración y el grado de idoneidad de los dispositivos de captura y aplicaciones informáticas. El procedimiento propuesto en el presente estudio ha permitido obtener una excelente calidad en el producto cartográfico final, totalmente necesaria para cubrir uno de los principales objetivos iniciales: analizar la evolución de la geometría en planta del Bajo Segura en la VMRS en su época histórica reciente (siglos XIX y XX). Los resultados obtenidos con la aplicación de Quantum GIS, en relación al grado de deformación de cada uno de los puntos y el error medio de la transformación aplicada (Transformación Bidimensional Conforme de las imágenes, Transformación Helmert), demuestran que el ajuste geométrico en las series continuas de mapas y planos generados es bastante aceptable y que las deformaciones más significativas asociadas a la representación local en papel han podido ser corregidas, particularmente en el caso del Plano Parcelario del IGC (Instituto Geográfico Catastral), escalas 1/2.000 y 1/5.000, ediciones 1ª (1955) y 2ª (1980). Además, la alta resolución de escaneo dada a los documentos originales (600 ppp) no sólo ha facilitado el proceso de digitalización sino que también ha logrado reducir sustancialmente la degradación de la calidad de los mapas finales. Otra importante ventaja de Quantum GIS, también aprovechada, es la posibilidad de acceder a información remota mediante servidores Web Map Service del OGC. En concreto, a través de WMS se ha accedido a ortofotogramas del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), 2011, que han servido de gran ayuda en el proceso de georreferenciación. Finalmente, con el ensamblado de todas las imágenes previamente georreferenciadas y la creación de un mosaico continuo del Plano Parcelario se aporta un material cartográfico más completo y preciso, con aplicaciones muy diversas para el área de estudio.

7. AGRADECIMIENTOS

El presente artículo ha sido realizado en el marco del proyecto DYCAM-SEG, “Dinámica y cambios morfológicos recientes del Bajo Segura (Vega Media)”, financiado por la Fundación Séneca, Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia, Referencia 15224/PI/10.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cortés José, J. (1997): “Cartografía Histórica de Andalucía. Asociación de imágenes a un gestor documental. Catálogo de cartografía histórica multimedia”. *Congreso Internacional sobre Sistemas de Información Histórica*. 203-211.

Dávila Martínez, F. J. y Camacho Arranz, E.: (2012): "Georreferenciación de documentos cartográficos para la gestión de archivos y cartotecas "Propuesta Metodológica". *Revista Catalana de Geografia. Revista digital de geografia, cartografia i ciències de la Terra IV època, Vol. XVII, núm. 46, 1-9.* <http://www.rcg.cat/articles.php?id=257> (fecha consulta 16/12/2015)

Goy, J.L., Zazo, C., Somoza, L. and Dabrio, C.J. 1989. The neotectonic behaviour of the Lower Segura River Basin during the Quaternary Palaeogeographical meaning of the "Conglomerates of the Segura". *Bulletin of the INQUA Neotectonics Commission 12, 14-17.*

Martín Patino, J.M.; Blanco, A.; Chueca, A. Bombardieri, G. Herreros, T.; Manzanero, B. (2012): *Informe España, 2012. Una interpretación de su realidad social.* Editorial: Fundación Encuentro. Madrid, 292 P.

Montenat, C. (1977): "Les bassins néogènes et quaternaires du Levant d' Alicante a Murcie (Cordilleres bétiques orientales, Espagne). Stratigraphie, paléontologie et évolution dynamique". *Docum. Lab. Géol. Univ. Lyon, 63: 1-345.*

Moreno Vergara, G. y Cortés José, J. (2011): "La exactitud posicional de la cartografía histórica". *Revista ph. núm 77. 62-65*

Pérez Álvarez, J.A y Ballell Caballero, JA. (2015): *Transformaciones de coordenadas.* Editorial Bellisco. Madrid. 250 P.

Ramos, N. y Roset, R.: (2012): "Georeferenciación de mapas antiguos con la ayuda de usuarios" *Revista Catalana de Geografia. Revista digital de geografia, cartografia i ciències de la Terra IV època, vol. XVII, núm. 46.* <http://www.rcg.cat/articles.php?id=257> (fecha consulta 18/12/2015)

Rodríguez-Estrella, T., Hernández-Henrile, J.L. and Ibargüen, J. (1999): Neotectónica y tectónica activa en la depresión pliocuaternaria del Segura (Murcia-Orihuela). *1er. Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica: Murcia; vol. I, pp 53-63.*

Romero Fernández, M.: (2014) *Proceso de georreferenciación de la Cartografía histórica.* <http://www.expobus.us.es/cartografia/salas/sala12/georreferenciacion.html> (fecha consulta 18/01/2014).

Roset, R. y Ramos, N. (2012): "Georreferenciación de mapas antiguos con herramientas de código abierto". *Revista Catalana de Geografia, Revista digital de geografia, cartografia i ciències de la Terra IV època, Volum. XVII, núm. 45.* <http://www.rcg.cat/articles.php?id=237> (Fecha consulta 2/10/2015).

Sánchez Menéndez, F.J. (2004): *Georreferenciación de cartografía: datos ráster y vectoriales.* EOSGIS, S.L. 296

P.Uribelarrea, D., Pérez González, A. y Benito, G. (2003): "Channel changes in the Jarama and Tagus rivers (central Spain) over the past 500 years". *Quaternary Science Reviews, 22: 2209–2221.*

VIABILIDAD DE IMÁGENES LANDSAT (ETM+ Y OLI) PARA LA DETERMINACIÓN DE CONFLICTOS DE USO DE LA TIERRA EN EL CANTÓN PORTOVIEJO, ECUADOR

Francisco D. Cabrera-Torres¹, María J. López-García²

¹ LUTOPSA S.A., Departamento de Geomática, Pio Valdivieso E5-33 e Isla Seymour, 170111, Quito-Ecuador.
franchesco_c7@hotmail.com

² Universitat de València, Departament de Geografia, Av. Blasco Ibañez 28, 46080, Valencia-España.
María.j.Lopez@uv.es

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es analizar la viabilidad de imágenes Landsat para la obtención de cartografía referente a cobertura y uso de las tierras a diferentes escalas espaciales, de cara a determinar los conflictos de uso, útiles en la gestión territorial.

El área de estudio elegida corresponde al cantón Portoviejo, ubicado en la región Costa del Ecuador, el cual posee una superficie de 961 km² aproximadamente y una población de 280.000 habitantes. Los usos predominantes son de tipo forestal y agrícola, estos últimos se extienden en los valles fluviales de los ríos Portoviejo, Chico, La Tranca y Mancha Grande.

Se han aplicado técnicas de clasificación digital utilizando imágenes Landsat ETM+ y OLI, con diferentes niveles de procesamiento (cuentas digitales, ρ_{SUP} «COST» según modelo de Chávez, ρ_{SUP} «fusión de imágenes» haciendo uso de la banda pancromática y ρ_{SUP} «LEDAPS»), y leyendas temáticas definidas a diferentes escalas (1:25.000, 1:50.000 y 1:100.000).

La evaluación de resultados determinó que el producto óptimo fue derivado del clasificador de redes neuronales, mediante el uso de imágenes de ρ_{SUP} «LEDAPS» del sensor OLI, para una escala 1:100.000. Mediante la comparación de este producto con el mapa de Capacidad de Uso de las Tierras (basado en la metodología de Klingebiel y Montgomery) se generó el mapa de Conflictos de Uso, donde se evidencia que un 55% de las tierras del cantón están utilizadas de forma correcta.

Palabras clave: Landsat; Cobertura y uso de las tierras; Conflictos de Uso de las Tierras; Ledaps; Teledetección.

ABSTRACT

The aim of this paper is to assess the feasibility of using Landsat images to obtain coverage and land use maps at different spatial scales, to determine conflicting uses, information that is valuable in land management.

The zone of study is the canton Portoviejo, located in the coastal region of Ecuador, which has an area of 961 km² and a population of 280.000 inhabitants. Its predominant uses are forestry and agriculture, the latter occupying the valleys of the rivers Portoviejo, Chico, La Tranca and Mancha Grande.

We have applied image classification techniques using Landsat ETM+ and OLI with different levels of processing (digital accounts, ρ_{SUP} «COST» according to Chavez model, ρ_{SUP} «image fusion» using panchromatic band and ρ_{SUP} «LEDAPS») and several thematic legends at different scales (1:25.000, 1:50.000 and 1:100.000).

Optimal product was derived from the neural network classifier, using images of ρ_{SUP} «LEDAPS» from OLI sensor, for a scale of 1:100.000. A conflicting land use map was generated by confronting this product with the capacity of land use (based on the methodology Klingebiel and Montgomery). The results suggest that 55% of the lands of the canton are used correctly.

Keywords: Landsat; Coverage and land use; Conflicts of land use; Ledaps; Remote sensing.

1. INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios en los años 70s, el proyecto Landsat, concebido para la cartografía y evaluación de los recursos naturales, puede considerarse el más fructífero de la teledetección espacial para aplicaciones civiles. El uso de las imágenes multispectrales de los sensores MSS, TM y ETM en la temática de cobertura y uso de las tierras queda patente por el gran número de trabajos ejecutados durante más de cuatro décadas, destacando en Europa su utilización en el Proyecto CORINE – *Land Cover* «Cobertura de la Tierra» (EEA, 2015). Recientemente, la liberación del archivo histórico de imágenes Landsat por el USGS y el desarrollo de productos pre-procesados incrementan, sin duda, sus posibilidades de aplicación.

Una de los grandes interrogantes cuando se trabaja con teledetección es definir la escala cartográfica que tendrán los productos derivados a partir de las imágenes. Específicamente las imágenes Landsat de resolución espacial 30 m presentan su máximo potencial para escala 1:100.000 [Lencinas y Siebert, 2009], sin embargo son escasos los documentos que ponen de manifiesto las precisiones alcanzadas a diferentes escalas.

Para extraer cartografía temática a partir de imágenes multispectrales, con frecuencia se utilizan dos técnicas complementarias, la primera basada en un análisis cuantitativo y la segunda en una interpretación visual [Richards y Jia, 2006]. El primer caso trata de la aplicación de clasificaciones digitales que engloban tres fases: entrenamiento, asignación [Chuvieco, 2010] y verificación [Congalton, 1991].

Las unidades cartográficas de cobertura y uso de las tierras, sumadas a las variables del medio físico (geomorfología, suelos, clima, etc.) suelen quedar fuera del alcance de los encargados de la planificación territorial, ya sea por la dificultad de su lectura o por la necesidad imperiosa de solucionar problemas de gestión. Por ende se requiere contar con productos de síntesis útiles para el planificador [Sánchez *et al.*, 1984], entre los que se destaca la cartografía de Conflictos de Uso de las Tierras. Esta cartografía representa la discrepancia entre el uso actual de las tierras y la vocación de las mismas [Rossiter, 1996], expresada mediante la Capacidad de Uso de las Tierras (CUT). La teledetección coadyuva a la obtención de este producto ya que permite la actualización de variables dinámicas, especialmente la cobertura vegetal.

Este trabajo tiene como objetivo general analizar la viabilidad de las imágenes Landsat para generar cartografía de cobertura y uso de las tierras, y la determinación de Conflictos de Uso en el cantón Portoviejo (Ecuador). Se han aplicado varios clasificadores digitales utilizando diferentes escalas de trabajo e imágenes Landsat con diferentes niveles de procesado, a fin de determinar cuál es el producto óptimo. La bondad del método se ha establecido a partir de observaciones verdad – terreno. Posteriormente se elaboró una cartografía de CUT en base a la categorización presentada por Klingebiel y Montgomery. Para finalizar se confrontó este mapa con la cartografía de cobertura permitiendo establecer el producto de síntesis de Conflictos de Uso.

La elección de la zona de estudio fue en base a tres razones, la primera radica en la actividad económica del cantón, la cual se centra en la agricultura y ganadería, pese a que los suelos predominantes son los inceptisoles (pobre desarrollo). La segunda razón se basa en que el actual Gobierno de la República del Ecuador viene trabajando en alcanzar el “*buen vivir*”, lo cual se puede lograr dando un soporte adecuado sobre todo en aquellas áreas donde no existe un correcto uso de las tierras, y en último lugar, es por la disponibilidad de información (imágenes satelitales y cartografía temática).

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cobertura y uso de las tierras

Estos dos términos son altamente similares y su importancia es notoria al momento de realizar planificación y/o modelación [Townshend, 1992]. Según la FAO (2005) el primer término significa “*la cobertura biofísica que se observa sobre la superficie de la Tierra*” y el segundo lo define como “*los arreglos, actividades e insumos que el hombre emprende en un cierto tipo de cobertura de la tierra para producir, cambiarla o mantenerla*”.

Estas variables son incorporadas en una leyenda, la cual define de una manera clara cada una de las clases y sus relaciones para un área específica. Además presenta una alta dependencia con la escala y con el tipo de datos (fotografías aéreas o imágenes satelitales).

2.2 Imágenes satelitales

Diversas son las plataformas que incorporan sensores para captar información de la superficie terrestre, sin embargo la presente comunicación se centrará en analizar los datos obtenidos de la serie Landsat, misma que está gestionada por la NASA y la USGS, y una de sus ventajas es su base de datos histórica [IGAC, 2013].

Adquirir y/o descargar datos capturados por los sensores requiere una serie de procesos para eliminar anomalías existentes, permitiendo disponer de datos en la forma más cercana posible a una adquisición idónea [Chuvieco, 2010]. A manera de ejemplo se puede citar el daño permanente ocurrido a partir del 31 de mayo de 2003 en el SLC «Sistema Corrector de Líneas» del Landsat 7, a partir del cual se siguen generando múltiples investigaciones orientadas a mitigar este desperfecto [Saldarriaga, 2014].

El nivel de procesamiento de la imagen adquirida estará siempre en función de los objetivos del trabajo. En ocasiones se puede utilizar únicamente las cuentas digitales, y en otras, es necesario la obtención de valores de reflectividad, la cual nace de la relación entre la energía reflejada por cualquier material y la energía incidente, siendo de carácter adimensional [Sobrino *et al.*, 2000]. Cabe destacar que métodos como el realizado por Chávez (1996) permite la obtención de dichos valores a partir de los datos de la propia imagen.

Por otro lado la NASA administra en la actualidad el proyecto LEDAPS, basado en la utilización de imágenes Landsat para la obtención de valores de reflectividad de superficie, con la finalidad de facilitar estudios de detección de cambios, sin embargo soporta múltiples usos [Masek *et al.*, 2006].

2.3 Clasificaciones digitales

Las clasificaciones digitales son utilizadas como una alternativa a la interpretación visual, donde se compendian los datos proporcionados por las bandas espectrales de una imagen, generando una escena denominada como “*mapa temático*” [Sobrino *et al.*, 2000].

Una división tradicional se basa en el tipo de aprendizaje, subyaciendo el método supervisado y no supervisado, en el primero se definen las muestras de entrenamiento por parte del analista, siendo determinante durante el proceso; Jensen (1996) propone que el tamaño fluctúe entre 10 veces el número de bandas espectrales y 100 veces. El segundo método se basa en un proceso automático que divide la imagen en regiones.

El método supervisado presenta clasificadores paramétricos (mínima distancia, distancia de mahalanobis, etc.) y no paramétricos (redes neuronales, paralelepípedo, etc.), los primeros consideran que las funciones discriminantes sigan una distribución normal multidimensional, caso contrario los segundos trabajan bajo estimaciones directas [García, 2014].

Es aconsejable que todo producto sea sometido a una evaluación de los resultados para garantizar la fiabilidad del mismo. Congalton (1991) propone la elaboración de muestras de testeo (diferentes a las muestras de entrenamiento) para este propósito, considerando que su dimensión debe ser mínimo de 50 *píxeles* por cada categoría. A partir de esto nacen diferentes métricas de evaluación, siendo la más común la matriz de error.

2.4 Capacidad y conflictos de uso de las tierras

Klingebiel y Montgomery (1961) mencionan que la CUT es una evaluación basada en el principio de la máxima intensidad de uso soportable, sin causar deterioro físico del suelo. Estos investigadores diseñaron una metodología flexible a diferentes condiciones físico – ambientales locales, por ende es la más utilizada hasta la actualidad.

La mencionada propuesta nace del análisis de las variables: geomorfología, suelos y clima, y deriva clases agrupadas dependiendo de las limitaciones, siendo la clase I aquella que es apta para cultivos con limitaciones nulas y la clase VIII presenta una vocación para usos de tipo conservación y protección [IEE, 2012a].

Los Conflictos de Uso de las Tierras hace referencia a situaciones donde las clases de CUT no son aprovechadas de acuerdo a su vocación (Rossiter, 1996). Este producto tiene por finalidad la toma de decisiones encaminadas a un desarrollo sostenible, disminuyendo el uso inadecuado de tierras [IGAC-CORPOICA, 2002].

3. ÁREA DE ESTUDIO

El cantón Portoviejo está ubicado al Oeste del Ecuador Continental, en la provincia de Manabí (Figura 1), se encuentra delimitada por las coordenadas 80°34'52,4" W, 0°47'38,9" S y 80°0'39,3" W, 1°11'41,9" S, cubre una extensión de 962,11 km², y actualmente cuenta con 280.000 habitantes aproximadamente.

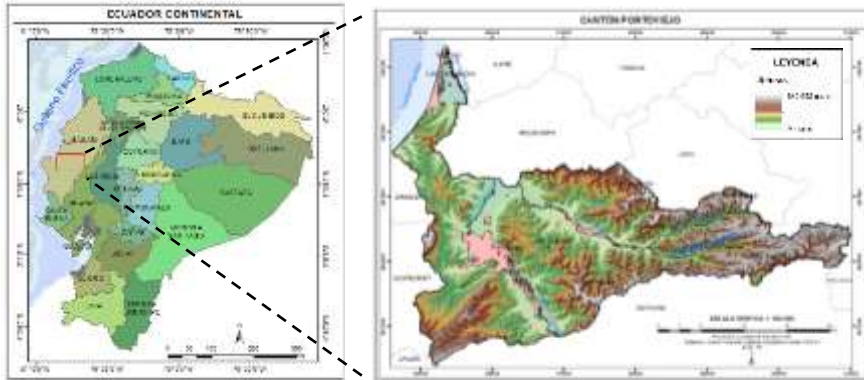


Figura 1. Ubicación geográfica del cantón Portoviejo. Fuente: Elaboración propia en base a información libre.

Los afluentes principales del cantón son los ríos Portoviejo, Chico, La Tranca y Mancha Grande, siendo en sus valles donde se concentra la mayor cantidad de actividad agrícola. El rango altitudinal fluctúa entre 0 y 640 m.s.n.m., la temperatura entre 23 y 26° C, correspondiendo a una zona cálida, y las precipitaciones medias anuales van de los 300 a 1000 mm (IEE, 2012b).

Geomorfológicamente el cantón se subdivide en dos zonas, al Este se encuentran los relieves estructurales, con pendientes superiores al 12%, y al Oeste los relieves colinados terciarios, con pendientes inferiores al 40%. Los suelos predominantes dentro del cantón son inceptisoles, lo que quiere decir que tienen una evolución incipiente de desarrollo pedogenético [Jaramillo, 2002].

4. METODOLOGÍA

La información tanto primaria como secundaria utilizada se resume en la Tabla 1. Los datos empleados fueron descargados de fuentes oficiales que permiten el uso adecuado de los mismos.

| Insumo | Fuente | Escala/Resolución espacial | Fecha del insumo | Formato |
|------------------------------|-----------------------|----------------------------|------------------|---------|
| Imagen Landsat 7 | USGS (GLOVIS) | 30 m (PAN 15 m) | 27/03/2011 | GeoTiff |
| Imagen Landsat 8 | USGS (GLOVIS) | 30 m (PAN 15 m) | 02/08/2014 | GeoTiff |
| Imagen Landsat 7 psup | USGS (Earth Explorer) | 30 m (PAN 15 m) | 27/03/2011 | GeoTiff |
| Imagen Landsat 8 psup | USGS (Earth Explorer) | 30 m (PAN 15 m) | 02/08/2014 | GeoTiff |
| Cartografía Base | IGM | 1:50.000 | 14/01/2013 | Shp |
| Cobertura y uso de la tierra | IEE | 1:25.000 | --/12/2012 | Jpg |
| Geopedología | IEE | 1:25.000 | --/12/2012 | Gdb |
| Límites administrativos | INEC (SNI) | 1:50.000 | --/12/2012 | Shp |

Tabla 1. Compendio de información primaria y secundaria. Fuente: Elaboración propia.

Toda la información recopilada fue estandarizada bajo un mismo sistema de coordenadas (WGS84, UTM Zona 17S) y enmarcada en un mismo espacio geográfico. Cabe destacar que la selección de imágenes se realizó evitando al máximo la presencia de nubes, siendo una tarea compleja debido a que el cantón se ubica en la Zona de Convergencia Intertropical [Vargas, 2002]. Posterior a esto se definieron tres leyendas temáticas para las diferentes escalas de trabajo (1:25.000, 1:50.000 y 1:100.000) tomando como referencia la leyenda elaborada por el IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano).

Las imágenes descargadas son de tipo L1T, esto quiere decir que poseen una corrección geométrica basada en puntos de control y modelos digitales del terreno. En base a esto se han derivado varias escenas con distintos niveles de procesamiento: cuentas digitales, ρ_{SUP} «COST» según modelo de Chávez, ρ_{SUP} «fusión de imágenes» y ρ_{SUP} «LEDAPS», las cuales fueron utilizadas en la fase de clasificaciones digitales.

Las imágenes pertenecientes al sensor OLI fueron restauradas mediante una interpolación simple debido al bandeo que presentan las mismas. Además todas las imágenes empleadas fueron enmascaradas en aquellos sitios donde presentan nubes, mediante la máscara presentada por LEDAPS.

Una vez obtenidas las cuatro imágenes del sensor ETM+ y OLI se procede con la fase de extracción de información, esto es, la realización de la cartografía temática a múltiples escalas. Para esto se definen inicialmente las muestras de entrenamiento, las cuales deben representar fidedignamente a cada clase.

Previo a las clasificaciones digitales supervisadas se realizó un análisis de separabilidad espectral (distancia Jeffries-Matusita) y posterior a las mismas se efectuó un análisis post clasificación para evaluar la bondad de cada resultado, haciendo uso de la matriz de confusión. A partir de esto se seleccionó el producto óptimo, el cual se emplea para la derivación de la cartografía de síntesis.

La obtención del mapa de CUT se realizó en base a las clases presentadas por Klingebiel y Montgomery (1961), debido a que en la actualidad poseen amplia difusión mundial y son fácilmente adaptables a condiciones locales [De La Rosa, 2008].

El modelo empleado fue el diseñado por el Programa de Regularización y Administración de Tierras Rurales (PRAT), el cual se basa en la modificación continua de las clases de CUT por cada variable analizada mediante el uso de matrices iterativas de doble entrada. Las variables empleadas son representadas en la *Tabla 2* y las mismas poseen un orden jerárquico. El desarrollo de este proceso puede ser visualizado en Cabrera (2015).

| No. | Temática | Variable biofísica |
|-----|---------------|---------------------|
| 1 | Geomorfología | Pendientes |
| 2 | Suelos | Profundidad |
| 3 | | Textura superficial |
| 4 | | Pedregosidad |
| 5 | | Drenaje |
| 6 | | Inundabilidad |
| 7 | | Fertilidad |
| 8 | | Salinidad |
| 9 | Toxicidad | |
| 10 | Clima | Humedad |
| 11 | | Temperatura |

Tabla 2. Variables biofísicas empleadas para la obtención de las CUT. Fuente: Modificado de IEE (2012c).

Por último para determinar los Conflictos de Uso se realizó una comparación entre los mapas de cobertura de las tierras y CUT (*Tabla 3*), dando lugar a tres tipos de zonas: sin conflictos «SinC», subutilizadas «Sub» y sobreutilizadas, en esta última se hizo una discriminación en base al grado de afectación al suelo (alto «SobA», medio «SobM» y bajo «SobB»), siguiendo los lineamientos presentados por IGAC-CORPOICA (2002b).

| Cobertura de Tierras | Clases de CUT | | | | | | | |
|-------------------------------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII |
| Bosque nativo | SinC | SinC | SinC | SinC | SinC | SinC | SinC | SinC |
| Cultivo anual | SinC | SinC | SinC | SobB | SobB | SobM | SobA | SobA |
| Cultivo permanente y semipermanente | SinC | SinC | SinC | SinC | SinC | SobB | SobM | SobA |
| Pastizal | Sub | Sub | Sub | SinC | SinC | SobM | SobA | SobA |
| Plantación forestal | Sub | Sub | Sub | SinC | SinC | SinC | SobB | SobM |
| Vegetación arbustiva | Sub | Sub | Sub | Sub | Sub | Sub | SinC | SinC |
| Vegetación herbácea | Sub | Sub | Sub | Sub | SinC | SobB | SobM | SobA |

Tabla 3. Matriz de decisión para la obtención de Conflictos de Uso de las Tierras. Fuente: Modificado de IGAC-CORPOICA (2002b).
A modo de resumen, en la *Figura 2* se presenta un mapa conceptual que sintetiza la metodología utilizada y expuesta en este apartado, el mismo que puede ser replicado en otras zonas de estudio.

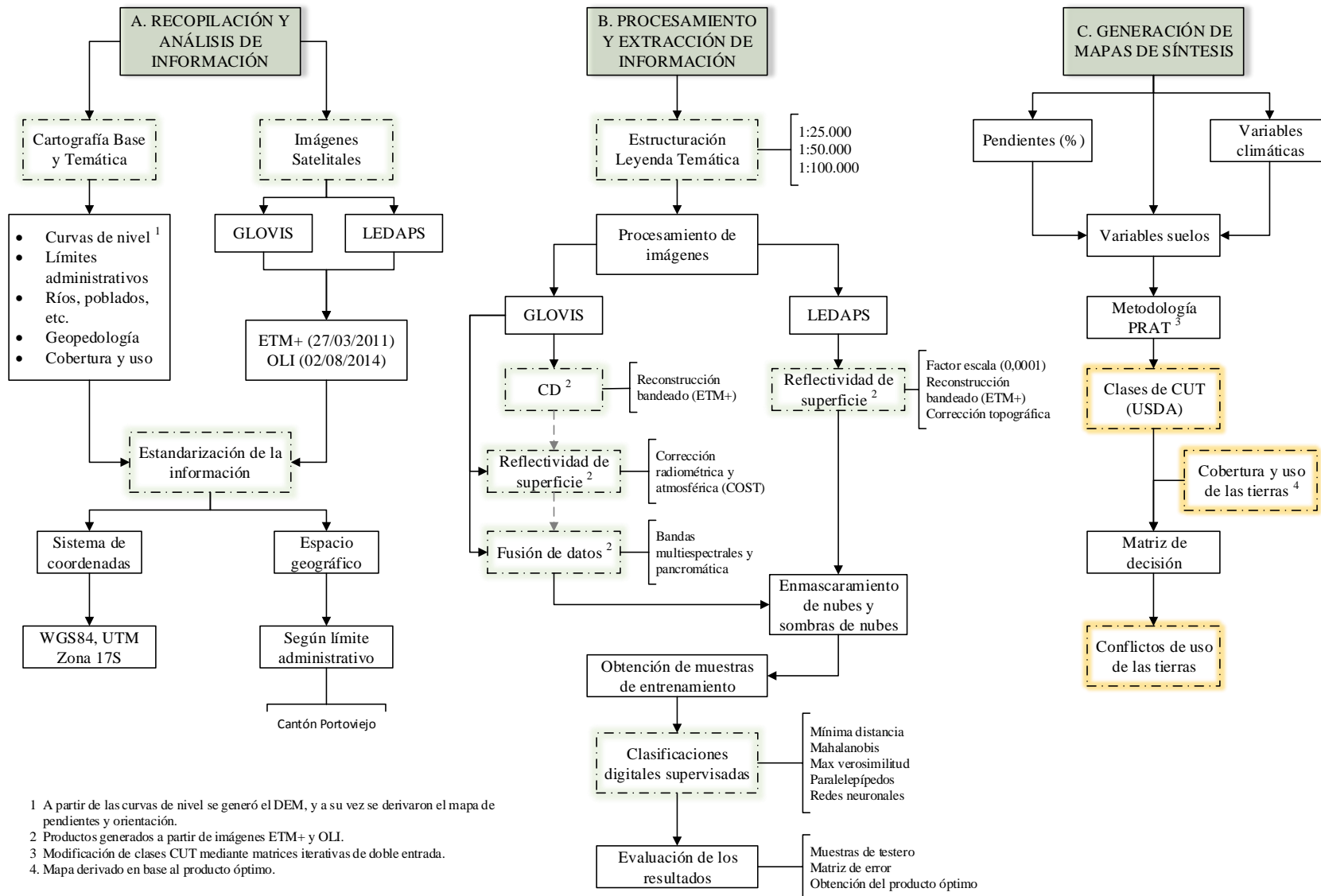


Figura 2. Mapa conceptual de la metodología del trabajo. Fuente: Elaboración propia.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una de las técnicas aplicadas sobre las imágenes ETM+ SLC-off es la corrección del bandeo, la cual fue llevada a cabo mediante una interpolación simple, la cual presenta los mejores resultados debido a la alta presencia de nubes dentro de la zona.

Una característica en común de las imágenes utilizadas es que la banda azul representa las reflectividades más bajas y el infrarrojo cercano las más altas, pudiendo deberse el primer caso a la dispersión atmosférica y el segundo a que existe una alta cantidad de vegetación.

Los productos obtenidos a partir de las imágenes provenientes del visualizador GLOVIS son las CD, ρ_{sup} mediante el método COST y por último la ρ_{sup} a partir de la fusión de datos, esta última fue realizada entre las bandas multispectrales y la banda pancromática mediante la técnica Gram-Schmidt debido a que dio un ERGAS de 3,5.

Una vez definidas las muestras de entrenamiento y los productos tanto de LEDAPS como de GLOVIS se realizó un análisis de separabilidad espectral (Jeffries-Matusita), donde los resultados son presentados en la *Tabla 4*. Las cifras presentadas son porcentajes derivados de aquellos pares de clases que poseen un valor superior a 1,8, evidenciándose una buena separación espectral en los cuatro productos de la imagen OLI para escalas 1:50.000 y 1:100.000.

| Imágenes | 1:25.000 | | 1:50.000 | | 1:100.000 | |
|-----------------------|----------|-------|----------|--------------|-----------|--------------|
| | ETM+ | OLI | ETM+ | OLI | ETM+ | OLI |
| CD | 23,69 | 73,84 | 41,91 | 85,71 | 42,86 | 89,29 |
| ρ_{sup} (COST) | 23,39 | 73,84 | 40,95 | 87,62 | 46,43 | 92,86 |
| ρ_{sup} (Fusión) | 18,46 | 72,00 | 26,67 | 87,62 | 39,29 | 92,86 |
| ρ_{sup} (LEDAPS) | 21,85 | 72,31 | 41,91 | 86,67 | 46,43 | 92,86 |

Tabla 4. Porcentaje de pares de clase con distancia Jeffries-Matusita superior a 1,8. Fuente: Elaboración propia.

Posterior a esto se realizó las clasificaciones supervisadas, donde cada uno de los productos fueron evaluados (precisión global «OA» e índice kappa «k») en base a las muestras de testeo, donde el mejor resultado (producto óptimo) es el derivado de la imagen LEDAPS capturada por el sensor OLI, aplicando el clasificador de redes neuronales para una escala 1:100.000 (*Tabla 5*).

| Clasificadores | 1:25.000 | | | | 1:50.000 | | | | 1:100.000 | | | |
|----------------------|----------|------|--------------|-------------|----------|------|--------------|-------------|-----------|------|--------------|-------------|
| | ETM+ | | OLI | | ETM+ | | OLI | | ETM+ | | OLI | |
| | OA | K | OA | K | OA | K | OA | K | OA | K | OA | K |
| Paralelepípedo | 13,40 | 0,11 | 18,74 | 0,16 | 26,10 | 0,21 | 30,27 | 0,27 | 24,55 | 0,11 | 22,90 | 0,10 |
| Mínima distancia | 19,46 | 0,16 | 32,90 | 0,28 | 31,08 | 0,26 | 64,04 | 0,60 | 39,55 | 0,31 | 56,31 | 0,49 |
| Mahalanobis | 24,53 | 0,20 | 33,73 | 0,29 | 42,86 | 0,37 | 63,68 | 0,60 | 43,25 | 0,35 | 69,39 | 0,64 |
| Máxima verosimilitud | 28,15 | 0,24 | 48,90 | 0,45 | 51,70 | 0,47 | 72,71 | 0,69 | 55,89 | 0,48 | 76,74 | 0,72 |
| Redes neuronales | 46,91 | 0,39 | 62,40 | 0,57 | 60,54 | 0,55 | 78,95 | 0,76 | 61,35 | 0,51 | 86,02 | 0,83 |

Tabla 5. Evaluación de las clasificaciones digitales en base a las imágenes de ρ_{sup} (LEDAPS). Fuente: Elaboración propia.

Es preciso detallar que el producto óptimo presenta un intervalo de fiabilidad entre el 85,4 y 86,6% para un nivel de significancia del 95%. En la *Figura 3* se exhibe el mapa derivado, en donde se puede observar que adicional a la categoría de cobertura vegetal se ha definido el uso o la actividad que se le da a la tierra, predominando las clases de conservación y protección, y la agrícola.

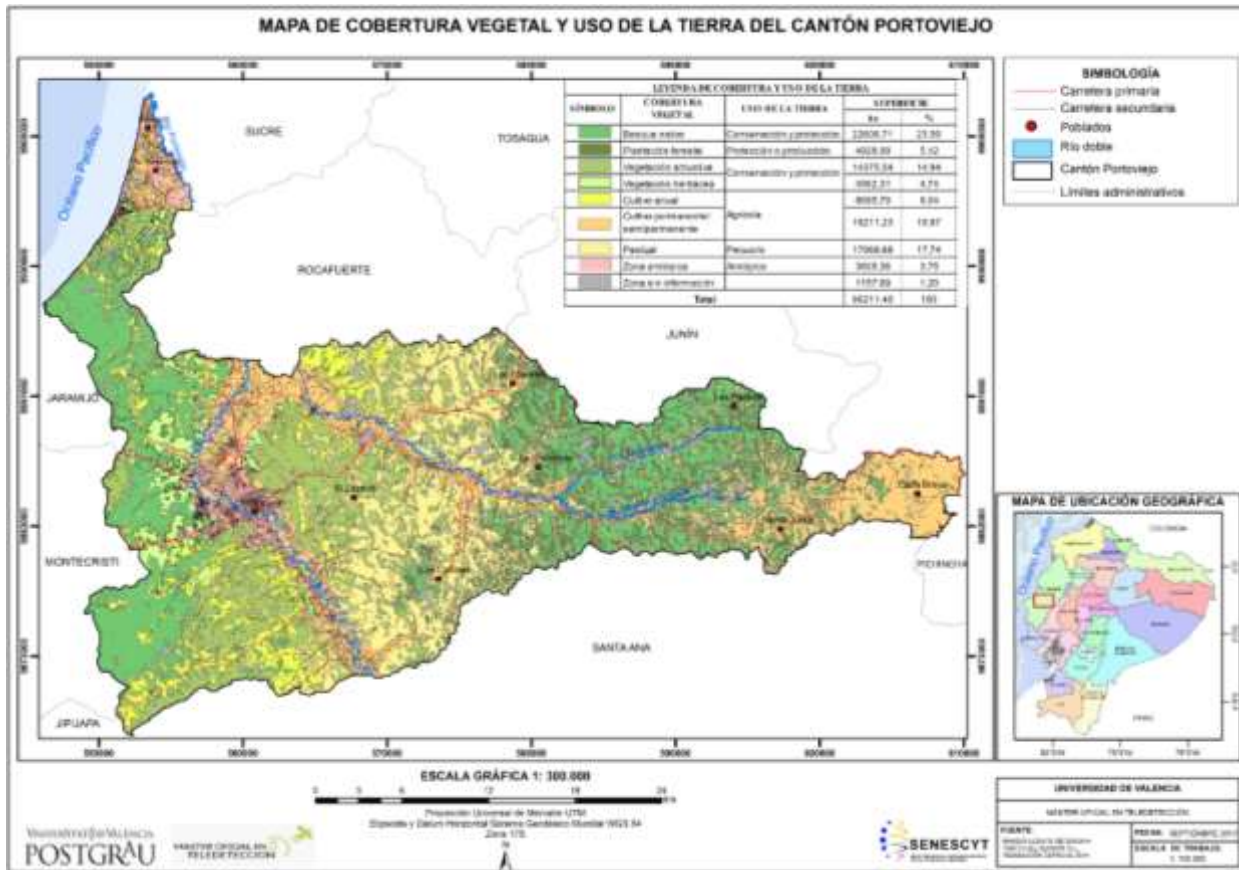


Figura 3. Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra. Fuente: Elaboración propia en base a imagen LEDAPS (sensor OLI).

Por otro lado se generó el mapa de CUT en donde existe una predominancia de las clases VII y IV con porcentajes aproximados del 33% y 22% del total de la zona de estudio respectivamente. Cabe mencionar que la clase «No aplicable» representan a ríos y poblados, los mismos que constaban en la cartografía obtenida del geoportal del IEE. La no existencia de la Clase I se debe a que las unidades temáticas no cumplen con las condiciones básicas (pendiente plana, suelo profundo, textura franco o franco limoso, etc.).

| Clase | Descripción | Área (ha) | Área (%) |
|-------|--|-----------|----------|
| II | Tierras con algunas limitaciones que pueden ser utilizadas para el desarrollo de actividades agropecuarias o forestales, con pendientes menores al 5% donde se requiere prácticas de manejo. | 9.135,92 | 9,50 |
| III | Tierras con severas limitaciones que requieren de prácticas de manejo de suelos y agua, además se reduce la posibilidad de elección de cultivos anuales a desarrollar. | 12.032,89 | 12,51 |
| IV | Tierras con muy severas limitaciones que requieren de tratamiento especial en cuanto a labores de maquinaria o permiten un laboreo ocasional, admiten cultivos siempre y cuando haya prácticas de manejo y conservación. | 21.533,56 | 22,38 |
| V | Tierras que requieren de un tratamiento especial en cuanto a labores con maquinaria, se limita el uso de cultivos intensivos, son aptas sobre todo para pastos o bosques. | 1.847,55 | 1,92 |
| VI | Tierras de pendientes media a fuerte que restringen el uso de maquinaria, son aptas para aprovechamiento forestal y ocasionalmente para pastos. | 8.035,00 | 8,35 |
| VII | Tierras con severas limitaciones para el laboreo especialmente por sus pendientes fuertes, con condiciones favorables para uso forestal de conservación. | 32.271,13 | 33,54 |
| VIII | Tierras destinadas a vegetación arbustiva y/o arbórea con fines de protección, presentan pendientes superiores al 70% que impiden cualquier tipo de actividad. | 7.052,66 | 7,33 |
| --- | No aplicable | 4.302,69 | 4,47 |

Tabla 6. Clases de CUT en el cantón Portoviejo. Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar fueron determinados los Conflictos de Uso de las Tierras en base a la matriz de comparación (Tabla 3) entre las cartografías de cobertura de las tierras y CUT. A continuación se presentan las superficies por cada tipo de conflicto y una breve descripción de las categorías.

| Categoría | | Descripción | Área (ha) | Área (%) |
|----------------------|-------|--|-----------|----------|
| Sin Conflicto | | Tierras donde el uso actual concuerda con la CUT, garantizando la sustentabilidad del recurso suelo. | 52.876,43 | 54,96 |
| Subutilizado | | Tierras donde el uso actual no corresponde a su potencialidad natural, desarrollando actividades de uso de inferior potencial a la CUT, considerándose como un déficit de productividad. | 12.129,94 | 12,61 |
| Sobreutilizado | Bajo | Tierras en donde el uso actual excede la CUT, originando degradación mínima en el suelo y baja relación beneficio – costo. | 4.763,41 | 4,95 |
| | Medio | Tierras en donde el uso actual excede la CUT, originando degradación media en el suelo y bajos rendimientos de productividad. | 8.101,71 | 8,42 |
| | Alto | Tierras en donde el uso actual excede la CUT, originando degradación alta en el suelo y muy baja productividad. | 11.825,34 | 12,29 |
| Zona sin información | | --- | 1.152,83 | 1,20 |
| No aplicable | | --- | 5.361,74 | 5,57 |

Tabla 7. Categorías de Conflictos de Uso de las Tierras en el cantón Portoviejo. Fuente: Elaboración propia.

En general, se observa que, existe una supremacía de zonas sin conflicto con un 55%, seguido de áreas subutilizadas y sobreutilizadas de grado alto con aproximadamente un 12% cada una. Cabe destacar que las áreas «No aplicable» representan a ríos y poblados, y la «Zona sin información» corresponde a superficies cubiertas por nubes o sombras de nubes, constituyendo estas dos categorías un porcentaje de 6,8% del total de la superficie del cantón.

6. CONCLUSIONES

- A partir de la imagen de ρ_{SUP} «LEDAPS» a escala 1:100.000 se derivó el producto óptimo el cual posee los mejores resultados estadísticos, presentando una alta aceptabilidad en cada una de sus clases. El intervalo de fiabilidad de este producto fluctúa entre 85,4 y 86,6%.
- La cartografía de Capacidad de Uso de las Tierras muestra que un 33,5% de la superficie total del cantón (96.211,4 ha) corresponde a la clase VII caracterizada por relieves estructurales con pendientes fuertes, y suelos de baja fertilidad, apta para coberturas forestales con fines conservacionistas; seguido a esta clase se encuentra la categoría IV que comprende un 22,4%, apta para cultivos pero con severas limitaciones y buenas prácticas de manejo, se localizan al oeste del cantón sobre los relieves colinados terciarios.
- El mapa de Conflictos de Uso de las Tierras refleja que el cantón cuenta con 52.876 ha (55%) de zonas sin conflictos, las mismas que se asientan sobre suelos de tipo inceptisoles y molisoles de pendientes 25 al 40%, asociadas a una cobertura de tipo bosque nativo en su mayoría, sobre las cuales se deben definir políticas inmediatas que eviten la intervención del hombre y conserven su estado actual.
- Las imágenes Landsat son viables para obtener mapas de cobertura y uso de las tierras a escala 1:100.000, presentando una alta fiabilidad, y a partir de esto poder derivar los conflictos de uso, esenciales para derivar planes y programas enfocados a un desarrollo sustentable y sostenible, minimizando las pérdidas del recurso suelo y sus efectos desencadenantes.

7. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en la Universidad de Valencia gracias al financiamiento de la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT).

8. BIBLIOGRAFÍA

- Cabrera, F. (2015). *Estudio multiescalar de cobertura de la tierra mediante imágenes Landsat para la determinación de conflictos de uso en el cantón Portoviejo, Ecuador*. 80 pp. TFM, Máster en Teledetección, Universidad de Valencia. Valencia, España.
- Chávez, P. (1996). "Image-based atmospheric corrections: Revisited and improved". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, pp. 1025-1036.
- Chuvieco, E. (2010). *Teledetección ambiental*. 591 pp. Editorial Planeta. Barcelona, España.
- Congalton, R. (1991). "A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data". *Remote sensing of environment*, 37, pp. 35-46.
- De La Rosa, D. (2008). *Evaluación agro-ecológica de suelos*. 134 pp. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España.
- EEA. (2015). *Corine Land Cover*, European Environmental Agency. Disponible en <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>, Abril/2016.
- FAO. (2005). *Sistema de clasificación de la cobertura de la tierra*. 226 pp. Roma, Italia. Disponible en http://www.glc.n.org/index_en.jsp, Mayo/2015.
- García, J. (2014). Apuntes de la cátedra de Análisis y Extracción de Información. Máster en Teledetección (2014-2015), Universidad de Valencia. Valencia, España.
- IEE. (2012a). *Memoria técnica de capacidad de uso de las tierras del cantón Portoviejo*. 65 pp. Disponible en <http://www.institutoespacial.gob.ec/geoportal>, Mayo/2015.
- IEE. (2012b). *Memoria técnica de clima e hidrología del cantón Portoviejo*. 28 pp. Disponible en <http://www.institutoespacial.gob.ec/geoportal>, Mayo/2015.
- IGAC-CORPOICA. (2002). *Vocación de uso de las tierras de Colombia. Capítulo IV*. 102 pp. Bogotá, Colombia.
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. 619 pp. Medellín, Colombia. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co>, Mayo/2015.
- Jensen, J. (1996). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. 316 pp. Editorial Prentice Hall. Michigan, Estados Unidos.
- Klingebiel, A., Montgomery, P. (1961). "Land-Capability Classification. USDA Agriculture Handbook", no. 20.
- Lencinas, J., Siebert, A. (2009). "Relevamiento de bosques con información satelital: Resolución espacial y escala". *Quebracho*, vol. 17, 101-105.
- Masek, J., Vermote, E., Saleous, N., Wolfe, R., Hall, F., et al. (2006). "A Landsat Surface Reflectance Dataset for North America", 1990-2000. *IEEE Geoscience and Remote Sensing*, vol. 3.
- Richards, J., Jia, X. (2006). *Remote sensing digital image analysis*. 453 pp. Editorial Springer. Berlín, Alemania.
- Rossiter, D. (1996). "Evaluación de tierras: éxitos y retos. XIII Congreso Latinoamericano de Ciencia do Solo". Sao Paulo, Brasil.
- Saldarriaga, L. (2014). *Reconstrucción de base de datos Landsat7 ETM+ SLC-off para cuantificar, detectar cambios y cartografiar la cobertura vegetal del valle bajo del río Chira – Perú, durante el período 2005-2014*. 68 pp. TFM, Máster en Teledetección, Universidad de Valencia. Valencia, España.
- Sánchez, J., Rubio, J., Martínez, V. (1984). "Metodología de prescripción de uso: Su aplicación en Benagéber (Valencia)". *I Congreso Español de Geología*, vol. 1, 761-770. Segovia, España.
- Sobrino, J., et al. (2000). *Teledetección*. 467 pp. Servicio de Publicaciones Universidad de Valencia. Valencia, España.

Townshend, J. (1992). *Improved global data for land applications*. 86 pp. IGBP Report No. 20. Estocolmo, Suecia.

Vargas, G. (2002). "La tropicalidad y el análisis geográfico". *Reflexiones*, vol. 81. Costa Rica.

DESARROLLO DE UN MODELO BASADO EN AGENTES PARA SIMULAR EL CRECIMIENTO URBANO: SUBMODELO DE OCUPACIÓN RESIDENCIAL

Carolina Cantergiani¹, Montserrat Gómez-Delgado¹

¹Universidad de Alcalá, Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente, Unidad Docente de Geografía, C/ Colegios, 2, 28801 Alcalá de Henares. carolina.carvalho@uah.es; montserrat.gomez@uah.es

RESUMEN

En la actualidad, y a pesar de sus interesantes posibilidades, todavía son muy escasos los Modelos Basados en Agentes (MBA) diseñados para simular procesos espaciales, en general, y relacionados con la simulación de cambios de usos del suelo y simulación de crecimiento urbano, en particular.

En esta comunicación se presenta el último de los tres submodelos de un MBA desarrollado para la simulación del crecimiento urbano condicionado por la acción de tres agentes: planificadores urbanos, promotores inmobiliarios y población. Una vez que los planificadores urbanos han establecido el suelo que se urbanizará en los próximos años, los promotores inmobiliarios promoverán la construcción (en ese suelo prefijado) de diferentes tipos de viviendas. Finalmente la población, representada en tres grupos de diferente poder adquisitivo, actuaría como agente motor que decide cambiar de residencia, generando la demanda de nuevas viviendas y configurando la expansión urbana final.

Finalizados los dos primeros submodelos, en esta comunicación se presenta el relacionado con la elección de lugar de residencia por parte de la población, siendo el más complejo de los tres. Como zona de estudio y prueba se ha elegido la sección madrileña del Corredor del Henares, una zona urbano-industrial muy consolidada, pero todavía con un volumen importante de territorio disponible y “expectante”.

Todos los submodelos están desarrollados en la plataforma *Netlogo*, que permite de manera asequible el intercambio de información espacial con un Sistema de Información Geográfica.

Palabras clave: Modelos basados en agentes; simulación del crecimiento urbano; población; Sistemas de Información Geográfica; Corredor del Henares (Madrid)

ABSTRACT

Agent-based Models (ABM) designed to simulate spatial processes are still not very popular nowadays, and in particular, the ones related to land use change and urban growth simulation.

This work presents the third of the three submodels developed in order to simulate urban growth driven by the action of three agents: urban planners, developers and population. Once urban planners establish the land to be urbanized in the next years, developers promote building (in that land) of different types of residence. Finally, the population, represented by three different income groups, act as the main actor that decides to move, generating new residential demands and so, delimitating the final urban expansion.

The first and second submodels are complete. The current document presents the third and most complex or them, showing the population behavior of *where* to choose new residence. To test this submodel, the chosen study area is the *Corredor del Henares* (at Madrid Region), a very consolidated urban-industrial zone, still presenting a significant surface available and “expectant”.

All submodels are developed in *Netlogo* that easily allows the interchange of spatial information within a Geographical Information System.

Keywords: Agent-Based Models; simulation of urban growth; Population; Geographical Information Systems; Corredor del Henares (Madrid)

1. INTRODUCCIÓN

Los procesos urbanos son fenómenos de gran relevancia en la coyuntura actual de desarrollo territorial en el mundo. Su complejidad reside, principalmente, en el intento de controlar su expansión y buscar un equilibrio entre las relaciones territoriales, ambientales, culturales, económicas, etc. Entre las muchas formas disponibles para intentar comprender y reproducir este tipo de procesos territoriales, encontramos una cantidad importante de modelos espaciales, que de alguna manera representan el territorio y permiten aproximarnos al entendimiento de los cambios observados entre el pasado y el presente, o inclusive, proyectar otros hacia el futuro.

En los últimos años se ha comenzado a indagar en las posibilidades de los MBA en este campo, pues su ámbito de aplicación ha estado tradicionalmente unido a la Sociología, Ecología, Economía, etc., pero sin implicaciones espaciales o de alcance espacial reducido.

Los Modelos Basados en Agentes (MBA) son modelos celulares que simulan un determinado fenómeno a través del comportamiento de agentes autónomos que actúan teniendo en cuenta su estado y características propias, la percepción de su entorno, así como sus propios intereses, reflejados en una serie de reglas de decisión que les permiten alcanzar un objetivo prefijado y cuya actuación acaba provocando cambios en la estructura inicial del sistema (Gilbert, 2008; Cantergiani, 2011). Además son modelos híbridos, pudiendo incorporar propiedades de modelos de dinámica de sistemas, estadísticos o de flujos económicos. A través de los agentes, los MBA incorporan un aspecto comportamental, ya que estos deben representar los principales elementos involucrados en el fenómeno estudiado y, a su vez, son los actores responsables de promover los cambios que se pretenden simular. Por lo tanto, se trata de modelos que permiten a los investigadores estudiar cómo el comportamiento del sistema emerge y está conectado a las características y comportamiento de sus componentes individuales (Railsback y Grimm, 2009).

Entre los trabajos realizados en el ámbito urbano, encontramos un número significativo de ellos centrado en analizar elementos a escala local, considerando los individuos como agentes y simulando, por ejemplo, movimientos de coches y peatones en el tráfico urbano (Jiang, 2000; Torrens, 2012), procesos de evacuación de emergencia (Batty *et al.*, 2003; Crooks, 2014), modelos de segregación urbana (Barros, 2012; Feitosa *et al.*, 2011), dinámicas sociales (Fontaine y Rounsevell, 2009), promoción inmobiliaria (Filatova *et al.*, 2009; Ettema, 2011) o estudios de urbanismo (Sanders *et al.*, 1997, Pumain y Sanders, 2013). Sin embargo, no se encuentran todavía en la literatura modelos dedicados a simular el crecimiento urbano a escala supramunicipal y con datos reales (no simulaciones teóricas con datos hipotéticos), que es el objetivo del modelo integrado del que forma parte este trabajo.

En la presente comunicación se presenta el tercer submodelo de un modelo integrado que pretende simular el crecimiento urbano, como un proceso decisorio desencadenado de abajo hacia arriba (*bottom-up*). Este modelo consta de tres submodelos independientes para cada uno de los agentes diseñados como protagonistas de este proceso (en Cantergiani y Gómez, 2016 se puede encontrar una reflexión sobre la posible justificación de la consideración de estos tres agentes): planificadores urbanos (1), promotores inmobiliarios (2) y población (3). Los tres submodelos mencionados son independientes en su elaboración, pero dependientes funcionalmente, ya que los datos de entrada y los resultados obtenidos, así como la toma de decisión final, se generan en función de los productos de los demás submodelos, conforme se indica en la Figura 1.

Así, de manera resumida podemos decir que la estructura del modelo integrado se inicia con un submodelo en el que los agentes **planificadores urbanos** asignarán nuevas zonas urbanizables, partiendo de una situación de zonificación legal de partida, una serie de restricciones relacionadas con la existencia de suelo ya urbanizado, comprometido u ocupado por zonas de especial protección o con condiciones topográficas a evitar y unos factores espaciales de "atracción" que serán utilizados en función del perfil del planificador establecido por el usuario (Cantergiani *et al.*, 2014).

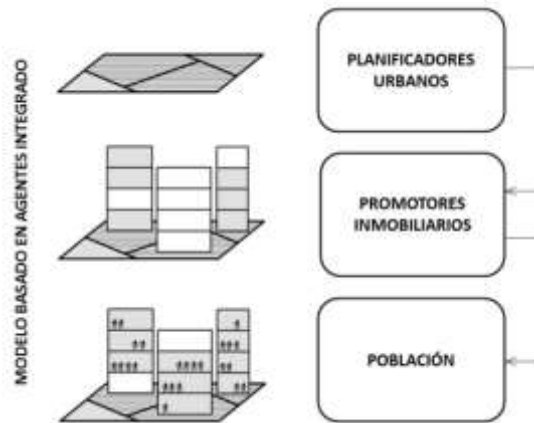


Figura 1. Estructura del modelo basado en agentes integrado para la simulación del crecimiento urbano.

El segundo submodelo de **promotores inmobiliarios** será el que definirá, en función de las zonas disponibles para urbanizar resultado de la ejecución del primer modelo, la construcción de nuevas zonas residenciales. El prototipo está diseñado de tal forma que estos promotores puedan desarrollar residencias de alto, medio o bajo estándar, según la situación del mercado en cada momento. En este caso también se definen un número de factores espaciales de atracción como la cercanía a vías de comunicación, equipamientos de transporte público, zonas urbanas consolidadas, densidad de edificación o valor del suelo.

Con el tercer submodelo se llevaría a cabo la ocupación por parte de la **población** de esas zonas residenciales propuestas por los promotores.

La entidad “población” es uno de los principales motores de este modelo. Se trata de un agente comúnmente utilizado en los MBA por contar siempre con un comportamiento humano asociado y relacionado con un fenómeno emergente (en nuestro caso ocupación de viviendas). Es evidente que la toma de decisiones humanas ejerce un papel fundamental en cualquier proceso de dinámica urbana y por ello resulta la parte más importante y crucial del modelo integrado desarrollado. Sin embargo, el comportamiento es difícil de replicar, pues la conducta humana no suele ser objetiva, no es conocida en profundidad y está determinada habitualmente por la cultura, actitudes, emociones, valores, etc., en un determinado contexto social. Si bien en el campo que podemos denominar de la psicología social se han desarrollado investigaciones sobre estos temas (Valera y Pol, 1994; Souza, 2005; Taberner *et al.*, 2015), sigue siendo complicado reproducir unos comportamientos de naturaleza humana caracterizados por una gran carga de incertidumbre.

En este trabajo se ha pretendido vincular este comportamiento con los estudios derivados de la mencionada psicología social, en tanto que los futuros residentes actuarán en relación con su entorno y en función de estímulos externos. En este sentido hemos de destacar que el agente población se encuentra presente en casi todos los MBA desarrollados en ámbito urbano, aunque es tratado de forma diversa en función del contexto y objetivo del modelo. En un gran número de ocasiones es tratado, no como un agente propiamente dicho, sino como hogares clasificados según las características de los habitantes que los componen, asignándoles diferentes comportamientos (Fontaine y Rounsevell, 2009; Feitosa *et al.*, 2011; Barros, 2012; Dahal, 2014). Lo más habitual es utilizar una clasificación socioeconómica, según volumen de ingresos (que será la utilizada en nuestro trabajo), pero también su dinámica puede estar asociada a la estructura familiar de la población (casado con hijos, soltero, jubilado, etc.).

Tras esta breve introducción sobre el estado del arte y presentación de la primera parte del modelo, a continuación se describe brevemente el área de estudio que se está utilizando como base para el desarrollo, prueba y verificación del mismo. En la sección 3 se describe la lógica del modelo y las reglas que dirigirán el comportamiento de los agentes implicados en este submodelo, así como su estructura. En el apartado 4 se presentan los resultados preliminares de los ensayos llevados a cabo, simulando distintos escenarios de expansión urbana en el área de estudio y finalmente se presentan, en el último apartado, unas breves conclusiones.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio elegida para el desarrollo y prueba de este prototipo es un corredor urbano-industrial que se extiende de Madrid hasta Guadalajara, siguiendo dos vías de comunicación de primer orden (la nacional A-2 y la vía de ferrocarril Madrid-Barcelona), así como un importante curso fluvial (el río Henares). En este caso el área se limita a la sección perteneciente a la Comunidad Autónoma de Madrid, un área que ha experimentado un fuerte proceso de expansión en las últimas dos décadas debido a la burbuja inmobiliaria (Plata Rocha *et al.*, 2009) y por encontrarse en el área de influencia de un importante motor de dinámica urbana como es la capital del país.

El eje central de este corredor está compuesto por los municipios de Coslada, San Fernando de Henares, Torrejón de Ardoz y Alcalá de Henares, existiendo un área de expansión hacia el norte y sur de este eje que en este caso hemos limitado a un total de 14 municipios. La influencia y expansión hacia los márgenes norte y sur de este privilegiado corredor se ha dejado notar en los últimos años, pero todavía existen algunos municipios con posibilidades de desarrollo para los que no se debería dejar pasar la oportunidad de realizar una planificación más equilibrada y sostenible. Por ello se considera un área de potencial interés para proceder a un análisis de la expansión urbana y simulación de su crecimiento.

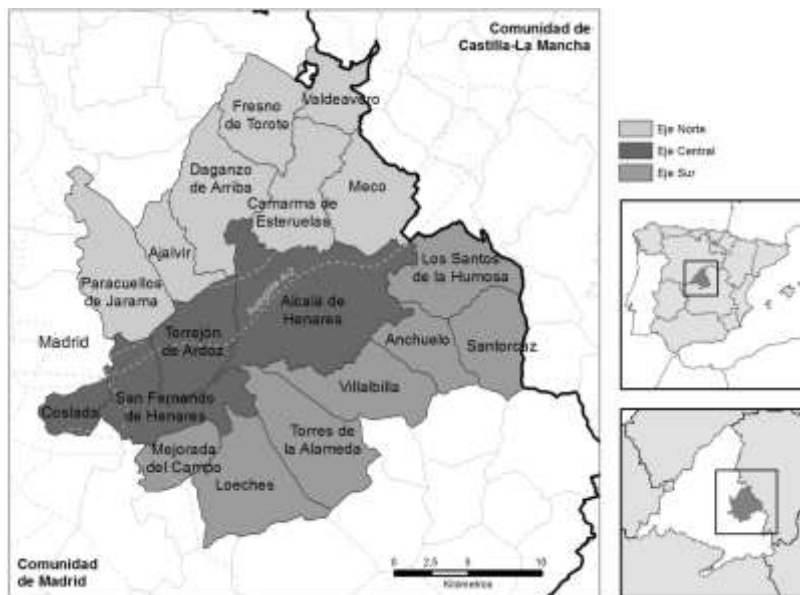


Figura 2. Delimitación del sector madrileño del Corredor del Henares, con sus ejes central, norte y sur.

3. METODOLOGÍA: LÓGICA DEL MODELO Y ESTRUCTURA

En el submodelo que se presenta, el movimiento de la población para llevar a cabo la ocupación de viviendas es motivado por una serie de fuerzas motrices definidas en el arranque del proceso. Esta búsqueda de nueva vivienda se basa en una serie de criterios de preferencia siempre distribuidos espacialmente. Estas preferencias varían según el nivel de renta, por lo que en este submodelo se establecen hasta tres tipos de agentes que actúan según su poder adquisitivo sea alto, medio o bajo. Los diferentes tipos de agentes interactúan entre ellos, cambiando su comportamiento acorde a las nuevas situaciones que van emergiendo también en su entorno. Para entender mejor la ejecución del modelo describiremos los atributos asociados a los agentes y este entorno, así como los factores a considerar por la población para ocupar una nueva vivienda.

Los agentes están caracterizados por cinco atributos (alguno de ellos dinámico y cambiante) que se combinan para producir el cambio:

- *Poder adquisitivo*: alto, medio y bajo
- *Situación* (asentado o no-asentado): indica si el agente está actualmente ubicado (asentado) en alguna vivienda o no (esta opción intenta reproducir procesos de crecimiento de población por migración o cambio de ciclo de vida y representa el estado transitorio previo a la búsqueda de viviendas).

- *Nivel de satisfacción*: estando todas las viviendas tipificadas en alto, medio y bajo estándar, se considera que un agente está satisfecho si coincide con su poder adquisitivo.
- *Estado* (activo o pasivo): los agentes activos se encuentran en estado de búsqueda de vivienda (si a la vez están insatisfechos con la tipología de la vivienda donde están ubicados), mientras que los pasivos se mantienen estables, sin reacción. En un primer momento se define una distribución homogénea y aleatoria de ambos tipos, para luego cambiar según sea expulsado (se convertiría en activo) o se asiente en una vivienda (se convertiría en pasivo). El objetivo de este atributo es diferenciar aquellos que están insatisfechos con su vivienda actual por causas diversas, pero que aun así se quedan en sus viviendas (por comodidad, por falta de recursos u otra razón), de aquellos que buscan condiciones más adecuadas para vivir (en función de los elementos de atracción que se definirán más adelante). De esta forma, el prototipo permite simular, no sólo procesos de expansión urbana, sino otros más sostenibles de renovación urbana, posibles procesos de gentrificación, etc.
- *Capacidad de insistencia*: hace alusión al número de ejecuciones (fijado entre 0 y 10) con intento de cambio de residencia fallido permitido para cada agente en su búsqueda de una nueva residencia. Pasado este umbral, el agente se adapta a su entorno.

Estos atributos cambian y evolucionan en cada ejecución del modelo, variando en función de lo que la población vaya seleccionando.

En cuanto a los atributos asociados al entorno sobre el que se mueven y desarrollan los agentes, se ha incluido el volumen de población, el número y tipología de vivienda disponible, nivel de ocupación (población asentada por vivienda) y capacidad máxima (distribución media de población por vivienda registrada en cada sección censal) y una serie de criterios de preferencia espacial. Todos estos datos están expresados a nivel de celda (50x50m), siguiendo el formato celular habitual de este tipo de modelos.

Como en los otros dos submodelos, los criterios de preferencia espacial están generados y modelados previamente en un SIG, en este caso definidos por la distancia a elementos territoriales como vías de comunicación, paradas de transporte público, equipamientos sanitarios y educativos o proximidad a las distintas tipologías de viviendas.

Aclaradas todas estas premisas, a continuación se presenta el diagrama de flujo que, de forma sintética y secuencial, describe las distintas acciones de la población.

Para iniciar la ejecución del modelo, el usuario establece la configuración de arranque a partir del establecimiento inicial de una serie de parámetros detallados en la figura 3 (FASE 1).

En la FASE 2 se describe la acción de los agentes respecto a la búsqueda de nueva vivienda. Hemos de advertir que el modelo se ha configurado de tal manera que haya escasos parámetros pre-fijados a la hora de su ejecución. Se trata, por tanto, de un proceso muy flexible, en el que el usuario puede tomar decisiones propias sobre un número elevado de inputs, lo que confiere a este prototipo una adaptabilidad importante para ser utilizado en distintos ámbitos de estudio y simular escenarios de muy diferente índole.

A partir de ahí, la población no satisfecha y en estado activo (FASE 2a) elegirá un punto aleatorio en el área de estudio (FASE 2b) y verificará que dentro de su área de influencia haya alguna residencia que cumpla con los criterios relacionados con su grupo de poder adquisitivo y con disponibilidad para ser ocupada. El proceso se repite hasta que se encuentre vivienda disponible o se alcance el máximo número de repeticiones permitidas (FASE 2c). Si se encuentra vivienda disponible, se procederá a comprobar que ésta cumple los requisitos establecidos para cada grupo de población (FASE 2d). Esta decisión estará vinculada a una fórmula (ecuación 1), donde la preferencia (P) de una tipología de población (t) es la suma de los valores de las variables (V) consideradas. A todas ellas se les puede otorgar un peso (p) que exprese la importancia de cada una en el proceso de selección final:

$$Pt = ((plt * V1) + (p2t * V2) + (p3t * V3) + \dots + (pnt * Vn)) \quad (1)$$

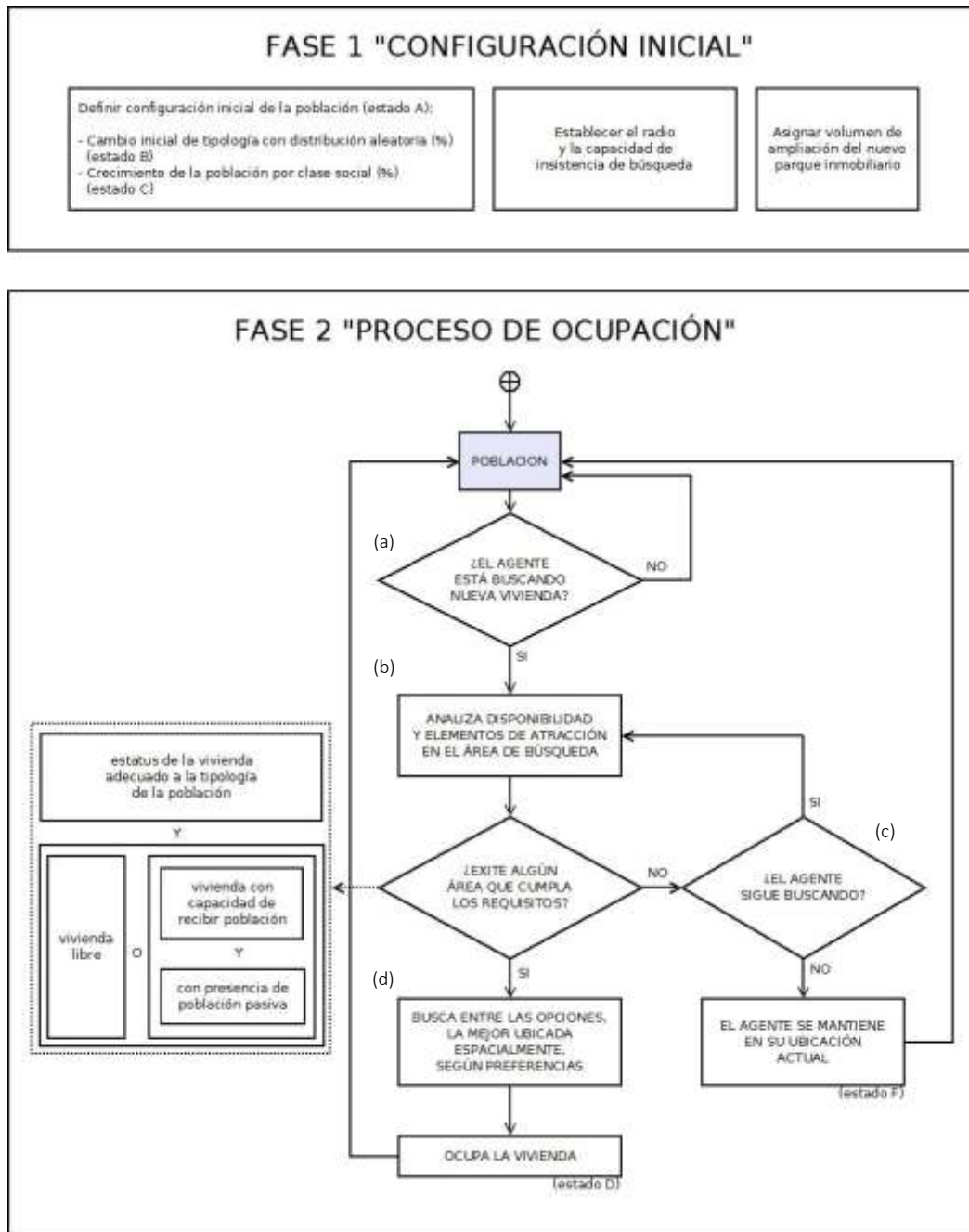


Figura 3. Diagrama de flujo que describe secuencialmente las distintas acciones por parte del agente población.

Como ejemplo, se podría establecer la siguiente ponderación en función del grupo de población:

| CRITERIO ESPACIAL | Renta alta | Renta media | Renta baja |
|---|------------|-------------|------------|
| Proximidad a vías de comunicación | 60 | 0 | 0 |
| Proximidad a estaciones de transporte público | 0 | 35 | 35 |
| Proximidad a hospitales | 0 | 20 | 30 |
| Proximidad a centros universitarios | 10 | 20 | 0 |
| Proximidad a viviendas de estándar alto | 25 | 5 | 0 |
| Proximidad a viviendas de estándar medio | 5 | 15 | 5 |
| Proximidad a viviendas de estándar bajo | 0 | 5 | 30 |
| Suma: | 100 | 100 | 100 |

Tabla 1. Ejemplo de ponderación de los distintos criterios espaciales de preferencia de localización residencial en función del tipo de grupo poblacional.

El proceso culmina con la ocupación de viviendas por parte de la población obedeciendo a las preferencias y criterios indicados, pero nótese que la ocupación puede producirse sobre viviendas vacías o en viviendas que están ocupadas por población en estado pasivo y que, una vez es expulsada, vuelve al sistema en busca de nueva residencia; por lo que el siguiente paso consiste en una actualización del estado de ocupación y características de las zonas residenciales.

Todos los submodelos están desarrollados en la plataforma *NetLogo* (Wilensky, 1999) por disponer de una interfaz intuitiva y sencilla, y que a la vez permite la obtención de resultados muy visuales de los cambios producidos entre la situación inicial y la simulada. Además, otra ventaja importante es que *NetLogo* permite ya en sus últimas versiones el intercambio directo con datos geográficos en formato SIG.

En la siguiente imagen (figura 4) aparece la interfaz de submodelo de población, relativamente más compleja que la de los otros dos submodelos, precisamente para poder llevar a cabo una ejecución muy flexible que permita al usuario especificar un número importante de parámetros de manera independiente. Cuenta con un área de visualización de datos espaciales de entrada, un espacio para la configuración inicial de los parámetros de arranque, cuadros de resultados alfanuméricos (ej.: el volumen de población que todavía sigue sin residencia, la población que se encuentra en estado de búsqueda, las edificaciones disponibles o el crecimiento de la población de las tres tipologías) y un panel para la visualización de resultados espaciales que consisten en una actualización de la cobertura de viviendas con la nueva población asignada.



Figura 4. Interfaz gráfica diseñada en la plataforma *NETLOGO*, del submodelo de ocupación de nuevas residencias por parte de la población y sus herramientas de control.

4. RESULTADOS

Como venimos indicando, el prototipo ha sido diseñado para disponer de una gran versatilidad a la hora de configurar las condiciones iniciales de partida y, así, poder convertirse en un importante laboratorio de simulación que permita reproducir diferentes escenarios de futuro, además de poder adaptarse más fácilmente a otros contextos espaciales y socioeconómicos.

El modelo y prototipo han sido verificados a partir de la simulación de distintos escenarios con el objetivo de comprobar sus posibilidades y correcto funcionamiento. A continuación se presentan los resultados de tres escenarios con configuraciones y supuestos diferentes entre sí:

- de *boom demográfico*: caracterizado por una demanda elevada de vivienda debido a un aumento importante del volumen de población; las condiciones son aquí más flexibles, determinando un radio de búsqueda más amplio.
- de *estancamiento demográfico*: la búsqueda de vivienda es más restringida en un momento de crisis que obliga a la población a marcharse, mientras la que se queda permanece bastante estable, no realizando muchos movimientos de cambio.
- de *equilibrio demográfico*: la oferta y la demanda están más o menos equilibradas, por lo que la búsqueda es más ajustada a las necesidades y preferencias de cada grupo de población.

Los parámetros iniciales fueron calibrados de forma que reflejen las características de cada escenario, según aparece en la tabla 2.

| PARÁMETROS | Referencia | Escenarios | | |
|---------------------------------------|------------|------------|---------------|------------|
| | | Boom | Estancamiento | Equilibrio |
| % de crecimiento de población | 0 a 20 | 5 | 1 | 3 |
| % Cambio de tipología de residencia | 1 a 15 | 10 | 10 | 10 |
| % población renta alta | 0 a 100 | 25 | 25 | 25 |
| % población renta media | 0 a 100 | 50 | 50 | 50 |
| % población renta baja | 0 a 100 | 25 | 25 | 25 |
| Radio búsqueda nueva residencia (km) | 0 a 1,5 | 25 | 5 | 15 |
| Insistencia en la búsqueda (intentos) | 1 a 10 | 7 | 7 | 7 |
| Incremento número de viviendas | 0 a 100 | 80 | 20 | 50 |

Tabla 2. Configuración de los parámetros iniciales para los tres escenarios futuros: boom, estancamiento y equilibrio demográfico.

En todos los escenarios se asume un lapsus temporal para cada ejecución de los diferentes submodelos de: 8 años en el caso de los planificadores, un lapsus temporal de un año para los promotores inmobiliarios y de 4 meses para la población. No obstante, y como venimos indicando, se puede fijar en función de las preferencias del usuario.

Dadas las condiciones establecidas para el primer escenario de *boom demográfico*, se prevé un flujo grande de personas moviéndose simultáneamente. Los resultados reflejan cierta dificultad en encontrar viviendas disponibles, contando con que muchos agentes acaben por agotar su capacidad de insistencia y se adapten al entorno, cambiando su situación socioeconómica. Si analizamos el flujo demográfico espacial, esto es, origen y destino de las reubicaciones de población, los resultados de este escenario muestran que la mayoría de la población insatisfecha que finalmente cambia de residencia lo hace principalmente desde viviendas del eje central hacia otras en este mismo eje. Este movimiento se produce en menor medida en los municipios de los ejes norte y sur (figura 5).

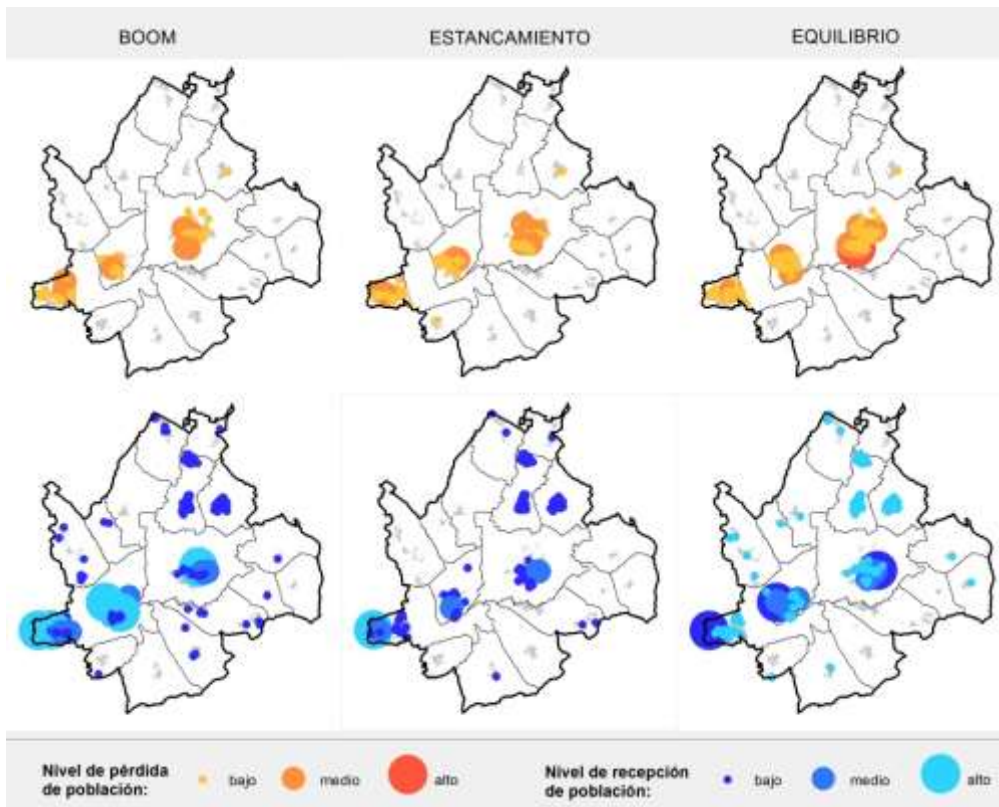


Figura 5. Resultados de reubicación de población en cada uno de los escenarios planteados: (a) boom, (b) estancamiento y (c) equilibrio demográfico.

La distribución espacial resultante del segundo escenario de *estancamiento* muestra un flujo demográfico muy equilibrado saliendo y estableciéndose en el mismo eje central, con algunas reubicaciones destacables en la región nordeste del Corredor (que también se producen en el anterior escenario). Es destacable el bajo interés en reubicarse en los municipios del eje sur.

Por último, podemos comprobar como también los resultados del escenario de *equilibrio demográfico* se ajustan a la situación intermedia planteada respecto a los otros dos escenarios. Así, los destinos aparecen muy bien distribuidos espacialmente, aunque el origen de los desplazamientos se encuentre predominantemente en el eje central, donde está ubicada la mayor parte de la población insatisfecha que busca cambiar de vivienda.

En la tabla 3 aparecen algunos datos numéricos resultantes para cada escenario simulado. Como en los tres casos se optó por ejecutar el prototipo hasta que se agotara el volumen de población insatisfecha, en un momento dado toda la población insatisfecha se encuentra no-asentada y buscando vivienda, y en este punto de inflexión, sólo les queda adaptarse a su entorno o irse del área de estudio. Por este motivo, dichos valores de adaptación y eliminación son bastante elevados.

| VALORES | ESCENARIOS | | | | | |
|-------------------------------|------------|----------|---------------|----------|------------|----------|
| | Boom | | Estancamiento | | Equilibrio | |
| | inicial | simulado | inicial | simulado | inicial | simulado |
| Población de Clase Alta | 6.093 | 6.179 | 5.955 | 6.086 | 6.024 | 6.129 |
| Población de Clase Media | 3.468 | 2.612 | 3.206 | 2.554 | 3.274 | 2.586 |
| Población de Clase Baja | 3.097 | 3.132 | 3.015 | 3.040 | 3.119 | 3.077 |
| Viviendas libres (vacías) | 814 | 3.342 | 728 | 2.651 | 780 | 3.085 |
| Población insatisfecha | 1.813 | 0 | 1.331 | 0 | 1.568 | 0 |
| Población eliminada | 0 | 735 | 0 | 496 | 0 | 625 |
| Población adaptada al entorno | 0 | 154 | 0 | 152 | 0 | 129 |

Tabla 3. Comparación de los resultados de las simulaciones realizadas para cada escenario propuesto.

5. CONCLUSIONES

A continuación listamos las principales conclusiones sacadas a partir del desarrollo de esta investigación y de los resultados presentados:

- Según los resultados obtenidos, concluimos que el diferente comportamiento del agente población puede cambiar notablemente la configuración de ocupación urbana de un territorio. En este caso, las decisiones en cuanto a la búsqueda de nuevas viviendas generan una dinámica de movimiento poblacional importante.
- La interfaz del submodelo, aunque parezca complicada en un primer momento debido a la cantidad de posibles interacciones con el usuario, cuenta con pasos sencillos y accesibles en su ejecución, por lo que no resulta demasiado complicado su uso. La organización en bloques facilitó el mejor entendimiento del proceso de simulación.
- Los escenarios presentados son apenas tres ejemplos entre los numerosos que podrían generarse para la simulación prospectiva del crecimiento urbano, debido al importante número de parámetros que pueden ser prefijados por el usuario. De esta forma es posible configurar muy diversas situaciones de partida y explorar las consecuencias de los resultados de esos distintos escenarios. Esta información es de un valor incalculable a la hora de llevar a cabo cualquier propuesta de planificación territorial. Esta flexibilidad permite, por otro lado, intentar manejar de manera más adecuada la complejidad del comportamiento humano en este tipo de procesos.
- El análisis temático de los resultados, aunque no sea en sí mismo el objetivo de esta investigación, muestra una tendencia general de movimiento demográfico en el Corredor del Henares. Pese a las similitudes de los resultados numéricos alcanzados, las diferencias espaciales que se pueden identificar visualmente son interesantes, especialmente el importante flujo registrado en el ya consolidado eje central. También es destacable que ninguno de los dos márgenes pierden población en ningún escenario, aunque el que más gana siempre es el eje norte (con más elementos de “atracción”).

6. AGRADECIMIENTOS

Esta comunicación se ha realizado dentro de las actividades del proyecto de investigación coordinado *SIMURBAN2: Instrumentos de Geosimulación y planificación ambiental en la ordenación territorial de ámbitos metropolitanos. Aplicación a escalas intermedias*, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (ref. CSO2012-38158-C02-01), Subproyecto *Geosimulación de escenarios futuros de crecimiento urbano a partir de información espacial de detalle y valoración de sus resultados desde la planificación ambiental*, y parcialmente financiado por la beca IELAT-SANTANDER. Especial agradecimiento a Cesar Vergara por su aporte fundamental a la labor de programación en *NetLogo*.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Barros, J. (2012): “Exploring Urban Dynamics in Latin American Cities Using an Agent-Based Simulation Approach”, en Heppenstall, A.; Crooks, A. T.; See, L. M. y Batty, M. (Eds.): *Agent-Based Models of Geographical Systems*, Springer, pp. 571-589.
- Benenson, I., y Torrens, P. M. (2004): *Geosimulation: Automata-based modeling or urban phenomena*. John Wiley & Sons, L.
- Batty, M.; Desyllas, J. y Duxbury, E. (2003): “Safety in Numbers? Modelling Crowds and Designing Control for the Notting Hill Carnival”. *Urban Studies*, 40(8), pp. 1573-1590.
- Cantergiani, C.C. (2011): “Modelos basados en agentes aplicados a estudios urbanos: una aproximación teórica”, *Serie Geográfica*, 17, pp. 29-43.
- Cantergiani, C.C.; Gómez Delgado, M. y Vergara, C. (2014): “Desarrollo de un modelo basado en agentes para la simulación del crecimiento urbano: submodelo de asignación de nuevo suelo urbanizable”, en Ramón, A. (Ed.): *Tecnologías de la Información para nuevas formas de ver el territorio*, Alicante, Publicaciones Universidad

de Alicante, pp. 10-18. 25-27 de Junio de 2014, Alicante, XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica.

Cantergiani, C.C. y Gómez Delgado, M. (2016): "Diseño de un Modelo Basado en Agentes para simular el crecimiento urbano en el Corredor del Henares (Comunidad de Madrid)", *Boletín de la AGE*, 70, pp. 259-283.

Crooks, A.T.; Patel, A. y Wise, S. (2014): "Multi-Agent Systems for Urban Planning". En Pinto, N. N.; Tenedório, J. A.; Antunes, A. P. y Roca, J. (Eds.), *Technologies for Urban and Spatial Planning: Virtual Cities and Territories*, pp. 29-56. Hershey, PA: IGI Global.

Dahal, K.R. y Chow, T.E. (2014): "An agent-integrated irregular automata model of urban land-use dynamics", *International Journal of Geographical Information Science*, 28, 11, pp. 2281-2303.

Ettema, D. (2011): "A multi-agent model of urban processes: Modelling relocation processes and price setting in housing markets". *Computers, Environment and Urban Systems*, 35(1), pp. 1-11.

Feitosa, F.F.; Le, Q.B. y Vlek, P.L.G. (2011): "Multi-agent simulator for urban segregation (MASUS): A tool to explore alternatives for promoting inclusive cities", *Computers, Environment and Urban Systems*, 35, 2, pp.104-115.

Filatova, T.; Parker, D.C. y Van Der Veen, A. (2009): "Agent-Based Urban Land Markets: Agent's pricing behavior, land prices and urban land use change". *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 12 (1)(3).

Fontaine, C.M., y Rounsevell, M.D.A. (2009): "An agent-based approach to model futures residential pressure on a regional landscape", *Landscape Ecology*, 24, 9, pp. 1237-1254.

Gilbert, N. (2008): *Agent-Based Models*. Sage Publications.

Jiang, B. (2000): "Agent-based approach to modeling urban and environmental systems within GIS". *9th International Symposium on Spatial Data Handling*.

Plata Rocha, W., Gomez Delgado, M. y Bosque Sendra, J. (2009): "Análisis de factores explicativos del crecimiento urbano en la CM a través de métodos estadísticos (RLO y MLA) y SIG". *Revista de Planeamiento Territorial y Urbanismo Iberoamericana*, 4.

Pumain, D. y Sanders, L. (2013): "Theoretical principles in interurban simulation models: a comparison". *Environment and Planning A*, 45, pp. 2243-2260.

Railsback, S.F., y Grimm, V. (2009): *A Course in Individual-based and Agent-based Modeling*. Princeton University Press.

Sanders, L., Pumain, D., Mathian, H., Gherin-Pace, F., y Bura, S. (1997): "SIMPOP: a multi-agents system for the study of urbanism", *Environment and Planning B*, 24, pp. 287-305.

Souza, L. (2005): *O ensino da psicologia social e suas representações. A formação do saber e o saber em formação*. PhD, UFRJ, Rio de Janeiro.

Taberner, C.; Hernández, B.; Cuadrado, E.; Luque, B. y Pereira, C.R. (2015): "A multilevel perspective to explain recycling behaviour in communities". *Journal of Environmental Management*, 159, pp. 192-201.

Torrens, P.M. (2012): "Moving agent-pedestrians through space and time". *Annals of the Association of American Geographers*, 102(1), pp. 35-66.

Valera, S. y Pol, E. (1994): "El concepto de identidad social urbana: una aproximación entre la Psicología Social y la Psicología Ambiental", *Anuario de Psicología*, 62, pp. 5-24.

Wilensky, U. (1999): NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.

CHARACTERIZATION OF HEALTHY URBAN ENVIRONMENT FOCUSED ON FOOD AND PHYSICAL ACTIVITY: A GIS-BASED METHOD

CARACTERIZACIÓN DEL ENTORNO URBANO SALUDABLE CENTRADO EN ACTIVIDAD FÍSICA Y ALIMENTACIÓN: UN MÉTODO BASADO EN SIG

Alba Cebrecos-Eguren¹, Julia Díez-Escudero¹, Pedro Gullón-Tosio^{1,2}, Manuel Franco-Tejero^{1,3} y Francisco Escobar-Martínez¹

¹Grupo de Investigación de Epidemiología Social y Cardiovascular, Facultad de Medicina, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, Madrid, España.

²Escuela Nacional de Sanidad, Instituto de Salud Carlos III, Madrid, España.

³Departamento de Epidemiología, Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health, Baltimore, MD, Estados Unidos.

alba.cebrecos@uah.es

ABSTRACT

Healthier urban environments may influence the distribution of cardiovascular risk factors therefore the aim of the present study was to design and implement a multivariate method based on a Geographic Information System (GIS) to characterize and evaluate the environmental correlates of obesity: the food and the physical activity urban environments. The study was conducted in a socio-demographically average urban area of Madrid (Spain), comprised of 12 contiguous census sections (≈ 16.000 residents). Data were gathered through on-field audits of all food stores and street segments in the study area. We designed a synthetic index integrating continuous measures of both food and physical activity environments, generated by kernel density analyses. The synthetic index ranges from 0 (least healthy) to 100 (most healthy). We found a heterogeneous distribution with 75% and 50% of the area scoring less than 36.8 and 25.5, respectively. The study area was categorized by Jenks intervals defined as high, medium-high, medium-low and low. Thus, 4.2% of the population lived in a healthy area while 41.0% in an unhealthier one. Most of the population (52.8%) was located in an area with a median score, 29.1% medium-high and 26.6% medium-low. Synthetic index provides a feasible way to integrate different measures of barriers and promoters of healthy behaviours in urban environments. This synthetic index may be a relevant tool to inform future urban health interventions.

Key words: obesogenic environment; Geographic Information Systems; food environment; physical activity environment;

RESUMEN

Los entornos urbanos saludables pueden influir en la distribución de los factores de riesgo cardiovascular, por tanto, el objetivo del estudio fue diseñar e implementar un método multivariable basado en Sistemas de Información Geográfica (SIG) para caracterizar y evaluar los entornos relacionados con la obesidad: el entorno alimentario y el entorno de actividad física. El estudio se realizó en una zona sociodemográficamente mediana de Madrid (España), compuesta por 12 secciones censales contiguas (≈ 16.000 residentes). Los datos fueron recogidos a través de herramientas de auditoría midiendo in situ todas las tiendas de alimentación y todos los segmentos de calle. Se diseñó un índice sintético que integra las medidas de ambos entornos generadas por análisis de densidad de Kernel. El índice sintético oscila entre 0 (menos saludable) y 100 (más saludable). Se encontró una distribución heterogénea con el 75% y el 50% de la superficie con una puntuación menor de 36,8 y 25,5 respectivamente. El área de estudio se clasificó por intervalos "natural Jenks" definidos como alto, medio-alto, medio-bajo y bajo. De esta manera se obtuvo que un 4,2% de la población vive en un área definida como saludable, mientras que un 41,0% lo hacía en una poco saludable. La mayor parte de la población (52,8%) se encuentra en una zona con una puntuación media, 29,1% medio-alto y el 26,6% de medio-bajo. Este índice sintético proporciona una manera factible de integrar diferentes medidas de limitadores/promotores urbanos

de conductas saludables considerándolo una herramienta importante para informar a futuras intervenciones urbanas de salud.

Palabras clave: entorno obesogénico; Sistemas de Información Geográfica; entorno alimentario, entorno actividad física.

1. INTRODUCTION

The obesity epidemic is one of the main public health concerns in the present century (WHO, 2015). The prevalence of overweight (Body Mass Index ≥ 25 kg/m²) and obesity (Body Mass Index ≥ 30 kg/m²) in European countries ranges from 45% to 67%. Spain has some of the highest levels of overweight (60.9) and obesity (23.7%) in Europe (WHO, 2015).

The limited success of current individual-level based strategies shows the need for new approaches based on population-level determinants of obesity. These approaches focus on affecting the fundamental causes of the distribution of risk factors in the whole population (Rose, 1985). These fundamental causes were called mass influences by Rose (Rose, 1985) and are mostly environmental or social factors at several levels. There is a large and renewed interest in these fundamental causes, especially at the urban context where people live and work and particularly at neighbourhood level (Franco *et al.*, 2015; Hirsch *et al.*, 2014). Understanding contextual determinants of obesity creates opportunities for policy development at the local level that may bring obesity and other associated chronic diseases down.

The regulation of body weight depends on multiple factors such as physical activity and healthy eating, among others (Bethlehem *et al.*, 2014). The contextual determinants of physical activity are complex and multifaceted, but can be roughly classified into transport-related physical activity and leisure-time physical activity influences. The determinants of active transportation relate to walking and biking and include features such as quality of pavements, safety, mix land use, destinations and connectivity (Pikora *et al.*, 2003). Contextual influences of leisure-time or recreational physical activity include sports facilities and green spaces. Contextual determinants of healthy eating include all aspects of the local food environment that influence dietary behaviours (Franco *et al.*, 2015).

The literature on the associations between contextual determinants of physical activity and healthy eating has been quite mixed. The diversity of methodologies used and the results obtained (Feng *et al.*, 2010; Leal & Chaix, 2011) highlight the complexity of the chain of causation linking contextual factors and different chronic diseases, as well as the challenges inherent to measuring complex social phenomena (Glass & McAtee, 2006). Among these challenges there is the intertwining of environmental features: physical activity environments and food environments are not created in isolation but are rather the result of social forces that affect neighbourhoods (Guthman, 2013). Much of the previous research has focused solely on one factor in isolation, such as walkability (Owen *et al.*, 2007) or healthy food availability (Glanz, *et al.*, 2005). Moreover, the strong correlation between physical activity and dietary behaviours calls for strategies that tackle sedentarism and unhealthy diets concurrently (Economos *et al.*, 2015; Meyer *et al.*, 2015; Jones *et al.*, 2007). Interventions may be ineffective if only focused on promoting physical activity, ignoring a food environment which may promote the consumption of unhealthy foods (Economos *et al.*, 2015). Thereby, there is a need of an integrated approach to understand contextual factors of both environments.

A potential promising avenue to operationalize the contextual determinants of obesity is to aggregate measures of both physical activity and diet determinants. Previous studies have aggregated urban context indicators in a synthetic index, finding significant correlation with health outcomes (Feng *et al.*, 2010; Kelly-Schwartz *et al.*, 2004). For instance, Kelly-Schwartz *et al.*, (2004) found significant association between a composite index (county sprawl index) and obesity, but not between its components and health outcomes.

Our objective is to design a multivariable tool based on Geographic Information Systems (GIS) to integrate information from the physical activity and food environment to better characterize obesogenic environments in urban areas. GIS are rapidly becoming a relevant part of the panoply of methods adopted in Public Health

research (Matthews *et al.*, 2009). GIS is a well-suited tool to define healthy urban environments allowing to integrate data from different sources and scales, both spatial and non-spatial.

2. METHODS

This study was conducted within the multidisciplinary Heart Healthy Hoods project (<http://www.hhhproject.eu/>). The main objective of this European project is to analyse the impact of the physical and social urban environment in relation to residents' cardiovascular health in Madrid, Spain.

2.1 Study area

According the 2014 Health Report of Madrid City Council (Díaz-Olalla & Benítez-Robredo, 2015), 41.2% of the population presents overweight or obesity, 30.1% and 11.2% respectively. Although these values are below the national measures, 38.4 of overweight 18.2% of obesity conforming the last National Health Survey, they values remain alarmingly high. Regarding risk factors, the Risk Factors Surveillance System Associated with Noncommunicable Diseases in Adult Population of 2013 (or SIVFRENT-A in Spanish) (Díez-Gañán, 2013), indicated that 49.2% of Madrid citizens affirm to be sitting most of their working time and 73% are inactive at leisure time. Regarding diet, Madrid citizens eat in average 1.2 rations of fresh fruit and 1.1 rations of vegetables per day. These rates are far from the recommendations of 5 rations per day.

We selected a study area of 12 contiguous census sections (Figure 1) using the Median Neighbourhood Index (MNI). This method computes a composite score of the mean Euclidean rank distances to the median census section of the city in four key sociodemographic and urban form domains: population aging (% > 65), educational level (% with <8.9 years of education), immigration (% foreign-born) and population density (inhabitants/km²).

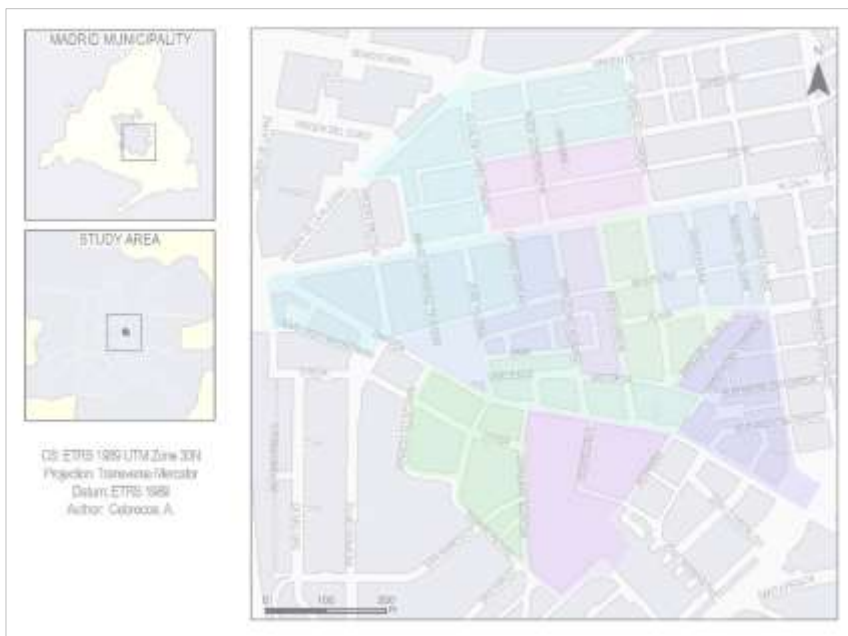


Figure 1. Study area, type of food stores and streets audited. Coloured areas represent census sections within the pilot study area. Source: Prepared by the authors.

2.2 Characterizing the urban environment

FOOD ENVIRONMENT: 40 retail food outlets located within the 12 selected census sections were identified by on field observation. All stores were classified into corner stores (small stores with a low variety of items and generally no fresh products), grocery stores (mid sized stores with higher variety and presence of fresh products), supermarkets (large stores with highest variety and presence of fresh products), specialty stores (fruit and vegetable stores, butcheries, fishmongers and bakeries), gas stations and convenience stores (long opening hours and no presence of fresh products).

All food outlets were audited by a trained data collector using an abbreviated version of the Nutrition Environment Measures Survey in Stores (NEMS-S) (Glanz *et al.*, 2005), a standardized observational tool with high degrees of inter-rater and test-retest validity (Glanz *et al.*, 2005). The abbreviated version was developed by the Johns Hopkins Center for a Livable Future for an assessment of Baltimore's Food Environment (Behrens, *et al.*, 2015). It collects data on milk, juice, fruits, vegetables, lean red meat, chicken, seafood, canned, dry, frozen and packaged goods, whole-grain bread and low-sugar cereal. From this data a Healthy Food Availability Index (HFAI) was computed, ranging from 0 to 27.5 (higher scores representing higher availability of healthy foods). The data collection instrument in Behrens *et al.*, (2015) shows details on the scoring system.

A trained data collector visited all food stores in the study area to assess the availability of healthy food choices using an adapted version of the NEMS-s, where the item "% lean" and "% fat" in the measure of "meat" was changed for the single item "beef"; and the food item "corn tortillas", not consumed in Spain, was removed from the scoring system.

PHYSICAL ACTIVITY ENVIRONMENT: The Systematic Pedestrian and Cycling Environment Scan (SPACES) (Pikora *et al.*, 2002) is an observational audit of features of the built environment that can influence walking and cycling along a street network. We adapted this audit tool to the Madrid (M-SPACES) environment and conducted a validity and reliability study before (Gullón *et al.*, 2015). For the purposes of this study, and due to the residual use of bikes in the area, only walkability measures were considered.

A trained researcher audited all street segments of the study area (n=145 segments) by foot. A street segment is defined as one section of a street that runs between two intersections. It is often used as the basic observation unit in neighbourhood or community analysis. Items of the M-SPACES tool are then added up to four domains: functionality, safety, aesthetics and destinations. These, in turn, can be added to compute a walkability score for each street segment (ranging from 0, least walkable, to 1, most walkable) Main audited characteristics were functionality, safety, aesthetics and destinations. More details on this audit tool and its measurements properties have been published before in Gullón *et al.*, (2015).

SPATIAL DATASETS: Contextual information on the study area was collected from the Spanish National Mapping Agency (IGN) and Spanish National Spatial Data Infrastructure (IDEE), allowing us to generate a georeferenced database to integrate and map the results from the food and physical activity environment assessment. Administrative boundaries (district and census sections) and street networks were collected in vector polygon and line formats, respectively. We also used orthophotography of the study area obtained from the Orthophotography Air National Plan (PNOA).

ArcGIS 10.1 software was used to integrate, standardize and manage these datasets. First, all information was projected to a common system (ETRS89 UTM 30N). The physical activity environment data (collected with the M-SPACES tool) was associated with the street network layer by a relational join. The food environment data (collected with the abbreviated NEMS-S tool) was integrated in the system using a point-based layer with a relational join. All other layers (administrative boundaries, blocks and orthophotos) were introduced to the final maps as reference information.

Sociodemographic data was obtained from Statistical National Agency at census section level to characterize the populations living in the areas established by the proposed method

2.3 Geospatial analysis

The aim of this study was to integrate data on the physical activity and food environment in characterizing the urban environment by using Geographic Information Systems. Figure 2 summarizes our approach. In summary, we converted line and point data into a whole study area surface area (one for each environment), followed by map algebra to combine both measurements and a categorization of the final results to ease interpretation.

First, we extended line data (walkability index for each street segment) and point data (healthy food availability index for each food store) to the whole study area using Kernel Density Estimation (KDE). KDE fits a

mathematical surface (composed of pixels) with a normal distribution over each point based on (a) the value empirically collected for each point, and (b) the distance from each location in the surface to all points in the area within defined radius or bandwidth. Essentially, the value of each point is smoothed over the study area producing a density value that will be the highest at the location of every point, and decaying from there with distance using a defined bandwidth (Carlos *et al.*, 2010).

We use de KDE integrated in ArcGis 10.1 software which employs the quadratic Kernel function of Silverman (Silverman, 1986):

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh} + \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - x_i}{h}\right)$$

Where K is the quadratic Kernel function defined by $K(x) = \frac{3}{4} (1 - x^2)$, $x \leq 1$, "x" is the point at which density is estimated, "xi" is the value of the variable in the case "i", "n" is the number of cases and "h" is the bandwidth. The basic idea consists calculated for specific points, the averaged sum (hence the estimator involves summing over "n" and then divide by this value) of Kernels centered on the observations.



Figure 2. Development of continuous KDE variables from direct observation data. On the left, is depicts the calculating for the food environment starting with the location of all stores, continues with the Healthy Food Availability Index (HFAI) score for each one, and the next is the KDE surface weighted by HFAI score. On the right, the development for the physical activity environment. Above the location of all the street segments, continues with Pedestrian and Cycling Environment Scan (SPACES) score by each one. And in front the KDE weighted by the SPACES.

This spatial analysis allows weighting each element by their associated attributes, in our case the HFAI and SPACES scores. For example, if the element has associated value attribute equal to 3, the case counts as 3 cases. Thus, density value in each pixel of the output image is calculated summing the values of all overlapping Kernel surfaces. All surfaces were generated with a pixel size of 3 meters. We used a bandwidth of 100 meters, given that the average distance from one food store to the closest food store was around half that length (improving smoothing). A static bandwidth was used because of the small study area and the homogeneous population density distribution (Carlos, *et al.*, 2010).

Figure 2 shows the development of both continuous density surfaces: one from the food stores layer weighted by the value of HFAI; and the other from the street segments layer weighted by the scores obtained from the M-SPACES audit.

After generating both surfaces, we performed a map algebra analysis. The operation adopted for map algebra was a local average that computes an average of pixels at the same location in both the physical activity and

food environment surfaces, generating the synthetic index. To fully integrate the synthetic index into the geographic context of the area, we assigned each census section an obesogenic (synthetic index) value. For this, we used zonal analysis that calculates a single output value for each census section averaging all pixels that fall within each area. To improve the interpretability of our results, we categorized census sections into four classes according to their value in the synthetic index (high, medium-high, medium-low and low). For this, we used the Jenks intervals approach that reduce the variance within classes, while maximizing the variance between them.

3. RESULTS

Figure 2 represents the calculated KDE surface obtained for the food environment, with an important concentration of food sales scored with high HFAI values in the North and South ends of the study area, with patches of medium-high density distributed throughout the area. Most stores ranked with high HFAI were quite close to each other and mostly located along important roads, creating "islands" of healthy foods. Stores with low HFAI were distributed more evenly and gave form to "healthy food deserts". The surface resulted from the M-SPACES showed highest values at streets intersections, on streets with wide sidewalks, and in the surroundings of squares and parks. The greater the number of intersections, the greater the walkability of the area.



Figure 3. Continuous synthetic index surface. This surface is the local average of the pixels of walkability KDE and the pixels of food availability KDE. The size of pixel is 3x3 meters and the bandwidth selected to the smoothing was 100 meters.

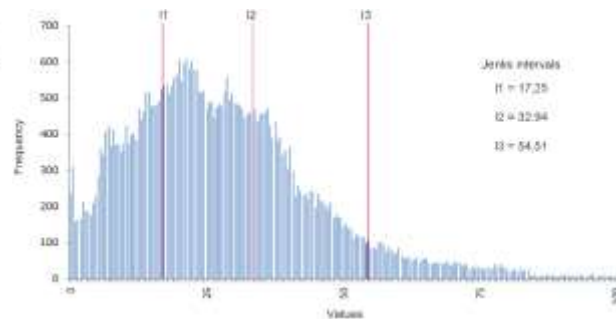


Figure 4. Histogram of the synthetic index surface. It depicts the frequency of pixel values of the study area with a range from 0 to 100 with higher scores indicating a healthier environment. The red lines represent the intervals defined by Natural Jenks to categorize the 12 census sections of the study area in high, medium-high, medium-low and low healthy areas.

The synthetic index surface resulted from the averaging of walkability, and healthy food environment surfaces, is depicted in Figure 3. The values obtained range from 0 to 100 with higher scores indicating a healthier environment. Observing the distribution of data in the frequency histogram of Figure 4, a 75% of the area is below 36.8 of the index score and half of the area below 25.5.

Figure 5 shows the results of the characterization of the obesogenic environment in terms of diet and physical activity at census section level. For representation purposes, natural breaks (or Jenks intervals) were adopted. The classes defined to characterize how healthy is the urban environment of the study area follows a range of high to low with respect to themselves. If we take into account the extent of the study area, 36.5% of its surface is characterized by low values. Only 7.4% of the area is classified within a high value in both cases. The

majority of surface (56.1%) is characterized as medium-high and medium-low rating, 22.4% and 33.7%, respectively.

Considering population in each census section and the characterization of the pilot area, the results show that 4.2% of the population live in areas characterized as “healthy” environments, while 41.0% of the residents live in an area with the lowest rating. In turn, the majority of population (52.8%) live in a medium score environments, 29.1% medium-high and 26.6% medium-low. Analysing the results by sex, 40.7% of women have lower scores than men (41.5%). 4.6% of women and 3.7% of men live in a section with high score. In the case of foreign-born residents, 54.7% of them live in the unhealthiest areas and 4.4% in the healthier. If results are studied by age, the majority of young people live in a census section with low score (51.13%) as well as adult people (44.43%) but in the case of elderly people, they live in a medium-high healthy space (32.9%). Only the 1.9%, 3.5% and 7.0% of young, adult and elderly people respectively live in a healthy section.



Figure 5. Final characterization of census section level of the pilot area. Depicts the result of zonal analysis of each administrative area having in account all the pixels of the local analysis within each area.

4. DISCUSSION

This paper documents the development of an innovative method to assess the obesogenic environment by a synthetic index integrating continuous measures of both food and physical activity environments, generated by KDE. The results show a heterogeneous distribution of obesogenic determinants in the study area. 36.5% of the census sections are classified as low healthy, followed by medium-low healthy (33.7%), and medium-high (22.4%). Only one census section is classified as high healthy, a 4% of the study area surface.

This high healthy census section is delimited by main streets of the neighbourhood, where healthiest food stores were present. Main streets are also designed to be more walkable. Moreover, the only park located in the study area, was also located within this census section.

In order to understand the obesogenic environment it is necessary to consider the interrelations between the food and physical activity environments, as built environment metrics are correlated with each other. The use of composite indices reduces collinearity and over-adjustment, confers ease of interpretation, and may reduce measurement errors (Feng *et al.*, 2010). Besides, integrating different indicators within an index can detect associations not previously found (Kelly-Schwartz *et al.*, 2004). In our case, systematic observation of a built

environment, using validated audit tools, provided high detailed spatial data. This also ensured variability on measures of both constructs and statistical power. The use of a detailed sampling strategy to maximize the variation between environmental factors reduced the sample sized needed to assess associations between built environments and obesity outcomes (Frank *et al.*, 2012).

Previous studies have integrated both physical activity and food environments to characterize high and low environmental obesogenity (Frank *et al.*, 2012; Meyer *et al.*, 2015). These integrations have been used to evaluate their relation with diabetes incidence (Christine *et al.*, 2015) or cardiometabolic risk factors (Paquet *et al.*, 2014). The methodology designed in our work considers variables studied in these studies, such as food store density, food store type, street intersection density, parks or street aesthetic, among others. The majority of these studies used GIS to integrate all information from diverse sources, mostly from secondary databases. But we also consider other variables as variety of healthy foods captured by NEMS-s or the aesthetic or safety by SPACES tool, very difficult to assess from secondary database. Therefore, and as indicated in the previous paragraph, we consider as strength of our study having gathered, by direct observational measures, new data and new information not available in secondary databases.

Moreover, the presented index can be enriched with other variables and refined when scientific advances provide evidence. The first priority to improve the measuring and impact of the urban environment on health behaviours is to identify relevant environmental factors to measure and the relative importance of each of them over health outcomes. This work has not considered the relative importance of domains, so that both environments were weighted with equal weight.

In Spain, the least aggregated administrative data publicly available is at census section level, composed of ≈ 1500 people. Therefore, the outcomes obtained are represented at this level of aggregation. The area of this study is made up of 12 census sections, but the methodology used to evaluate the obesogenic environment is replicable at larger units: municipalities as Madrid, or countries as Spain. Reproducing this methodology to characterize the obesogenic environment of Madrid, would allow assessing the relationship with other indices, such as the one developed by the project "Mortality in Spanish small areas and socio-Economic and Environmental Inequalities" (MEDEA) (Domínguez-Berjón *et al.*, 2008). This project built a deprivation index based on census data in large Spanish cities to study its association with excess mortality risk.

Current methodology presents several limitations, especially regarding primary data collection through systematic observation. This is an expensive and time consuming process. Thanks to advances in Geographic Information Technologies, these costs can be drastically reduced, by using available secondary databases with spatial information, and new geographic remote devices to collect geocoded primary data. In addition, despite possible objections to the variables considered, the general approach can be adapted to other circumstances. Thus other relevant urban built environments can be measured with the methodology proposed. Moreover, as scientific literature has not yet fully quantified the proportion of food or physical activity responsible for current obesogenic conditions, we adopted a local average. In the future, when scientific evidence is made available, this local average could be weighted accordingly.

A general limitation of research environments and health is the lack of information about the cumulative exposure to different environments and duration of exposure to such environments (Chaix *et al.*, 2012; Feng *et al.*, 2010). Considering that population is only exposed to environmental factors around their residential area implies an underestimation and fails to recognize the high heterogeneity among the spatial behaviour of individuals living in the same neighbourhood. People cross borders of several administrative boundaries and are exposed to the influence of contextual factors of different environments beyond their residential area (Kwan, 2015).

Therefore new perspectives are emerging as the one proposed by Zenk *et al.*, (2011). Zenk found that residents' activity spaces were larger than residential neighbourhoods and found also a statistically significant relationship between activity space environmental features and dietary behaviours. In order to measure exposure to contextual factors, it is necessary to consider the daily mobility patterns of individuals. Not

considering individual's intimate connections to multiple geographic locations is one of the main limitations of studies on public health adopting the neighbourhood as their unit of analysis.

We developed a synthetic index integrating data on physical activity and food environments at census section level. This methodology was able to capture inter-relations between both domains of the urban environment that did not emerge when they have been studied in an isolated way. The index obtained and the cartography associated are necessary to inform recommendations in environments to support healthy physical activity and nutrition related behaviours. A residential environment that encourages active transportation and with a wide access to healthy foods, would support residents' healthier behaviours.

5. REFERENCES

- Behrens, A., Freishtat, H., & Buzogany, S. (2015). *Mapping Baltimore City's Food Environment: 2015 Report*. Johns Hopkins
- Bethlehem, J., Mackenbach, J., Ben-Rebah, M., Compernelle, S., Glonti, K., Bardos, H., . . . Lakerveld, J. (2014). The SPOTLIGHT virtual audit tool: a valid and reliable tool to assess obesogenic characteristics of the built environment. *International Journal of Health Geographics*, 13(1), 52.
- Carlos, H., Shi, X., Sargent, J., Tanski, S., & Berke, E. (2010). Density estimation and adaptive bandwidths: A primer for public health practitioners. *International Journal of Health Geographics*, 9(1), 39.
- Chaix, B., Kestens, Y., Perchoux, C., Karusisi, N., Merlo, J., & Labadi, K. (2012). An interactive mapping tool to assess individual mobility patterns in neighborhood studies. *American Journal of Preventive Medicine*, 43(4), 440 - 450.
- Christine, PJ., Auchincloss, AH., Bertoni, AG., Carnethon, MR., Sanchez, BN., Moore, K., . . . Díez Roux, AV. (2015). Longitudinal Associations Between Neighborhood Physical and Social Environments and Incident Type 2 Diabetes Mellitus: The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA). *American Medical Association's journal of internal medicine*, 175(8), 1311-1320.
- Díaz-Olalla, JM., & Benítez-Robredo, T. (2015). *Estudio de Salud de la Ciudad de Madrid 2014*. Madrid: Madrid Salud, Ayuntamiento de Madrid.
- Díez-Gañán, L. (2013). *Hábitos de salud en la población adulta de la Comunidad de Madrid, 2013. Resultados del Sistema de Vigilancia de Factores de Riesgo Asociados a Enfermedades No Transmisibles en población adulta (SIVFRENT-A)*. Servicio de Epidemiología, Subdirección de Promoción de la Salud y Prevención. Dirección General de Atención Primaria. Consejería de Sanidad. Comunidad de Madrid
- Domínguez-Berjón, MF., Borrell, C., Cano-Serral, G., Esnaola, S., Nolasco, A., Pasarín, MI., . . . Escolar-Pujolar, A. (2008). Construcción de un índice de privación a partir de datos censales en grandes ciudades españolas (Proyecto MEDEA). *Gaceta Sanitaria*, 22(3), 179-187.
- Economos, CD., Hatfield, DP., King, AC., Ayala, GX., & Ann Pentz, M. (2015). Food and Physical Activity Environments: An Energy Balance Approach for Research and Practice. *American Journal of Preventive Medicine*, 48(5), 620-629.
- Feng, J., Glass, TA., Curriero, FC., Stewart, WF., & Schwartz, BS. (2010). The built environment and obesity: a systematic review of the epidemiologic evidence. *Health & Place*, 16(2), 175-190.
- Franco, M., Bilal, U., & Díez-Roux, AV. (2015). Preventing non-communicable diseases through structural changes in urban environments. *Journal of epidemiology and community health*, 69(6), 509-511.
- Franco, M., Bilal, U., & Díez, J. (2015). Food Environment. *The Encyclopedia of Food and Health (Vol. 3)*: Oxford: Academic Press.

- Frank, LD., Saelens, BE., Chapman, J., Sallis, JF., Kerr, J., Glanz, K., . . . Cain, KL. (2012). Objective Assessment of Obesogenic Environments in Youth: Geographic Information System Methods and Spatial Findings from the Neighborhood Impact on Kids Study. *American Journal of Preventive Medicine*, 42(5), e47-e55.
- Glanz, K., Sallis, JF., Saelens, BE., & Frank, LD. (2007). Nutrition Environment Measures Survey in Stores (NEMS-S): Development and Evaluation. *American Journal of Preventive Medicine*, 32(4), 282-289
- Glass, TA., & McAtee, MJ. (2006). Behavioral science at the crossroads in public health: Extending horizons, envisioning the future. *Social Science & Medicine*, 62(7), 1650-1671
- Gullón, P., Badland, HM., Alfayate, S., Bilal, U., Escobar, F., Cebrecos, A., . . . Franco, M. (2015). Assessing Walking and Cycling Environments in the Streets of Madrid: Comparing On-Field and Virtual Audits. *Journal of Urban Health*, 92(5), 923-939.
- Guthman, J. (2013). Too Much Food and Too Little Sidewalk? Problematizing the Obesogenic Environment Thesis. *Environment and Planning A*, 45(1), 142-158.
- Hirsch, JA., Diez Roux, AV., Moore, KA., Evenson, KR., & Rodriguez, DA. (2014). Change in walking and body mass index following residential relocation: the multi-ethnic study of atherosclerosis. *American journal of public health*, 104(3), e49 - e56.
- Jones, A., Bentham, G., Foster, C., Hillsdon, M., & Panter, J. (2007). *Tackling obesities: Future choices—obesogenic environments—evidence review*. London: Government Office for Science.
- Kelly-Schwartz, AC., Stockard, J., Doyle, S., & Schlossberg, M. (2004). Is Sprawl Unhealthy?: A Multilevel Analysis of the Relationship of Metropolitan Sprawl to the Health of Individuals. *Journal of Planning Education and Research*, 24(2), 184-196.
- Kwan, MP. (2015). Beyond Space (As We Knew It): Toward Temporally Integrated Geographies of Segregation, Health, and Accessibility. In M.-P. Kwan, D. Richardson, D. Wang & C. Zhou (Eds.), *Space-Time Integration in Geography and GIScience* (pp. 39-51): Springer Netherlands.
- Lake, A., & Townshend, T. (2006). Obesogenic environments: exploring the built and food environments. *The Journal of the Royal Society for the Promotion of Health*, 126(6), 262-267.
- Leal, C., & Chaix, B. (2011). The influence of geographic life environments on cardiometabolic risk factors: a systematic review, a methodological assessment and a research agenda. *Obesity Reviews*, 12(3), 217-230.
- Matthews, S. A., Moudon, A. V., & Daniel, M. (2009). Work group II: Using Geographic Information Systems for enhancing research relevant to policy on diet, physical activity, and weight. *American Journal of Preventive Medicine*, 36(4 Suppl), S171-176.
- Meyer, KA., Boone-Heinonen, J., Duffey, KJ., Rodriguez, DA., Kiefe, Cl., Lewis, CE., & Gordon-Larsen, P. (2015). Combined measure of neighborhood food and physical activity environments and weight-related outcomes: The CARDIA study. *Health & Place*, 33(0), 9-18.
- Owen, N., Cerin, E., Leslie, E., duToit, L., Coffee, N., Frank, LD., . . . Sallis, JF. (2007). Neighborhood Walkability and the Walking Behavior of Australian Adults. *American Journal of Preventive Medicine*, 33(5), 387-395.
- Paquet, C., Coffee, NT., Haren, MT., Howard, NJ., Adams, RJ., Taylor, AW., & Daniel, M. (2014). Food environment, walkability, and public open spaces are associated with incident development of cardio-metabolic risk factors in a biomedical cohort. *Health & Place*, 28, 173-176.
- Pikora, TJ., Bull, FC., Jamrozik, K., Knuiiman, M., Giles-Corti, B., & Donovan, R.J. (2002). Developing a reliable audit instrument to measure the physical environment for physical activity. *American Journal of Preventive Medicine*, 23(3), 187-194.

Pikora, T.J., Giles-Corti, B., Bull, F.C., Jamrozik, K., & Donovan, R.J. (2003). Developing a framework for assessment of the environmental determinants of walking and cycling. *Social Science & Medicine*, 56(8), 1693-1703.

Rose, G. (1985). Sick Individuals and Sick Populations. *International Journal of Epidemiology*, 14(1), 32-38.

Silverman B.W. Density estimation for statistics and data analysis. Vol 26: CRC press; 1986.

WHO. (2015). *The European health report 2015. Targets and beyond – reaching new frontiers in evidence* W. R. O. f. Europe (Ed.) (pp. 18).

Zenk, S.N., Schulz, A.J., Matthews, S.A., Odoms-Young, A., Wilbur, J., Wegrzyn, L., . . . Stokes, C. (2011). Activity space environment and dietary and physical activity behaviors: a pilot study. *Health & Place*, 17(5), 1150 - 1161.

VALORACIÓN DE LA CALIDAD Y FRAGILIDAD DEL PAISAJE EN LA BAHÍA DE PASAIA, GIPUZKOA. UN ANÁLISIS CON TÉCNICAS SIG

Enrique R. De Rosa-Giolito¹, Yves Meyer²

¹Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), Departamento de Geografía. Edificio de Humanidades Senda del Rey, nº 7 (28040), Madrid, España. enriquerafael@hotmail.com

²Ekos Estudios Ambientales, S.L.U. Donostia Etorbidea, 2. Bajo. Local 2 (20160) Gipuzkoa, España. y.meyer@ekos-sl

RESUMEN

Este trabajo tiene como finalidad realizar un análisis y evaluación del paisaje en torno a la bahía de Pasaia, desde un punto de vista objetivo. Para ello, se recurre al uso de Arc Gis 10 como herramienta para la consulta, edición y análisis espacial. En parte, se trata de una revisión o aplicación de métodos ya existentes como MCE (Evaluación Multicriterio) y la suma lineal ponderada. Como aportación se destaca la importancia del patrimonio cultural como una variable a utilizar que justifica la calificación de ciertos entornos urbanos como “paisajes culturales”.

Palabras clave: Calidad; fragilidad; paisaje; SIG; MCE; Pasaia.

ABSTRACT

The purpose of this work is to carry out the analysis and evaluation of the landscape around the bay of Pasaia, from an objective point of view. In order to do that, Arc Gis 10 is used as a tool for spatial enquiry, edition and analysis. In part, this is a review or application of existing methods such as MCE (multicriteria evaluation) and weighted lineal average. The main contribution of the paper is the inclusion of cultural patrimony as a variable to be used, which justifies the designation of certain urban environments as “cultural landscapes”.

Keywords: Quality; fragility; landscape; S.I.G; MCE; Pasaia.

1. INTRODUCCIÓN

La remodelación urbanística, social y económica de la bahía de Pasaia es uno de los temas más controvertidos a los que se enfrenta el País Vasco y, en particular, Gipuzkoa, desde el punto de vista de la ordenación del territorio. El área de influencia de la bahía no se limita al término municipal de Pasaia, sino que se extiende abarcando Errentería, Lezo y Oiartzun, términos que comprenden la comarca de Oarsoaldea y que parte de Donostia-San Sebastián. Los diversos ciclos económicos y cambios de los modos de producción a través del tiempo han incidido en el significado del puerto, en la organización de su espacio y del que le rodea, y en consecuencia, en la evolución del paisaje. En la actualidad, la gestión de la bahía tiene que resolver problemas de altas densidades de población, deterioro ambiental, yuxtaposición de infraestructuras portuarias y ferroviarias con tejidos residenciales, divisiones municipales y repartos competenciales, que dificultan soluciones integrales y ponen en riesgo valores paisajísticos y patrimoniales que constituye un soporte de identidades colectivas.

Este estudio de caso, nos ha permitido determinar el valor de calidad intrínseca, el valor de calidad extrínseca y la fragilidad paisajística patrimonial del mismo mediante la aplicación de una metodología de análisis objetiva, debido a la ambivalencia del concepto en cuestión, que es estudiado con diferentes enfoques, artístico, estético, ecológico, cultural. Consiste en, por medio del análisis geográfico, ahondar en el desarrollo de metodologías de evaluación del paisaje que permitan integrar la calidad y fragilidad mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG).

El enfoque que estudiaremos es por medio de la suma lineal ponderada, enriquecido con la inclusión de la variable patrimonio como elemento para definir la calidad del paisaje. Este modelo tiene un interés en sí mismo, ya que permite introducir múltiples variables. Es por ello que se ha utilizado en las consideraciones del paisaje, en estudios de impacto ambiental y en el contexto de la ordenación del territorio.

El propósito de este trabajo es utilizar la metodología para estimar la calidad y fragilidad visual mediante un SIG, permitiendo realizar un análisis y evaluación relacionado con la elaboración de la cartografía del paisaje, de gran interés en el contexto de la Convención Europea del Paisaje (Consejo de Europa 2000) y como herramienta de ayuda en la planificación de forma general. A su vez, sirve para integrar esta valoración en los procesos como la planificación física y ordenación del territorio. Para ellos se intenta evitar la subjetividad propia de un concepto tan abstracto. En este trabajo se incorpora las cuencas visuales ponderadas para ganar objetividad en el análisis de calidad.

La calidad del paisaje, es un concepto un tanto subjetivo, en cambio el concepto de fragilidad es menos subjetivo porque tiene en cuenta la cantidad de observadores potenciales de la zona de estudio.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN O REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Desde la segunda mitad del siglo XX, existen numerosos estudios que se esfuerzan en dotar al análisis del paisaje de mayor objetividad, entendida ésta como “Ciencia del paisaje”, adquiriendo cada vez más los rasgos del modelo científico abstracto, (paisaje-objeto) que se aleja progresivamente de la dimensión sensible (paisaje-sujeto) o cultural. No obstante, una contradicción se oculta en el centro mismo de la noción, que es a la vez objeto de la realidad espacial y sujeto de la percepción. Esta dualidad va a dar lugar en el siglo XX, a continuas discusiones entre los geógrafos sobre su definición, sobre la morfología de su estructura y sobre sus métodos de estudio. En las últimas décadas del siglo XX se intenta aproximar el paisaje-objeto al paisaje-sujeto (Frolova y Bertrand 2006, 261) llegando al significado del concepto entendido en el Convenio Europeo del Paisaje (2000), que lo define como *«cualquier parte del territorio tal como la percibe la población, cuyo carácter sea el resultado de la acción y la interacción de factores naturales y/o humanos»* empleando diferentes esquemas metodológicos, variables y escalas.

Por otra parte, el interés no ha sido meramente científico, sino también artístico, ha estimulado a pintores, especialmente en los tiempos modernos. La sensibilidad perceptiva que despiertan las formas y los colores, así como también la variabilidad temporal, llena de matices, de sus elementos naturales (estaciones del año y periodos a lo largo del día) no han quedado desapercibidas para el mundo del arte.

En un mundo dominado por la globalización, los paisajes culturales dan seguridad emocional a la sociedad por el excepcional valor que presentan, la acumulación de monumentos, las referencias literarias, las imágenes plásticas y la especial belleza de los lugares con características arquitectónicas o significado de interés cultural. El artículo 1º de las «Directrices para la Aplicación de la Convención del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural» de 1992, define a su vez los paisajes culturales *«como una obra conjugada del hombre y de la naturaleza: puede ser un jardín o un parque, un paisaje reliquia o un paisaje vivo marcado por su historia o un paisaje que se asocia elemento natural a un hecho religioso, artístico o cultural»*, en todos los casos, los paisajes culturales son el resultado de las interrelaciones múltiples que se tejen entre naturaleza, cultura y sociedad (Zárate Martín 2011, 176).

El concepto contiene, intrínsecamente, una componente visual. En primera instancia tiene una dimensión perceptiva (González Bernáldez 1981), la descripción de lo que se ve, integrado por un conjunto de fenómenos naturales y culturales que se dan en una extensión de terreno. La visión directa sobre el terreno, desde un plano horizontal y panorámico o puntual, aporta unas notas de generalidad, en unos casos, y de detalle, en otros, de una situación momentánea y actual. En relación a este último aspecto, se hace alusión a los elementos visuales que lo definen: la vegetación, el relieve, el agua, los cultivos y la arquitectura ligada a la vivienda rural (en pueblos o en casas aisladas) y sus elementos auxiliares, que pueden ser anexos o aislados, como también la intervención desde la perspectiva de la planificación, ordenación, la protección, la gestión y, finalmente, la proyección.

Forman parte, además, saberes más técnicos, con una finalidad clara de intervención y de evaluación de impactos sobre los “valores visuales” del paisaje, que entiende lo visual como un conjunto de rasgos morfológicos objetivables que le da un carácter, son visibles desde un determinado punto (la cuenca visual) y

además son valorables en términos de su propia caracterización morfológica y de su “fragilidad” ante intervenciones externas o procesos endógenos de los propios componentes paisajísticos.

Se orienta a objetivar las escenas paisajísticas en términos de formas, líneas, texturas y colores, y a medir su “fragilidad”, es decir, “la capacidad de absorción visual del territorio”, a saber, la mayor o menor “aptitud para admitir cambios sin notable quebranto de los aspectos visuales” (Mata Olmo 2002, 38). Por otro lado, a partir de los aspectos no visibles, se atenderá a otras cuestiones de detalle, de relación, coyunturales y otras cuya manifestación visual sobre el espacio es menos aparente o requiere un conocimiento mucho más elaborado de la realidad. Los aspectos a tratar serán variados: físicos, demográficos, económicos, políticos, sociales, culturales, etc. Según Calvo Iglesias et al. (2001) el análisis se realiza a tres niveles:

- Análisis visual: estudio del paisaje perceptual y de las pautas de visibilidad
- Análisis espacial: estudio del hábitat natural y del espacio urbanizado
- Análisis de condicionantes antrópicos y físicos: la influencia humana, el patrimonio cultural, las viviendas y planificación urbanística y el medio físico

3. ÁMBITO DE ESTUDIO O DE APLICACIÓN

La bahía de Pasaia es un importante refugio natural, con excepcionales condiciones, en un mar tan bravío como el Cantábrico en el Golfo de Bizkaia, accidente natural producto de la ensenada que forma la desembocadura del río Oiartzun. Está situada sobre el cuadrante nororiental de Gipuzkoa, y pertenece a la comarca de Donostialdea. Presenta una extensión de 100 km². Sobre este territorio se asienta una población de 99.434 habitantes, según datos de 2013 (Eustat). Se trata, por lo tanto, de un territorio densamente poblado (más de 1.000 hab. /Km²), continuación del cinturón oriental de Donostia y que ha colocado al puerto en una posición central.

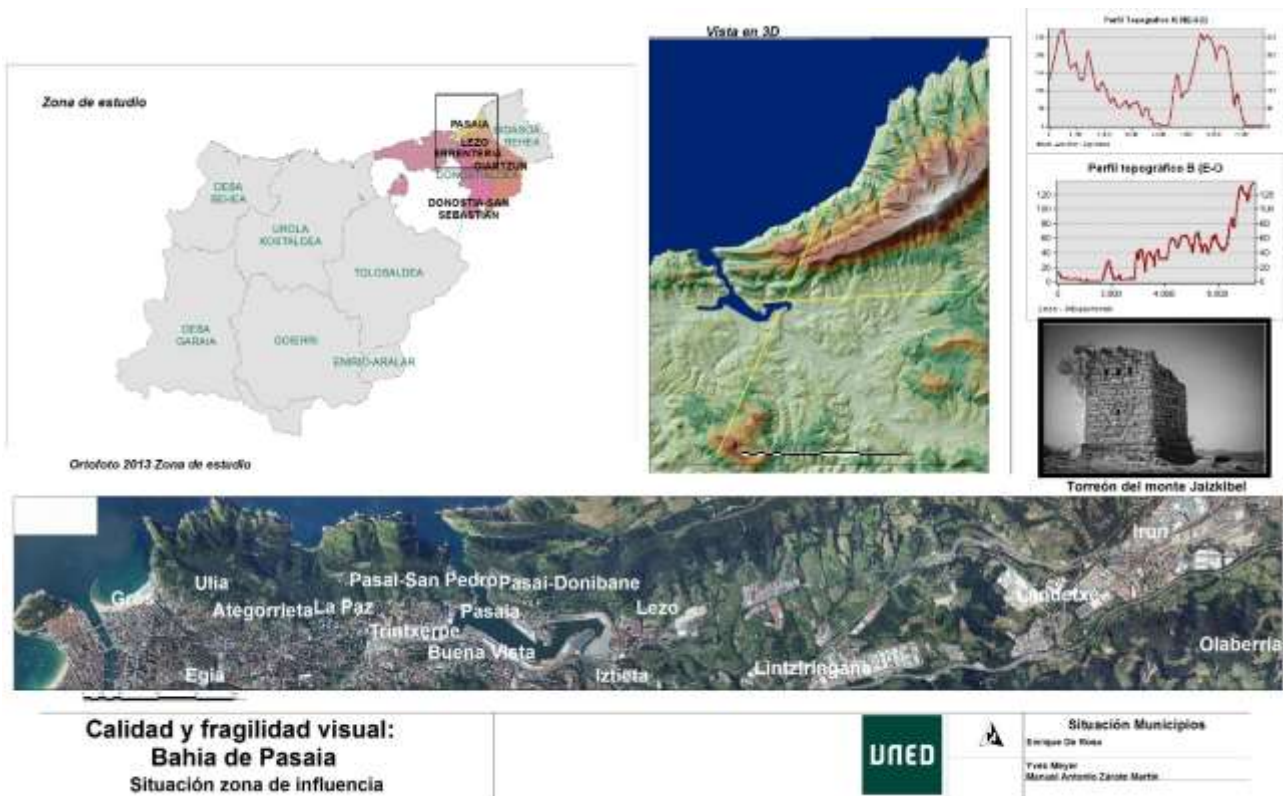


Figura 1. Mapa de localización del ámbito de estudio y detalle del Torreón del monte Jaizkibel.

Ocupada en parte por las estribaciones montañosas de los Pirineos, es un paisaje caracterizado por colinas de escasa altimetría, entre 200 y 300 m., cortado sobre el mar por acantilados abruptos, que en su máxima altimetría sus cotas apenas rebasan los 500 m. Podemos observar cómo la lámina de agua en reposo, rodeada de tierra firme, realza el paisaje, unida al verde de los montes Ulia y Jaizkibel y a la continuidad del canal de acceso, con su apariencia poco transformada.



Figura 2. Vista de la bocana del puerto en 1970. Fuente: Archivo Fotográfico Autoridad Portuaria de Pasaia.



Figura 3. Vue de Passages. Panorámica de la bahía desde Molinao. Litografía de Villeneuve sobre dibujo de M. Odelli. Dibujo de figuras: V. Adam. Lit. de Engelman (París, c. 1830). Colección Untzi Museoa-Museo Naval.

En ambas figuras, no solamente se trata de plasmar lo pintoresco del paisaje o estético, sino también mantener viva la memoria histórica del territorio. La localización de la lámina de agua como punto de referencia ha sido y es uno de los elementos más importantes de la bahía.

4. METODOLOGÍA

4.1. Las fuentes utilizadas:

Modelo digital del terreno (MDT) de alta resolución generado a partir de LIDAR, de la provincia de Gipuzkoa. Archivo raster con una resolución de 1 x 1 m. (2008) Diputación Foral de Gipuzkoa <http://b5m.gipuzkoa.eus/web5000/>

Ortofoto de 25cm de pixel de la Comunidad Autónoma del País Vasco, escala 1:5000 (2015) Gobierno Vasco, Servicio Información Territorial. <http://b5m.gipuzkoa.eus/web5000/>

Cartografía vectorial Corine Land Cover de la provincia de Gipuzkoa, escala 1:5000 (2014) Diputación Foral de Gipuzkoa. <http://b5m.gipuzkoa.eus/web5000/>

Cartografía vectorial de vías de comunicación de la provincia de Gipuzkoa, escala 1:5000 (2014) Diputación Foral de Gipuzkoa. <http://b5m.gipuzkoa.eus/web5000/>

Cartografía vectorial de patrimonio cultural de la provincia de Gipuzkoa, escala 1:5000 (2014) Diputación Foral de Gipuzkoa. <http://b5m.gipuzkoa.eus/web5000/>

Población por municipios y secciones censales 2013 de la provincia de Gipuzkoa, en formato vectorial: Secciones Eustat, escala 1:5000 (2015) Gobierno Vasco, Servicio Información Territorial.

<ftp://ftp.geo.euskadi.net/cartografia>

Intensidad Media diaria por tramo de carretera de la provincia de Gipuzkoa (2011) Diputación Foral de Gipuzkoa. http://w390w.gipuzkoa.net/WAS/CORP/DWIBideAzpiegiturakWEB/intensidadTrafico.do?cargar=1&js=S&anti_cache=1458932474490

4.2. Metodología

En este trabajo se utiliza la metodología propuesta por Estévez González et al. (2012), quien ha diseñado un modelo en la aplicación Arc Gis 10, que contempla, por un lado, la calidad y por el otro la fragilidad visual. Asimismo se pretende ampliar dicho modelo, teniendo en cuenta la aportación de Cacho y Rodríguez (2005) en la propuesta de revaloración paisajística por medio del Patrimonio Histórico, en este caso de la calidad visual de las torres de vigilancia costera, de los caminos que les dan acceso, (Camino de Santiago) teniendo en cuenta los monumentos patrimoniales de carácter cultural (principalmente del SXIX), con cuencas visuales privilegiadas como son los Torreones del monte Jaizkibel construidos durante la última Guerra Carlista (1872-1876) (Figura 1), elementos que forman parte de un complejo sistema de control y comunicaciones que se extiende a lo largo de toda la costa. La ubicación privilegiada, con amplias cuencas visuales en razón a su funcionalidad, los convierte en lugares apropiados desde los que observar el paisaje. Además otros monumentos como el Fuerte San Marcos (1888), o la importancia de los cascos urbanos que cuentan con varios monumentos histórico artístico provinciales o bienes de interés cultural entorno a los siglos XIII y XVIII (Basílicas, Conventos, Casas blasonadas, Casa Consistorial, Caseríos) que realzan la valoración del paisaje cultural, entendido como un ámbito geográfico, asociado a un evento, a una actividad, o a un personaje histórico, que contiene valores estéticos y culturales, puesto de manifiesto en la Convención del Patrimonio Mundial en 1992 y desde entonces constituye un instrumento de protección del Patrimonio.

De acuerdo al esquema general propuesto por Estévez González *et al.* (2012, 22), se aporta como variable a desarrollar, la *Distancia a elementos de interés patrimonial*, quedando el esquema de la siguiente manera:

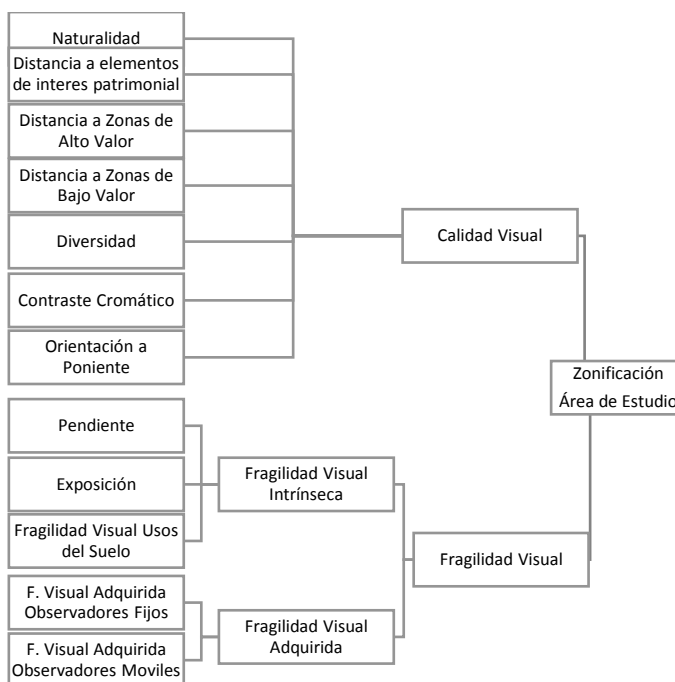


Figura 4. Esquema general de la metodología propuesta. Fuente: Elaboración propia en base a Estévez González et al. (2012)

Con las variables consideradas de interés se elabora la matriz de calificación (valores reclasificados de 1 a 5) para tener así el mismo rango de valores en todos los parámetros, de forma que el 5 correspondería al mayor grado.

Se entiende como Calidad visual, el atractivo visual que se deriva de las características propias de cada punto del territorio.

Así para el cálculo de la calidad visual tenemos presente los diferentes atributos:

La Naturalidad: Se reclasifican los usos del suelo: Bosque de frondosas, Bosque Mixto = 5; Tierras de labor, Cultivos permanentes, Zonas húmedas litorales, Bosque de coníferas, Pastizales naturales, Landas y matorrales mesófilos; Matorral boscoso de transición = 4; Prados y praderas =3; Zonas urbanas, Zonas verdes artificiales no agrícolas, Espacios abiertos con poca o sin vegetación =2; Zonas de extracción minera, vertederos y de construcción, Zonas de transportes =1.

La Distancia elementos de interés patrimonial: Variable que queremos aportar por la importancia de considerar a la bahía como un paisaje cultural. Al poder disponer de una capa en formato shape con los elementos puntuales de patrimonio cultural, bienes culturales, zonas arqueológicas, se calcula por medio de *Euclidean Distance*, una distancia en torno a 50 m.

La Distancia a zonas de alto valor: En este caso se consideran con mayor calidad las zonas más próximas a usos del suelo que en el primer apartado, de naturalidad, tomaron valores máximos. Se calcularon áreas de influencia de los usos del suelo considerados, por medio de *Euclidean Distance*, y se definieron reclasificando las distancias en torno a cada elemento en 5 intervalos de 50 metros (valor 5 al intervalo 0-50 y valor 1 a la distancia superior a 200 m.)

La Distancia a zonas de bajo valor: Con respecto a este factor, se ha considerado que la mayor proximidad a un impacto visual disminuye la calidad adyacente, por tanto, corresponde asignarle el valor de 5 a las áreas más alejadas de los impactos y por tanto de más calidad a este respecto.

La Diversidad de usos: Para evaluar esta diversidad se contabilizó el número de usos diferentes en una cuadrícula de 1 x 1km, Para calcular la diversidad se ha utilizado el comando *variety* dentro del grupo de comandos de análisis de vecindad (*Neighbourhood statistics*) del *Spacial analyst*. Es preciso escoger bien el tamaño del área de búsqueda, puesto que, si esta es demasiado pequeña, el resultado va a ser que existe muy poca heterogeneidad.

Contraste cromático: Se considera que un uso del suelo que posea contrastes cromáticos en distintas épocas del año poseerá una calidad visual mayor, por tanto se reclasifica de esta manera: Bosque Mixto, Bosque de frondosas= 5; Matorral boscoso de transición, Cultivos permanentes, Zonas húmedas litorales=4 ; Zonas verdes artificiales no agrícolas, Tierras de labor, Prados y praderas, Bosque de coníferas, Landas y matorrales mesófilos =3; Espacios abiertos con poca o sin vegetación, Pastizales naturales, Zonas urbanas Zonas de extracción minera, vertederos y de construcción =2 ; Zonas de transportes =1.

La Orientación a poniente: Se incluye un factor que incrementa la calidad visual del punto según su orientación al oeste. La importancia de este factor se debe la influencia de la luz al atardecer. La herramienta es *aspect* de *3D Analyst*, considerando los valores comprendidos entre (≥ 247.5) & (≤ 292.5).

Para evaluar la Calidad visual, podemos calcular la media ponderada asignando diferentes pesos según el parámetro. Para este ejemplo, si consideramos que la Naturalidad y la Diversidad son los factores más importantes en la calidad del paisaje, podrían ser ponderados de la siguiente forma:

$$\text{Calidad} = 0.3 \cdot \text{Nat}_{pai} + 0.10 \cdot \text{Dist}_{pat} + 0.10 \cdot \text{Prox}_{v5} + 0.10 \cdot \text{Prox}_{v1} + 0.2 \cdot \text{Div}_{pai} + 0.1 \cdot C_{crom} + 0.1 \cdot Or_w$$

$$\text{Fragilidad Visual} = \text{Fragilidad visual intrínseca} + \text{Fragilidad visual adquirida}$$

La Fragilidad Visual Intrínseca está formada por:

La Exposición: con el *MDT* de la zona de estudio y la herramienta *aspect*, generando una reclasificación con los siguientes valores:

Orientación Norte (0-45) y (315-360), se llamará Umbría deben ser 1

Orientación Sur (135-225), se considera Solana y adquiere en valor de 1.25.

Media solana Este (45-135), se considera Media solana este y adquiere en valor de 1.05

Media solana Oeste (225-315), se considera Media solana oeste y adquiere en valor de 1.15

El criterio de darle mayor valor a la orientación sur, Solana, se debe a que es una superficie un 25% más frágil visualmente que una situada en Umbría. Así mismo, en las exposiciones este y oeste, se entiende que el sol de la tarde incide en ella, tornándola más frágil, en contraposición en el este, se obliga a esa misma hora a una visión a contraluz y con sol bajo, por lo que se dificulta mucho más la observación directa de la superficie.

La *Pendiente*: Se ha considerado que cuanto mayor es la pendiente, mayor es la susceptibilidad al deterioro, y por lo tanto existe una mayor fragilidad. Se ha reclasificado en 5 intervalos los valores de las pendientes calculadas con el comando *slope* a partir del MDT. El valor 5 corresponde a pendientes superiores al 50% y el valor 1 a pendientes inferiores o iguales al 5%.

La *Fragilidad Visual Intrínseca (F.V.I) de los usos del suelo*: en este caso se parte de la información de usos del suelo, a cada categoría se le asigna su valor correspondiente entre 1 y 5: Bosque de frondosas, Bosque Mixto = 5; Tierras de labor, Cultivos permanentes, Zonas húmedas litorales, Bosque de coníferas, Pastizales naturales, Landas y matorrales mesófilos; Matorral boscoso de transición = 4; Prados y praderas =3; Zonas urbanas, Zonas verdes artificiales no agrícolas, Espacios abiertos con poca o sin vegetación =2; Zonas de extracción minera, vertederos y de construcción, Zonas de transportes =1.

Estos componentes se combinan según la siguiente fórmula:

$$F.V.I. = 0.33 \cdot Pend \cdot 0.33 \cdot Exp \cdot 0.33 \cdot FVI_{uso}$$

Finalmente, la *fragilidad visual adquirida*, o también conocida como incidencia visual, está formada por la FVA de observadores fijos y observadores móviles:

La fragilidad visual adquirida correspondiente a los núcleos de población (obs. fijos)

Es la sumatoria de los “n” puntos fijos y depende de las cuencas visuales (CV), la distancia de estos a la zona (d) y de la población censada en dicho núcleo (P), en nuestro caso se utilizan los núcleos de población por secciones censales y como punto de observación no es el centroide, sino un punto que marca el centro de la lámina de agua, en el cual todas las miradas se dirigen a él (d).

$$FVA_{obs.fijos} = \sum_{i=1}^n (d_i \cdot CV_i \cdot P_i)$$

La Fragilidad Visual Adquirida de vías (observadores móviles)

Igual que en el caso anterior, se situarán observadores teóricos), se utilizan la Intensidad media diaria por tramos de carretera (T), las cuencas visuales (CV) y la distancia de estos a la zona (d).

$$FVA_{obs.moviles} = \sum_{j=1}^n (d_j \cdot CV_j \cdot T_j)$$

Se tiene en cuenta que la $FVA = FVA_{obs.fijos} + FVA_{obs.moviles}$

Llegamos a la Fragilidad Visual, en este caso con igual ponderación $FV = 0.5 \cdot FVA + 0.5 \cdot FVI$

La *Zonificación final* está compuesta por la Fragilidad visual y la calidad visual. El resultado es un raster con valores de 1 a 5.

$$Zonificación\ final = 0.6 \cdot FV + 0.4 \cdot CV$$

Simplemente se realiza la suma ponderada de la FV y de la Calidad (CV), esta última por tener parámetros subjetivos se pondera con 0.4 frente al 0.6 de la FV.

La utilización del *Model builder* como herramienta es fundamental para desarrollar el cálculo de la Fragilidad Visual Adquirida, con las respectivas cuencas visuales y su sumatoria (Figura 5 y 6).

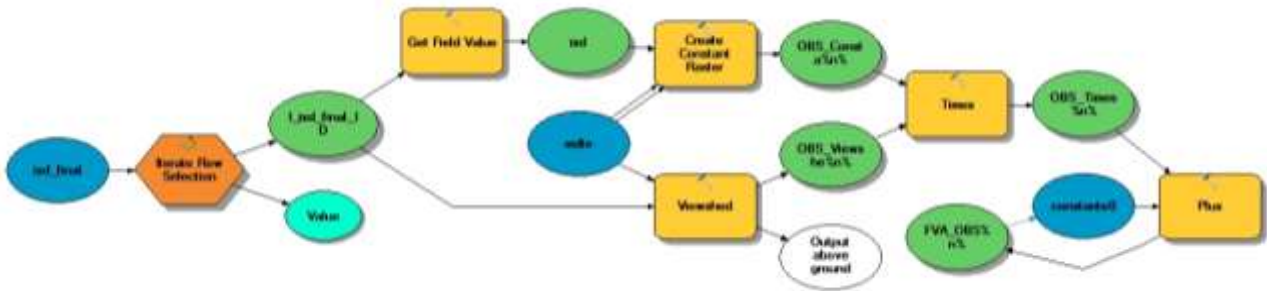


Figura 5. Modelo para el cálculo de F.V.A. observadores fijos. Elaboración propia en base al modelo desarrollado por Estévez González et al. (2012)

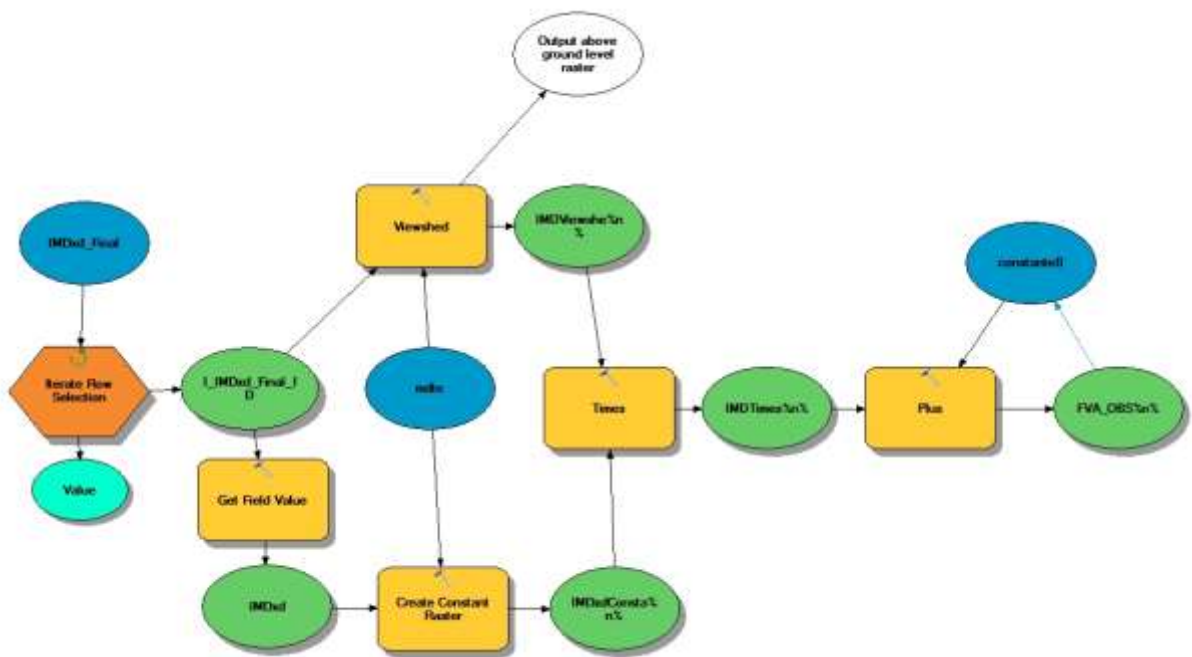


Figura 6. Modelo para el cálculo de F.V.A. observadores móviles. Elaboración propia en base al modelo desarrollado por Estévez González et al. (2012)

A continuación se muestran en una serie de mapas, las distintas variables y grupos de variables (Figura 7) si se observan, de izquierda a derecha, se puede advertir en una valoración de 1 a 5, los resultados de la suma ponderada de cada uno de ellos, como hemos explicado anteriormente en la Figura 4.

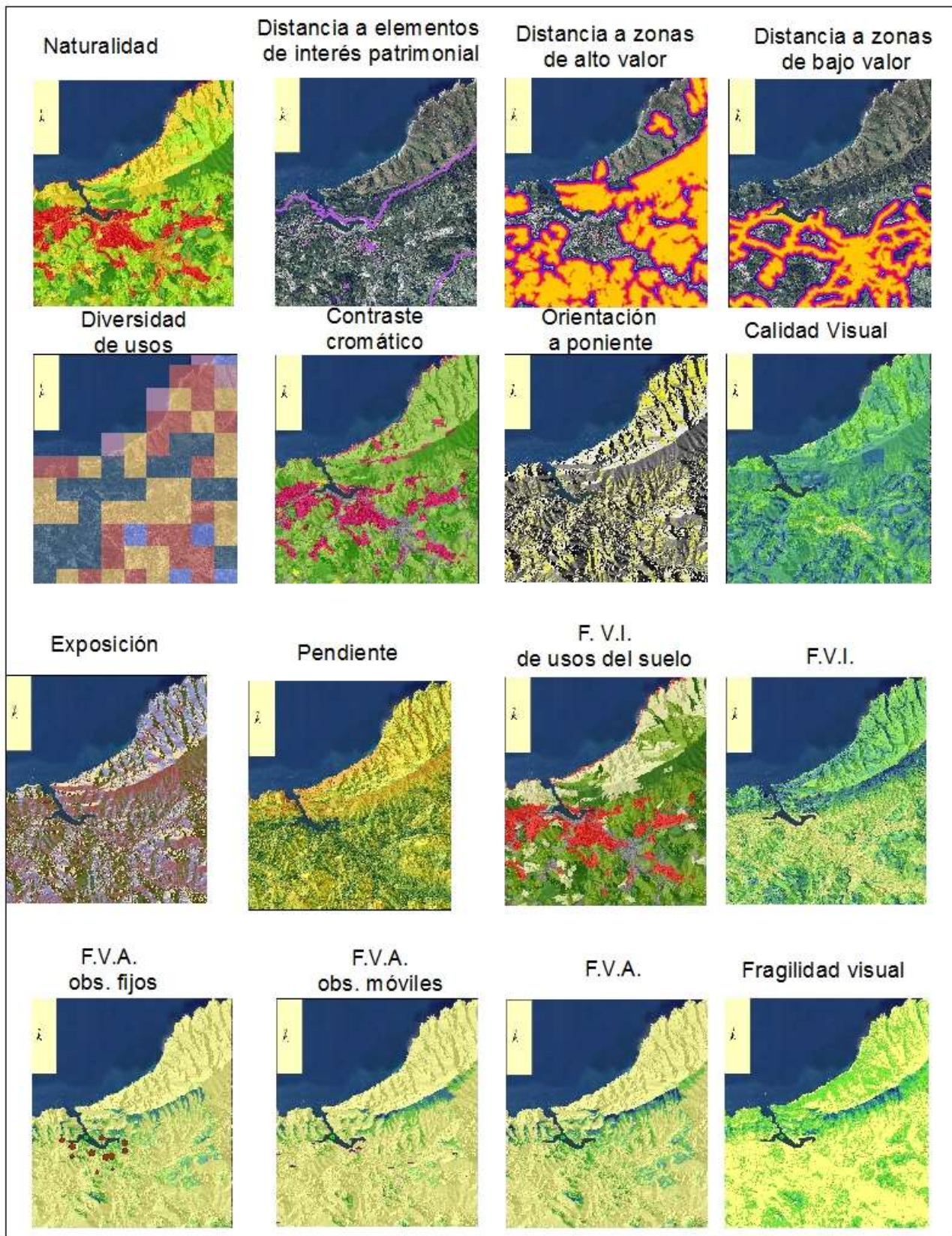


Figura 7. Secuencia de mapas de la metodología propuesta Fuente: Elaboración propia en base a la cartografía a 1:5000 de la Diputación Foral de Gipuzkoa

5. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como puede apreciarse en la figura 8, el resultado final, la suma de la calidad y de la fragilidad da una estimación del valor del paisaje, expresado en % de hectáreas por cada categoría correspondientes entre 1 y 5, llamado Zonificación.



Figura 8. Calidad y fragilidad del paisaje: Mapa de zonificación. Fuente: Elaboración propia en base a la cartografía a 1:5000 de la Diputación Foral de Gipuzkoa

En definitiva, se puede visualizar a grandes rasgos como la divisoria de aguas, permite zonas de elevada calidad, en la cumbre del monte Jaizkibel y de valores medios que dan hacia el Golfo de Bizkaia. En contraposición los valores más bajos corresponden a las zonas Industriales, de infraestructura y núcleos de población y el puerto en torno a la bahía. Por otro lado, también como los observadores se asientan en los núcleos urbanos, tienen una mayor consideración a los elementos más prominentes y naturales. A continuación, en la tabla 1 figuran las superficies relativas de cada una de las categorías establecidas (1-5):

| Valor | FVI | FVA vías | FVA Núcleos | FVA | FV | Calidad | Zonificación |
|-------|--------|----------|-------------|--------|--------|---------|--------------|
| 1 | 55.36% | 90.20% | 86.84% | 92.15% | 75.11% | 1.19% | 60.92% |
| 2 | 7.85% | 6.72% | 8.12% | 5.62% | 21.08% | 24.56% | 20.40% |
| 3 | 27.31% | 1.69% | 3.82% | 0.98% | 3.15% | 41.74% | 17.65% |
| 4 | 9.14% | 1.25% | 1.19% | 1.14% | 0.65% | 28.60% | 0.92% |
| 5 | 0.34% | 0.14% | 0.03% | 0.11% | 0.02% | 3.91% | 0.11% |

Tabla 1. Tabla de resultados. Superficies relativas de cada categoría en cada variable. Fuente: Elaboración propia.

Podemos observar como los valores mayores se encuentran en la variable de Fragilidad Visual Adquirida (FVA), se da principalmente en la primera categoría, de menor calidad, en función de los observadores, tanto móviles como fijos.

En nuestro caso se tuvieron en cuenta unos 463.154 observadores móviles, en 16 puntos diferentes y 22.560 personas estimadas fijas en 18 puntos diferentes alrededores de la bahía. En cambio, el resto de valores no presenta grandes cambios.

La utilidad de esta matriz calidad-fragilidad, nos muestra, a la hora de tener en cuenta la conservación y protección del paisaje, zonas de alta calidad y de fragilidad (valor 5), cuya conservación resulta prioritaria y,

por el contrario, las zonas de baja calidad-fragilidad (valor 1), serán aptas desde el punto de vista paisajístico para la localización de actividades poco gratas o que causen impactos muy fuertes.

Como nota, según el modelo propuesto por Estévez González et al. (2012) al hacer una comparación, estos municipios se asemejan al municipio gallego de Sanxenxo, como era de esperar por sus características parecidas.

6. CONCLUSIONES

A modo de balance global, podemos considerar que la metodología propuesta cumple las siguientes condiciones: La ventaja de este modelo, por una parte, es quitar al máximo el factor subjetivo. El tener en cuenta la importancia de poder cumplir con el objetivo propuesto por la investigación con el indicador propuesto (elemento patrimonial) nos ayuda a comprender lo que tiene de específico el territorio en que se trabaja. Como es un modelo que se ha replicado en varios municipios, puede formar parte de una metodología estandarizada para valorar el paisaje de cualquier zona. Una vez conocida la herramienta, es un modelo sencillo de comprender, medible y actualizable y construido a partir de una información accesible o fácil de realizar. Como una desventaja es la consideración de la distancia de los puntos de observación (tanto fijos como móviles) a un centroide de la zona de estudio, cuestión que nosotros hemos considerado errónea en nuestro caso, porque la base del punto de centroide es aleatoria y es por ello que consideramos al centro de la bahía como distancia de observación, (se toma este punto porque es el centro paisajístico más valioso de la bahía en sí, pero es un punto arbitrario), parámetro que puede llegar a ser discutido, pudiendo ser un factor subjetivo muy grande.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores muestran su agradecimiento a Víctor Estévez González y Juan Carlos García Palomares, por habernos introducido al modelo empleado en el artículo, así como a la empresa Ekos, por habernos permitido desarrollar parte del trabajo en ella. Agradecemos de igual modo a Mikel Elorza, técnico de Diputación de Gipuzkoa por el facilitamiento de las capas shape y ortofotos, y a Manuel Antonio Zárate Martín por las consideraciones dadas en una versión previa.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Consejo de Europa. 2000. «Convenio Europeo del Paisaje». Consejo de Europa, Florencia. <http://www.magrama.gob.es/en/desarrollo-rural/temas/desarrollo-territorial/convenio.aspx>.
- Estévez González, Víctor, Luis Garmendia Salvador, y Juan Carlos García Palomares. 2012. «Calidad y fragilidad visual del paisaje: MCE, fuzzy logic y GIS.» Trabajo Fin de Máster, Madrid: Universidad Complutense de Madrid. <http://eprints.ucm.es/16016/>.
- Frolova, Marina, y Georges Bertrand. 2006. «Geografía y paisaje». En *Tratado de geografía humana*, 254-69. Barcelona: Anthropos Editorial; Mexico:UAM.
- González Bernáldez, Fernando. 1981. *Ecología y paisaje*. 1a ed. Ciencias de la Naturaleza. Madrid: Blume.
- Mata Olmo, Rafael. 2002. «Paisajes Españoles. Cuestiones sobre su conocimiento, caracterización e identificación». En *Paisaje y ordenación del territorio*, 33-46. Sevilla: Consejería de Obras Públicas y Transportes.
- Zárate Martín, M. Antonio. 2011. «Paisajes culturales urbanos, entre la protección y la destrucción». *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, nº 57: 175–194.

INCIDENCIA DE LA INTENSIFICACIÓN AGRARIA EN LA TENDENCIA DEL NDVI. URUGUAY 2000-2011

Ismael Díaz¹, Mauricio Ceroni² y Marcel Achkar³

¹ Universidad de la República/Facultad de Ciencias/ Laboratorio de Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental del Territorio, Iguá 4225, CP: 11.400, Montevideo-Uruguay. idadiaz@fcien.edu.uy

² Universidad Nacional Autónoma de México/Instituto de Geografía, Ciudad Universitaria, CP: 04510, DF - México. mceroni@comunidad.unam.mx

³ Universidad de la República/Facultad de Ciencias/ Laboratorio de Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental del Territorio, Iguá 4225, CP: 11.400, Montevideo-Uruguay. achkar@fcien.edu.uy

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue analizar la distribución espacio-temporal del NDVI en Uruguay, y explorar la variabilidad de su comportamiento en diferentes tipos y niveles de intensidad de uso del suelo.

La estrategia metodológica incluyó la generación de un índice de intensidad de uso del suelo a partir de información oficial de censos agropecuarios; el trabajo con imágenes satelitales SPOT 4 y 5 de resolución espacial 1km²; y el análisis de tendencia de NDVI mediante el uso de series temporales.

Los principales resultados evidencian una tendencia decreciente del NDVI en el espacio agrario uruguayo. Los mayores valores de NDVI se encontraron en zonas con bajos valores de intensidad de uso y en zonas de forestación exótica. Las zonas con mayores valores de NDVI se correlacionaron con las zonas que más se intensifican entre 2000 y 2011. Además se encontró que la tendencia al decrecimiento es mayor en las zonas con usos más intensivos. Estos resultados sugieren que además de las sequías, los cambios en el uso del suelo se presentan como una variable explicativa de los cambios en los valores del NDVI. Por otro lado, considerando que la intensificación se asocia a tendencias decrecientes del NDVI y que se manifiesta principalmente sobre las zonas que presentan mayores valores de NDVI, de no registrarse cambios significativos en las precipitaciones, es esperable una disminución aún mayor del NDVI en los próximos períodos.

Palabras clave: NDVI; Intensificación Agraria; Uruguay; SPOT.

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the spatial-temporal distribution of NDVI in Uruguay and explore the variability of its behavior in different types and levels of land use intensity.

Methodology includes, by using agricultural official information from national census, the generation of an index of intensity of land use; the work with satellite images of 1km² spatial resolution SPOT 4 and 5; and NDVI trend analysis using temporal series.

The main results showed a downward trend in NDVI in uruguayan agricultural area. Highest values of NDVI were found in areas with low values of intensity land use and in forestry areas. In addition, areas with higher NDVI values were correlated with areas that were intensified between 2000 and 2011. It was also found that the downward trend is greater in areas with more intensive land uses. These results suggest that, in addition to drought, land use changes are an explanatory variable of NDVI value changes. On the other hand, considering that intensification is associated with downward trend of NDVI and it occurs mostly on areas with higher values of NDVI, it is expected an even greater decrease of NDVI in the next periods if significant changes in rainfall are not recorded.

Keywords: NDVI, Agricultural intensification, Uruguay, SPOT

1. INTRODUCCIÓN

Los avances alcanzados en las técnicas de Sensoramiento Remoto así como el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se han consolidado respectivamente como importantes fuentes de datos y poderosas herramientas para la generación y análisis de información espacial. La utilización de imágenes satelitales de baja resolución espacial y alta resolución temporal ha posibilitado la utilización masiva y creciente de índices de vegetación.

Uno de los índices más utilizado es el Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), el cual surge a partir de la operación de dos bandas del espectro electromagnético (rojo e infrarrojo cercano) y se presenta como un indicador directo de la cantidad de biomasa verde fotosintéticamente activa (Tucker y Sellers, 1986), presentando una relación lineal y positiva con la fracción de la radiación fotosintéticamente activa (Sellers et al., 1992) y por ende también con la productividad primaria (Prince, 1991).

Por otro lado, numerosos estudios demuestran la asociación positiva entre la Productividad Primaria Neta Aérea (PPNA) y el funcionamiento de los sistemas ambientales (Fisher et al., 2009, Laterra et al., 2011). Lo anterior sugiere la posibilidad de avanzar en el conocimiento de las alteraciones en el funcionamiento de los sistemas ambientales a partir del análisis de las alteraciones espacio-temporales de la PPNA. Por estos motivos, la PPNA se ha posicionado como un indicador robusto del funcionamiento de estos sistemas.

En las últimas décadas, diversos estudios han analizado la evolución de la productividad a diversas escalas. Nemani et al., (2003) han encontrado un incremento de la productividad a escala global para el período 1982-1999. Por otro lado Zhao y Running (2010) han encontrado un descenso de la productividad a escala global para el período 2000-2009 y posteriormente Samanta et al. (2011) en respuesta a lo planteado por Zhao y Running (2010), sostienen que el 15% de estos cambios al sur de los 70º N son significativos.

Las tendencias de la productividad primaria hallada para los diferentes períodos han presentado claras diferencias a nivel espacial, habiendo zonas del planeta donde la productividad crece, otras donde decrece y otras donde se mantiene relativamente estable.

La productividad en el continente sudamericano ha mostrado un crecimiento en el período 1981-2000, el que ha estado asociado principalmente al incremento de la productividad de los bosques lluviosos y de las sabanas (Paruelo et al. 2004). Estos autores proponen como explicación a este incremento el aumento de CO₂ en la atmósfera, al aumento de la temperatura y la expansión de los cultivos forestales y agrícolas.

Para las zonas templadas del continente sudamericano, las pampas, Zhao y Running (2010) y Samanta et al. (2011) en un estudio a escala global, reportan un decremento de la productividad primaria neta, el cual se encuentra asociado principalmente a las sequías ocurridas en el continente en el período 2000-2009.

Además de los controles generados por la disponibilidad de agua, la temperatura, la incidencia de la radiación solar, el contenido de CO₂ en la atmósfera y otros (Nemani et al., 2003) la productividad, naturalmente, se encuentra en función del tipo de cobertura vegetal. De esta manera, los cambios en los usos del suelo generan cambios en el NDVI (Paruelo et al. 2004).

La Pampa sudamericana integrada en su totalidad por Paraguay y Uruguay, el Centro-Norte de Argentina, el Este y el Noreste Boliviano y Centro-Oeste, y Sur de Brasil, ha presentado en las últimas décadas cambios sin precedentes en el uso del suelo asociados a procesos de expansión de la frontera agrícola e intensificación agraria. El conjunto de estos países durante los últimos 10 años presentan un crecimiento en: a) las exportaciones de bienes primarios; b) índice de concentración de la tierra (GINI); c) la superficie de la silvicultura; d) la superficie agrícola; e) la superficie de tierras arables; f) la superficie regada; g) uso de fertilizantes y plaguicidas (CEPAL, 2015).

El análisis de la evolución del NDVI y su asociación con cambios en los usos del suelo se presenta como una herramienta de alto potencial para poder analizar cambios en el funcionamiento de los ecosistemas y su potencialidad para la generación de servicios, a partir de una variable síntesis. En este contexto el objetivo

general del trabajo fue analizar la distribución espacio-temporal del NDVI en Uruguay, y explorar la variabilidad en su comportamiento en diferentes tipos y niveles de intensidad de uso del suelo.

2. ÁMBITO DE ESTUDIO

La zona de estudio corresponde a todo el territorio terrestre de Uruguay (situado entre los 30° 05' y 34° 58' de latitud sur y los 53° 11' y 58° 26' de longitud oeste) (Figura 1). La superficie total supera los 17 millones de hectáreas (176.000 km²), el clima es templado y húmedo, con precipitaciones acumuladas anuales que varían entre 900mm y 1500mm entre el oriente y el occidente del país, y temperaturas medias que varían entre 17°C y 20°C de occidente a oriente.

La gran mayoría de la superficie del espacio agrario presenta una cobertura vegetal de pastizales naturales y un uso ganadero extensivo (más de 12 millones de hectáreas) (Figura 1). Seguidamente se destacan los cultivos de secano, cerealeros y oleaginosos localizados al oeste del país (principalmente la soja con aproximadamente 1 millón de hectáreas), y los cultivos de regadío al este del país (principalmente el arroz con aproximadamente 200.000 de hectáreas). Además se destaca una importante superficie destinada a la forestación de especies exóticas (aproximadamente 1 millones de hectáreas), localizada mayoritariamente en 4 regiones principales.

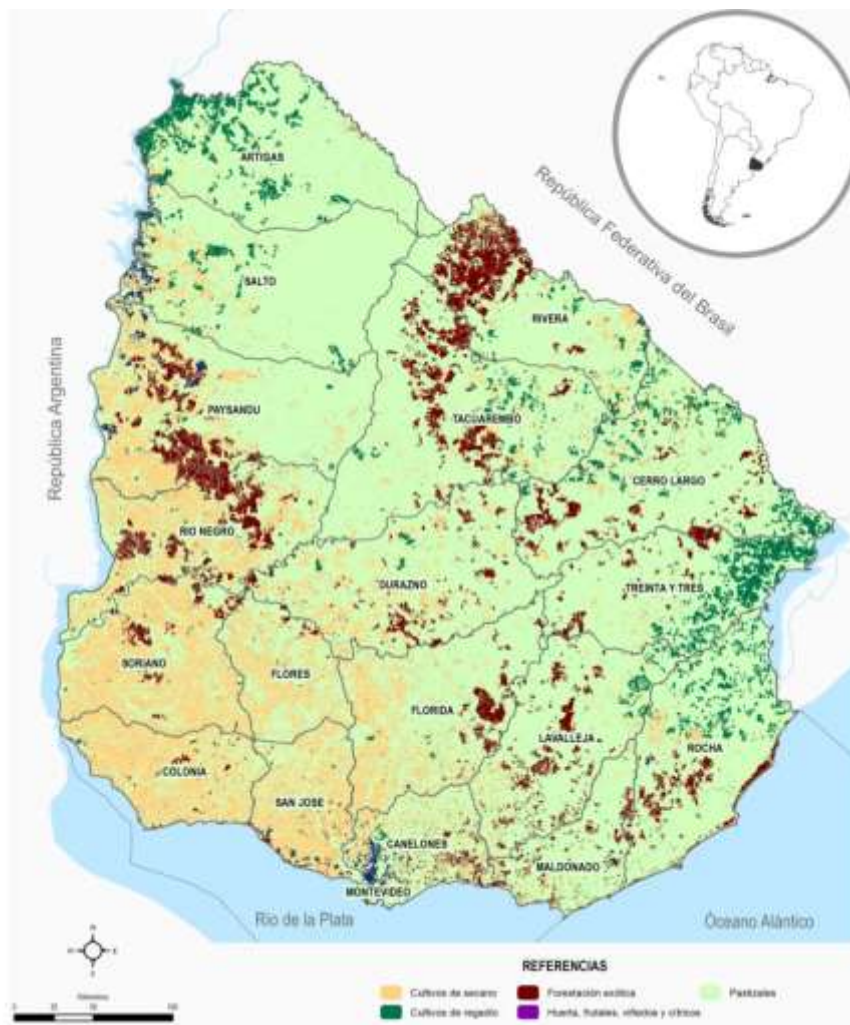


Figura 1. Localización y usos del suelo en el área de estudio. Elaboración propia en base a DINOT 2013.

3. METODOLOGÍA

La estrategia metodológica incluyó la generación de un índice de intensidad de uso del suelo a partir de información oficial de censos agropecuarios; el trabajo con el índice NDVI mediante el uso de imágenes satelitales SPOT 4 y 5 utilizando el instrumento Vegetation (VGT) y el análisis de correlación y tendencia en series temporales de NDVI.

Intensidad de Uso del Suelo

Se elaboró un índice de intensidad de uso del suelo mediante la clasificación de las principales coberturas vegetales en el territorio uruguayo, de acuerdo al uso del suelo que se desarrolla en éstas y en función de la utilización de insumos (agua, fertilizantes, agroquímicos, etc.) por parte de cada uso (intensidad). Para la elaboración de este índice se tomaron como referencia la propuesta realizada por Prados et al. (2002) y el antecedente generado por Gazzano y Achkar (2014), adaptándose la clasificación en función de las características de los usos del suelo en el territorio uruguayo registrados en los censos agropecuarios.

En primera instancia se identificaron 14 categorías de cobertura vegetal y posteriormente se asoció cada cobertura con sus usos del suelo más frecuentes. Seguidamente se ordenaron de forma ascendente de acuerdo a la intensidad asociada a cada uso del suelo. Este orden jerárquico coloca a los humedales y bosques naturales en el nivel inferior de intensidad y a los cultivos cerealeros y oleaginosos en el nivel superior (Tabla 1).

A continuación se generó el ponderador de cada uso del suelo el cual se define a partir de la relación entre el orden de cada uso del suelo y la sumatoria de todos los órdenes. Finalmente estos valores fueron estandarización entre 0,01 y 1, quedando los usos más intensivos con mayores valores de ponderador.

Tabla 1. Jerarquización y ponderación de coberturas vegetales y los usos del suelo según su nivel de intensidad.

| COBERTURA VEGETAL/ USO DEL SUELO | ORDENACIÓN | PONDERADOR |
|--|------------|------------|
| HUMEDALES Y BOSQUE NATURAL | 1 | 0.01 |
| CAMPO NATURAL | 2 | 0.02 |
| CAMPO NATURAL FERTILIZADO | 3 | 0.03 |
| CAMPO NATURAL CON SIEMBRA EN COBERTURA | 4 | 0.04 |
| PRADERA SEMBRADA | 5 | 0.05 |
| RASTROJO | 6 | 0.06 |
| FORRAJE | 7 | 0.07 |
| CAMPOS CON HERBICIDA | 8 | 0.08 |
| HUERTAS | 9 | 0.09 |
| FRUTALES | 10 | 0.10 |
| VIÑEDOS | 11 | 0.10 |
| FORESTACIÓN | 12 | 0.11 |
| CÍTRICOS | 13 | 0.11 |
| CEREALES Y OLEAGINOSAS | 14 | 0.13 |

Se trabajó con información oficial proporcionada por los censos agropecuarios de los años 2000 (CGA, DIEA 2000) y 2011 (CGA, DIEA 2015). La unidad de mayor resolución en la provisión de datos de estos censos corresponde al área de enumeración. El territorio uruguayo se divide en 637 áreas de enumeración siendo la superficie media de estas unidades de 27.300 hectáreas.

Por lo tanto, la información de usos del suelo y por consiguiente el índice de intensidad de uso del suelo se generó a escala de área de enumeración (Ec. 1). El resultado final de intensidad varió entre 1 y 10, dónde los valores más altos indicaron mayores niveles de intensidad en el uso del suelo.

$$Ec.1 \quad IAE_i = \sum (S_{ni}/SAE_i) \times P_n$$

Siendo: IAE=Intensidad en el área de enumeración i

S=Superficie del uso del suelo n en el área de enumeración i

SAE= Superficie total del área de enumeración i

P= Ponderador del uso del suelo n

Distribución espacio-temporal del NDVI

Para la caracterización del área de estudio se trabajó con imágenes satelitales SPOT 4 y 5 utilizando el instrumento Vegetation (VGT), disponible gratuitamente en la plataforma VITO (www.spot-vegetation.com). Este sistema presenta entre sus principales productos el índice de vegetación NDVI, índice que combina las bandas electromagnéticas del rojo y del infrarrojo (Ec. 2).

$$Ec.2 \quad NDVI = (IR-R) / (IR+R)$$

Siendo: IR: reflectancia en la región del infrarrojo cercano en el espectro electromagnético

R: reflectancia en la región del rojo en el espectro electromagnético.

La resolución temporal del producto utilizado fue de 10 días, la resolución espacial de 1km² y el período de análisis considerado fue desde 1999 hasta finales de 2010. Esto determinó la utilización de 438 imágenes. Se consideró el año 1999 a los efectos de relevar el escenario próximo anterior a la realización del censo.

Luego de su adquisición se realizó una transformación de los valores digitales (DN) a valores de NDVI mediante la función lineal elaborada por el equipo técnico de SPOT (www.spot-vegetation.com). Posteriormente se aplicó el producto Status Map (SM) para filtrar los datos de NDVI con valores fuera del rango del NDVI (<0; >1). A continuación se procedió a la corrección geométrica de la imagen, la cual se realizó en el proceso de transformación de la base de datos al sistema de referencia, datum WGS84, sistema de proyección Universal Transversa Mercator (UTM) zona 21 sur (Ceroni et al., 2015). Posteriormente la información disponible en formato raster fue convertida a formato vectorial e integrada en el sistema de información de geográfica previamente desarrollado para la sistematización y generación de información de usos del suelo. Finalmente la información de NDVI fue resumida por área de enumeración y por mes.

Análisis estadísticos

Los procesamientos estadísticos integraron en primera instancia análisis de correlación no paramétrica entre los valores de intensidad en el uso del suelo y los valores de NDVI hallados en las áreas de enumeración analizadas. Para esto se realizaron análisis de correlación no paramétrica de Spearman (Legendre & Legendre, 1998).

A los efectos de caracterizar el comportamiento del NDVI para todo el territorio nacional se trabajó con series temporales, mediante la implementación de la prueba no paramétrica de tendencia de Mann-Kendall (Hirsch et al., 1982; Westmacott y Burn, 1997).

Finalmente se generó un agrupamiento de las áreas de enumeración en función de sus valores de intensidad de uso del suelo, y se analizó la tendencia en sus valores de NDVI para el período 1999-2010 utilizando la prueba de Mann-Kendall y analizando la pendiente de Sen (Sen 1968).

Los procesamientos se realizaron utilizando el programa R versión 2.12.2 paquetes WQ y Kendall (R Development Core Team, 2012). En todos los casos se asumió un p valor de 0.05.

4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el período 2000-2010 se visualiza un claro proceso de intensificación agraria en el territorio uruguayo. En dicho período el índice nacional medio de intensificación se incrementó un 16%, pasando de 3,8 en 2000 a 4.4 en 2011. Este incremento se explica principalmente por el crecimiento de la superficie destinada al cultivo de soja (más de 900.000 hectáreas) y de forestación (más de 300.000 hectáreas), presentándose un crecimiento de la frontera agrícola con dirección de oeste a este (Figura 2).

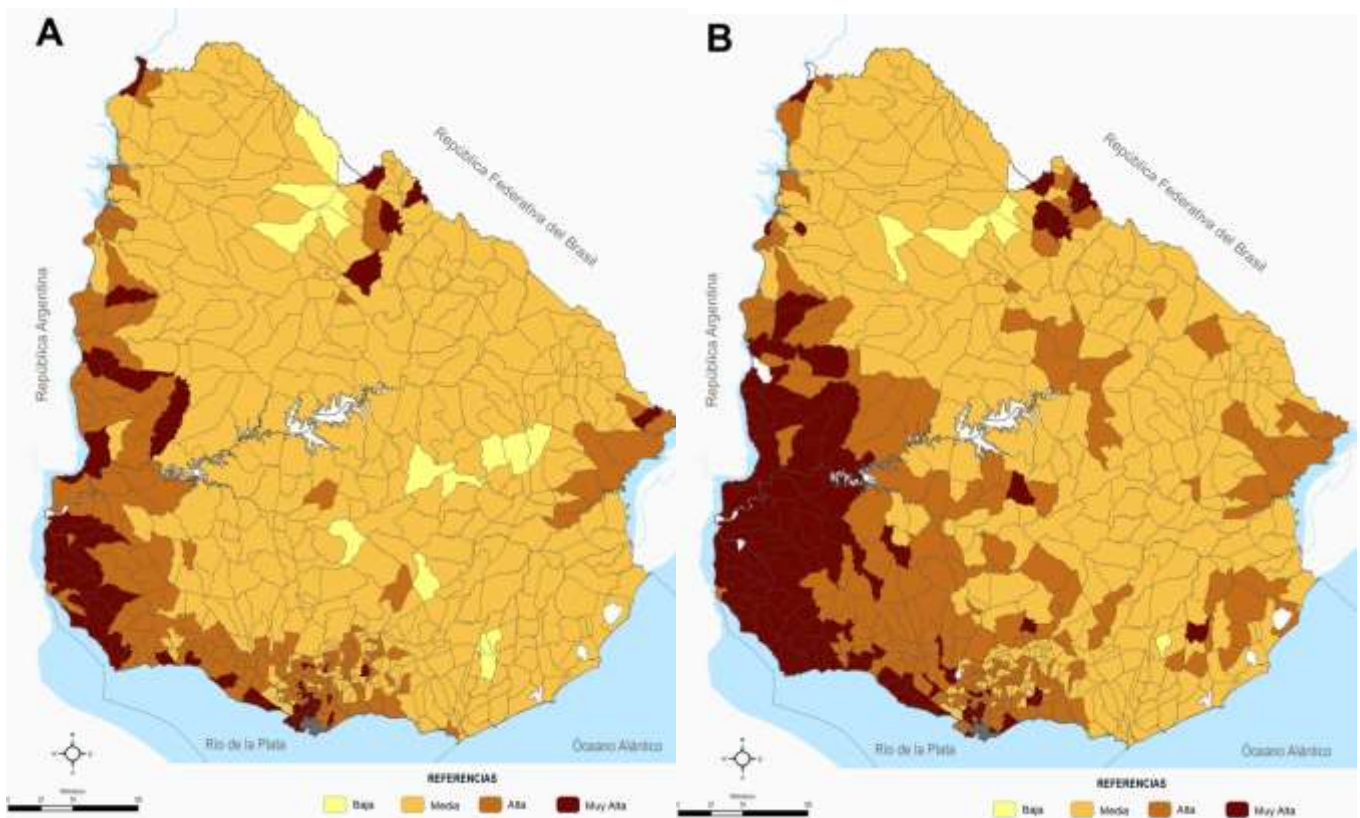


Figura 2. Intensidad en el uso del suelo en el año 2000 (A) y 2011(B). Elaboración propia en base a CGA 2000 y CGA 2011.

Los valores de NDVI registraron una tendencia decreciente en el período 2000-2011 para el conjunto del país (Figura 3). Esto se evidencia con la prueba de tendencia de Mann-Kendall, la cual arrojó un valor $z=-4,21$ con $p<0.001$ y una pendiente de Sen= $-0,0005$.

La tendencia a la disminución del NDVI registrada concuerda con la ocurrencia de dos sequías agronómicas de importancia en el período analizado. Esta situación se asocia a lo propuesto por Zhao y Running (2010) como explicación al descenso de la productividad en estas zonas del planeta. Además es concordante con lo propuesto por numerosos trabajos que documentan la estrecha vinculación entre NDVI y precipitaciones.

Los valores de intensidad de uso del suelo se correlacionaron negativamente con los valores medios de NDVI en los años 2000 ($r_s=-0,35$, $p<0.001$) y 2010 ($r_s=-0.50$, $p<0.001$). Por otra parte se detectaron coeficientes de

variación mayores en áreas de enumeración con altos valores de intensidad de uso (7,6) que en áreas con bajos valores de intensidad (3,4). De esta manera, las áreas de enumeración con menores valores de intensidad de uso del suelo presentaron mayores valores de NDVI y menor variación (desviaciones estándar). Esta situación pone en evidencia la incidencia diferencial de la variabilidad climática sobre los agrosistemas, mostrándose más resilientes los sistemas con menores niveles de intensidad en el uso del suelo.

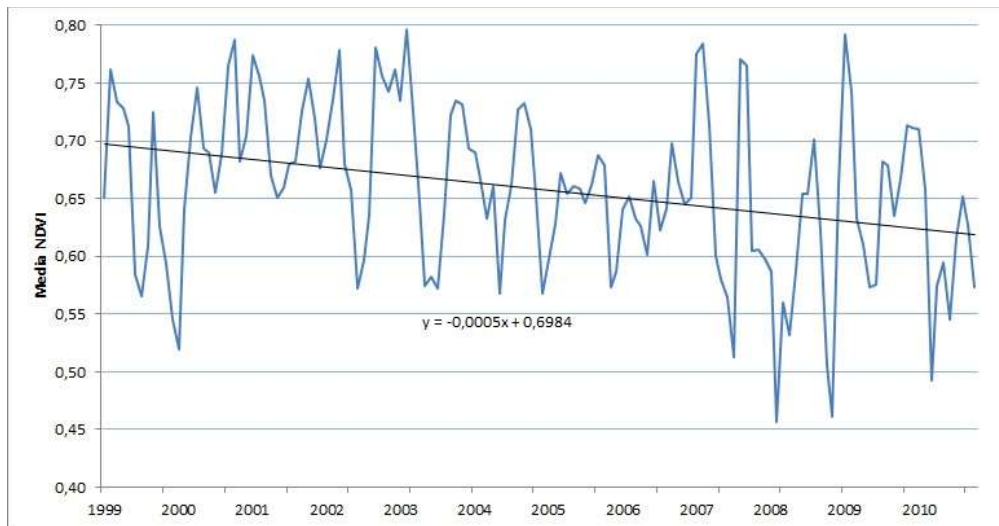


Figura 3. Evolución del NDVI en el período 1999-2011. Elaboración propia en base a imágenes satelitales SPOT 4 y 5.

Se detectó que la variación interanual del NDVI es mayor cuanto mayor es la intensidad en el uso del suelo (Figura 4). Las áreas con intensidad muy baja y media presentaron un comportamiento relativamente estable a lo largo del año y las áreas de intensidad muy alta presentaron valores muy altos a finales del verano y mediados de primavera y muy bajos en invierno. Esta situación se asocia a que las zonas de alta intensidad (uso predominantemente agrícola de secano) a pesar de ser muy productivas en determinados meses, no compensan los meses en los cuales el suelo se encuentra sin vegetación y está siendo preparado para una nueva siembra y que por tanto su producción es muy baja.

Por otra parte, la tendencia del NDVI para el período analizado es decreciente para todos los grupos de áreas de enumeración generados según intensidad de uso del suelo. Sin embargo, esta tendencia resulta más pronunciada en el grupo de áreas de enumeración de mayor intensidad, seguido del grupo de menor intensidad (Figura 5 y Tabla 2). Los valores encontrados son parcialmente consistentes con lo planteado por Ceroni et al. (2015), que para una escala local mostraron una relación positiva entre la intensidad de uso del suelo y la magnitud decreciente de la tendencia del NDVI. Sin embargo, los resultados de este trabajo colocan a las zonas de intensidad media como las zonas donde la tendencia al decremento es menor. Esta situación puede explicarse por la presencia de una importante superficie de cultivos forestales en este grupo de áreas, y sus características en cuanto a la cantidad y estabilidad de biomasa fotosintética activa de dichas coberturas vegetales.

A partir del análisis de la intensidad de uso del suelo y la tendencia del NDVI, los resultados encontrados en este trabajo permiten sostener la hipótesis que en zonas templadas la sustitución de pastizales naturales por cultivos (ej: soja) genera un decremento de los valores de NDVI. Esta situación se añade a la documentada por Paruelo et al. (2004) en cuanto a la reducción del NDVI en el proceso de sustitución de bosque natural por cultivos. Adicionalmente permite mantener la hipótesis que en zonas templadas la intensificación agrícola genera una reducción de los valores de NDVI, y que además esta reducción es más pronunciada en usos del suelo de mayor intensidad.

Por otro lado, se detectó que las zonas con mayores valores de NDVI son las que más se intensifican entre 2000 y 2011 ($r_s=0.20$, $p<0.001$). Esta situación pone aún más en evidencia la complejidad del escenario actual del espacio rural uruguayo, dado que los usos del suelo que generan las mayores reducciones del NDVI se expanden en las zonas donde los valores de NDVI son mayores.



Figura 4. Comportamiento anual del NDVI medio según intensidad de uso del suelo del área de enumeración. Elaboración propia en base a imágenes satelitales SPOT 4 y 5.

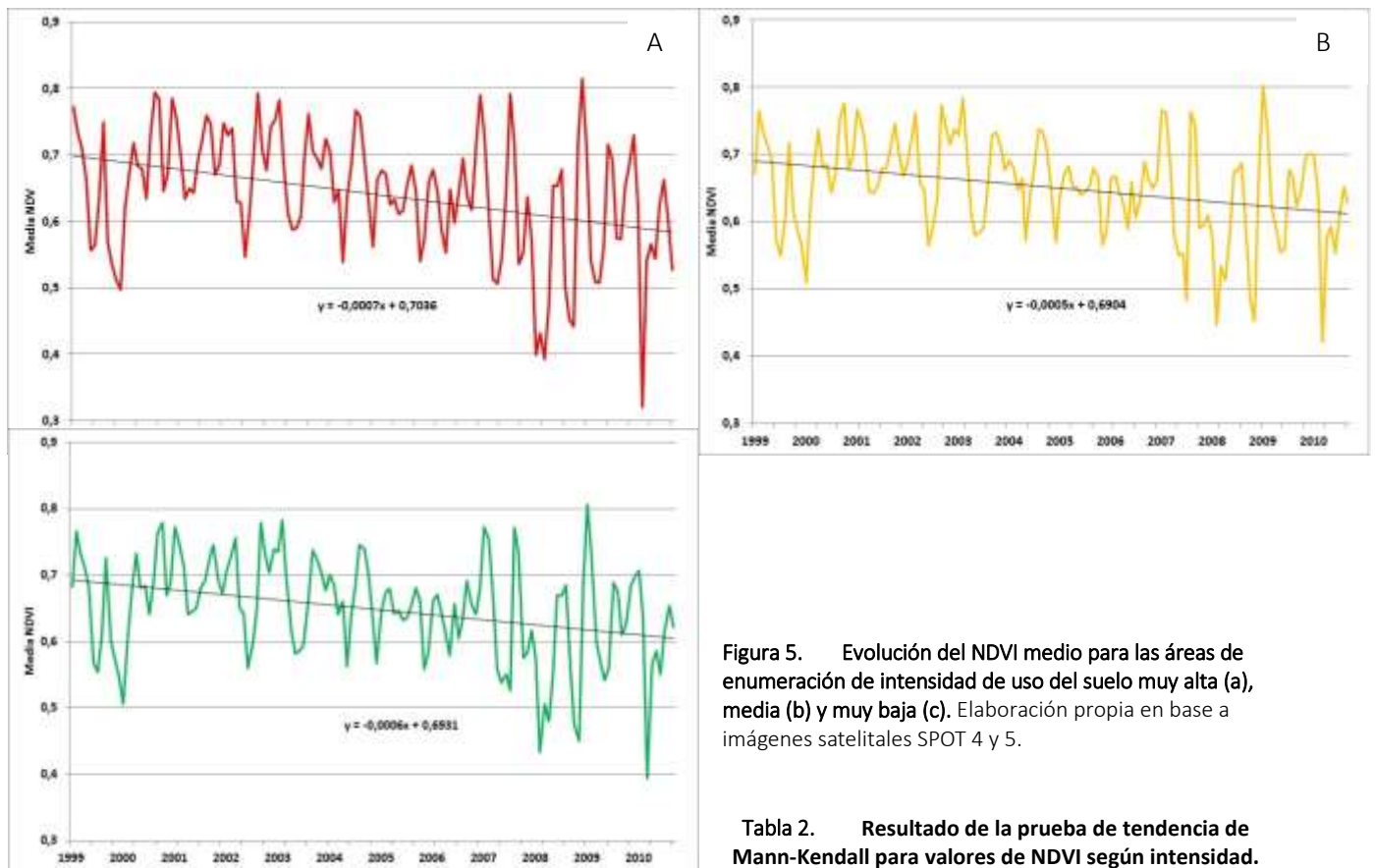


Figura 5. Evolución del NDVI medio para las áreas de enumeración de intensidad de uso del suelo muy alta (a), media (b) y muy baja (c). Elaboración propia en base a imágenes satelitales SPOT 4 y 5.

Tabla 2. Resultado de la prueba de tendencia de Mann-Kendall para valores de NDVI según intensidad.

| <i>Intensidad</i> | <i>Z</i> | <i>p</i> | <i>Pendiente de Sen</i> |
|-------------------|----------|----------|-------------------------|
| Muy alta | -4,59 | <0.0001 | -0,0007 |
| Media | -4,11 | <0.0001 | -0,0005 |
| Muy baja | -4,28 | <0.0001 | -0,0006 |

5. CONCLUSIONES

El presente trabajo permite avanzar en la caracterización de dos procesos de suma relevancia en el espacio agrario uruguayo, la intensificación de los usos del suelo y la evolución y tendencia del NDVI en los sistemas ambientales.

Los resultados alcanzados permiten sostener que los cambios en el NDVI y por tanto en la PPNA, se encuentran asociados a forzantes climáticas-atmosféricas, pero también a controles locales, ejercidos por los cambios el uso del suelo.

El análisis propuesto presenta una estrategia de utilidad para el análisis a escala regional, asociando un índice de intensificación que permite analizar todo el territorio uruguayo de forma integral, trascendiendo al análisis de evolución de un cultivo en particular, o el análisis predial. Dicha estrategia se basa en el análisis del comportamiento espectral de un territorio compuesto por un mosaico heterogéneo de usos del suelo y coberturas vegetales con una tendencia específica en el proceso global de intensificación. Por otra parte el uso del NDVI como indicador de la variabilidad temporal de la productividad primaria de estos territorios heterogéneos, permite identificar tendencias que integran el conjunto de procesos que se producen en cada una de estas zonas.

Finalmente, debido a que la intensificación agrícola en Uruguay se asocia a tendencias decreciente del NDVI y que se consolida principalmente sobre las zonas que presentan mayores valores de NDVI, quedan de manifiesto un conjunto de incertidumbres dado que de no registrarse cambios significativos en las forzantes externas, es esperable en los próximos períodos una disminución aún mayor del NDVI y por tanto de la PPNA y sus funciones ambientales asociadas.

6. BIBLIOGRAFÍA

- CEPAL. (2015). *Anuario Estadístico de América Latina y el Caribe 2014*: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- CGA-DIEA-MGAP. (2000): Censo General Agropecuario (2000). Montevideo. Uruguay
- CGA-DIEA-MGAP. (2015): Censo General Agropecuario (2011). Montevideo. Uruguay
- Ceroni, M., Achkar, M., Gazzano, I., y Burgeño, J. (2015): "Estudio del NDVI mediante análisis multiescalar y series temporales utilizando imágenes SPOT, durante el período 1998-2012 en el Uruguay", *Revista de Teledetección, AGT*, 43, 31-42.
- Fisher, B., Turner, R. y Morling, P. (2009): "Defining and classifying ecosystem services for decision Making", *Ecological Economics*, 68, 643-653.
- Gazzano, I. y Achkar M. (2014): "Transformación territorial: análisis del proceso de intensificación agraria en la cuenca del área protegida Esteros de Farrapos, Uruguay", *Revista Brasileña de Agroecología*, 9(2): 30-43.
- Hirsch, R, Slack J. y Smith R. (1982): "Techniques of trend analysis for monthly water quality data", *Water Resources Research*, 18(1), 107-121.
- Lattera, P., Jobbagy, E. y Paruelo J. (2011): "Valoración de bienes y servicios ecosistémicos: Conceptos, herramientas y aplicaciones para el ordenamiento territorial", Ed, INTA Buenos Aires. 744pp.

- Legendre, P. y Legendre, L. (1998): "Numerical Ecology". 2nd English Edition, Amsterdam. 870pp.
- Nemani, R., Keeling, C., Hashimoto, H., Jolly, W., Piper, S., Tucker, C., Myneni, R. y Running, S.(2003): "Climate-Driven Increases in Global Terrestrial Net Primary Production from 1982 to 1999", *Science*, 300, 1560-1563.
- Paruelo, J., Garbulsky, M., Guerschman, J. y Jobbágy, E. (2004): "Two decades of Normalized Difference Vegetation Index changes in South America: identifying the imprint of global change", *International Journal of Remote Sensing*, 25, 2793-2806.
- Prados, M., Camarillo, J., y García, F. (2002): "Metodología para la identificación y el análisis de procesos de intensificación agraria mediante la utilización de sistemas de información geográfica e imágenes de satélite. Caso práctico en la cuenca del Guadiamar. En: García Cuesta, et al. X Congreso de Métodos Cuantitativos, SIG y Teledetección, Valladolid. AGE.
- Prince, S. (1991): "Satellite remote sensing of primary production: comparison of results for Sahelian grasslands 1981-1988", *International Journal of Remote Sensing*, 12, 1301-1311.
- R Core Team (2012): "R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing", Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Sellers, P., Berry, J., Collatz, G., Field, C. y Hall, F. (1992): "Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration III. A reanalysis using improved leaf models and a new canopy integration scheme", *Remote Sensing of Environment*, 42, 187-216.
- Sen, P. (1968): "On a class of aligned rank order tests in two-way layouts", *The Annals of Mathematical Statistics*, 39(4): 1115-1124.
- Tucker, C., Sellers, P. (1986): "Satellite remote sensing of primary production", *International Journal Remote Sensing*, 7(11), 1395-1416.
- Westmacott, J. y Burn D. (1997): "Climate changes effects on the hydrologic regime within the Churchill- Nelson River Basin", *Journal of Hydrology*, 202, 263-279.

URL: <http://www.spot-vegetation.com>

ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA DE BIOMASA Y DE LAS EMISIONES DE CO₂ GENERADAS POR LA COMBUSTIÓN DE MASAS FORESTALES DE *PINUS HALEPENSIS* MILL. EN EL INCENDIO DEL MUNICIPIO DE LUNA (ARAGÓN), MEDIANTE DATOS LiDAR-PNOA.

Darío Domingo-Ruiz¹, M. Teresa Lamelas-Gracia^{1,2}, Antonio L. Montealegre-Gracia¹, Juan de la Riva-Fernández¹

¹ Universidad de Zaragoza, Dpto. Geografía y Ordenación del Territorio, Grupo GEOFOREST-IUCA, C/ Pedro Cerbuna 12, 50009, Zaragoza, España. domingo@unizar.es; tlamelas@unizar.es; monteale@unizar.es; delariva@unizar.es

² Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza, Academia General Militar, Ctra. de Huesca s/n, 50090, Zaragoza, España. tlamelas@unizar.es

RESUMEN

Los incendios forestales actúan como focos emisores de gases de efecto invernadero a la atmósfera pudiendo alterar el funcionamiento del ciclo de carbono. La disponibilidad de datos LiDAR-PNOA de baja resolución espacial (0,5 puntos/m²) con anterioridad a la ocurrencia en 2015 del incendio de Luna (Aragón), así como la idoneidad de estos datos para la estimación de la biomasa aérea total (BT), han motivado el objetivo de este trabajo, que se centra en el cálculo de la pérdida de biomasa y en las emisiones de CO₂ a la atmósfera generadas por la combustión, en el citado incendio, de masas forestales de *Pinus halepensis* Mill. La BT prefuego se calculó extrapolando un modelo de regresión lineal múltiple, obtenido en un área próxima al incendio, a partir de los valores de BT estimados en 46 parcelas de campo, y de una serie de variables independientes obtenidas de la nube de puntos LiDAR. Al modelo se le aplicó una validación cruzada dejando un dato fuera, obteniéndose un coeficiente de determinación de 0,89. La posterior implementación del modelo en un SIG permitió cartografiar la BT prefuego, así como estimar la pérdida de BT producida por el fuego y las emisiones de CO₂, que suponen 426.754,84 tn.

Palabras clave: LiDAR; biomasa total; emisiones de CO₂; regresión lineal múltiple; incendio forestal

ABSTRACT

Wildfire acts as a source of greenhouse gas emissions to the atmosphere, being able to alter the carbon cycle. The availability of LiDAR-PNOA data of low spatial resolution (0.5 points/m²) previous to the occurrence in 2015 of a wildfire in Luna (Aragón), as well as the suitability of those data to estimate total biomass (TB), determined the main objective of this research. Thus, this study focuses on the estimation of biomass losses and CO₂ emissions into the atmosphere generated by combustion of *Pinus halepensis* Mill. In this regard, prefire TB was calculated using a model obtained in a close area by applying a multivariate linear regression analysis to the TB estimated in 46 field plots and several independent variables calculated from the LiDAR point cloud. The model was validated using a leave-one-out cross-validation technique and the coefficient of determination was 0.89. The implementation of the model in a GIS allowed prefire TB mapping, as well as the estimation of TB losses caused by fire and CO₂ emissions, which account 426,754.84 tons.

Keywords: LiDAR; total biomass; CO₂ emissions; multiple linear regression; wildfire

1. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales constituyen un problema ambiental y socio-económico de primer orden en los ecosistemas mediterráneos, disminuyendo la capacidad de fijación de carbono de los bosques (van der Werf *et al.*, 2006) y erigiéndose como fuentes importantes de emisión de CO₂ a la atmósfera (Seiler y Crutzen, 1980; Andreae *et al.*, 1988; Narayan *et al.*, 2007; van der Werf *et al.*, 2010; Akagi *et al.*, 2011; Wiedinmyer *et al.*,

2011). En este contexto, la estimación de la cantidad de biomasa forestal ha adquirido un interés creciente. La teledetección con sistemas LiDAR (*Light Detection and Ranging*) aeroportados está demostrando un gran potencial en la estimación de parámetros estructurales de la vegetación, como la biomasa aérea total (BT). La estimación de la biomasa consumida, empleando factores de combustión asociados a la severidad del incendio (Oliva *et al.*, 2011), así como la cuantificación de las emisiones de CO₂ (Trozzi *et al.*, 2002), pueden proporcionar información acerca de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Por consiguiente, el objetivo principal del presente trabajo se centra en la estimación de la pérdida de biomasa y de las emisiones de CO₂ a la atmósfera producidas por la combustión de masas forestales de *Pinus halepensis* Mill. en el incendio ocurrido en 2015 en Luna (Aragón).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Ámbito de estudio

El área de estudio se localiza en una zona quemada en el incendio de Luna de julio de 2015, que arrasó 14.263 ha de monte y afectó a diversos municipios de la comarca de Cinco Villas (Aragón). Concretamente, 2.115 ha quemadas correspondieron a masas monoespecíficas de *Pinus halepensis* Mill., fragmentadas en rodales de tamaño variable. Estos bosques presentan un sotobosque dominado por especies como *Quercus ilex* subsp. *Rotundifolia*, *Quercus coccifera*, *Juniperus oxycedrus*, *Buxus sempervirens* y *Juniperus phoenicea* (figura 1).

2.2 Datos LiDAR

Los datos LiDAR fueron capturados durante los meses de enero y febrero de 2011 mediante un sensor de pulsos discretos Leica ALS60 en el marco del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). El desfase temporal con la fecha de adquisición de los datos de inventario de campo, tomados entre junio y julio de 2015 (figura 1), no se consideró relevante, dado que no se habían producido cambios significativos en la estructura forestal. Tras eliminar los retornos referentes al ruido, los ficheros LiDAR se filtraron según el algoritmo de clasificación de curvatura multiescala (Evans y Hudak, 2007) y, siguiendo las recomendaciones de Montealegre *et al.* (2015), se generó un MDE con una resolución de 1 m mediante el método de interpolación “*Point-TIN-Raster*” (Renslow, 2013), que fue utilizado para normalizar las alturas de los puntos. Finalmente, utilizando los comandos “*ClipData*” y “*CloudMetrics*” de FUSION LDV 3.30, se extrajeron las estadísticas de la nube de puntos LiDAR, recortada con las delimitaciones de las parcelas de campo (figura 1).

2.3 Datos de campo

Los datos de campo se obtuvieron en 46 parcelas circulares de 15 m de radio (figura 1), distribuyéndose según un muestreo aleatorio estratificado en una zona próxima al incendio. El levantamiento de las parcelas de inventario se realizó empleando un GPS-GNSS Leica VIVA GS15, obteniendo una precisión planimétrica media de 0,18 m. El diámetro normal a la altura del pecho (dap) se midió a 1,3 m de altura en todos los árboles con un dap superior a 7,5 cm. Se inventariaron 1.870 árboles, a partir de los cuales se calculó la BT de las parcelas muestreadas mediante la ecuación de regresión de Montero *et al.* (2005) (ecuación 1).

$$BT(\text{kg/ha}) = \frac{CF \cdot e^{-2,0939 \cdot \text{dap}^{2,20988}}}{\text{Superficie de la parcela}} * 10.000 \quad (1)$$

Siendo CF el factor de corrección ($CF = e^{\text{SEE}^2/2}$); SEE el error estándar de la estimación; e el número de Euler y dap el diámetro a la altura del pecho en cm.

2.4 Modelo predictivo para la estimación de la BT prefuego

Como paso previo, se preseleccionaron las variables LiDAR que presentaban una mejor correlación con la BT, calculando los coeficientes de correlación de Spearman (Rho) y analizando la significación estadística de los mismos (Watt *et al.*, 2013). Estas variables se incluyeron en el análisis de regresión lineal múltiple utilizando un proceso de selección “paso a paso”, para ajustar el modelo por el método de mínimos cuadrados. La selección del modelo se realizó considerando los estadísticos de bondad del ajuste: R² corregido, sesgo y error cuadrático medio (RMSE), comprobándose el cumplimiento de las hipótesis básicas (García *et al.*, 2012). Posteriormente, se analizó la capacidad predictiva del modelo mediante una validación cruzada dejando un dato fuera (Maltamo *et al.*, 2014). El modelo generado en una zona próxima al incendio se implementó en la zona quemada utilizando un SIG, con el fin de estimar la BT prefuego.

2.5 Estimación de la pérdida de BT a causa del fuego y del total de emisiones de CO₂ a la atmósfera.

La estimación de la BT perdida en el incendio se realizó en tres fases: i) estimación de la severidad del incendio mediante el cálculo del índice dNBR (*differenced Normalized Burn Ratio*) (Key y Benson, 2005) a partir de las imágenes Landsat 8 OLI-TIRS prefuego (30-06-2015) y postfuego (09-07-2015); ii) delimitación de las masas de pinar quemadas a partir del Mapa Forestal de España MFE50 (MAGRAMA, 2016) y de la información LiDAR; y iii) recopilación de coeficientes de combustión asociados a bosques de coníferas en ecosistemas mediterráneos y aplicación de los factores de combustión 0,25; 0,42; y 0,57 (Oliva *et al.*, 2011) asociados a tres niveles de severidad del incendio, baja (dNBR de 100 a 269), media (dNBR de 270 a 659) y alta (dNBR de 660 a 1300), respectivamente. Posteriormente, los valores de BT perdida fueron convertidos a contenido de carbono aplicando el factor de conversión 0,499 (Montero *et al.*, 2005). Finalmente, se obtuvo el CO₂ emitido a la atmósfera en la combustión de las masas forestales analizadas utilizando la fórmula propuesta por Trozzi *et al.* (2002) (ecuación 2).

$$CO_2 = \varepsilon * \delta * C \quad (2)$$

Siendo ε la fracción del contenido de carbono emitido como CO₂ (0,888); δ el factor de conversión de emisiones de carbono a emisiones de CO₂ expresado en toneladas (44/12); y C el contenido de carbono.

3. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El modelo de estimación de la BT incluye dos métricas LiDAR: el porcentaje de primeros retornos sobre 2 m y el percentil 40 (tabla 1). Ambas presentan signos positivos, indicando una relación directa y coherente con la BT. A mayor porcentaje de primeros retornos por encima de 2 m sobre el suelo, mayor será la superficie cubierta por el estrato arbóreo. Asimismo, el percentil 40 expresa que cuanto mayor es la BT, el 40 por ciento de los retornos se encuentra a mayor altura, indicador de un mayor porte de la masa forestal. Como se observa en la tabla 1, el modelo presenta un ajuste elevado, con un R² de 0,89 y un RMSE de 6.146,04 kg/ha. El sesgo presenta un valor de -0,34 lo que evidencia una ligera subestimación del modelo.

| Variable | Ecuación del modelo | R ² | RMSE | Sesgo |
|------------|--|----------------|----------|-------|
| BT (kg/ha) | $1,007 * 10689,32 * e^{(0,0158 * \text{porcentaje } 1^{\circ} \text{ retornos sobre } 2 \text{ m})} * e^{(0,0713 * P_{40})}$ | 0,89 | 6.146,04 | -0,34 |

Tabla 1. Resumen del modelo de estimación de la BT tras la validación.

El adecuado ajuste del modelo obtenido, así como los resultados alcanzados por otros autores en masas forestales similares (Cabrera *et al.*, 2014; Montealegre *et al.*, 2015), permiten extrapolar el modelo al área de pinar incendiada. Con la implementación del modelo en un SIG se estima que la BT prefuego es de 546.486,74 tn (figura 1). La aplicación de los coeficientes de combustión (de Santis *et al.*, 2010; Oliva *et al.*, 2011) ha permitido obtener la biomasa perdida durante el incendio, que alcanza las 262.659,74 tn. Finalmente, la aplicación de los factores de conversión a carbono y posteriormente a valores de CO₂, ha

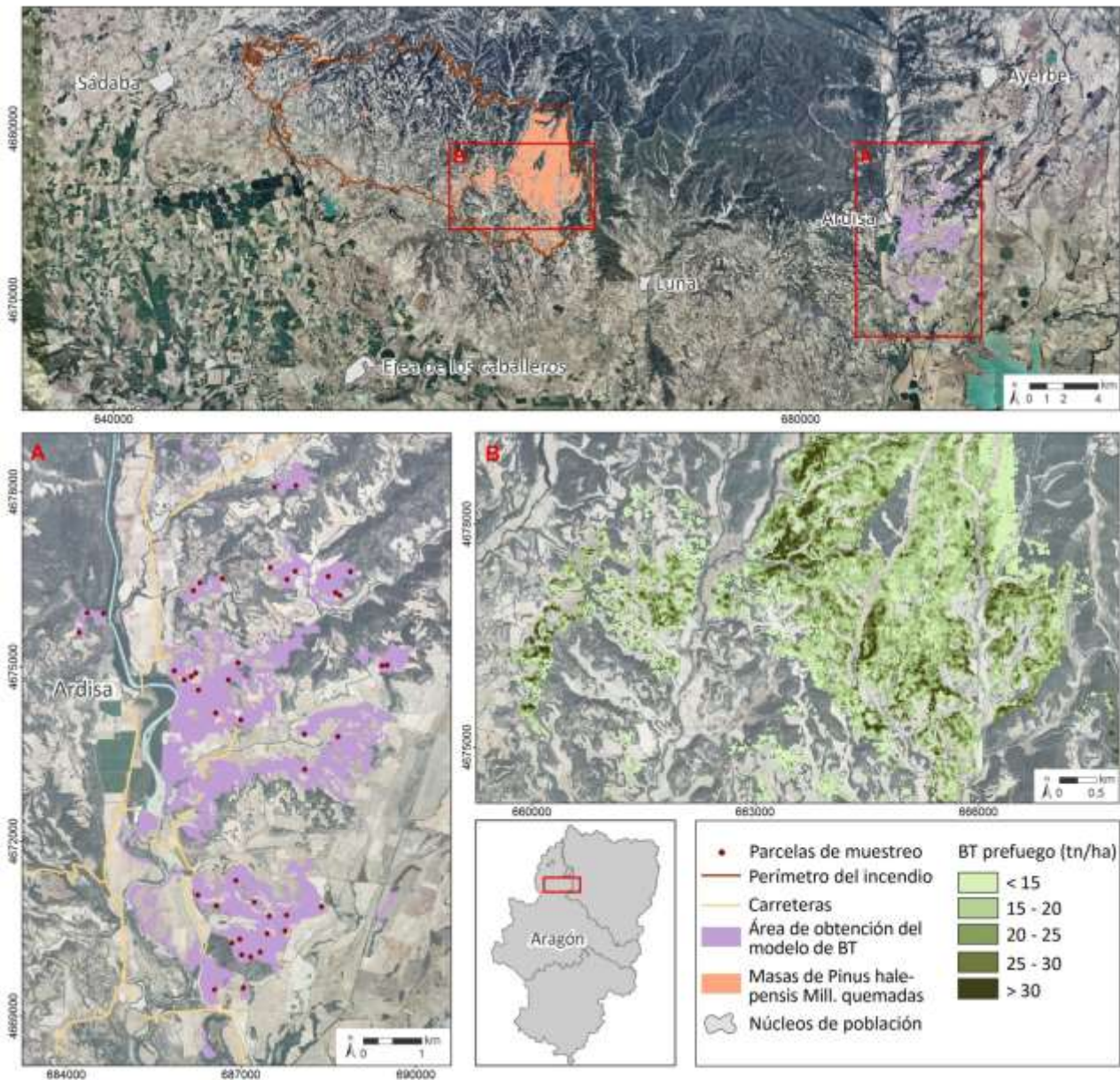


Figura 1. Área de estudio con la localización de las parcelas de campo, ubicadas en las masas de *Pinus halepensis* Mill. cercanas al incendio (A), y BT prefuego estimada en el incendio (B).

determinado que la combustión de los pinares de *Pinus halepensis* Mill. en el incendio de Luna emitió 426.754,84 tn de CO₂ a la atmósfera.

4. CONCLUSIONES

Los resultados del presente trabajo verifican la utilidad de los datos LiDAR-PNOA de baja densidad de puntos en la estimación de la BT en masas monoespecíficas de *Pinus halepensis* Mill., evitando la utilización de metodologías basadas en un intenso trabajo de campo y en un muestreo destructivo. La metodología empleada ha resultado adecuada para la estimación de la biomasa prefuego, a través de la extrapolación del modelo obtenido en un área próxima a la incendiada. Asimismo, se ha demostrado la idoneidad de las variables LiDAR, que tienen relación con parámetros forestales, para estimar las emisiones de CO₂ a la atmósfera causadas por la combustión de las masas de pinar estudiadas.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado en el marco de la beca predoctoral del Ministerio de Educación Cultura y Deporte (FPU-MECD). Los autores agradecen al Centro Universitario de la Defensa (CUD) los recursos materiales proporcionados para poder llevar a cabo el trabajo de campo.

6. BIBLIOGRAFÍA

Akagi, S.K., Yokelson, R.J., Burling, I.R., Meinardi, S., Simpson, I., Blake, D.R., McMeeking, G.R., Sullivan, A., Lee, T., Kreidenweis, S., Urbanski, S., Reardon, J., Griffith, D.W.T., Johnson, T.J., Weise, D.R. (2013): "Measurements of reactive trace gases and variable O₃ formation rates in some South Carolina biomass burning plumes", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 3, pp. 1141–1165.

Andreae, M.O., Browell, E.V., Garstang, M., Gregory, G.L., Harris, R.C., Hill, G.F., Jacob, D.J., Pereira, M.C., Sachse, G.W., Setzer, A.W., Silva Dias, P.L., Talbot, R.W., Torres, A.L., Wofsy, S.C. (1988): "Biomass-burning emissions and associated haze layers over Amazonia", *Journal of Geophysical Research*, 93, pp. 1509-1527.

Cabrera, J., Lamelas, M.T., Montealegre, A.L., de la Riva, J. (2014): "Estimación de variables dasométricas a partir de datos LiDAR PNOA en masas regulares de *Pinus halepensis* Mill.", en Ramón, A. (Ed.): *Tecnologías de la información para nuevas formas de ver el territorio*, Alicante, Universidad de Alicante, pp. 123-129. 25-27 julio de 2014, Alicante, XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica.

De Santis, A., Asner, G.P., Vaughan, P.J., Knapp, D.E. (2010): "Mapping burn severity and burning efficiency in California using simulation models and Landsat imagery", *Remote Sensing of Environment*, 114, pp. 1535-1545.

Evans, J.S., Hudak, A.T. (2007): "A Multiscale Curvature Algorithm for Classifying Discrete Return LiDAR in Forested Environments", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45, 4, pp. 1029-1038.

García, D., Godino, M., Mauro, F. (2012): *Lidar: Aplicación Práctica Al Inventario Forestal*. Editorial Academica Española.

Key, C.H., Benson, N. (2005): "Landscape Assessment: Ground Measure of Severity, the Composite Burn Index; and remote sensing of severity, the normalized burn ratio", en Lutes, D.C., Keane, R.E., Caratti, J.F., Key, C.H., Benson, N.C., Gangi, L.J. (Eds.): *FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System*. Ogden, UT, USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164.

MAGRAMA (2016): *Mapa Forestal de España 1:50.000 (MFE50)*. Disponible en <http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/mfe50.aspx>, consulta en marzo de 2016, Madrid, Banco de Datos de la Naturaleza, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Maltamo, M., Naesset, E., Vauhkonen, J. (2014): *Forestry Applications of Airborne Laser Scanning: Concepts and Case Studies*. Londres, Springer.

Montealegre, A.L., Lamelas, M.T., de la Riva, J., García-Martín, A., Escribano, F. (2015): "Cartografía de la biomasa aérea total en masas de *Pinus halepensis* Mill. en el entorno de Zaragoza mediante datos LiDAR-PNOA y trabajo de campo", en de la Riva, J., Ibarra, P., Montorio, R., Rodrigues, M. (Eds.): *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación*. Zaragoza, Universidad de Zaragoza – AGE, pp. 769-776. 28-30 octubre de 2015, Zaragoza, XXIV Congreso de la Asociación de Geógrafos Españoles.

Montero, G., Ruiz-Peinado, R., Muñoz, M. (2005): *Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles*. Madrid, Monografías INIA.

Narayan, C., Fernandes, P.M., van Brusselen, J., Schuck, A. (2007): "Potential for CO₂ emissions mitigation in Europe through prescribed burning in the context of the Kyoto Protocol", *Forest Ecology and Management*, 251, pp. 164-173.

- Oliva, P., Chuvieco, E. (2011): "Towards a dynamic burning efficiency factor", en San-Miguel, J., Gitas, I., Camia, A., Oliveira, S. (Ed.): *Advances in Remote Sensing and GIS applications in Forest Fire Management: From local to global assessment*. Luxemburgo, JRC66634 Scientific and Technical Reports, Publications Office of the European Union, pp. 51-56. 20-21 octubre de 2011, Stresa, Italia, 8th International EARSeL FF-SIG Workshop.
- Renslow, M. (2013): *Manual of Airborne Topographic Lidar*. Bethesda, MD, The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- Seiler, W., Crutzen, P.J. (1980): "Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning", *Climate Change*, 2, pp. 207-247.
- Trozzi, C., Vaccaro, R., Piscitello, E. (2002): "Emissions estimate from forest fires: methodology, software and European case studies", en *Proceedings of the 11th International Emission Inventory Conference. Emission Inventories - Partnering for the Future*, Atlanta, GA, U.S. Environmental Protection Agency, disponible en <http://www.epa.gov/ttn/chief/conference/ei11>. 15-18 de abril de 2002, Atlanta, GA, EPA 11th International Emission Inventory Conference.
- van der Werf, G.R., Randerson, J.T., Giglio, L., Collatz, G.J., Kasibhatla, P.S., Arellano, A.F. (2006): "Interannual variability in global biomass burning emissions from 1997 to 2004", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6, pp. 3423-3441.
- van der Werf, G.R., Randerson, J.T., Giglio, L., Collatz, G.J., Mu, M., Kasibhatla, P.S., Morton, D.C., DeFries, R.S., Jin, Y., van Leeuwen, T.T. (2010): "Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009)", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10, pp. 11707-11735
- Watt, M., Meredith, A., Watt, P., Gunn, A. (2013): "Use of LiDAR to estimate stand characteristics for thinning operations in young Douglas-fir plantations", *New Zealand Journal of Forestry Science*, 43, 18, pp. 1-10.
- Wiedinmyer, C., Akagi, S.K., Yokelson, R.J., Emmons, L.K., Al-Saadi, J.A., Orlando, J.J., Soja, A.J. (2011): "The Fire Inventory from NCAR (FINN): a high resolution global model to estimate the emissions from open burning", *Geoscientific Model Development*, 4, pp. 625-641.

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA APLICACIÓN DE LOS MODELOS DE FRAGMENTACIÓN DE HÁBITATS Y ACCESIBILIDAD A LA FRAGMENTACIÓN URBANA

Alejandra Ezquerro-Canalejo; Isabel Otero-Pastor; Esther Núñez-Uzquiano; Belén Martín-Ramos; Emilio Ortega-Pérez

Universidad Politécnica de Madrid/E.T.S.I.Montes, Forestal y Medio Natural/ Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, España. alejandra.ezquerro@upm.es

RESUMEN

Un espacio urbano se caracteriza por contar con una organización interna, viviendas contiguas que se distribuyen en calles, manzanas y lugares con espacios verdes, centros de seguridad, educativos, de salud, actividad comercial, infraestructuras de transporte... Todo ello provoca que la movilidad de los viandantes en las ciudades no siga trayectorias rectas o continuas desde el principio al fin, sino que se vean redirigidas u obstaculizadas por un sinfín de barreras arquitectónicas, que incrementan los tiempos de desplazamiento.

El trabajo es un proyecto de investigación en el que se han aplicado los modelos de fragmentación de hábitats y de accesibilidad al estudio de la fragmentación urbana, en el distrito de Chamberí (Madrid).

La metodología seguida se ha basado en la utilización de un SIG (ArcGIS), mediante el cual se realizan los cálculos necesarios con el fin de llegar a una comparativa porcentual de tiempos, entre los diferentes trayectos que se proponen, y en función de dos tipos de red: una simple, en la que el viandante no encuentra esperas, y otra doble donde se tienen en cuenta semáforos y pasos de peatón. Cada escenario ha sido analizado mediante los indicadores de los modelos de fragmentación de hábitats y accesibilidad.

En las conclusiones se exponen la diferencia de tiempos observada entre ambos escenarios y en función de cada modelo, y una posible solución para mejorar la movilidad de los peatones en los espacios urbanos.

Palabras clave: Fragmentación; Accesibilidad; SIG; Urbano; Hábitats.

ABSTRACT

An urban area is characterized by an internal organization, continuous housing that is distributed in streets, squares and places with green spaces, security centers, educational centers, health centers, business, transport infrastructure.... This causes the movement of pedestrians in cities do not follow straight or continuous paths from the beginning to the end, but they have been redirected or hampered by many architectural barriers, that increase travel times.

This document is related to this fact. It is a research project where models of habitat fragmentation and accessibility are applied to the study of the urban fragmentation, in the district of Chamberí (Madrid).

The methodology followed is based on the use of a GIS (ArcGIS), whereby calculations are performed in order to reach a comparative percentage of time, among different proposed paths, and according to two types of network: a simple one, where the pedestrian is not waiting, and a double where there are traffic lights and pedestrian steps. Each scenario will be analyzed by the indicators of habitat fragmentation and accessibility patterns.

Finally, the conclusions will discuss the time difference between the two scenarios, according to each model of study, well as a possible solution to improve pedestrian mobility in urban areas.

Keywords: Fragmentation; Accesibility; GIS; Urban; Habitat.

1. INTRODUCCIÓN

En este proyecto se va a abordar la problemática de la movilidad de los peatones en espacios urbanos al encontrarse con barreras a su paso, tales como vías de transporte o construcciones arquitectónicas. Este hecho hace que las trayectorias entre orígenes y destinos no sean siempre rectas y que los tiempos de traslado aumenten respecto a un escenario sin obstáculos.

Este proceso de fragmentación urbana va a ser analizado mediante una serie de indicadores relacionados con los conceptos adaptados de accesibilidad (Geurs, K.T. y Van Wee, B.; 2004) y fragmentación de hábitats (Taylor, P.D. et al, 1993; Turner, M. G., 1989; Tischendorf, L., Fahrig, L. 2000). Para ello aplicaremos como herramienta un Sistema de Información Geográfica (ArcGIS).

El objetivo del estudio es la comparación de los tiempos de recorrido estimados entre puntos de origen y destino desde dos perspectivas, la primera a través de una red de calles simples sin trabas para el viandante y, la segunda que estaría compuesta por una doble vía que simula las aceras y en cuyos cruces se van a incluir tiempos de espera de semáforos y pasos de peatón. Todo ello analizado según modelos de accesibilidad y fragmentación de hábitats, adaptados al medio urbano.

El resultado será la diferencia en porcentaje entre ambas situaciones.

1.1 Estado de la cuestión o revisión bibliográfica

Los patrones de asentamiento humano están cambiando rápidamente en todo el mundo, ya que la población mundial se vuelve cada vez más urbana (Kane et al., 2014). No es de extrañar, pues, que en los últimos años el análisis de la fragmentación urbana se haya convertido en una prioridad para los diseñadores y planificadores urbanos (Michelutti, 2010). Varias disciplinas, como la sociología, la economía, la geografía, el urbanismo y la planificación del transporte se han ocupado de este fenómeno, si bien, no se ha llegado a un consenso sobre la definición del término. Existen diferentes enfoques para el estudio de la fragmentación urbana: como un fenómeno social, espacial, político, cultural o económico (Deffner y Hoerning, 2011; Harrison et al., 2003; Navez-Bouchanine, 2002; Van Kempen, 1994). Sin embargo, todos ellos entienden la fragmentación urbana como una amenaza a la cohesión social.

La fragmentación urbana se asocia con obstáculos físicos de la ciudad y dificulta las opciones y oportunidades para la interacción social, siendo los peatones uno de los grupos más vulnerables a la fragmentación de los sistemas de transporte urbano (Hoener et al., 2005; Pikora et al., 2003), ya sean públicos, privados o no motorizados. Según ITF (2012) caminar es la forma fundamental de desplazarse. No es costosa, no produce emisiones de gases de efecto invernadero, proporciona beneficios importantes para la salud y es accesible para la mayor parte de la población, con independencia de su nivel de ingresos. Sin embargo, los altos niveles de movilidad motorizada han generado patrones que dificultan el transporte no motorizado, lo que afecta especialmente a los peatones con movilidad reducida (ancianos, niños y personas que no tienen acceso a un vehículo privado) (Di Giulio et al., 2009). La relación entre la movilidad de los peatones y la fragmentación urbana ha atraído recientemente la atención de instituciones e investigadores, debido a los impactos ambientales negativos del tráfico motorizado en las ciudades y al envejecimiento de la población, que implica un aumento en el número de personas que ya no son capaces de conducir un coche o que tienen movilidad limitada (European Commission, 2011). Sin embargo, la planificación del transporte tradicional infravalora el transporte no motorizado (Litman, 2003a). En muchos casos se ignoran los viajes a pie y solo se tienen en cuenta como una parte del viaje en transporte público o en coche, sin considerar caminar como un modo de transporte en sí mismo (Litman, 2003b).

2. METODOLOGÍA

El proceso metodológico del proyecto trata de calcular la fragmentación urbana en función de los modelos de accesibilidad y fragmentación de hábitats. Cada uno de estos modelos será estudiado en los dos escenarios distintos:

- **escenario 1:** uno compuesto por el callejero simple donde el viandante puede recorrer la red sin ningún obstáculo;
- **escenario 2:** obtenido a partir del duplicado del anterior y aplicándose a su vez tiempos de espera, debido a la existencia de pasos de peatón y semáforos que condicionan y aumentan la duración del viaje.

Todo ello se representará gráficamente en un mapa que muestre la fragmentación urbana obtenida a partir de los dos modelos.

Finalmente se analizará la diferencia porcentual entre los dos mapas resultantes y la comparación entre los valores obtenidos de accesibilidad y de fragmentación de hábitats.

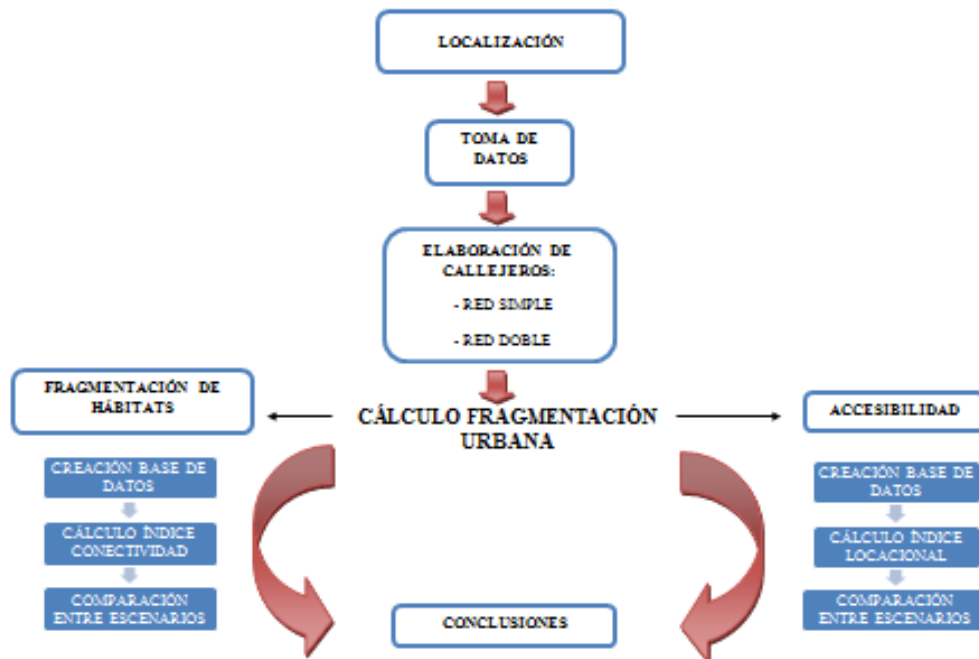


Figura 1. Figura 1: esquema del proceso de cálculo de la fragmentación urbana. Fuente: elaboración propia

2.1 Metodología para el cálculo de fragmentación urbana mediante el modelo de accesibilidad

A la hora de calcular la accesibilidad (Ortega et al, 2011; Holl, 2007), el indicador seleccionado mide el coste para acceder a las oportunidades, se trata del indicador (cuyo cálculo se representa en la ecuación 1).

$$A_i = \sum_j c_{ij} w_{ij} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

A_i es la accesibilidad de la zona i .

c_{ij} es una medida del coste de desplazamiento desde i hasta j .

w_{ij} es el peso de la zona j para el origen i .

Lo que se traduce en un coste medio ponderado. En este trabajo se han usado los tiempos como costes. Estos indicadores requieren que se conozca: - el peso, w_{ij} - número o proporción de viajes que se realiza a cada destino, es decir, un modelo de distribución.

El análisis de los datos se realiza utilizando la extensión de ArcGis, Network analyst. De esta forma, se va a obtener la comparativa de los tiempos de recorrido entre los diferentes destinos en los dos escenarios.

Para crear la red de conexión entre todas las localizaciones que se consideran en el estudio, se seleccionan previamente una serie de puntos de interés que se encuentren dentro de los límites de la zona, y que se utilizarán como orígenes y destinos para hacer el análisis.

2.2 Metodología para el cálculo de fragmentación urbana basado en el modelo de fragmentación de hábitats

La fragmentación de hábitats se analiza mediante el estudio de su conectividad. Para evaluar la conectividad, la función seleccionada calcula la distancia de coste acumulativo mínima para cada origen a un conjunto de celdas de destino a través de una superficie de coste (Mancebo et al, 2010; Adriaensen, et al 2003; Marulli, J., Mallarach, J.M. 2005). El cálculo es una función de la distancia efectiva, la cual es la mínima distancia entre dos puntos, separados por una matriz de resistencia que simula la dificultad encontrada por los organismos en movimiento a través del territorio. De esta forma se adapta el estudio de la fragmentación de hábitats al análisis de la fragmentación urbana.

La cuadrícula de distancia de coste resultante muestra cuánto supondría cada celda para llegar a un destino a través de la ruta de menor coste. Los valores acumulados se basan en la unidad de coste especificado en la matriz de resistencia o superficie de coste, y puede ser interpretada como el coste de los peatones para alcanzar sus destinos. Por tanto, la mayor fragmentación urbana.

Este coste se mide en segundos y, después de obtener los resultados de ambos escenarios por separado los combinaremos para analizar las diferencias entre ellos.

La función de GIS utilizada es costdistance incluida en ESRI ArcInfo Workstation. El cálculo se realiza de la siguiente manera (ESRI, 2001): La impedancia se deriva de los costos asociados con las celdas de la matriz de resistencia y la dirección del movimiento a través de ellas. El coste de movimiento desde una celda 1 a cualquiera de las cuatro posibles celdas conectadas directamente, es la suma de los costes de las cuadrículas 1 y 2 dividido entre dos. Por lo tanto, el coste acumulativo de movimiento desde una celda i hasta un destino n es determinado por la siguiente fórmula (ecuación 2):

$$C_{i,j} = \sum_{i+1}^{j-1} \text{cost_celda} + \frac{\text{cost_celda } i + \text{cost_celda } j}{2} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

$C_{i,j}$ es el costo de movimiento desde celda i hasta destino j . El valor de $C_{i,j}$ más grande, el mayor coste y fragmentación.

Cost_celda i es el coste de la celda i .

Cost_celda j es el coste de la celda j .

El movimiento diagonal está también considerado. En este caso el coste del viaje será la raíz cuadrada de dos veces el valor de la celda, pues esta es la distancia del enlace ortogonal.

Esta distancia de menor coste se calcula desde cada celda hasta el destino que será el menos costoso de alcanzar. En este caso, como se pretende conocer la conectividad de cada origen a un número determinado

de destinos, se selecciona cada destino y se calcula la ecuación 1. De esta manera, se aplica dicha ecuación tantas veces como destinos posibles.

Como el número de destinos puede ser muy alto, el proceso de GIS se ha programado en el lenguaje de Arc Macro (AML). Finalmente, el valor del coste total para un origen a los n destinos es:

$$K_i = \sum_1^n C_{i,j} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

K_i es el costo de movimiento desde celda i a n destinos. El valor de K_i más grande, el mayor coste y fragmentación.

$C_{i,j}$ es el costo de movimiento desde celda i hasta destino j .

3. APLICACIÓN

A la hora de adaptar los modelos de accesibilidad y fragmentación de hábitats al estudio de la fragmentación urbana, se parte de una base de datos aportada por los tiempos de espera en pasos de peatón y semáforos de toda una zona de la ciudad de Madrid (España): el distrito de Chamberí.

El distrito de Chamberí es principalmente residencial, y el porcentaje de personas mayores de 65 años es 25 puntos superior a la media de Madrid. Chamberí también sigue teniendo una oferta comercial en gran parte tradicional con una gama de servicios públicos. El distrito está compuesto por seis barrios, unidos por grandes avenidas de tráfico motorizado elevado y que actúan como barreras para peatones.

Para la toma de datos se emplearon diez jornadas en las que se recorrieron todas y cada una de las vías que componen el barrio, a una media de 3 kilómetros por día, y que suman alrededor de 30 kilómetros de recorrido total, abarcando una superficie de 4,69 kilómetros cuadrados. Se frenaba en los cruces para medir, mediante un cronómetro, el tiempo de espera que un viandante sufriría si esperara el total de la señal en rojo; así como el tiempo medio que se tardaría en atravesar los pasos de peatón.

3.1 Cálculo de la fragmentación urbana mediante la accesibilidad

Se trata de calcular el grado en el que los peatones pueden acceder a un servicio, en este caso a cada uno de los puntos definidos como orígenes y destinos dentro del área de estudio. Para ello, se va a utilizar el índice locacional, visto anteriormente, y que mide el coste que supone alcanzar dichos destinos.

Se obtiene una matriz en la que se conectan, siguiendo el trayecto más corto, cada origen con el resto de los puntos de interés seleccionados de la zona de aplicación del modelo. Este análisis tiene lugar gracias a la siguiente información de partida: Los dos escenarios explicados previamente, es decir, el escenario 1 sin aceras y sin cruces, y el escenario 2 o callejero duplicado en el que se suman los tiempos de espera en los cruces que presentan pasos de peatón o semáforos. El otro elemento imprescindible para el cálculo de la fragmentación mediante la accesibilidad es la relación de orígenes y destinos creada.

3.1.1 Escenario 1

Se parte de la red simple en la que los peatones pueden recorrer la superficie sin ningún obstáculo, considerando además los puntos de orígenes y destino de interés seleccionados.

Con la extensión Network Analyst dentro del programa ArcGIS, se crea una matriz de orígenes y destinos (New OD Cost Matrix) utilizando como impedancia el campo de tiempo medio de viaje, que se trata del tiempo de desplazamiento medio en función de la longitud del tramo, calculado previamente.

El resultado es una matriz que refleja las líneas de unión entre los diferentes puntos del mapa. El número de orígenes es de 157 así como el de destinos dando como resultado una red de 24649 combinaciones. De esta forma se consigue una tabla de valores que muestra el tiempo que tardaría una persona en recorrer los tramos elegidos, desde cada punto de inicio hasta sus respectivos destinos finales.

Para comprender el proceso, se muestra a continuación, un ejemplo del cálculo de la matriz de coste de un origen con el resto de destinos (Figura 2).

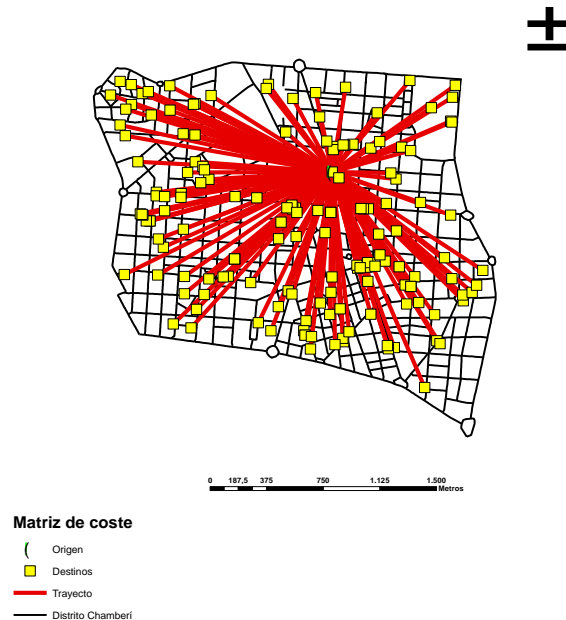


Figura 2. Figura 20: Mapa de fragmentación urbana entre un punto de origen y el resto de los destinos, mediante el cálculo de la accesibilidad en el Escenario 1. Fuente: elaboración propia.

3.1.2 Escenario 2

A partir del escenario 2 y la red de orígenes y destinos, con la aplicación Network Analyst (New OD Cost Matrix), se crea una nueva matriz de cálculo de la accesibilidad.

La impedancia seleccionada en este caso va a ser la del tiempo total, el cual se conforma de la suma de los tiempos de recorrido medio en función de la longitud del tramo y la velocidad media escogida, y los tiempos correspondientes a la espera en semáforos y pasos de peatón. El resto de operaciones son idénticas a las del escenario 1.

El resultado de esta matriz de coste son 24649 líneas de las posibles combinaciones (Véase el ejemplo de mapa de fragmentación urbana de uno de los orígenes con el resto de los 157 destinos, Figura 3).

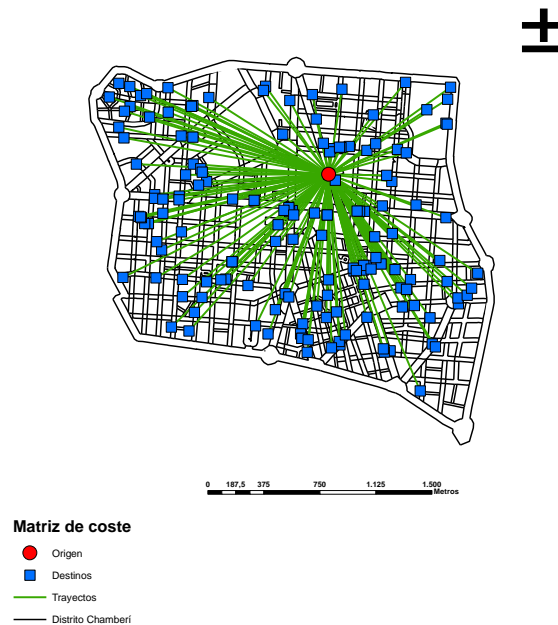


Figura 3. Mapa de fragmentación urbana de un origen mediante el cálculo de la accesibilidad para el Escenario 2. Fuente: elaboración propia.

3.1.3 Representación de fragmentación urbana

Una vez calculado el índice locacional que analiza la accesibilidad en la zona de estudio, se estudia la fragmentación urbana a partir de la media de segundos que se tarda de cada uno de los orígenes al resto de los destinos en ambos escenarios. Para ello se halla la diferencia y el porcentaje que existe entre los dos escenarios (Ecuación 4: Diferencia porcentual entre los dos escenarios a partir del modelo de accesibilidad).

$$\% \text{ Diferencia} = -1 \cdot \left(\frac{\text{Escenario}_1 - \text{Escenario}_2}{\text{Escenario}_1} \right) \cdot 100 \quad (\text{Ecuación 4})$$

3.2 Cálculo de la fragmentación urbana utilizando el modelo de fragmentación de hábitats

La fragmentación del territorio es analizada a través de la conectividad existente entre los distintos puntos de la superficie. Para analizar esta conectividad, la función elegida calcula para cada origen la distancia de menor coste acumulativo sobre una superficie de resistencia a un conjunto de celdas de destino. El estudio se basa en una función de la distancia efectiva, que es la distancia mínima entre dos puntos, separados por una matriz de resistencia que representa la dificultad encontrada por los organismos a través del territorio. A cada celda del mapa de resistencia se le asigna un valor, que es una simplificación de la oposición que ofrece el espacio al movimiento.

La cuadrícula resultado del coste de la distancia muestra cuánto valdría cada celda para alcanzar un destino a través de la ruta de menor coste. Dicho proceso puede ser extrapolado a los peatones a la hora de alcanzar sus destinos.

4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1 Análisis de la fragmentación urbana mediante el modelo de accesibilidad

El **objetivo** del proyecto es el de estudiar la fragmentación urbana comparándola entre una red simple (escenario 1) y una doble (escenario 2), a la que sumábamos tiempos de espera, mediante el modelo de la accesibilidad. Para dicho cálculo se ejecutó un indicador locacional que medía el “coste temporal” medio.

El **resultado** obtenido a partir de dicho estudio, comparando las medias de cada red de todos los trayectos entre orígenes y destinos, resulta una diferencia de un **31%**. Esto quiere decir, que el tiempo estimado que va a tardar un ciudadano en realizar un recorrido a pie en un callejero con paradas causadas por señales viales tales como semáforos o pasos de peatón, es un 31% superior al tiempo que se emplearía en realizar el mismo camino en un panorama libre de barreras.

En el caso de los puntos máximos y mínimos podemos explicar la cifra conseguida en el primero de casi un 51%, con el rodeo a una glorieta perteneciente a una avenida de grandes dimensiones con una densidad de tráfico abundante en la que el paso de los peatones está limitado a tiempos muy reducidos, favoreciendo la circulación de los vehículos y prolongando los tiempos de espera del viandante. El valor mínimo correspondiente a cero implica un ejemplo claro de solapamiento de píxeles, un pequeño error sin trascendencia.

4.2 Análisis de la fragmentación urbana mediante el modelo de la fragmentación de hábitats

En este apartado el análisis de la fragmentación urbana se ha llevado a cabo por medio del estudio de la fragmentación de hábitats, a través del índice de conectividad. Para evaluar este parámetro, la función seleccionada calcula para cada origen la distancia con menor coste acumulativo sobre la superficie de resistencia a un conjunto de celdas de destino.

Asumido el concepto, el **incremento medio porcentual** en este caso es de **31,3%**, un valor bastante parejo al anterior. Sin embargo, el valor máximo corresponde a un 40%, con una desigualdad de 10 puntos respecto al obtenido en la accesibilidad.

Hay que destacar que las zonas donde se dan las diferencias más altas se ubican en zonas de mayor presencia de señales, coincidiendo con los barrios de Trafalgar, Almagro y Gaztambide, debido a la localización de múltiples edificios destinados a oficinas y, por tanto, una mayor densidad de tráfico. Asimismo las zonas intermedias de la red corresponden a los incrementos intermedios; mientras que los valores más bajos de fragmentación coinciden con la zona norte donde la existencia de pasos de peatón y/o semáforos es inferior a la media, reduciéndose considerablemente los tiempos de espera.

La presencia de avenidas grandes también influye en los resultados. Cuando una de estas tiene que ser atravesada, el coste se incrementa. Esto es debido a que constan de pocos lugares por donde cruzar y, cuando existen, los tiempos de espera suelen ser mayores que los sufridos en calles más estrechas.

4.3 Comparativa entre los dos modelos

Ambos modelos aportan resultados certeros y fiables, pues sus medias son realistas y prácticamente idénticas. Sin embargo, si nos fundamentamos en la metodología del estudio, **el análisis mediante el modelo de fragmentación de hábitats recoge una observación más precisa y detallada de lo que sería un recorrido real entre dos puntos del plano por un peatón**. Esto se debe a la creación de una matriz de resistencia donde cada celdilla tiene un valor, en función de los cuales el programa delimita el camino. De esta forma, sí se puede considerar el trayecto más corto, teniendo en cuenta los obstáculos existentes que puede encontrarse un viandante. En el caso del modelo de la accesibilidad, al no estar dividida la red en celdas donde se especifica el coste que supone atravesar la superficie, puede no considerarse tan riguroso. En cuanto a la dificultad de aplicación de los procesos, se estima mucho más sencillo este último (modelo de accesibilidad), ya que se trata de manipular una sola orden dentro de ArcGIS, mientras que en el modelo de fragmentación de hábitats, el desarrollo del estudio es mucho más complejo debido a una mayor intervención de herramientas, a las que se suma más información necesaria como base de datos.

Asimismo, ambos resultados demuestran el impedimento de la movilidad peatonal, que puede afectar tanto a la calidad de vida de las personas, como representar un alto coste en tiempo y/o dinero. El objetivo es el de

proporcionar redes de alta calidad para los peatones, y puede conseguirse si se le diera la misma prioridad tanto al tráfico motorizado como al desplazamiento a pie. Diseñar la vía pública trazando calzadas accesibles a todos los usuarios, incluyendo señales de tráfico eficientes que disminuyan los tiempos de espera a los viandantes, y aportando pasos de peatón accesibles que faciliten en cualquier caso el cruce de la calle.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Adriaensen, F., Chardon, J.P., De Blust, G., Swinnen, E., Villalba, S., Gulink, H., Matthysen, E. (2003). The application of 'least-cost' modelling as a functional landscape model. *Landscape and Urban Planning*, 64, 233-247.
- Deffner, V., Hoerning, J. (2011). Fragmentation as a threat to social cohesion? A conceptual review and an empirical approach to Brazilian Cities. International RC21 Conference 2011, Session No. 15 Urban Disorder and Social Cohesion, Amsterdam.
- ESRI (2001) ArcInfo Workstation Help. Redlands: California
- European Commission (2011). White paper- Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system. Brussels: European Commission.
- Geurs, K.T. y Van Wee, B. (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12(2), 127-140.
- Harrison, P., Huchzermeyer, M., Mayekiso, M. (2003). *Confronting Fragmentation: Housing and Urban Development in a Democratising Society*. Cape Town: University of Cape Town Press.
- Hoehner, C.M., Ramirez, L.K.B., Elliott, M.B., Handy, S.L., Brownson, R.C., (2005). Perceived and objective environmental measures and physical activity among urban adults. *American Journal of Preventive Medicine*, 28(2), 105-116.
- Holl, A. (2007) Twenty years of accessibility improvements. The case of the Spanish motorway building programme. *Journal of Transport Geography* 15 286–297.
- ITF (2012). *Pedestrian Safety, Urban Space and Health*. OECD publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/97892821036454-en>
- Litman, T. (2003a). Measuring transportation: Traffic, Mobility and accessibility. *ITE Journal*, 73, 28-32.
- Litman, T. (2003b). Economic Value of Walkability. *Transportation Research Record*, 1828, 3-11.
- Mancebo, S., Martín, B., Casermeiro M.A., Otero, I. (2010). A model for assessing habitat fragmentation caused by new infrastructures in extensive territories. Evaluation of the impact of the Spanish Infrastructure and Transport Plan. *Journal of Environmental Management*, 91, 1087-1096.
- Marulli, J., Mallarach, J.M. (2005). A GIS methodology for assessing ecological connectivity: application to the Barcelona Metropolitan Area. *Landscape and Urban Planning*, 71, 243-262.
- Michelutti, E. (2010). An analytical framework for urban fragmentation analysis in the Global South city. Questioning urban planning practices through an institutional approach. 11th N-AERUS Conference 2010, Brussels.
- Navez-Bouchanine, F. (2002). *La fragmentation en question. Des villes entre fragmentation spatiale et fragmentation sociale?*. Paris: L'Harmattan.
- Ortega, E., S. Mancebo, and I. Otero. (2011). Road and railway accessibility atlas of Spain. *Journal of maps*, v2011, 31-41.
- Pikora, T, Giles-Corti, B., Bull, F., Jamrozik, K. & Donovan, R., 2003. Developing a framework for assessment of the environmental determinants of walking and cycling. *Social Science Medicine*, 56, 1693–703.

Taylor, P.D., Fahrig, L. Henein, K., Merriam, G. (1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 68, 571-573.

Tischendorf, L., Fahrig, L. (2000). On the usage and measurement of landscape connectivity. *Oikos*, 90, 7–19

Turner, M. G. (1989). Landscape ecology e the effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 20, 171-197.

ACCESIBILIDAD A LOS EQUIPAMIENTOS SANITARIOS MEDIANTE TRANSPORTE PÚBLICO. UN ANÁLISIS COMPARADO EN LA CIUDAD DE PALMA (BALEARES, ESPAÑA)

José Francisco Feliu de la Peña-Pons, Mauricio Ruiz-Pérez, Joana María Seguí-Pons

Universitat de les Illes Balears, Servicio de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección,
Universitat de les Illes Balears, Grupo de Turismo, Movilidad y Territorio, Departamento de Ciencias de la Tierra
Cra. Valldemossa Km 7,5 07122. Palma de Mallorca España
josefeliu@gmail.com

RESUMEN

Este trabajo tiene por objetivo analizar las modificaciones que ha habido en la infraestructura hospitalaria y en la red de transporte en los años 2007 y 2014, en la ciudad de Palma de Mallorca (Baleares España), y determinar sus efectos en la accesibilidad a los centros hospitalarios por parte de la población.

Los resultados muestran en un primer momento que no existe equidad social en la localización de los nuevos hospitales, ya que se localizan en la zona occidental de la ciudad con mayor nivel social. En la comparación de la accesibilidad para los dos periodos, se muestra que el cambio de ubicación del hospital de referencia (2008), ha afectado negativamente a la población donde se encontraba ubicado. También ha supuesto una disminución de accesibilidad al resto de los barrios, a pesar de que esta nueva localización tiene una mejor conectividad en transporte público que la anterior.

Palabras clave: SIG; Transporte público; Hospitales; Accesibilidad; Palma de Mallorca

ABSTRACT

This paper aims to analyze the changes that have occurred in the hospital network and the transport network in two different periods (2007-2014), in the city of Palma de Mallorca (Baleares, Spain), and determine its accessibility implications to hospitals by the population.

The results show that there is not social justice in the location of hospitals, since they tend to be located in the western part of the city with the highest social level. In comparing the accessibility of the two periods shows that the change in location of the reference hospital (2008), it has mainly affected in the area where it is located, but has also resulted in a decrease in the other districts, despite having a better public transport connectivity than the previous location

Keywords: type six keywords here; separated by semicolon;

1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se plantea como objetivo principal analizar el efecto sobre la accesibilidad de la población de los cambios en la red hospitalaria y en la red de transporte, a partir de la comparación equipamiento/accesibilidad del 2014 con el escenario del 2007.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

La accesibilidad es considerada como uno de los conceptos más importantes en el estudio de los sistemas de transporte (Lei y Church, 2010), al ser un elemento clave en el desarrollo urbano y en la localización de infraestructuras. Según la Geografía del Transporte la accesibilidad es la capacidad que posee un lugar para ser alcanzado desde otras zonas (Seguí y Martínez, 2004, pp. 44). Así pues, es un indicador de gran importancia, que evalúa si un lugar resulta fácilmente accesible.

Los hospitales son una parte esencial de la sanidad y sus diferentes localizaciones implican conceptos como la eficiencia espacial, la equidad y la justicia espacial (Ramírez, 2002). Los hospitales son puntos clave en el

entramado sanitario y social de cualquier ciudad y son considerados como focos generadores de viajes, al atraer usuarios y al ser un centro de actividad laboral.

De hecho, la sanidad, al ser un servicio básico para la población, es uno de los puntos clave en la justicia social. Numerosos estudios han relacionado la accesibilidad a los servicios sanitarios con la salud de la población. Se ha demostrado, por ejemplo, que existe una influencia directa entre la distancia al centro hospitalario y el número de hospitalizaciones, a pesar de existir similares ratios de enfermedad (Goodman et al, 1997; Haynes et al, 1999); también se ha comprobado que la distancia puede llegar a ser un impedimento, para el tratamiento de aquellas dolencias que necesiten un contacto regular (Haynes et al, 2001; Fortney et al, 1999) y se observó que la cercanía a centros sanitarios hace más fácil determinadas campañas de salud (Dai, 2010).

Los Sistemas de Información Geográfica son la herramienta más utilizada, en la mayoría de los estudios de accesibilidad a los centros sanitarios (Neutens, 2015). De hecho, los tres principales referencias, que detallan los trabajos publicados sobre accesibilidad a hospitales (McLafferty, 2003; Higgs, 2004; Neutens, 2015), recalcan la importancia de este instrumento teórico-metodológico. Además, su uso no se circunscribe únicamente a estudios de accesibilidad, sino que también han sido ampliamente utilizados para buscar patrones de distribución espacial de determinadas enfermedades, o para ubicar un nuevo centro (Higgs, 2004).

Es de destacar que existen escasas referencias de comparación de accesibilidad de transporte público a centros sanitarios. De hecho, Neutens (2015) de los 63 artículos que tenían como eje central la medición de accesibilidad a hospitales solamente 2 versaban sobre el acceso en transporte público y ninguno era una comparación en dos momentos temporales diferentes. Es de destacar el trabajo de Redondo (2003; 2005), publicado en un Boletín de la estrategia de la Consejería de Sanidad, para la utilización de Sistemas de Información Geográfica en la administración, en la Comunidad de Madrid analiza la accesibilidad a los centros de salud y hospitales. El autor, a partir del programa EMME/2, calcula la accesibilidad en transporte público, teniendo en cuenta el tiempo de espera de cada línea. A partir de éstos resultados, calcula mediante la interpolación IDW isócronas de tiempo, y lo compara con la población actual y futura. Éste es un trabajo técnico y no de carácter científico.

A nivel local, en el ámbito de este trabajo, los estudios sobre accesibilidad escasean. Destacan especialmente los realizados por Seguí (1981, 1990) y, Seguí y Ripoll (1990) centrados en la conectividad del sistema de transporte público.

3. ÁMBITO DE ESTUDIO

La ciudad de Palma (Baleares, España) ha asumido grandes cambios en la estructura de su transporte público y en la estructura de su red de hospitales en los últimos 7 años (2007-2014). Por un lado, en el transporte público destacarían: la creación, la eliminación, cambios de recorrido y de frecuencia en las líneas de autobuses. Y por otro lado, en la red hospitalaria se observa un cambio en la ubicación del hospital de referencia de las Islas Baleares (Hospital Universitario Son Dureta – Son Espases), junto con la concertación de un hospital (Policlínica Miramar) (Figura 1).

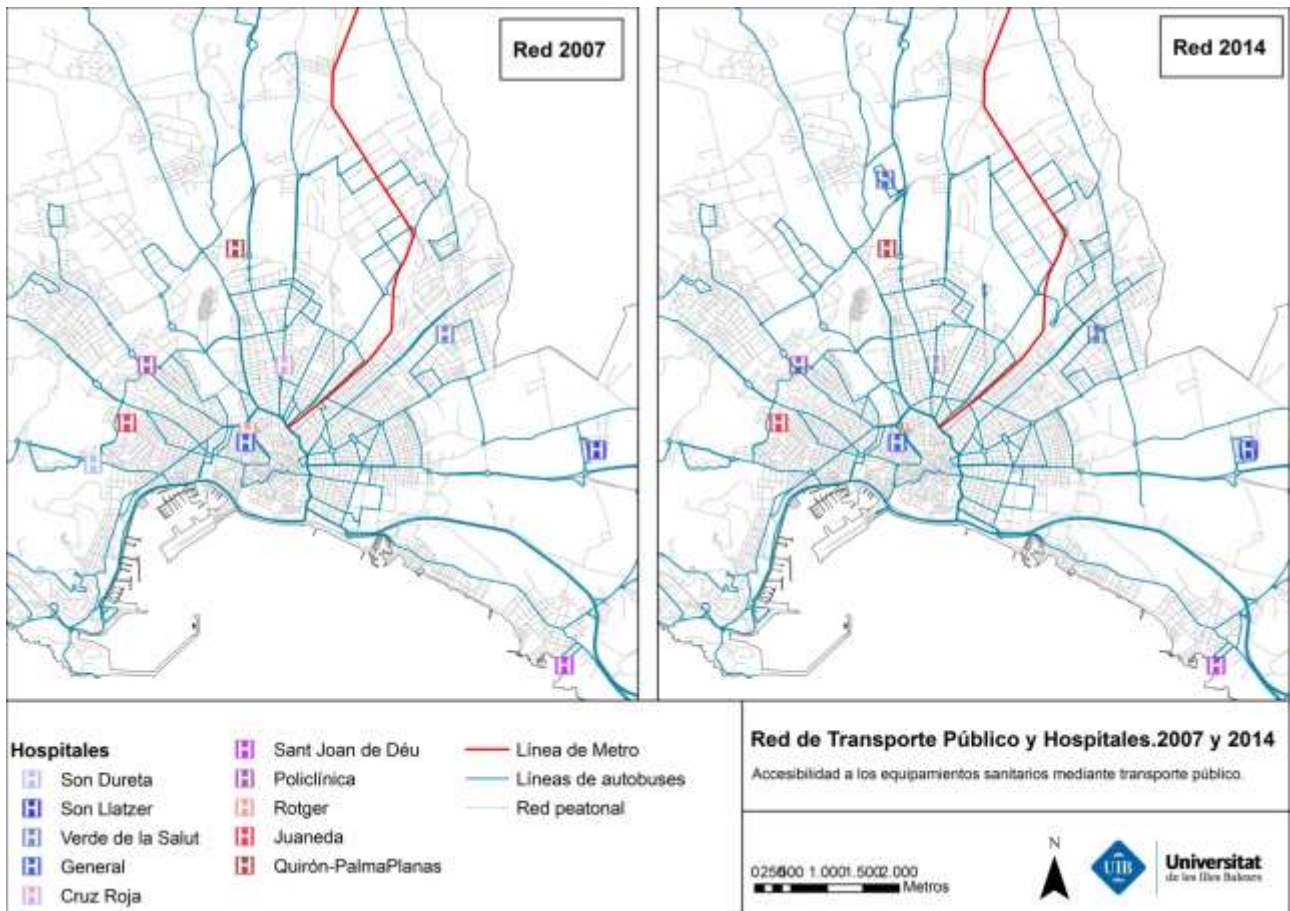


Figura 1. Red de transporte público y hospitales al año 2007 y 2014. Fuente: Elaboración propia

4. METODOLOGÍA

La metodología propuesta tiene su instrumento clave en los Sistemas de Información Geográfica; en concreto se utilizará el programa ArcGis10 y su extensión Network Analyst. La propuesta metodológica se basa en 5 fases (Figura 2):

4.1 Fase 1: Creación de redes de transporte

Se ha generado dos redes de transporte (2007 y 2014) que sirvieron de base para el estudio de la accesibilidad. Cada una de éstas estuvo compuesta por la red de transporte colectivo (24 líneas de autobuses y una línea de metro en el año 2007; y 29 líneas y una línea de metro en el año 2014), y la red peatonal. Además de la impedancia del tiempo de recorrido, se ha incluido el tiempo de espera medio matutino de cada línea. Siguiendo el modelo establecido por Benenson et al (2010):

Tiempo de recorrido = Tiempo caminado desde el origen hasta la parada de autobús 1 + Tiempo de espera del autobús 1 + Tiempo de viaje en autobús 1 + [Tiempo caminando a autobús 2 + Tiempo de espera del autobús 2 + Tiempo de viaje de autobús 2] + [Componente de transferencia con autobuses adicionales] + Tiempo caminando desde la parada final a la destinación.

Extraído de Benenson et al.(2010).

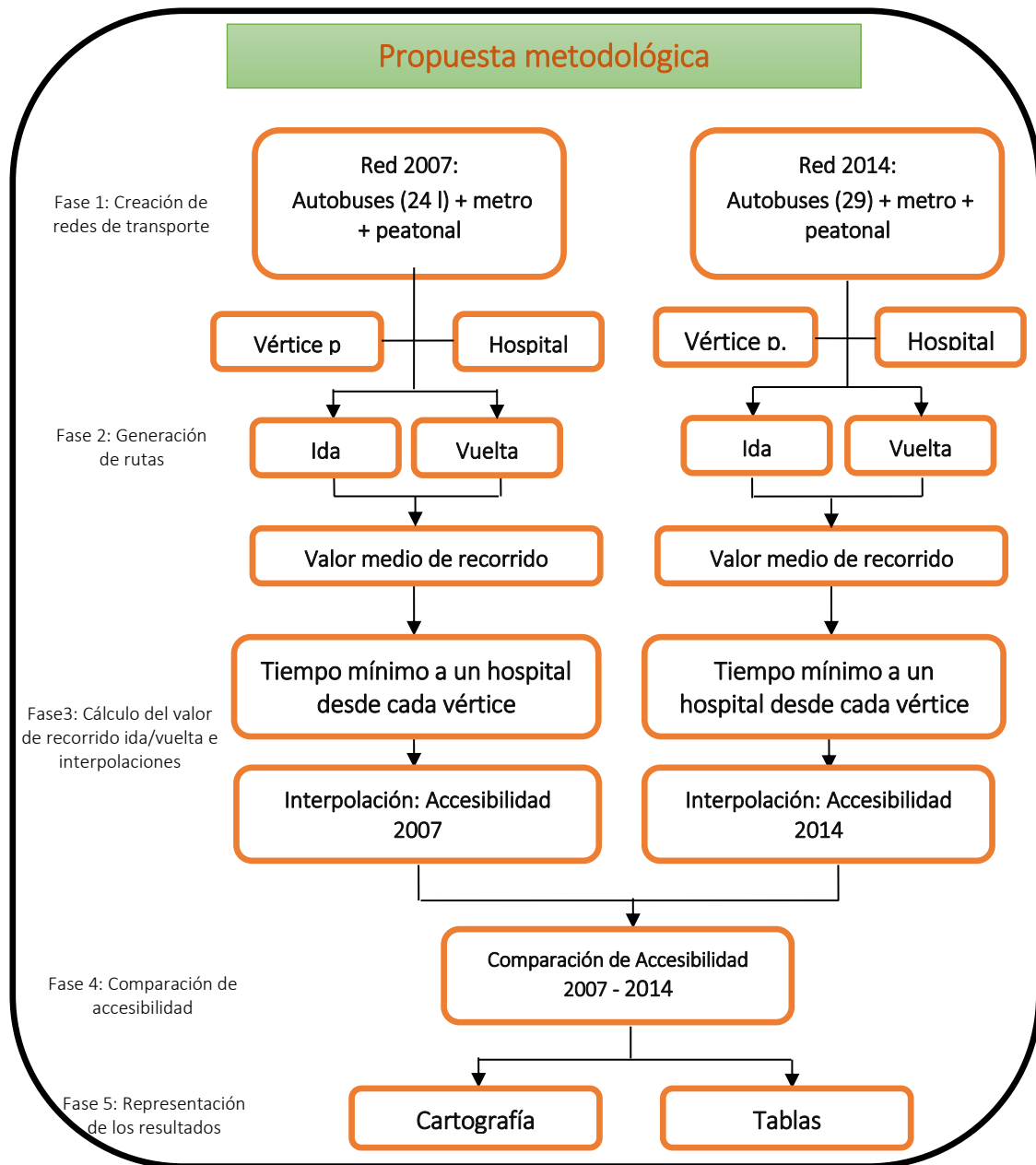


Figura 2: Propuesta metodológica

4.2 Fase 2: Generación de rutas

Se calculó la ida y la vuelta entre los hospitales y los vértices de la red peatonal (aprox. 60.000), mediante la generación de una matriz de origen-destino. A partir de la cual, se calculó el valor medio de recorrido, para ello se sumó para cada ruta (vértice-hospital) los resultados de ida y de vuelta para posteriormente dividirlos entre dos. Para ello se impuso un límite de 20 minutos como máximo caminando.

$$accesibilidad_{v-h1} = \frac{ida_{v-h1} + vuelta_{v-h1}}{2}$$

v: vértice h: hospital

4.3 Fase 3: Cálculo del valor de recorrido ida/vuelta e interpolaciones

El siguiente paso, fue calcular para cada vértice cuál era el tiempo mínimo de acceso a un hospital de la red estudiada (principales hospitales públicos, hospitales de la red pública, hospitales privados y todos los hospitales). A partir de este valor final, se realizó una interpolación mediante la técnica de distancia inversa ponderada (IDW), que genera resultados tipo ráster. De esta forma, se consiguió el primer resultado del trabajo: la accesibilidad de la ciudad para un año determinado y una red hospitalaria concreta.

4.4 Fase 4: Comparación de accesibilidad

Finalmente, se realizó un análisis comparado entre los ráster de accesibilidad de los dos años estudiados. Para ello, se contrastó los datos de ambos periodos temporales identificando las zonas que han perdido o ganado nivel de accesibilidad.

4.5 Fase 5: Representación de los resultados

Por último se procedió a la generación cartográfica con los resultados obtenidos. Se elaboraron cartografía y tablas, que expondrán la evolución de la accesibilidad en estos siete años.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La accesibilidad aparece como un criterio útil para estudiar el desarrollo sostenible, ya que tiene en cuenta los tres enfoques: el económico, el ambiental y el de justicia social (Benenson; 2010), enfoque este en el cual se centra el presente trabajo, ya que los centros hospitalarios son un equipamiento de interés primordial para la población, junto con otros servicios de diferente índole (educacionales, asistencia social, religioso, administrativo), y su localización influye activamente en la salud de los residentes. Así pues, es importante para la población tener una buena accesibilidad a esos centros, y no sólo en vehículo privado, sino, sobre todo, en transporte público, al constituir el principal modo para la población con menores recursos, jóvenes (población sin carnet / sin vehículo privado) o con algún tipo de dificultad, (ancianos, minusválidos). Cualquier cambio en este medio puede tener importantes consecuencias para su calidad de vida. El estudio ha revelado que en estos 7 años el acceso a los hospitales ha empeorado de forma general, experimentando mayores modificaciones en los principales hospitales públicos.

A pesar de que el enfoque de justicia socio-espacial sea el principal vertebrador del estudio, no se pueden obviar los otros dos enfoques (económico y ambiental) que en este trabajo, por razones obvias, no han sido investigados. La pérdida de accesibilidad implica mayores costes económicos, ya que aumenta el tiempo invertido en los desplazamientos en transporte público, generando a su vez un aumento del uso del vehículo privado y un incremento en la producción de CO2 en dichos desplazamientos.

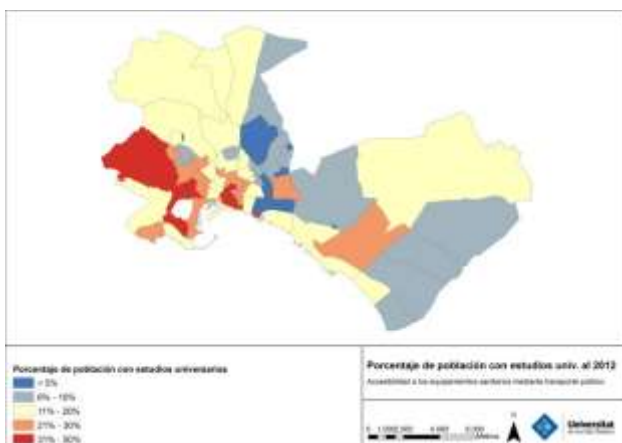


Figura 3: Porcentaje de población con estudios universitarios al 2012.

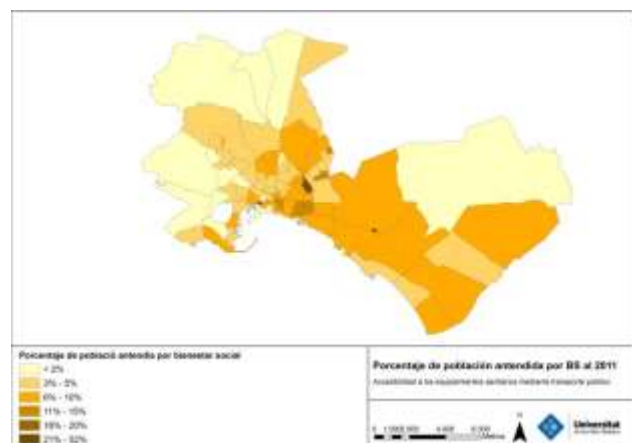


Figura 4: Porcentaje de población atendida por bienestar social al 2011.

En definitiva, la pérdida de accesibilidad a los hospitales supone una disminución de la sostenibilidad del sistema territorial, social y ambiental, siendo mayor en los principales hospitales públicos de la ciudad.

5.1 Accesibilidad por barrio

Seguidamente, y en la línea con este discurso de justicia socio-espacial, se analiza la accesibilidad de cada uno de los barrios de la ciudad, relacionándolo con sus características socio-demográficas (Figuras 3 y 4). Aunque a nivel general, se cumple la norma de que los barrios más alejados de los hospitales son los menos accesibles, existen claras diferencias según el estrato social. La tradicional localización de los hospitales en la zona occidental de Palma, en barrios que presentan un mayor nivel socio-educativo, permite a éstos tener un mejor acceso que los que se encuentran localizados en la parte oriental y en la zona litoral, con peores valores en el conjunto de variables estudiadas. Podría afirmarse que no existe justicia-espacial en la distribución de los hospitales de Palma, incluso a pesar de la localización del Hospital de Son Llátzer en la zona y del Hospital de Sant Joan de Déu.

La pésima ubicación de los centros sanitarios se hace más patente cuando se analiza únicamente la red privada (Figuras 5 y 6). Su concentración en los barrios del centro, del oeste y del norte de la ciudad coincide con aquellas zonas de mayor nivel socio-educativo (mejor nivel de estudios y menores intervenciones de bienestar social, Figuras 3 y 4). Así pues, existe un cierto abandono o falta de iniciativa privada para la creación de centros hospitalarios en la zona de levante y en la zona litoral, generando con ello una menor accesibilidad desde esos barrios.

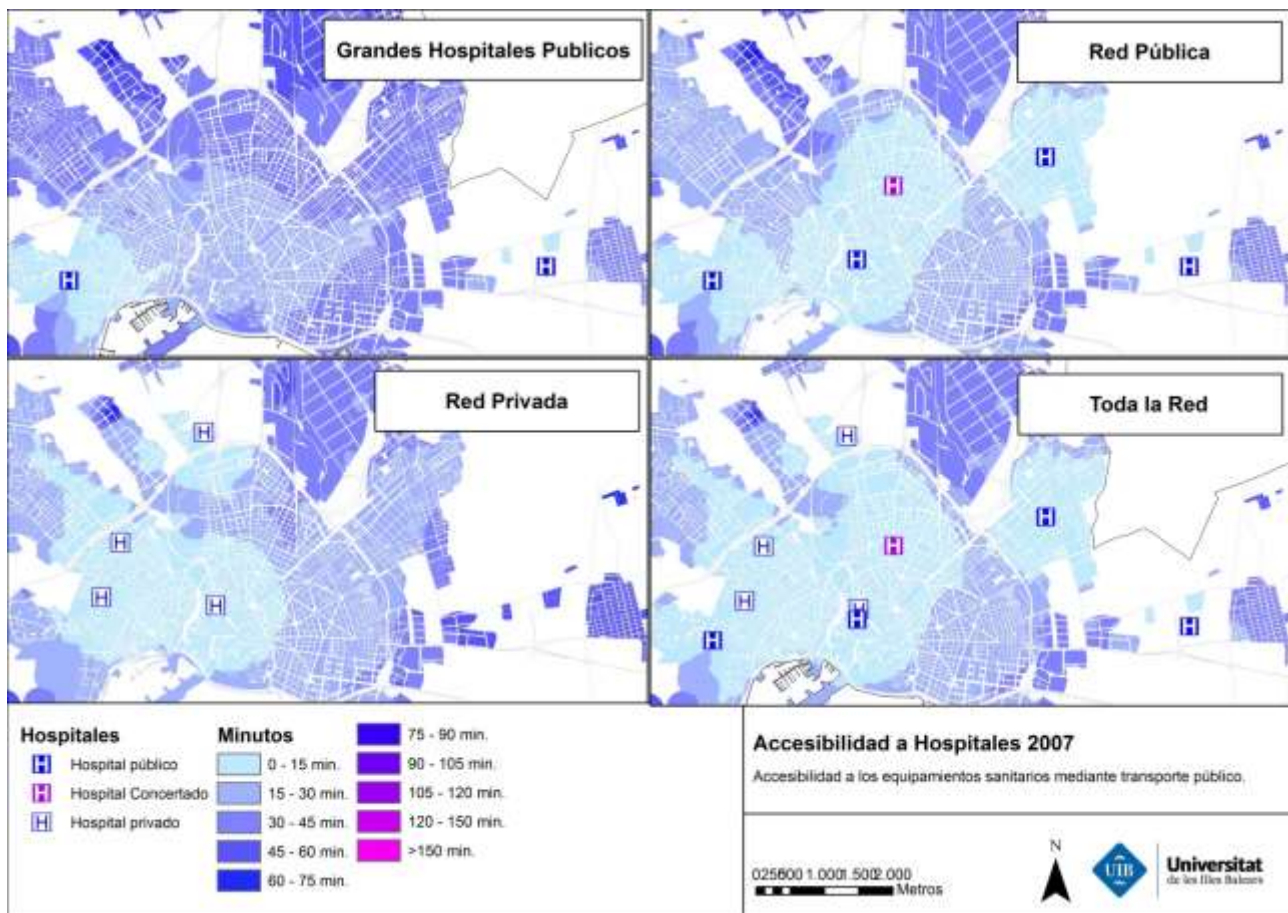


Figura 5: Accesibilidad a hospitales al 2007

Los hospitales públicos, no completan esta carencia de accesibilidad (Figuras 5 y 6). Estos se encuentran localizados actualmente en la “segunda línea” de las afueras de la ciudad, en espacios que son claramente rurales. La anterior situación del hospital de referencia, resultaba más eficiente que la actual, de hecho el traslado ha supuesto una pérdida generalizada de accesibilidad. Se detecta, además, una deficiente

planificación en el transporte colectivo hacia los principales hospitales públicos. La zona de influencia del antiguo Hospital de Son Dureta, en el año 2007, llegaba hasta los barrios de Pere Garau y de Son Gotleu, situados geográficamente más próximos al Hospital de Son Llatzer. Ello se debe a que, hasta el año 2001, el único hospital público de la ciudad era el Hospital de Son Dureta y la línea 5, con su alta frecuencia, suponía una adecuada conexión con los barrios más densamente poblados de la ciudad.

Si se tienen en cuenta todos los hospitales que pertenecen a la red pública, se observan unos valores de accesibilidad mejores, pero como ya se ha comentado, su incidencia es leve al ser su principal función la disminución de la lista de espera en determinados cuadros médicos (Figuras 5 y 6). Los mejores resultados derivan directamente de la localización más central del Hospital General y del Hospital de la Cruz Roja, así como de la situación del Hospital de Sant Joan de Déu en el litoral oriental.

En definitiva, la accesibilidad a los hospitales da claramente mayor ventaja a la población con mayor poder adquisitivo. Mientras que la población con menor nivel, y por tanto la principal usuaria del transporte público, se encuentra peor situada respecto de la red hospitalaria. Currie et al. (2009) ya indicaron, que un bajo nivel de accesibilidad puede ser una causa de exclusión social. Así pues, la falta de accesibilidad a los hospitales acrecienta la exclusión social en esos barrios, ya que implica un mayor coste en el traslado, ya sea a nivel monetario o de tiempo. Con ello una necesidad mayor de disponer de vehículo privado, pudiendo relacionarse con los "Forced car Owner" definidos por Banister (1994). Teniendo en cuenta que estos barrios son los más densamente poblados y la tendencia de la población con bajos recursos es poseer automóviles de mayor antigüedad y de mayor consumo, la consecuencia directa que de ello se deriva es una mayor generación de CO2 en la ciudad.

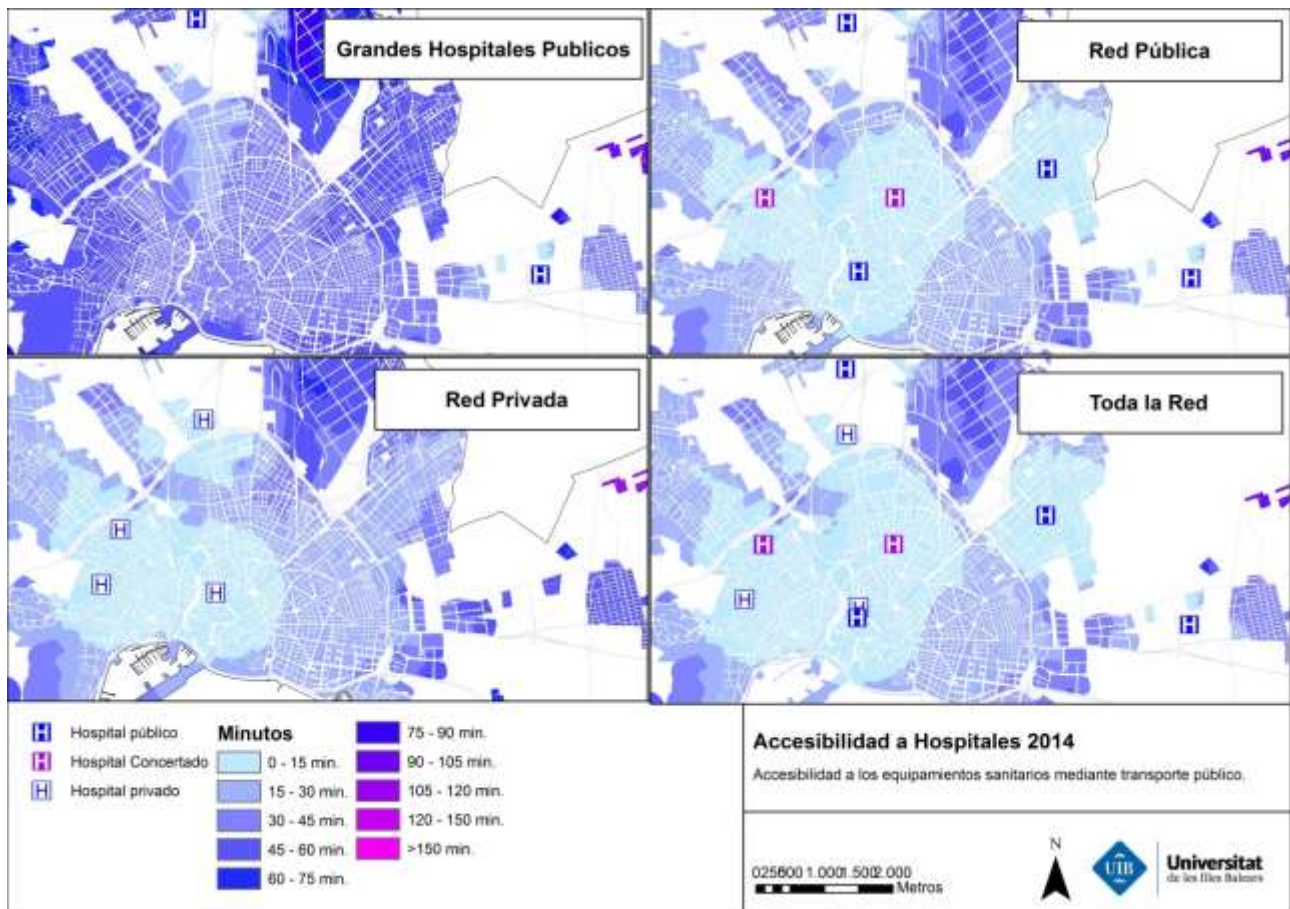


Figura 5: Accesibilidad a hospitales al 2014

La baja accesibilidad a los hospitales de la ciudad de Palma, podría ser uno de los factores que explican la localización de problemas sociales en algunos barrios, pues el hospital Son Dureta se inauguró en 1955, por lo que la población que trabajaba en él, con mayor nivel educativo y social, con el tiempo, tendió a localizarse en los barrios circundantes.

5.2 Cambios de accesibilidad

La accesibilidad a los hospitales ha variado considerablemente en estos últimos 7 años. Estos cambios son derivados de las modificaciones de la red de hospitales públicos y de la red de transporte público. Ambas redes son dependientes de organismos públicos y, por tanto, de su política territorial y de transportes.

En el año 2007, hubo un cambio de partido político gobernante en el ayuntamiento. La elección de la socialista Aina Calvo (2007- 2011, PSOE) supuso una potenciación del transporte público, de las líneas de autobuses, lo que implicó una disminución del tiempo de espera y la creación de nuevas líneas. En la siguiente legislatura, donde fue elegido el popular Mateo Isern (2011-2015, PP), el partido gobernante se vio inmerso en un periodo de recortes generalizados derivados de una profunda crisis económica, afectando al transporte público, con el aumento del tiempo de espera en las líneas con una mejor frecuencia.

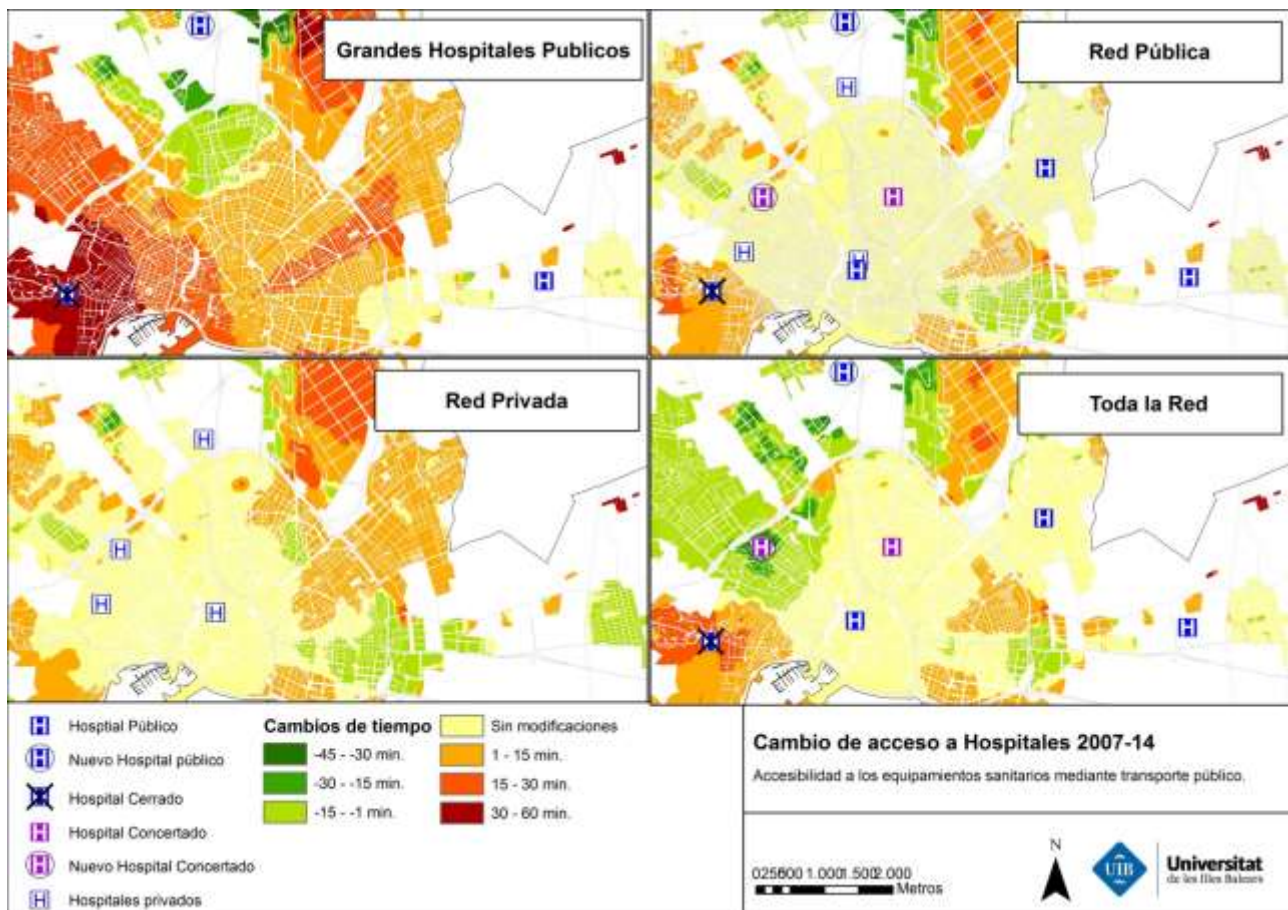


Figura 7: Cambio de acceso a hospitales 2007-2014

No solamente han ocurrido modificaciones en el transporte público, sino que en este periodo también ha habido un cambio de localización del hospital de referencia. El Hospital de Son Dureta fue sustituido por el Hospital de Son Espases, localizado este en las afueras de la ciudad. Así pues, la accesibilidad a los centros sanitarios ha variado considerablemente, siendo más evidente en el acceso a los hospitales públicos. El cierre del mencionado hospital, abandonado en estos momentos, implica una pérdida de accesibilidad a casi toda la ciudad, especialmente a los barrios localizados en el distrito de Poniente (Figura 7). Se ha intentado paliar esta pérdida desarrollando una política orientada a una mayor conectividad, cinco nuevas líneas de autobuses conectan el nuevo centro de salud con la ciudad. A pesar de éste mayor número, el acceso al antiguo hospital

era mayor debido a la alta frecuencia de la línea 5, con lo que se evidencia la gran importancia que tiene el tiempo de espera en la accesibilidad en transporte público, factor ya remarcado en anteriores estudios (Cats et al, 2014).

El nuevo hospital concertado (Policlínica Miramar), parece que disminuye el impacto negativo de la nueva localización del hospital de referencia en la red pública (Figura 7), aunque los hospitales concertados tienen la función de descongestionar a los principales hospitales públicos y no funcionan como hospitales públicos independientes.

Si tenemos en cuenta los datos demográficos, se observa que los barrios más afectados por el cierre de Son Dureta, son los que presentan un mayor nivel social. Este traslado favorece que esta población tienda a acudir a los centros privados, más cercanos a su lugar residencia. Aun así, también afecta negativamente a la población de peores recursos localizados en Son Gotleu y Pere Garau.

La red de hospitales privados no ha sido modificada durante estos años, permitiendo observar los cambios que ha habido en la red de autobuses (Figura 7). Se denota claramente una pérdida de accesibilidad en los barrios con peores niveles sociales y en los barrios litorales y ello se deriva de la menor frecuencia de tres líneas claves: la 3, 5 y 15. También se manifiesta el alargamiento de la línea 14 hasta la Plaza de España en los barrios de la Soledat, Son Ferriol y Sant Jordi, afectando positivamente.

6. CONCLUSIONES

Los resultados finales de este estudio evidencian una pérdida de accesibilidad de la población a los hospitales en transporte público. Especialmente los hospitales públicos han experimentado una pérdida de accesibilidad para el periodo 2007-20014. Esta circunstancia se debe principalmente al cambio de localización del hospital de referencia (Son Dureta-Son Espases)

7. BIBLIOGRAFÍA

- Banister, D. (1993). "Equity and Acceptability Questions in Internalising the Social Costs of Transport. " In *OECD/ECMT Seminar. Internalising the social costs of transport*. Paris.
- Benenson, I., Martens, K., Rofé, Y., & Kwartler, A. (2010). "Public transport versus private car GIS-based estimation of accessibility applied to the Tel Aviv metropolitan area". *The Annals of Regional Science*, 47(3), 499–515. doi:10.1007/s00168-010-0392-6
- Cats, O., Reimal, T., & Susilo, Y. (2014). "Public Transport Pricing Policy – Empirical Evidence from a Fare-Free Scheme in Tallinn", Estonia. *Proceedings of the 93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board*.
- Currie, G., Richardson, T., Smyth, P., Vella-Brodrick, D., Hine, J., Lucas, K., ... Stanley, J. (2009). "Investigating links between transport disadvantage, social exclusion and well-being in Melbourne—Preliminary results". *Transport Policy*, 16(3), 97–105. doi:10.1016/j.tranpol.2009.02.002
- Dai, D. (2010). "Black residential segregation, disparities in spatial access to health care facilities, and late-stage breast cancer diagnosis in metropolitan Detroit". *Health & Place*, 16(5), 1038–52. doi:10.1016/j.healthplace.2010.06.012
- Goodman, D. C., Fisher, E., & Stukel, T. A. (1997). "The Distance to Community Medical Care and the Likelihood of Hospitalization : Is Closer Always Better ? " *American Journal of Public Health*, 87(7).

- Higgs, G. (2005). "A Literature Review of the Use of GIS-Based Measures of Access to Health Care Services". *Health Services & Outcomes Research Methodology*, 119–139.
- Haynes, R., Bentham, G., Lovett, A., & Gale, S. (1999). Effects of distances to hospital and GP surgery on hospital inpatient episodes, controlling for needs and provision. *Social Science & Medicine*, 49, 425–433.
- Haynes, R., Gale, S., Mugford, M., & Davies, P. (2001). "Cataract surgery in a community hospital outreach clinic : patients' costs and satisfaction". *Social Science & Medicine*, 53, 1631–1640.
- McLafferty, S. L. (2003). "GIS and health care". *Annual Review of Public Health*, 24, 25–42. doi:10.1146/annurev.publhealth.24.012902.141012
- Neutens, T. (2015). "Accessibility, equity and health care: review and research directions for transport geographers". *Journal of Transport Geography*, 43, 14–27. doi:10.1016/j.jtrangeo.2014.12.006
- Ramírez, M. . L. . (2003). "Cálculo de medidas de accesibilidad geografica, temporal y económica generadas mediante Sistemas de Información Geográfica". *Primer Congreso de la Ciencia Cartografica y VIII Semana Nacional de Cartografía*. Buenos Aires.
- Redondo, J. C. (2003). "Estudio de accesibilidad y cobertura de la red de asistencia sanitaria de la Comunidad de Madrid". *GeoSanidad. Boletín de La Estrategia de La Consejería de Sanidad Para La Utilización de Sistemas de Información Geografica En La Administración, La Planificación Y El Análisis Sanitario*, 10.
- Redondo, J. C. (2005). "Estudio de accesibilidad y cobertura de la red de transporte público y asistencia sanitaria de la Comunidad de Madrid. II Accesibilidad a los centros de atención especializada". *GeoSanidad. Boletín de La Estrategia de La Consejería de Sanidad Para La Utilización de Sistemas de Información Geografica En La Administración, La Planificación Y El Análisis Sanitario*, 15.
- Seguí, J. M. (1981). "Evolució del transport col. lectiu urbà a ciutat de mallorca durant la primera meitat del s. XX. " *A Mayurqa*, (2).
- Seguí, J.M. (1990). "Aplicació metodològica de l'Index d'Accesibilitat al transport públic urbà a la ciutat de Palma (Mallorca) ". *Treballs de Geografia*, 42. Departament de Ciències de la Terra, UIB, 28-.
- Seguí J.M.,; Ripoll, A. (1990). "Els barris de Palma i la xarxa municipal de transport col.lectiu urbà: un Index d'accessibilitat". *Treballs de Geografia*, 42. Departament de Ciències de la Terra, UIB.

EL PAGO DE SERVICIOS AMBIENTALES POR PRESERVACIÓN DEL VALOR PAISAJÍSTICO DEL NORTE DEL ESTADO DE MORELOS

Oscar E. Figueroa-Rodríguez¹, Valentino Sorani¹

¹ Universidad Autónoma del Estado de Morelos, CIBYC-UAEM. Av. Universidad No. 1001, col Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México. vsorani@uaem.mx, ozkr_efr@hotmail.com

RESUMEN

La preocupación por la conservación de los recursos naturales ha ganado importancia en los últimos años debido a los efectos negativos del cambio climático y la imparable degradación de los recursos naturales. Los servicios ambientales generados por los ecosistemas forestales influyen directamente en la calidad de vida de la sociedad, a nivel local, regional o global. Para garantizar su provisión se desarrolló el pago por servicios ambientales (PSA), el cual compensa a los poseedores de terrenos con importancia ecológica para que se logre controlar o revertir la degradación ambiental. El paisaje es un tema particular de investigación en la geografía. El Convenio Europeo del Paisaje (Consejo de Europa, 2000) refleja una conciencia por la necesidad de elaborar y aplicar una "política sobre el paisaje". El presente estudio se realizó en la parte central de México, en el estado de Morelos, y abarcó diez municipios que en su conjunto representan un área importante de dotación de servicios ambientales (SA) para gran parte del estado. Con base en la geomorfología y el uso del suelo se delimitaron, clasificaron y describieron unidades de paisaje. Se realizó una valoración de la calidad de los paisajes. Se elaboró un análisis socioeconómico de la región, estableciendo proveedores y beneficiarios de SA donde se destaca la factibilidad económica para la implementación y cuantificación del PSA por belleza paisajística. Los principales beneficiarios, ubicados en la ciudad capital de Cuernavaca, se mostraron disponibles a que se implemente un sistema de PSA como una solución para evitar la degradación del paisaje y por lo tanto garantizar la provisión de servicios ambientales a través de la conservación del paisaje.

Palabras clave: Paisaje; Servicios ambientales, economía ambiental.

ABSTRACT

Concern for natural resources conservation has improved in recent years due to the negative effects of climate change and the persistent degradation of natural resources. Environmental services generated by forest ecosystems directly influence the quality of life of society at the local, regional or global level. To ensure its supply a system of payments for environmental services (PES) was established, which compensates owners of lands with ecological importance to control or reverse environmental degradation. The landscape is a main research subject of geography. The European Landscape Convention (CEP) reflects an awareness for the need to develop and implement a "policy landscape." The present study was conducted in the central part of Mexico in the state of Morelos, and it includes ten municipalities which encompass a main area of SA supply for a large part of the state. Based on geomorphology and land use landscape units were defined, classified and described. An evaluation of the most landscape quality was performed. The socio-economic analysis of the region established providers and beneficiaries of SA and revealed the economic feasibility for implementation and quantification of the scenic beauty PSA whose main beneficiaries are the citizens of Cuernavaca, the state capital, demonstrate disposal of the PSA implementation as a solution to prevent degradation and thereby ensuring the provision of environmental services through landscape conservation.

Keywords: Landscape; environmental services, environmental economics.

1. EL PAGO DE SERVICIOS AMBIENTALES POR PRESERVACIÓN DEL VALOR PAISAJÍSTICO

La preocupación por la conservación de los recursos naturales ha ganado importancia en los últimos años debido a los efectos negativos del cambio climático, la imparable degradación de los recursos naturales, especialmente de agua, suelo, vegetación, y los altos índices de contaminación que han impactado en la sociedad civil, exigiendo a los gobiernos soluciones para la prevención o cuanto menos la mitigación de los efectos en la calidad de vida. México es uno de los países con mayor biodiversidad en el mundo. Su ubicación geográfica, su complejidad orográfica y geológica, generan una variedad de climas, lo cual permite que la extensión total del territorio presente casi todos los tipos de vegetación natural terrestre del cual el 33% son ecosistemas forestales arbolados (bosques y selvas), mientras que 29% son matorrales xerófilos y un 8.2% de otras áreas forestales (pastizales naturales, pastizales halófilos, pastizales popales y tulares, principalmente) (CONAFOR, 2010). México cuenta con una superficie forestal de 135.1 millones de hectáreas (SEMARNAT 2011), de las cuales la FAO y otras fuentes mencionan que se deforestan anualmente de 600 a 700,000 hectáreas³, por lo cual, a nivel mundial el país ocupa el quinto lugar en deforestación, estimándose en ocho millones de m³ de madera en rollo por año de tala ilegal, lo cual ha deteriorado las cuencas hidrográficas, incrementando la erosión de los suelos, el azolve de los cuerpos de agua, el abatimiento de los mantos acuíferos, la disminución de servicios ambientales y la migración hacia centros urbanos, entre otros problemas del sector.

Los servicios ambientales (SA) se definen como todos aquellos beneficios que obtiene la población humana de los ecosistemas directa o indirectamente para su bienestar y desarrollo (SEMARNAT, 2000). Las relaciones dinámicas entre los elementos abióticos y bióticos (plantas, animales y microorganismos) dentro del ecosistema generan servicios ambientales, que se dividen en cuatro categorías: servicios de soporte, servicios de regulación, servicios de suministro y servicios culturales. Los servicios ambientales generados por los ecosistemas forestales influyen directamente en la calidad de vida, proporcionando beneficios y bienestar para la sociedad, a nivel local, regional o global. Para garantizar la provisión de los servicios ambientales en un futuro se han desarrollado a nivel mundial estrategias alternativas de gestión y manejo de los recursos naturales aplicadas predominantemente a ecosistemas forestales o productores de servicios ambientales (SEMARNAT, 2000), haciendo énfasis en los principales servicios hidrológicos, captura de carbono, biodiversidad y ecoturismo, entre otros. A estas estrategias se le denomina Pagos por Servicios Ambientales (PSA). EL PSA es un mecanismo flexible y adaptable a diferentes condiciones, que apunta a un pago o compensación directa por el mantenimiento o provisión de un servicio ambiental a los pobladores de los ecosistemas productores de los servicios ambientales necesarios para las actividades humanas, incluido el sustento del hombre (FAO-REDLACH, 2004). En América Latina, el PSA se ha aplicado como una acción local en la búsqueda de repercusiones benéficas regionales y/o globales ante el estrés hídrico, la emisión de gases de efecto invernadero, el avance de la frontera agrícola, el establecimiento de asentamientos urbanos irregulares, la especulación de suelos periurbanos para vivienda residencial y zonas de servicios, así como el requerimiento de materias primas y productos del bosque maderables y no maderables. Los principales SA con objeto de pago son los servicios hidrológicos o protección de cuencas, la captura de carbono, belleza escénica y protección de la biodiversidad. En México el PSA se desarrolla por sus condiciones biofísicas y características especiales como la diversidad de ecosistemas naturales, la vocación forestal de sus suelos, la cobertura y densidad de sus bosques, así como su megadiversidad florística y faunística (Villavicencio, 2009). La FAO (2009) presenta un esquema de PSA como herramienta para el reconocimiento de los servicios ambientales y fuente de actividades económicas fundamentales a nivel local, regional y nacional.

Desde hace medio siglo el concepto de paisaje se ha convertido en un motivo particular de investigación. Para la ecología del paisaje “es el estudio del complejo de elementos interactuantes entre la asociación de seres vivos y sus condiciones ambientales, los cuales actúan en una parte específica del paisaje”. A su vez de acuerdo con Forman y Godron, (1986) el paisaje es “Una porción de territorio heterogéneo compuesto por conjuntos de ecosistemas que interaccionan y se repiten de forma similar en el espacio”. Se manifiesta espacialmente

en una muestra específica y delimitada (*landscape mosaic*, mosaico del paisaje) o en una división natural de espacio en distintos órdenes de tamaño, normalmente determinados por la estructura geológica y por el estado de desarrollo geomorfológico. Los cambios en el estado geomorfológico son de acción lenta o imprevista, como también las intervenciones artificiales por la actividad económica humana dan lugar a transformaciones del paisaje local que se resume en el concepto de sucesión paisajística (Troll, 2010). Los elementos del paisaje, de acuerdo con Ocaña y colaboradores (2004), son los que se manifiestan visualmente por su color, formas y textura o rugosidad como la geomorfología y la vegetación, mientras que la hidrografía y los asentamientos humanos introducen elementos de contraste. A través imágenes satelitales y técnicas de percepción remota estos autores identifican el paisaje como síntesis de los sistemas ecológicos y culturales que lo constituyen, identificando los elementos y componentes que pueden estructurar unidades de paisaje.

2. ANTECEDENTES

En 2005 el Gobierno de La Rioja en España, a través de dependencias de Turismo, Medio Ambiente y Política Territorial, realizó un estudio de su paisaje con el objetivo de disponer de una herramienta cartográfica donde el recurso paisaje entró a formar parte en la toma de decisiones de la planificación territorial. En este estudio el paisaje es considerado un recurso que requiere que se valore su estado actual (Gobierno de la Rioja, 2005). El Convenio Europeo del Paisaje establecido en Florencia, Italia en el año 2000, compromete a tomar medidas generales de reconocimiento, caracterización, valoración e importancia del paisaje; de aplicación de políticas para su protección, planificación, gestión y conservación a escala local, regional, nacional e internacional; de participación pública y de integración de los paisajes en las políticas de ordenación del territorio, así como en las políticas económicas, sociales, culturales y ambientales.

El PSA fue diseñado para proveer incentivos económicos a los dueños de terrenos forestales (ejidos, comunidades y pequeños propietarios) para apoyar las prácticas de conservación y evitar el cambio de uso del suelo de los bosques, intentando darle valor económico a los SA a través de esquemas de pagos y fondos para la conservación ambiental (internacionales, federales, locales y/o mixtos). Los antecedentes para la promoción, discusión y aceptación del concepto de SA y la concepción de su pago son el Protocolo de Kyoto, del 1997, que plantea los mecanismos de mercado de captura de carbono además de impulsar diversos programas de PSA a nivel internacional. La Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, que se llevó a cabo en 2002 en Johannesburgo, incorpora como uno de los objetivos del programa de PSA para la reducción de la pobreza. En México el programa de PSA se inició en el año 2003, implementado por la CONAFOR en la modalidad de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH), basándose en iniciativas de Costa Rica (Hernández, 2009). El PSAH surgió derivado de una reforma al artículo 223 de la Ley Federal de Derechos financiado con una parte de las cuotas del agua. Los pagos fueron dirigidos a la preservación del bosque templado y tropical asociado con el abastecimiento de agua a las comunidades. En 2004, se creó el programa para el desarrollo de los mercados de SA de captura de carbono y los derivados de la biodiversidad (PSA-CABSA), para fomentar el establecimiento y mejoramiento de sistemas forestales (Hernández, 2009).

3. JUSTIFICACIÓN

En el estado de Morelos el área de distribución original de las especies silvestres ha sido fragmentada como resultado del crecimiento urbano. También ha influido el cambio de uso del suelo de forestal a agropecuario, en el que los cultivos de caña de azúcar, arroz y avena, así como el pastoreo de ganado ovino, la extracción de suelo y de madera, son las actividades económicas primarias que más han contribuido a la fragmentación del hábitat. Estos cambios del paisaje constituyen barreras físicas que anulan el movimiento de las poblaciones faunísticas. Lo anterior implica la responsabilidad de proteger los bosques y selvas que quedan en el estado, ya que, de no hacerlo, y suponiendo que continúe el ritmo de pérdida anual indicado, en 25 años se perdería la cubierta vegetal de la entidad. De acuerdo al PRONARE, (2002), las acciones implementadas por el programa tienen una percepción económica, social y poco ecológica. Los beneficiarios consideran que lo más favorable en forma directa ha sido el pago de jornales para realizar la reforestación, lo que desvirtúa la posibilidad de generar una cultura de uso racional de los recursos forestales, ya que a sus poseedores, más que importarles

la recuperación y conservación de la frontera forestal, les interesa el beneficio económico que de ella pudiera generarse en el corto plazo. El estado de Morelos tiene un grave problema de tala clandestina (CONAFOR, 2002). Por otro lado, el crecimiento demográfico del estado de Morelos es cada vez mayor lo que está generando una demanda de SA que además de la preservación de los ecosistemas y de la fijación de carbono incluye al recarga de los acuíferos. La reforestación realizada ha sido importante, pero no cubre lo que se pierde por incendios, tala ilegal o cambio de uso del suelo para fines agrícolas, ganaderos, urbanos o industriales. Por ello, debe concebirse el PSA como parte de una acción interinstitucional en la que se incluyan aspectos integrados del manejo sustentable de los recursos forestal, suelo y agua, ecoturismo, el cuidado a la biodiversidad y el manejo sustentable de los ecosistemas (CONAFOR,2002).

4. OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo es desarrollar una metodología para evaluar los servicios ambientales para la preservación del paisaje en la zona Norte del estado de Morelos. Entre los objetivos particulares figura la propuesta de estrategias para el pago de servicios ambientales derivados de la belleza escénica por instituciones públicas o privadas y la difusión del método de evaluación del paisaje a las poblaciones que viven en las áreas con alto valor paisajístico.

5. METODOLOGÍA

5.1 Área de Estudio

La superficie de la zona de estudio es de 129,352 ha. La intrincada historia geológica y geomorfológica morelense ha determinado una fisiografía favorable al desarrollo de varios hábitats donde prosperan diversas comunidades florísticas y faunísticas, que contribuyen a la existencia de un paisaje de naturaleza, forma y estructura contrastante, integrados por la interrelación de factores físicos y biológicos (Aguilar, 1990).



Figura 1. Localización del área de estudio.

La altitud sobre el nivel del mar varía entre 1600 y 3300 metros sobre el nivel del mar y determina un clima templado con lluvias de verano. Esta región se ha convertido en la principal área del estado en recarga de

acuíferos, fijación de carbono, producción de humus de la entidad. Presenta varios tipos de bosques de climas templado y frío, entre los que se destacan los bosques de pino, oyamel, cedro, encino, pino-encino y el bosque mesófilo de montaña.

5.2 Calidad del paisaje

Análisis del paisaje

Se definieron 21 unidades de paisaje (UP) a partir de unidades geomorfológicas del área POEREM, (2013) y del uso actual del suelo obtenido a partir de imágenes de satélite IKONOS 2004, buscando obtener áreas geográficamente homogéneas.

Se realizó una evaluación del atractivo escénico (AE) de las UP con base en un método multicriterio (Malczewski, 1999) a partir de mapas en formato matricial con valores normalizados entre 0 y 10 de los atributos i) Belleza escénica del uso del suelo actual (tabla 1), ii) visibilidad calculadas con el módulo *visibility* de ArcGIS a partir de observadores ubicados en las principales vías de comunicación existentes en un radio de 20 km, espaciados de 50 metros que asigna a cada pixel del área de estudio el número de observadores que pueden ver el pixel desde su posición y de la pendiente; iii) pendiente asignando los valores más elevados a las pendientes más pronunciadas (tabla 2).

| Uso de suelo actual | Belleza escénica |
|---|------------------|
| Bosque de <i>Abies</i> , bosque de <i>Abies-Pinus</i> , bosque de <i>Pinus</i> , , bosque de <i>Quercus</i> , bosque mesófilo de montaña, bosque mixto de <i>Pinus-Quercus</i> , cuerpos de agua, zona arqueológica | 10 |
| Bosque de <i>Pinus</i> con vegetación secundaria, bosque de <i>Quercus</i> con vegetación secundaria, bosque mesófilo de montaña con vegetación secundaria | 9 |
| Selva baja caducifolia, vegetación riparia | 8 |
| Parques, selva baja caducifolia con vegetación secundaria | 7 |
| Matorral rosetófilo crasicaule | 6 |
| Frutales | 5 |
| Vegetación secundaria, vegetación urbana | 4 |
| Agricultura de riego, pastizal natural | 3 |
| Agave, agricultura de temporal, áreas sin vegetación, nopaleras, pastizal, zonas abiertas | 2 |
| Asentamiento, mancha urbana, mancha urbana de baja densidad | 1 |
| Aeropuerto, infraestructura, invernaderos, parque industrial, relleno sanitario | 0 |

Tabla 1. Belleza escénica del uso del suelo actual. Fuente: Elaboración propia.

| Pendiente (%) | Pendiente reclasificada |
|---------------|-------------------------|
| 0 – 10.4 | 2 |
| 10.5 – 23.2 | 4 |
| 23.3 – 41.9 | 6 |
| 42 – 67.4 | 8 |
| 67.5 – 191 | 10 |

Tabla 2. Pendiente. Fuente: Elaboración propia.

La agregación de los atributos se realizó con una suma ponderada (POEREM, (2013) donde los pesos se definieron utilizando el proceso analítico jerárquico de comparación por pares de Saaty, (2008):

$$AE = 0.4 \cdot BE + 0.3 \cdot V + 0.3 \cdot P$$

AE: Atractivo escénico

BE: belleza escénica del uso del suelo actual

V: visibilidad

P: valoración de la pendiente para belleza escénica

Para evaluar los potenciales beneficiarios del paisaje se realizó una encuesta en el municipio de Cuernavaca, seleccionado por presentar la mayor población y de mayor nivel de vida del área de estudio. El tipo de muestreo elegido fue el muestro estratificado proporcionado. El número de encuestas fue de 150, lo que permite obtener un error del 5 % y una confiabilidad del 95%. Con base en el SIG se excluyeron 31 colonias de las 320 del total del municipio cuya distancia a las UP era mayor a 500 metros. Del universo permanente se seleccionaron al azar 31 colonias que se clasificaron en dos categorías, con y sin vista a las UP. Se repartió la muestra proporcionalmente entre estas dos categorías con base al número de predios de la ciudad de Cuernavaca, obtenido 22,685 muestras para la zona con vista y 79,869 muestras para la zona sin vista.

Con la finalidad de identificar los potenciales proveedores del servicio ambiental paisaje se realizó una segunda encuesta en el municipio de Tepoztlán. En este caso el muestro fue aleatorio con 50 muestras, también con error menor del 5% y una confiabilidad mayor del 95%.

Ambas encuestas fueron diseñadas con cinco temas principales: i) datos sociodemográficos (edad, ocupación, grado de escolaridad); ii) conocimiento de la percepción del paisaje (elección entre definiciones del paisaje artística, arquitectónica y ecológica, importancia, grado de degradación, grado de influencia en la calidad de vida, identificación de ejemplos de paisajes en los alrededores, paisajes visibles desde su predio); iii) pagos de servicios ambientales (conocimiento del PSA, disponibilidad en contribuir al PSA, institución que manejaría el PSA); iv) evaluación de fotos de paisajes urbanos del municipio de los encuestados y de paisajes con vegetación natural de la zona de estudio; v) conocimiento del municipio y de sus alrededores. La encuesta aplicada a los proveedores del PSA además incluyó una sexta parte con preguntas relacionadas a sus terrenos ubicados en las UP (tipo de tenencia de la tierra, social o privada, extensión, otros PSA ofrecido por el terreno como recarga de acuífero, regulación del clima, retención de suelo).

El valor económico del paisaje se realizó para cada unidad con base en el valor de atractivo con base en el siguiente cálculo.

$$PSAUP = \sum_6^{10} SAE_i \cdot x_i$$

Donde:

PSAUP: Pago de servicios ambientales por unidad de paisaje

SAE_i: Superficie de la categoría con atractivo escénico con valor i (6 ≤ i ≤ 10) de la UP El cálculo de la superficie de atractivo escénico para cada categoría de cada UP se realiza con la suma del área de los pixeles que pertenecen a la categoría.

x_i : pago por SA por ha por área con atractivo escénico con valor i (6 ≤ i ≤ 10) (ver tabla 3)

| Atractivo (i) | € | Superficie |
|-----------------|-----|------------|
| 10 | 5.0 | 130 |
| 9 | 4.5 | 3,948 |
| 8 | 4.0 | 5,640 |
| 7 | 3.5 | 12,369 |

| | | |
|---|-----|-------|
| 6 | 3.0 | 7,898 |
|---|-----|-------|

Tabla 3. PSA paisaje por categoría de atractivo escénico y valor económico del paisaje por categoría y total del área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Para determinar la cuota que los beneficiarios deberán pagar para el PSA paisaje se tomó en cuenta su pago del predial de todos los predios del municipio, excluyendo los predios con pago de predial menor de 50 euros (1 euro = 20 pesos mexicanos). Se identificaron aquellos predios con y sin vista hacia las UP asignando un pago diferente con base en los coeficientes indicados.

| Predial | Vista del paisaje | No Predio |
|--------------------------|-------------------|-----------|
| Alto (> \$2,000) | Alta | 4017 |
| | Media | 16261 |
| Medio (\$1,000-2,000) | Alta | 18668 |
| | Media | 63608 |
| Total: | | 102,554 |

Tabla 4. Valor económico del paisaje para beneficiarios. Fuente Elaboración propia.

El cálculo se realizó a partir del total del PSA paisaje (PSAP) total de la zona de estudio a recaudar.

$$x = \frac{PSAPt}{\sum_{i=1}^{i=4} NP_i \cdot C_i}$$

X = valor de PSA paisaje de referencia

PSAPt = pago por servicio ambiental paisaje

C_i = coeficiente de ponderación por categoría i

I = categorías de pago definidas con base en nivel económico y vista

NP_i = número de predios de la categoría i

n = número de categorías (4)

6. RESULTADOS

Del total de los encuestado el 14.7% tiene menos de 17 años, el 10.7% entre 18-20, el 29.3% entre 21-29, el 20.0% entre 30-39, el 14 % entre 40-49, el 6% entre 50-59 y el 5.3%. de 60 años o más. El 8% han cursado solo estudios de primaria, el 26 % secundaria, el 43% preparatoria, el 18 % licenciatura y el 5% tienen nivel de postgrado. Por lo que concierne el grado de conocimiento de su municipio y sus alrededores el 52 % dijo tener un amplio conocimiento. Entre las definiciones del paisaje el 16% entre los encuestados eligió la definición del diccionario, 13% la artística, el 56% la biológica, y el 15% la arquitectónica. Por lo que concierne la importancia que tiene el paisaje en su vida cotidiana el 58% de los encuestados la consideró muy alta, puesto que influye en su estado de ánimo, salud y calidad de vida. Es interesante notar que el 89% de los encuestados sin importar su edad o escolaridad, concuerdan en la influencia que genera el paisaje en su calidad de vida. Los sitios de mayor belleza de paisaje en su municipio fueron los de mayor grado de accesibilidad y visibilidad. El 94.5 % de la población encuestada no conoce el pago de servicios ambientales. Entre los proveedores de PSAP el 73%

afirma que contribuye a la belleza del paisaje, el 16% que regula el clima local, el 11% que contribuye a la captación de agua. A la pregunta que si estarían de acuerdo en recibir un pago por el cuidado del paisaje, comprometiéndose en no modificar el uso del suelo actual la totalidad estuvo de acuerdo. Entre los beneficiarios con vista a un paisaje atractivo que representan el 85% del total, el 79.5% se mostró favorable al PSAP. Es interesante notar como la totalidad del 15% que no tiene vista está de acuerdo con el PSAP. Las 21 unidades de paisaje se presentan en el mapa de la Figura 2 y en la figura 3 el uso del suelo.

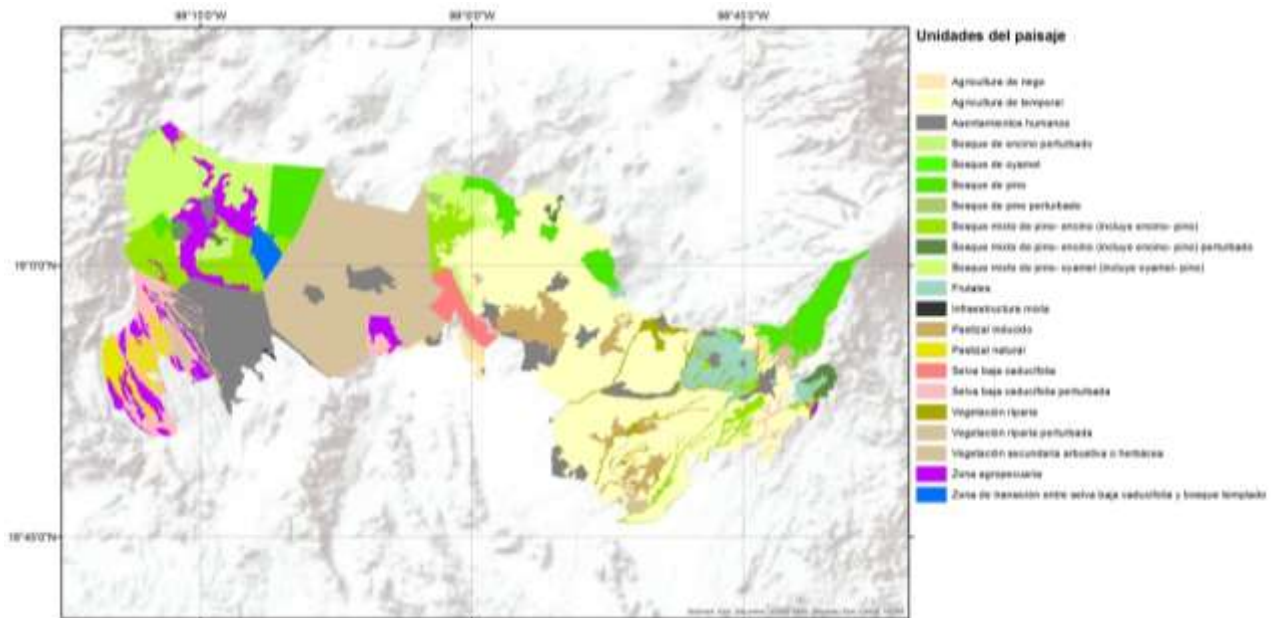


Figura 2. Unidades del paisaje.

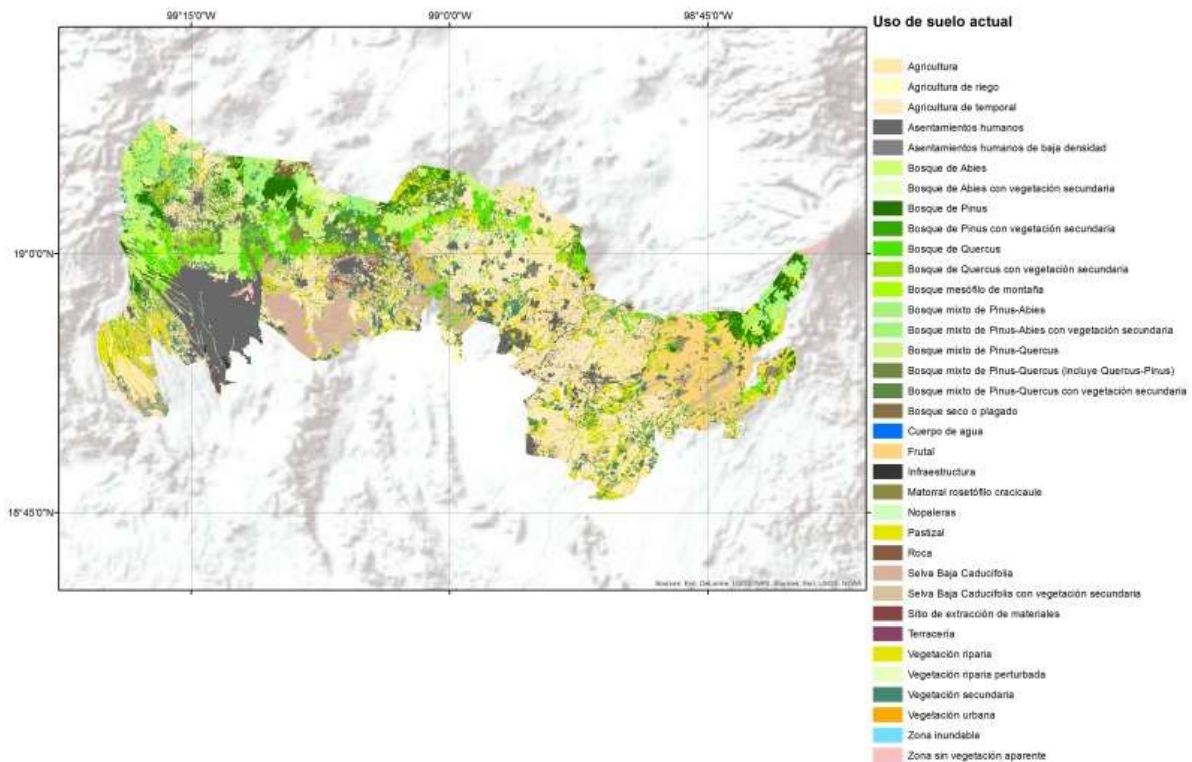


Figura 3. Mapa de calidad del uso del suelo. Elaboración propia.

6.1 Atractivo escénico

El mapa de Atractivo Escénico se presenta en la figura 5.

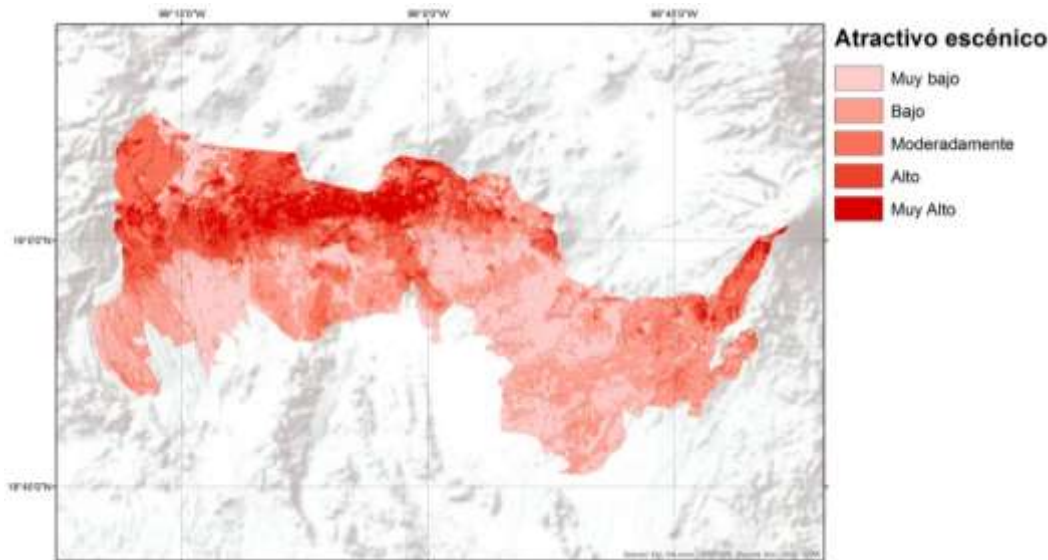


Figura 4. Mapa de atractivo escénico. Fuente: Elaboración propia.

Obtenido el atractivo escénico del área de estudio se calcularon superficie en ha y clasificaron de acuerdo al grado de atractivo escénico con valores Muy Alto (10) 130 ha, valor Alto (9) 3,948 ha, valor Alto (8) 5,640 ha, valor Medio (7) 12,369 ha y Medio (6) 7,898 ha.

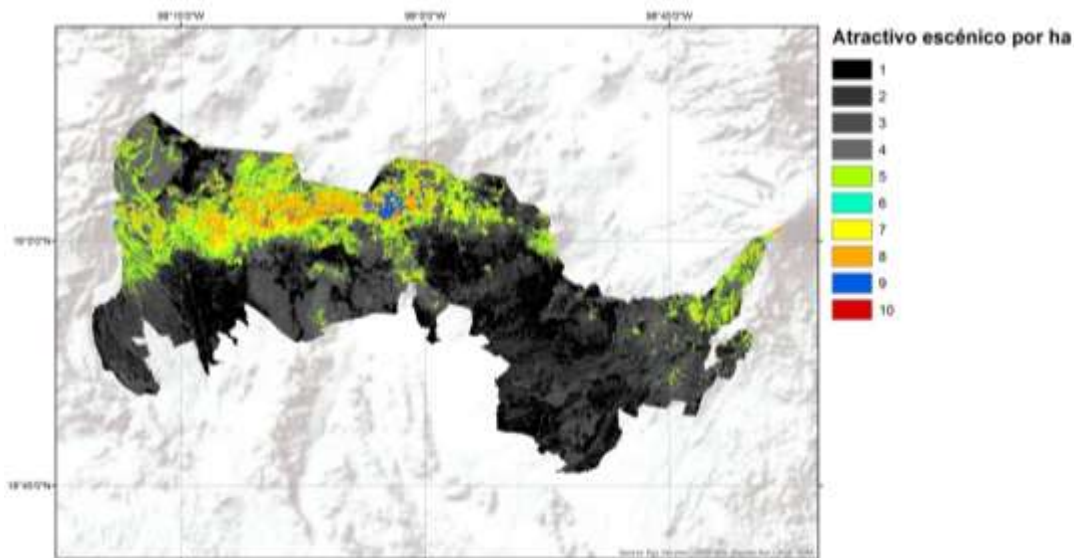


Figura 5. Mapa atractivo escénico por ha. Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo a lo planteado anteriormente las zonas con valor de paisaje muy alto y alto se ubican en la zona noroeste. La importancia de estas zonas radica en que otorgan al mismo tiempo recarga del acuífero, fijación de carbono y producción de humus, por lo que requieren de implementación de estrategias que planifiquen su conservación, reduciendo la tala clandestina, así como el cambio de uso de suelo forestal a agrícola o ganadero.

| Atractivo (i) | € | Superficie | total € |
|-------------------|-----|------------|------------|
| 10 | 5.0 | 130 | 650.00 |
| 9 | 4.5 | 3,948 | 17,766.00 |
| 8 | 4.0 | 5,640 | 22,560.00 |
| 7 | 3.5 | 12,369 | 43,291.50 |
| 6 | 3.0 | 7,898 | 23,694 |
| | | | 107,961.50 |

Tabla 5. Valor económico del paisaje en euro. Fuente: Elaboración propia.

| Predial | Vista del paisaje | No Predio | Pago € | Total € |
|--------------------------|-------------------|-----------|--------|-------------|
| Alto (> \$2,000) | Alta | 4017 | 2.0115 | 8,080.1955 |
| | Media | 16261 | 1.609 | 26,163.949 |
| Medio (\$1,000-2,000) | Alta | 18668 | 1.2065 | 22,522.942 |
| | Media | 63608 | .8045 | 51,172.636 |
| | Total: | 102,554 | | 107,956.802 |

Tabla 6. Valor económico del paisaje para beneficiarios. Fuente Elaboración propia.

CONAFOR realizó un estudio socioeconómico que demuestra el beneficio obtenido por la reforestación que es de \$ 839.27 /ha, considerando los productos maderables y no maderables. Si además se incluyen los SA de captura de carbono, captura de agua, reducción de erosión y protección de la biodiversidad, estos beneficios podrían subir a \$ 2,689.8 /ha. El recurso para este pago se obtendría de la industria de los diferentes países, en especial los más desarrollados (PRONARE, 2002). La belleza del paisaje cuyo valor se estimó en esta investigación en \$ 40.23 pesos/ha para beneficiarios (recreación, el atractivo visual, el bienestar a la salud, y el beneficio sensorial). Este es muy importante porque el paisaje resulta ser un bioindicador de estas áreas, así entonces mediante la implementación del PSA cada proveedor estaría en posibilidad de contar con ingresos por la venta de los mismos de \$2,689.8/ha. a los cuales se sumaran los \$ 100.00 pesos/ha del PSA paisaje alcanzando \$ 2,789.80/ha para 29,985 ha con un total de \$ 83,652,153 pesos para la zona de estudio. Si el estado fomentara el mercado de SA se obtendría esa cantidad, lo cual fomentaría el arraigo hacia la comunidad, y en consecuencia se tendría una disminución de la migración hacia los centros urbanos. Al mismo tiempo se conservarían los ecosistemas, se aseguraría la provisión y valoración de los servicios ambientales, como también facilitando condiciones para el desarrollo ecoturístico ya que se tendría el atractivo paisajístico.

Fortalecimiento normativo y gestión

Las personas y las empresas están dispuestas a pagar por estos servicios cuando representan una forma barata de cumplir con una normativa (FAO, 2009). Además del financiamiento público, existen fuentes de financiamiento alternas, entre las que destacan recursos del GEF (Fondo para el Medio Ambiente Mundial), administrados y manejados por el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, donativos, aportaciones a proyectos específicos por fundaciones y compensaciones ambientales. El PSA se da directamente a los propietarios de las tierras, sean privadas o de propiedad social. El PSAP sería efectuado por los beneficiarios de la ciudad de Cuernavaca y sería considerado en el predial y se podría pagar a través de la creación de un fideicomiso. El comité técnico del fideicomiso podría ser integrado por un representante de

los usuarios de PSA paisaje, por un representante de gobierno de CONAFOR y un representante de los proveedores.

7. CONCLUSIÓN

Ante la necesidad de preservar los servicios ambientales se propone el PSA como una estrategia integral, que contempla factores ambientales, sociales, económicos, culturales, políticos, administrativos, jurídicos, científicos y democráticos. Para el cálculo se integraron variables biofísicas y socioeconómicas en un sistema de información geográfica (SIG). Se propuso un método de evaluación del PSAP y se sugirió que este se realice a través de un fideicomiso en el cual participen los proveedores y usuarios (beneficiarios), con el fin de mantener y/o incrementar los servicios ambientales para garantizar su provisión a los usuarios, contribuir al desarrollo económico de la población asociada a ecosistemas productores de servicios ambientales, propiciar procesos de sustentabilidad ambiental, económica y social de la población asentada en la zona de estudio.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Antrop M. (2004). *Landscape and Urban Planning*. Volume 67, Issues 1–4, 15 March 2004, Pages 9–26
- CONAFOR (2010). *Servicios Ambientales y Cambio Climático*. Archivo en formato PDF visible en mayo 2016 en la página www.conafor.gob.mx:8080/documentos/download.aspx?articulo=2290
- Consejo de Europa, (2000). *Convenio Europeo del Paisaje*. Florencia, Italia.
- FAO (2009). *Manual de Capacitación: Pago por Servicios Ambientales en Áreas Protegidas en América Latina Programa FAO/OAPN Fortalecimiento del Manejo Sostenible de los Recursos Naturales en las Áreas Protegidas de América Latina*. 46 pp.
- FAO-REDLACH, (2004). *Foro electrónico sobre sistemas de pago por servicios ambientales en cuencas hidrográficas*. Informe final, Santiago de Chile.
- Forman, R.T.T. y M. Godron. (1986). *Landscape ecology*. John Wiley & Sons, New York. 620 pp.
- Gobierno de la Rioja. (2005). *Caracterización del paisaje de la Comunidad Autónoma de la Rioja*. Visible en mayo 2016 en la página <http://www.larioja.org/larioja-client/cm/territorio/images?idMmedia=762793>
- Hernández, R. (2009). *Pago por Servicios Ambientales: Lecciones aprendidas de la experiencia del Banco Mundial, Memorias de Conferencias*. EXPO-Forestal CONAFOR, México D.F.
- Malczewski J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley and Sons, 392 pp., New York, NY.
- OCAÑA, C. GÓMEZ, M.L. BLANCO, R. (2004): *Las vistas como recurso territorial. Ensayo de evaluación del paisaje visual mediante SIG*. Málaga, Universidad de Málaga.
- POEREM Gobierno del Estado de Morelos, (2013). *Programa de ordenamiento ecológico regional del estado de Morelos*. SEMARNAT-UAEM.
- Saaty T. L., (2008). *Decision making with the analytic hierarchy process* Int. J. *Services Sciences*, Vol. 1, No. 1, 2008 Inderscience Enterprises Ltd.
- SEMARNAT 2011. *Seminario Internacional sobre Evaluación de políticas Públicas Forestales*. México.
- Troll C. (2010). *Ecología del paisaje*. *Investigación ambiental* 2(1), 2010. 94.

PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS COMBINADO CON SIG Y TÉCNICAS MULTICRITERIO DE LA EVALUACIÓN DE LA APTITUD Y EL RÉGIMEN DE USO DE SENDEROS, CAMINOS Y PISTAS EN ESPACIOS NATURALES

Federico B. Galacho-Jiménez¹, Sergio Reyes-Corredera¹, Juan A. Arrebola-Castaño¹

¹ Universidad de Málaga, Grupo Análisis Geográfico, Departamento de Geografía, Campus de Teatinos, s/n, 29071 Málaga, España. fbgalacho@uma.es, sergioreyes@uma.es, juan.arrebola@uma.es

RESUMEN

Este trabajo parte de la consideración de que la práctica de las actividades recreativas y deportivas en espacios naturales requiere un conocimiento profundo basado en información cualificada derivada de la aplicación de métodos y procedimientos científicos. El análisis de las condiciones de uso, la determinación del nivel de aptitud y el establecimiento de parámetros para el establecimiento de la capacidad de carga física son los ejes principales sobre los que basaremos este procedimiento con la finalidad de diseñar un instrumento que ayude al diseño de acciones tendentes a mejorar el uso de los elementos que forman parte de los espacios naturales. Dentro del conjunto de dichos elementos destacamos las infraestructuras viales directamente relacionadas con las actividades recreativo-deportivas, compuestas principalmente por senderos, caminos rurales y pistas forestales. Para el análisis de estos elementos se considera fundamental aportar información de la valoración de su aptitud en relación con las características físicas del medio y su interrelación con la afluencia de visitantes. El procedimiento diseñado puede ser de gran aplicación en las acciones de auditoría y toma de decisión respecto a la valoración de cómo se desarrollan las actividades y, sobre todo, los efectos que éstas producen o pueden llegar a producir sobre el medio natural. En este contexto, el uso de técnicas de evaluación multicriterio, configuradas como una aplicación en un Sistema de Información Geográfica, se muestran como un instrumento muy útil para el análisis de los planteamientos que se han expuesto.

Palabras clave: Aptitud; Capacidad de Carga; Evaluación Multicriterio; Sistema de Información Geográfica; Actividades Recreativas y Deportivas.

ABSTRACT

This methodology are based on the consideration that the practice of sports and recreational activities in natural settings requires a thorough knowledge qualified based on information derived from the application of scientific methods and procedures. The analysis of the conditions of use, determining the level of aptitude and setting parameters for establishing the physical carrying capacity are the main axes on which we will base this procedure in order to design an instrument that helps the design actions to improve the use of the elements that are part of the natural areas. Within the set of such elements, we include road infrastructure directly related to recreational and sports activities composed mainly of trails, rural roads and forest tracks. For the analysis of these elements is considered essential to provide information assessing their suitability in relation to the physical characteristics of the medium and its interface with the influx of visitors. The procedure designed can be of great application in audit actions and decision making regarding the assessment of how activities are developed and the effects they produce or can produce on the natural environment. In this context, the use of multi-criteria evaluation techniques designed as an application on a Geographic Information System is a very useful for analysis of the approaches that have been exposed instrument.

Keywords: Aptitude, Carrying Capacity; Multicriteria Evaluation; GIS; Recreational and Sports Activities.

1. INTRODUCCIÓN

Este texto es una parte de los resultados que se obtuvieron con los proyectos: “Desarrollo metodológico sobre la evaluación de la capacidad para usos recreativos de espacios protegidos”, proyecto I+D+I financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España (Referencia: SEJ-2007-67690 y Proyecto de Investigación de Excelencia del mismo nombre de la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa de la Junta de Andalucía (Referencia P07-HUM-03049). El antecedente básico de estos trabajos fue el proyecto FEDER titulado: “Evaluación del potencial turístico del espacio rural” (referencia -1FD97-1663) realizado por un equipo de investigación de la Universidad de Málaga entre 1997 y 2000, cuyo objetivo fue aportar criterios e instrumentos para la toma de decisión en el uso del espacio rural, en relación con su explotación turística y recreativa.

En ellos se partía de la consideración de que la toma de decisión sobre planificación y gestión de actividades recreativas y deportivas en los espacios naturales, las cuales tienen como soporte evidente los recursos naturales, supone un marco complejo de decisión que se manifiesta con mucha frecuencia. Generalmente la gestión que las administraciones u organismos con competencia en dichos espacios están obligados a hacer carece de instrumentos y métodos científicos sobre la que apoyar la toma de decisión. Algo que en muchos casos pesa negativamente en el rigor de las acciones, sobre todo cuando el objeto sea la planificación de las actividades de cara a su gestión ambiental y concretamente respecto a los usos principalmente demandados. Por tanto, entendemos que la información cualificada derivada de la aplicación de métodos y procedimientos científicos en este contexto puede suponer una oportunidad para mejorar la definición o el diseño de dichas acciones. Concretamente, la información que aportan las evaluaciones que se generan con el método que se expone puede ser útil para los procesos de auditoría y toma de decisión respecto a cómo se desarrollan las actividades y sobre los efectos que producen o pueden llegar a producir.

De acuerdo con estos presupuestos se ha venido trabajando en un procedimiento que se enfoca hacia el análisis de las infraestructuras viales que dan soporte a aquellas actividades deportivo-recreativas que las utilizan para su desarrollo y su práctica. En esta línea temática creemos que es de general aceptación que la sostenibilidad ambiental debe pasar por la utilización óptima de los recursos naturales en su conjunto o de cualquiera de sus componentes en particular como es el caso, y de ahí que la práctica de cualquier actividad deba asegurar el equilibrio con el medio donde se desarrolla. De modo específico nos basamos en la evaluación de las características intrínsecas de las infraestructuras viales, como soporte de actividades turístico-deportivas y recreativas. Se parte pues de la consideración de que valorando dichas características y estableciendo una cuantificación de su grado de idoneidad es posible establecer en qué condiciones se llevan a cabo dichas actividades, cuáles son los posibles transformaciones del medio natural que se pueden generar y en qué medida se puede intervenir para minimizarlos. Todo ello en la consideración de que en muchos casos es necesario el establecimiento de parámetros que determinen la capacidad de carga y que justifiquen en su caso la regulación de la capacidad de uso.

En base a todo lo anterior se han marcado los objetivos de este trabajo: identificar las variables territoriales que determinan el cálculo de la aptitud de las infraestructuras viales (senderos, caminos rurales y pistas forestales); definir nuevas escalas de medida de dichas variables en función de la actividad que sobre cada vial se desarrolla; relacionar los valores que configuran la aptitud con la afluencia de visitantes; elaborar bases de información geográfica para la zona de experimentación, relativas a las variables definidas y su aplicación en un entorno SIG combinado con Técnicas de Evaluación Multicriterio; poner en práctica técnicas para comprobar sobre el terreno las incidencias con respecto a los resultados obtenidos, no advertidos en la cartografía y pasar a la corrección o ampliación de la información correspondiente según los casos; y finalmente, caracterizar con SIG dichas infraestructuras, aplicando utilidades de análisis espacial al inventario de información así formado.

Para la consecución de estos objetivos se establece un procedimiento metodológico que es el siguiente: se parte de la elección de un área de estudio representativa de un entorno montañoso del ámbito mediterráneo, como es el caso del parque natural Sierra de las Nieves, situado en la provincia de Málaga (España); a

continuación se procederá a la definición de las variables territoriales que entrarán a componer la evaluación de la aptitud del terreno por donde discurren las infraestructuras analizadas; se establece un procedimiento de captura, tratamiento e introducción en un entorno informático de los datos geográficos obtenidos sobre el terreno; se diseñan los procesos de evaluación de la aptitud basándonos en la utilización combinada de técnicas multicriterio y SIG; se procederá a la estimación del número de visitantes en series temporales, mediante el uso de ecocontadores o aforadores de usuarios; y finalmente, se procederá a la interrelación espacial y temporal de las capas de información surgidas de la evaluación de la aptitud con la información de la afluencia de visitantes.

Los resultados que se esperan obtener guardan relación con que la información aparezca expresada en función del significado de las condiciones físicas de las infraestructuras viales analizadas por tramos homogéneos; en base a ello se obtendrá una metodología para la evaluación de la idoneidad de las infraestructuras viales para la práctica de actividades recreativo-deportivas como el senderismo, el ciclismo de montaña u otros por parte de aquellos usuarios que las demandan. El usuario podrá disponer de información de qué tramos presentan las condiciones más adecuadas para la práctica de la actividad según la consideración de los distintos perfiles de usuarios y cuál de ellos se adecua mejor a cada tramo vial; finalmente, se contempla la obtención de un número suficiente de juicios de valor que puedan orientar de modo fundamentado a la administración competente a la hora de planificar y gestionar la demanda de las actividades, para el mantenimiento de las infraestructuras viales que sirven de soporte a dichas actividades o para la búsqueda de nuevas alternativas de uso en base a que una aptitud escasa no sea idónea para una frecuentación intensiva.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

El procedimiento que se expone se inserta en el marco de la investigación en planificación física y en el desarrollo rural, y en el ámbito instrumental de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y las Técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC).

Su fundamento se sitúa en el concepto de capacidad de acogida como un concepto teórico que se refiere al uso óptimo del territorio en orden a su sostenibilidad fue puesta en práctica en un principio dentro de la teoría de la planificación física con base ecológica que se desenvuelve con el soporte de diferentes propuestas metodológicas (procedimientos y criterios de clasificación, agregación y análisis). Cabe destacar en esta línea las aportaciones sucesivas de: Canter (1985), Clark (1980), Bisset (1980), Rau (1980), Hollick (1981), Lee (1983) y Black (1991), entre otros.

La propuesta que se hace se engloba en torno a cuatro conceptos básicos: calidad, fragilidad, aptitud y carga. Si el medio puede ser descrito en función de sus elementos y variables geográficas, y estudiado a través de los conceptos de calidad y fragilidad, la relación de estos dos conceptos con las actividades vendrá dada a través de los conceptos de aptitud y carga. El concepto teórico al que se refiere el uso óptimo del territorio en orden a su sostenibilidad se fue fundamentando en la práctica de la ordenación territorial sobre dos basamentos: el análisis de las aptitudes y la estimación de la carga. Por consiguiente, nos moveremos en un proceso en el que primero se hará una estimación de los recursos: diferentes elementos del medio físico y distintos usos, que resumirá el grado de adaptación del medio a los requerimientos del objeto para el que es evaluado y después, una valoración de la situación potencial para la clasificaciones de usos potenciales que deriva en procedimientos de valoración diferentes (desarrollo del concepto de carga) que pretende llevar a la minimización de los efectos negativos que pueden derivarse de la implantación de usos. Es por ello que en base a la consideración de que las propiedades del territorio tienen un significado en orden al desarrollo de las actuaciones (consideradas estas propiedades en su conjunto, para cada espacio determinado y para unas posibles actuaciones) se define la capacidad que tiene dicho espacio para desarrollar en él dichas actuaciones; así el significado de capacidad de acogida del territorio se entiende derivado de la concurrencia, en un espacio determinado, de ciertas características y elementos ambientales significativos. Se trata pues de diseñar procesos de evaluación orientados a objetos concretos con la intención de delimitar entre las alternativas reales las que sean compatibles con un objeto de evaluación concreto. Así pues, se presentará una diversidad de factores que pueden intervenir en la definición de los conceptos básicos (aptitud y carga), y al mismo

tiempo, configurará un marco de relaciones plural (los lugares de un territorio admiten valoraciones diferentes según la prioridad establecida: el objeto de la evaluación) que sitúa al planificador en el dilema habitual de las alternativas en conflicto.

Para investigar el número de alternativas y facilitar la toma de decisiones se utilizarán combinadamente los Sistemas de Información Geográfica y las Técnicas de Evaluación Multicriterio. Las ventajas de utilizar estas técnicas con SIG se sitúan en poder resolver con todo rigor la interrelación de las diversas variables del territorio. Un atributo cualquiera contenido en cada una de las capas de información de un SIG, pueden ser dentro de él, ponderados como un factor positivo o negativo según un determinado objeto. Y puede igualmente ser valorado en conjunción con otros y en función de ello contrarrestado, potenciado o anulado. En base a esto, la metodología debe contemplarse con el diseño de criterios y factores que fundamentan las distintas evaluaciones, así como la necesaria experimentación en un ámbito geográfico determinado. Con ello el método adquiere un carácter aplicado y una finalidad demostrativa por lo que el proceso de evaluación se ha insertado dentro de un SIG, para aprovechar sus potencialidades en la interrelación de las capas de información requeridas y sus utilidades de análisis/evaluación; de modo que sea factible su aplicación y revisión en otros contextos espaciales con la mera adecuación de los datos, y en su caso los procesos, a las nuevas condiciones geográficas o territoriales. Han proporcionado fundamentos científicos a estos procedimientos y técnicas los siguientes autores: Nijkamp (1990), Voogd (1983), Eastman *et alii*. (1993), Jankowski (1995), Malczewski (1999), y Munda (2007); y en España, Romero (1993), Barredo (1996), Barba y Pomerol (1997), Santos (1998), Moreno (2002) y Roy (2007). La utilidad de estos procedimientos es reconocida y el campo de aplicación de la EMC combinada con SIG para la evaluación de la capacidad de acogida del territorio en diversas temáticas es extenso, citamos algunos trabajos: Barredo y Bosque (1995), Bosque y García (1999), Laguna y Nogués (2001), Varela (2002), Ocaña y Galacho (2002), Gómez y Bosque (2004), Bosque y Moreno (2004), Galacho y Ocaña (2006), Moreno y Buzai (2008) y Galacho *et alii* (2009).

En definitiva, situados en el marco conceptual y teórico descrito, nuestra premisa de partida es sistematizar un procedimiento con fines demostrativos, como una aportación a los procesos de planificación del desarrollo sostenible. La hipótesis fundamental es la posibilidad de articular en la propuesta tanto el proceso de la evaluación de aptitud como aportar la información necesaria para estimar la capacidad de carga, teniendo como referencia las condiciones geográficas y las exigencias o características de las actividades consideradas, con lo que ello implica de articulación de antecedentes científicos que provienen de enfoques y disciplinas diversas, y de incluir en el desarrollo metodologías de investigación muy diversas. En este caso, basamos nuestra propuesta en los antecedentes de investigaciones anteriores como Ocaña *et alii* (1998), Larrubia y Navarro (2001), Gómez (2011), Luque (2004), Blanco y Nieuwenhuys (2011), Mérida (1999), Ocaña *et alii* (2004) y Manceras *et alii* (2002) y Galacho *et alii* (2004).

3. METODOLOGÍA

3.1 Delimitación espacial.

La experimentación de la metodología propuesta se ha realizado en una zona piloto: el Parque Natural de Sierra de las Nieves en la provincia de Málaga (véase figura 1). Se ha adoptado como ámbito de aplicación este espacio a fin de trabajar en un espacio de gran valor medioambiental y riqueza de paisajes naturales y culturales. Se trata de un espacio natural protegido que se localiza en la parte central de la provincia de Málaga, ocupa el flanco oriental de la Serranía de Ronda, contactando con otra gran unidad natural de la provincia, el valle del río Guadalhorce. El espacio natural cuenta con una extensión moderada, que supera ligeramente las 20.000 hectáreas. Su relieve es muy accidentado, con pronunciadas pendientes y elevadas altitudes en relación a su entorno inmediato, entre las que se encuentra la cima más alta de la provincia, el pico Torrecilla, que supera los 1.900 metros de altitud. En el espacio estudiado se localizan un total de 6 senderos de usos público que serán analizados.



Figura 1. Localización del ámbito de estudio. Parque Natural Sierra de las Nieves.

3.2 Cálculo de la aptitud física.

3.2.1 Creación de las variables para la evaluación de la aptitud física de los senderos.

Una de las aportaciones que más valoramos del método propuesto hace referencia a la obtención de los datos y a la configuración de las variables geográficas que formarán parte de las evaluaciones. Cuando abordamos esta temática observamos que las prácticas deportivo-recreativas que utilizan los recursos naturales son muchas y que las variables geográficas asociadas a ellas también muy diversas. En esta comunicación vamos a considerar la actividad de senderismo. Por tanto nos centraremos en evaluar la aptitud del territorio para esta actividad, entre otras cuestiones, porque es la práctica deportiva-recreativa más relevante del ámbito de estudio seleccionado. Del establecimiento de este objeto de evaluación dependerán las variables territoriales a considerar. Así, como sabemos, el senderismo utiliza los elementos geográficos terrestres como soporte para su desarrollo, destacando entre ellos los viales tradicionales o históricos (caminos, senderos, vías pecuarias, pistas, etc.) y los elementos fisiográficos (paredes, cortados, barrancos y cañones, etc.).

Como paso previo a la obtención de los datos, se ha procedido a la caracterización de los caminos históricos, en orden a establecer una referencia de partida, para posteriormente, determinar cuáles de ellos serían evaluados. Dicha caracterización se ha basado en un requisito básico como es la existencia de conectividad entre trazados. Al mismo tiempo, estos trazados debían disponer de cualidades territoriales que facilitasen la experimentación de la metodología propuesta. Para ello se ha considerado necesario que aunasen la variabilidad suficiente tanto en su morfología (topografía, litología, etc.) como en su ubicación, es decir, que discurren por entornos geográficos variados (distintos tipos de paisajes). Esta misma variedad permite, a su vez, que el método recoja suficiente variedad de tipos de cara a que se facilite, por una parte, el establecimiento de las distintas valoraciones y puntuaciones y, por otra, que las potencialidades de su aplicación sean lo más amplias posibles. De tal manera que se permita, aunque con las adaptaciones pertinentes, su aplicación en otros espacios o tipos de infraestructuras diferentes: bien, en ámbitos de media o alta montaña estrictamente naturales, o bien en entornos más transformados como los montes agropecuarios, o los paisajes agrícolas (huertas, frutales etc.).

Operativamente, una vez realizada la caracterización mencionada se ha procedido, en primer lugar, a la confección digital y a su introducción en una base de datos SIG como una capa de información. Posteriormente con el SIG se realizaron operaciones de análisis espacial para enriquecer con nuevos atributos temáticos a estos caminos: así en relación con un modelo digital del terreno y a la información derivable de éste, se le han introducido valores de pendiente, orientación, altitud; y a través de cartografía temática, atributos relativos a la litología y los usos del suelo. Finalmente, se realizó un trabajo de campo consistente en el recorrido de los trazados seleccionados y se procedió a su corrección digital con apoyo en una ortofotografía reciente a escala 1:5000.

Una vez realizada la configuración geográfica de una base digital de senderos con el suficiente nivel de calidad y precisión geométrica, se ha abordado la segunda parte del proceso de configuración de las variables de la evaluación. Este proceso se basa en la construcción de los atributos temáticos derivados de las variables territoriales que intervendrán en la valoración de las infraestructuras viales seleccionadas. Consideramos que aquí radica otra gran aportación de esta metodología, ya que hasta en la actualidad y según la revisión bibliográfica realizada, las propuestas en este sentido son escasas.

Para el establecimiento de qué variables formarían parte de la evaluación se ha hecho una reflexión de partida de cuáles son los requerimientos físicos para la práctica de la actividad seleccionada. Para concretar después que entenderemos como requerimientos físicos aquéllas características directamente dependientes del medio que sirven de soporte a la práctica de la actividad misma, y que por tanto, son los que pueden definir las condiciones físicas objetivas. Serán consideradas 4 variables territoriales: la pendiente, el firme, la anchura y los obstáculos. Además se ha tenido en cuenta que estas variables sean comunes a cualquier espacio o terreno. Estas variables han sido tratadas como cuatro capas de información derivadas de una misma capa: la mencionada capa de geometría de los caminos y senderos en formato vectorial de tipo línea. Se ha preferido trabajar de forma individual cada capa para mantener las segmentaciones de las líneas y poder adscribir los atributos correspondientes a cada segmento. Una vez que han sido elaborados los atributos de dichas capas se unen siendo manejadas en el proceso de evaluación como una sola. El procedimiento de adquisición de los atributos del firme, la anchura y los obstáculos se realiza de forma directa, digitalizando a partir del trabajo realizado sobre el propio sendero en las jornadas de campo; mientras que la capa de pendiente se consigue de forma automática a través de GPS. Para obtener más información sobre el proceso de elaboración de estas capas se puede consultar Galacho y Arrebola (2008) y Galacho *et alii* (2011).

3.2.2 Proceso de cálculo y resultado de la evaluación.

Una vez convertidas las variables territoriales en factores y criterios de la evaluación se procede a la aplicación de las reglas de decisión y el proceso final de evaluación. En el diseño del proceso de evaluación se ha optado por entender que no todos los criterios deban tener la misma importancia, es por ello que los factores analizados anteriormente y que formarán parte de la evaluación sean sometidos a puntuación para establecer su peso en dicho proceso. Los pesos dados a los factores, lo que los convierte en criterios, se exponen en las tablas número 1 y 2. Estos pesos han sido establecidos por el equipo de investigación con el apoyo de expertos en las actividades analizadas. Tienen su justificación en las siguientes consideraciones: el firme se considera determinante y por tanto, adquiere el mayor rango de puntuación. Parece lógico que las condiciones y características del suelo por donde se pisa sean determinantes en el establecimiento de las condiciones en la que se desarrolla la actividad. Si a este factor unimos el factor de la pendiente, entonces dichas condiciones sufren una transformación que puede ir desde un sentido positivo a uno negativo si comparamos las distintas combinaciones que se puedan presentar. Es por ello que el factor pendiente sea valorado como un segundo factor determinante en la evaluación. Respecto a los obstáculos, como se ha comentado en los apartados donde se hacen referencia a este factor, pueden llegar a suponer, digamos una dificultad añadida, pero realmente y en la mayoría de las ocasiones no llega a constituirse en un factor determinante, salvo excepciones. Por último, la consideración del factor ancho como el factor menos determinante se justifica en que sus cualidades se desarrollan más en el marco de las preferencias que en el de las condiciones físicas reales para el desarrollo de la actividad.

| Clases | Firme | Pendiente | Obstáculos | Ancho |
|-------------------|-------|-----------|------------|-------|
| Firme | 1 | 3 | 5 | 9 |
| Pendiente | 1/3 | 1 | 3 | 5 |
| Obstáculos | 1/5 | 1/3 | 1 | 3 |
| Ancho | 1/9 | 1/5 | 1/3 | 1 |

Tabla 1. Puntuación de los criterios de Aptitud. Fuente: Elaboración propia según valoración realizada por el equipo basada en el método de Saaty (1980).

La razón de consistencia (*consistencia ratio*, c.r.) da como resultado: C.R.= 0,04; C.I.= 0,05 y R.I.= 1,45. Los juicios de valor asignados son válidos puesto que el C.R. es inferior a 0,1.

| | Tipo | Denominación | Peso | EP | EPN | Nrm 0 a 1 |
|----|------|--------------|------|------|-------|-----------|
| 1º | 1 | Firme | 1 | 2,31 | 0,576 | 1,00 |
| 2º | 2 | Pendiente | 1/3 | 1,02 | 0,256 | 0,40 |
| 3º | 3 | Obstáculos | 1/5 | 0,47 | 0,117 | 0,14 |
| 4º | 4 | Ancho | 1/9 | 0,20 | 0,051 | 0,01 |

Tabla 2. Síntesis de los valores de la Aptitud. Cuadro resumen del proceso. Fuente: Elaboración propia según valoración realizada por el equipo basada en el método de Saaty (1980).

Una vez contruidos los criterios se aborda en la lógica del proceso de evaluación la adopción de una regla de decisión para el desarrollo final del proceso. Esta parte del proceso se formaliza mediante una serie de procedimientos aritméticos-estadísticos que posibilitan la integración de los criterios establecidos en un índice de simple composición, que debe proporcionar la posibilidad y la manera de comparar las alternativas utilizando dicho índice (Eastman *et alii*, 1993). Tales reglas se referirán a la forma de integrar los criterios en la evaluación de las alternativas. En este sentido, para la evaluación de la aptitud, se utilizará un procedimiento compensatorio como es el basado en el análisis del punto ideal. Se considera que la aproximación al punto ideal representa un concepto de situación ideal fácilmente intuible y la disimilitud respecto a ella debe ser una medida significativa. Como se sabe, la opción de la distancia al punto ideal conlleva que en el proceso se utilicen las puntuaciones de las alternativas para medir su similitud con una situación óptima, teórica, que lógicamente estará definida por las mejores puntuaciones posibles en cada criterio. Es una forma de ordenar linealmente las alternativas, también sencilla y clara, en la que lógicamente hay compensación entre los criterios, pero midiendo la desviación de las puntuaciones de las alternativas en cada criterio respecto al valor óptimo y no directamente las propias puntuaciones. A partir de la estructura inicial del procedimiento, podemos establecer que no plantea excesivas limitaciones en su ejecución en relación al número de alternativas a evaluar, ni el número de criterios a ser considerados, lo que le confiere excelentes posibilidades para ser manejado con el SIG. De esta manera, los criterios considerados: pendiente, firme, anchura y obstáculos son valorados mediante el cálculo de la distancia entre cada alternativa y el punto ideal, de manera que podemos seleccionar aquellas alternativas más cercanas a dicho punto ideal según el objeto de la evaluación. Para el Análisis del Punto Ideal se utiliza la fórmula siguiente, tomada de Barredo (1996):

$$Lp = \left[\sum_{j=1}^n w_j |x_{ij} - 1|^p \right]^{1/p}$$

Donde, w_j : peso del criterio j , x_{ij} : valor de la alternativa i en el criterio j y p : métrica para el cálculo de la distancia ($p=2$ corresponde a la distancia euclidiana).

Como resultado se obtiene la aptitud de los senderos para la práctica del senderismo y registrada en una capa de información estructurada en segmentos, como se muestra en la Figura 2.

3.3 Cuantificación del número de visitantes y su relación con la aptitud física como indicador para el establecimiento de la capacidad de carga física.

La metodología que se aplica en este trabajo está tomada de Ocaña *et alii* (2012), y en base a ella se ha procedido a una actualización de los datos aportados por una red de ocho aforadores distribuidos por los senderos del área de estudio, que han venidos ofreciendo información continuada desde que fueron instalados en 2007. Esta red de aforadores aporta información que resulta fundamental para determinar la dimensión potencial del impacto, al contabilizar de modo muy preciso la afluencia en el tiempo y en el espacio por el que discurren los senderos. Con esta información, manejada combinadamente con el cálculo de la aptitud física se pueden establecer parámetros de referencia para el establecimiento de la capacidad de carga física. A continuación mostramos algunos datos de la cuantificación realizada por la red de aforadores en su relación con la aptitud física de los senderos analizados. El volumen interanual de visitantes puede observarse en la figura 3 y en la figura 4 hemos representado los niveles de aptitud de los itinerarios analizados.

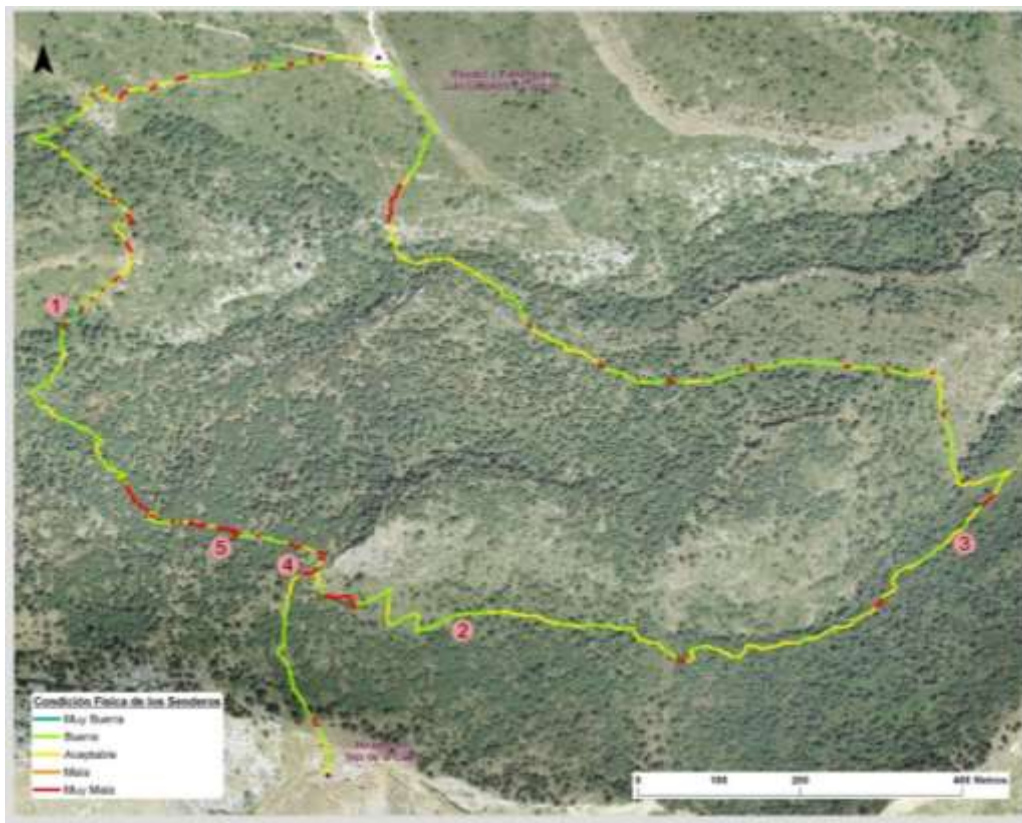


Figura 2. Resultado de evaluación de la aptitud física y su representación para un sendero del área de estudio. Fuente: Elaboración propia en base a las capas utilizadas. La numeración hace referencia a los tramos en los que se subdividen los senderos.

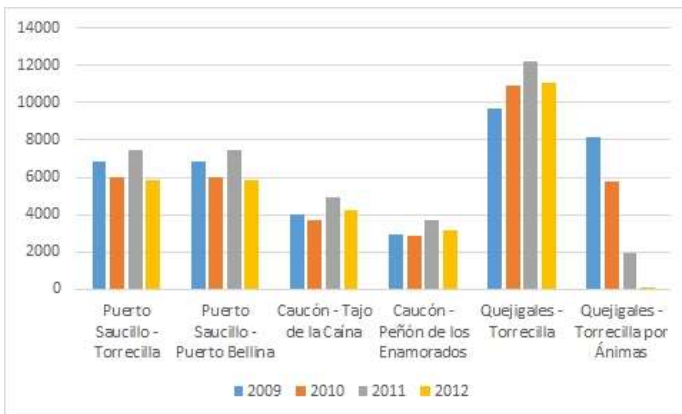


Figura 3. Evolución interanual del número de visitantes en los 6 itinerarios principales del área de estudio. Fuente: Elaboración propia en base a la información aportada por la red de aforadores.

Los datos muestran la elevada frecuentación de los senderos de uso público del espacio natural objeto de estudio, datos que por otra parte, se desconocían. Con esta información se puede hacer una valoración del nivel de visitas real y dónde éstas se producen en tiempo y espacio.

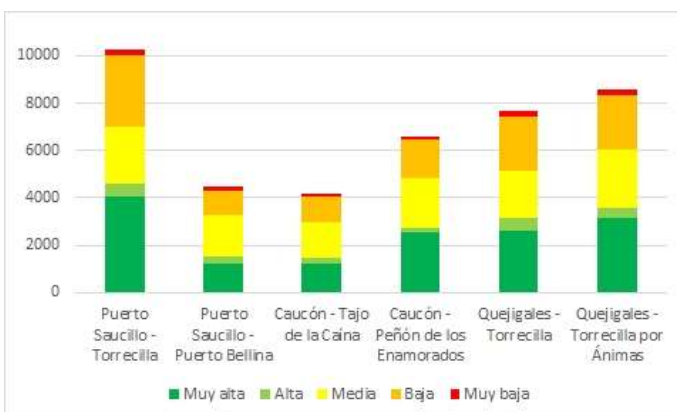


Figura 4. Cuantificación en metros del nivel de aptitud del conjunto de los tramos.

Se puede observar como en todos los itinerarios se encuentran representación todos los niveles de aptitud establecidos, debiéndose de tener en cuenta precisamente esta circunstancia, de tal manera que los tramos considerados de aptitud Baja o Muy Baja pueden suponer puntos críticos en el recorrido, dependiendo obviamente el nivel físico del usuario.

Finalmente, en las tablas 3 y 4 presentamos la estimación realizada de la capacidad de carga física según la aptitud de los tramos. Se han establecido dos escenarios de capacidad de carga: hasta 10.000 visitantes/año o hasta 6.000 visitantes/año; el primero más permisivo y el segundo más conservador. Para estos escenarios se ha estimado la capacidad de carga física que podrían soportar los diferentes tramos agrupados de acuerdo a su aptitud, sin que se produzcan efectos no deseados que infieran en la modificación de las condiciones naturales de los senderos y, por derivación, del entorno donde discurren. El valor que aporta esta información radica en las posibilidades que se abren para la planificación del número de visitantes de las infraestructuras que sirven de soporte a las actividades recreativas y deportivas en los espacios naturales, en particular, o en otros espacios en general.

| <i>Clasificación de los tramos de experimentación por aptitud y capacidad de carga</i> | | | | |
|--|------------------|--------------------|-------------|-----------------------|
| | | Capacidad de carga | | Total tipo de aptitud |
| | | Hasta 10.000 | Hasta 6.000 | |
| Niveles de Aptitud | Aptitud Muy Alta | 5.227 | 8.748 | 13.975 |
| | Aptitud Alta | 1.611 | 133 | 1.744 |
| | Aptitud Media | 3.806 | 5.540 | 9.346 |
| | Aptitud Baja | 2.803 | 996 | 3.799 |
| | Aptitud Muy Baja | 893 | 50 | 943 |
| Total tipo por capacidad de carga | | 14.340 | 15.467 | 29.807 |

Tabla 3. Clasificación de los tramos de experimentación por aptitud y estimación de la capacidad de carga. Fuente: Elaboración propia en base a la red propia de aforadores.

| <i>Longitud de los tramos de experimentación clasificados por aptitud y capacidad de carga</i> | | | | |
|--|------------------|--------------------|-------------|-----------------------|
| | | Capacidad de carga | | Total tipo de aptitud |
| | | Hasta 10.000 | Hasta 6.000 | |
| Niveles de Aptitud | Aptitud Muy Alta | 5.729,60 | 8.383,90 | 14.113,50 |
| | Aptitud Alta | 1.813,20 | 296,70 | 2.109,90 |
| | Aptitud Media | 4.729,80 | 6.216,10 | 10.945,90 |
| | Aptitud Baja | 3.492,70 | 4.049,40 | 7.542,10 |
| | Aptitud Muy Baja | 1.108,40 | 510,00 | 1.618,40 |
| Total tipo por capacidad de carga | | 16.873,70 | 19.462,40 | 36.329,80 |

Tabla 4. Estimación de la capacidad de carga según la aptitud de los tramos de experimentación. Fuente: Elaboración propia en base a la red propia de aforadores.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El objetivo de la investigación no recae en la enumeración de los impactos que se producen en el sendero de forma directa o indirecta a causa de la frecuentación de visitantes, sino en sí esta frecuentación puede ser considerada lesiva para el mantenimiento de las condiciones originales de los senderos. Valga como ejemplo, que los datos registrados en dos de los aforadores instalados en uno de los senderos más transitado, el itinerario Luis Ceballos – Torrecilla, sirven para certificar que la media mensual de 620 visitantes que han transitado por uno de ellos en ambos sentidos y los 310 que lo han hecho por el otro, y pese a picos mensuales que superan ampliamente los 1.000 y los 600 visitantes respectivamente, no son responsables del posible deterioro general de la infraestructura. Esta conclusión se fundamenta en el hecho de que el senderismo presenta una manifestación espacial puramente lineal por lo que sus efectos, por ejemplo, sobre la cubierta vegetal quedan más concentrados al propio sendero y menos a las zonas de influencia donde estos discurren. En lo que se refiere a otros elementos como la fauna, sólo le afecta temporalmente y puede considerarse puntual. El elemento del medio natural que recibe un mayor impacto es el suelo, sufre impactos por compactación y por erosión. Por consiguiente, la estimación de la capacidad de carga física se puede centrar en este elemento, con la consideración de que su degradación como soporte físico de la actividad puede llegar a dificultar su práctica, además de afectar a las condiciones naturales del trazado, obligando a obras de restauración y mantenimiento de alto coste.

De esta manera, el análisis combinado de aptitud y capacidad de carga es la expresión final de esta metodología de evaluación y cómo se ha podido observar ha consistido en la integración de los resultados de

la evaluación de la aptitud con los datos recopilados en la serie de aforadores instaladas con el objetivo de relacionar ambos con las limitaciones naturales estudiadas con lo que se llega a elaborar una estimación de la capacidad de carga física. El proceso de integración es por consiguiente un proceso analítico, ya que la valoración de los datos suministrados puede competir al gestor de las infraestructuras, o bien, a usuarios o investigadores que quieran disponer ahora de una catalogación fundamentada de los senderos, divididos éstos en tipologías en función de las dos variables consideradas: el nivel de aptitud y la capacidad de carga física. Con esta finalidad, se suministra una catalogación de los senderos desglosados por tramos que se acompaña del consecuente análisis geo-estadístico, a fin de que los resultados puedan ser estimados y analizados en procesos de ordenación o de investigación. Se puede obtener más información sobre el diseño inicial del planteamiento metodológico en Ocaña et al (2012).

5. BIBLIOGRAFÍA

- Barba, S. y Pomerol, J.C. (1997): *Decisiones multicriterio: fundamentos teóricos y utilización práctica*. Alcalá de Henares, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá de Henares.
- Barredo, J.I. y Bosque, J. (1995): "Integración de evaluación multicriterio y sistemas de información geográfica para la evaluación de la capacidad de acogida del territorio y asignación de usos del suelo", en *IV Congreso Español de Sistemas de Información Geográfica*, Barcelona, AESIG. pp. 191-200.
- Barredo, J. I. (1996): *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid, Ra-Ma Editorial. 1ª edición.
- Bisset, R. (1980): "Methods for environmental impact analysis: recent trends and future prospects". *Journal of Environmental Manage*, 11, pp. 27-43.
- Black, P.E. (1991): *Environmental Impact Analysis*. Syracuse (USA), Kinko's Center.
- Blanco, R. y Nieuwenhuyse, A. (2011): "Influence of topographic and edaphic factors on vulnerability to soil degradation due to cattle grazing in humid tropical mountains in northern Honduras". *Catena*, 86, pp. 130-137.
- Bosque, J. y García, R. (1999): "Asignación óptima de usos del suelo mediante generación de parcelas por medio de SIG y evaluación multicriterio", en *VII Conferencia Iberoamericana sobre SIG*, Mérida, pp. 195-207.
- Bosque, J. y Moreno, A. (2004): *Sistemas de Información Geográfica y localización de instalaciones y equipamientos*. Madrid, Ra-Ma Editorial.
- Canter, L.W. (1985): *Environmental impact of agricultural production activities*. USA (Michigan), Lewis Publishers, Inc.
- Clark, B.D. (1980): *A manual for the assessment of major development proposals*. London (England), Her Majesty's Stationery Office.
- Eastman, J. R.; Kyem, P. A.; Toledano, J. (1993): *Gis and Decision Making*. Ginebra, United Nations Institute for Training and Research (UNITAR).
- Galacho, F. B.; Ocaña, C; y Manceras, J. A. (2004): "Diseño de un Sistema de Apoyo a la Decisión Espacial (SADE/SDSS) para la planificación y gestión territorial a escala local" en *XI Congreso de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección*, Murcia, pp. 13-27.
- Galacho, F.B. y Ocaña, C. (2006): "Tratamiento con SIG y Técnicas de Evaluación Multicriterio de la capacidad de acogida del territorio para usos urbanísticos: residenciales y comerciales", en *XII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica*, 19-22 de septiembre, Granada, pp. 1509-1525.
- Galacho, F.B.; Ramírez, J.F.; Ocaña, C.; Gómez, M.L.; Juan, J. I.; Arrebola, J.A. (2009): "Desarrollo metodológico para la evaluación de la capacidad de acogida del territorio respecto a actividades ecoturísticas en la cuenca de Valle de Bravo-Amanalco (Estado de México)", en Leyva, J.C.; Avilés E.; Zepeda, J.J. (editores): *Herramientas Operativas para el Análisis Multicriterio del Desarrollo Económico Local*. México, Universidad de Occidente, pp.165-214.
- Gómez, Mª L. (2011): "Desarrollo rural vs desarrollo local". *Estudios geográficos*, LXXII, 270, pp. 77-102.
- Gómez, M. y Bosque, J. (2004): "Aplicación de análisis de incertidumbre como método de validación y control del riesgo en la toma de decisiones". *GeoFocus*, 4, pp. 179-208.

- Hollick, M. (1981): "The role of quantitative decision-making methods in environmental impact assessment". *Journal of Environmental Manage*, 12. pp. 65-78.
- Jankowski, P. (1995): "Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods". *International Journal of Geographical Information Systems*, 9, 3, pp. 251-273.
- Laguna, M. y Nogués, D. (2001): "La potencialidad turística del medio natural en el LIC de las sierras ibéricas riojanas mediante evaluación multicriterio". *Zubía Monográfico*, 13, pp. 227-240.
- Larrubia, R. y Navarro, S. (2001): "Las estrategias para el desarrollo local en el medio rural malagueño", *Jábega*, 87, pp 44-60.
- Lee, N. (1983): "Environmental Impact Assessment: A Review". *Applied Geography*, 3, pp. 60-79.
- Luque, A. M. (2004): *Evaluación de la aptitud del territorio para la práctica del senderismo*. Málaga, Textos Mínimos, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Málaga.
- Malczewski, J. (1999): *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York (USA), John Wiley & Sons, Inc.
- Mérida, M. (1999): "Paisaje y ordenación territorial: medidas de protección y mejora del paisaje. Aplicación al turismo rural". *Baetica*, 21, pp. 137-156.
- Manceras, J. A.; Cobos, F.; Ocaña, C.; y Galacho, F. B. (2002): "Evaluación del Potencial Turístico del Espacio Rural. Arquitectura y Diseño Software", en *IV Congreso Nacional de Turismo y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones*, Turitec 2002, 23-25 de octubre, Málaga, pp. 255-270.
- Moreno, J.M. (2002): "El Proceso Analítico Jerárquico. Fundamentos. Metodología y Aplicaciones", en Caballero, R. y Fernández, G.M.: *Toma de decisiones con criterios múltiples*. RECT@ Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA, Serie Monografías nº 1, 21-53.
- Moreno, A.; Buzai, G.D. (2008, Coords.): *Análisis y planificación de servicios colectivos con sistemas de información geográfica*. Madrid, Universidad Autónoma de Madrid y Universidad Nacional de Luján, 1ª edición.
- Munda, G. (2007): *Social multi-criteria evaluation for a sustainable economy*. Berlín (Germany), Heidelberg Springer.
- Nijkamp, P. (1990): *Multicriteria evaluation in physical planning*. The Netherlands, Elsevier Science Publishers.
- Ocaña, C.; García-Manrique, E.; y Navarro, S. (1998): *Andalucía. Población y espacio rural*. Sevilla, Ed. Consejería de Agricultura de la Junta de Andalucía.
- Ocaña, C. y Galacho, F.B. (2002): "Un modelo de aplicación de SIG y evaluación multicriterio al análisis de la capacidad de territorio en relación a funciones turísticas", en *IV Congreso Nacional Turismo y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones*, Turitec 2002, 23-25 de octubre, Málaga, pp. 235-253.
- Ocaña, C.; Gómez, M^a. L.; y Blanco, R. (2004): *Las vistas como recurso territorial*. Málaga, Ed. Universidad de Málaga, Dpto. de Geografía.
- Ocaña, C.; Gómez, M.L.; Arrebola, J. A.; Blanco, R.; Galacho, F.B.; Larrubia, R.; Luque, A.M.; Mérida, M.; Navarro, S.; Rubio, L.M.; Vías, J. (2012): "Desarrollo metodológico sobre la evaluación de la capacidad de uso recreativo de espacios protegidos", NIMBUS. Revista de Climatología, Meteorología y Paisaje, 1, 29-30, pp. 447-460
- Rau, J.G. (1980): *Environmental Impact Analysis Handbook*. New York (USA), McGraw Hill.
- Romero (1993): *Teoría de la decisión multicriterio: conceptos, técnicas y aplicaciones*. Madrid, Alianza.
- Roy, B. (2007): *Metodología Multicriterio de ayuda a la decisión*. Santiago de Compostela, Tórculo Edicións.
- Saaty, T. (1980). *The Analytical Hierarchy Process*. Nueva York, Editorial Mc Graw Hill.
- Santos, J.M. (1997): "El planteamiento teórico multiobjetivo/multicriterio y su aplicación a la resolución de problemas medioambientales y territoriales mediante los SIG raster". *Espacio, Tiempo y Forma*. Serie VI, Geografía, Tomo 10, pp. 129-151.
- Varela, J. (2002): Sistema de información con capacidad de análisis espacial y multicriterio para ayuda a la toma de decisión en la gestión de los medios aéreos usados en la lucha contra incendios forestales. *Santiago de Compostela, Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico de la Universidad de Santiago de Compostela*.
- Voogd H. (1983): *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. London (England), Pion.

PATRONES ESPACIALES DE CONCENTRACIÓN DE TURISTAS EN MADRID A PARTIR DE DATOS GEOLOCALIZADOS DE REDES SOCIALES: PANORAMIO Y TWITTER

Juan Carlos García Palomares¹, Javier Gutiérrez Puebla¹, Gustavo Romanillos Arroyo¹, Henar Salas-Olmedo¹

¹ Universidad Complutense, Departamento de Geografía Humana, C/Profesor Aranguren, s/n, 28040 Madrid
jcgarcia@ghis.ucm.es, javiergutierrez@ghis.ucm.es, gustavro@ucm.es, mariahenar.salas@pdi.ucm.es

RESUMEN

El comportamiento espacial de los turistas urbanos es poco conocido. Sin embargo, los turistas generan una enorme cantidad de datos cuando visitan las ciudades y estas fuentes de datos permiten seguir sus actividades. Este trabajo tiene como objetivo seguir la huella digital de los turistas urbanos de nuevas fuentes de datos, asociadas a las redes sociales. Se utilizan dos fuentes: una comunidad de fotografías compartidas (*Panoramio*) y una red social (*Twitter*). La comparación entre la densidad de turistas según las dos fuentes de datos se realiza a partir de mapas, análisis de correlación (OLS) y análisis de autocorrelación espacial (Global Moran's I statistic y LISA). Finalmente, la integración de los datos se lleva a cabo a partir de la combinación de los clusters espaciales identificados en el análisis LISA para las dos fuentes de datos. Los resultados muestran que los datos aportados por las dos fuentes son en parte redundantes y en parte complementarios espacialmente, de forma que es posible caracterizar espacios turísticos polivalentes (cubiertos por las dos fuentes) y espacios especializados en una actividad. En el caso de estudio analizado (Madrid) se observa una fuerte presencia de turistas en el centro y una creciente especialización del centro a la periferia. La principal conclusión del trabajo es que para el seguimiento de los turistas en las ciudades no basta con utilizar una fuente de datos, sino que es necesario utilizar varias de forma complementaria.

Palabras clave: turismo urbano; servicios de fotografías compartidas; redes sociales, Twitter; análisis espacial, SIG

ABSTRACT

The spatial behavior of urban tourists is not well known. However, tourists generate an enormous amount of data when they visit cities and these data sources allow us to follow their activities. This paper aims to follow the footprint of urban tourists through social networks. Two data sources are used: a community of shared photographs (*Panoramio*) and a social network (*Twitter*). The comparison between the density of tourists according to these two data sources is performed using density maps, regression analysis (OLS) and spatial autocorrelation analysis (Global Moran's I statistic and LISA). Finally, results obtained by the LISA analysis are integrated. The results show that the data provided by the two sources are partially redundant and partially complementary, so that it is possible to characterize multipurpose tourist areas (covered by the two sources) and areas specialized (covered by one source). In the analyzed case study (Madrid), it is observed a strong presence of tourists in the center and increasing specialization from the center to the periphery. The main conclusion of the study is that in order to monitor the presence of tourists in cities, it is necessary to use complementary data sources.

Keywords: Urban tourism; Photo-sharing services, Social networks; Spatial analysis, GIS

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los campos en los que las nuevas fuentes de datos asociadas a las redes sociales y el Big Data ofrecen mayores oportunidades es el turismo. Las fuentes de datos oficiales no proveen información detallada sobre los lugares que visitan los turistas en las ciudades. En el mejor de los casos proveen información derivada de

encuestas o de registros de hoteles o de venta de entradas a museos. Sin embargo los turistas dejan una huella digital. Así, por ejemplo, toman multitud de fotografías y las suben a los servicios de fotografías compartidas, realizan pagos con tarjeta bancarias, hablan y envían mensajes por sus teléfonos móviles, participan en las redes sociales, etc. Toda esa actividad produce una enorme cantidad de datos digitales, gran parte de ellos geolocalizados, que pueden ser analizados para estudiar patrones de comportamiento. Sin embargo pocos trabajos han utilizado esta nueva información para analizar la distribución espacial de los turistas en las ciudades. Ello se debe probablemente a la novedad de estas fuentes de datos y a la dificultad para acceder a algunas de ellas.

El objetivo principal de esta comunicación es comparar dos nuevas fuentes de datos geolocalizados, procedentes de redes sociales, para el seguimiento de los turistas en las ciudades considerando diferentes la huella digital que dejan al hacer y colgar fotografías (*Panoramio*) y al conectarse a Internet para participar en las redes sociales (*Twitter*). Se toma como área de estudio la ciudad de Madrid, uno de las ciudades europeas con mayor cantidad de turistas. Para su análisis, los datos han sido tratados en un Sistema de Información Geográfica (SIG) y se han usado técnicas de estadística espacial.

Existen varias redes sociales que comparten fotografías, como Instagram, Flickr y Panoramio. Las tres proporcionan la posibilidad de geolocalizar fotografías, pero Panoramio (<http://www.panoramio.com>) pone mayor énfasis en la georreferenciación de las fotografías compartidas por los usuarios, ya que es un sitio web dedicado a mostrar fotografías de lugares o paisajes tomadas por los usuarios. Estas imágenes pueden ser vistas en la propia web de Panoramio o a través de Google Earth y Google Maps. De hecho Panoramio es un servicio de Google, que contiene más de 120 millones de fotografías geolocalizadas. Los servicios de fotografías geolocalizadas han sido utilizados en el campo del turismo con varios fines, como identificar eventos sociales, como festivales, manifestaciones, acontecimientos deportivos, etc. (Sun y Fan, 2014), estimar el número de turistas (Koerbitz et al., 2013), identificar las trayectorias más comunes que siguen los turistas (Girardin et al., 2008), proponer o evaluar rutas turísticas (Kurashima et al., 2013), sugerir viajes turísticos (Lu et al., 2010) y planificar viajes de varios días y lugares a visitar (Li, 2013). Además estas fuentes de datos permiten identificar la localización de los turistas a partir de las fotografías que toman (Kisilevich et al., 2013; Straumann et al., 2014). Estos datos pueden ser tratados con técnicas de estadística espacial para analizar los puntos calientes y medir la intensidad de uso de los mismos (García-Palomares et al., 2015).

Las redes sociales también proporcionan datos de gran interés para el estudio del turismo, si bien los trabajos que los han utilizado en este campo son poco numerosos. La mayor parte de los estudios realizados con datos masivos de redes sociales han usado Twitter (Murthy, 2013), no solo por tratarse de una plataforma de cobertura global, sino también por el hecho de que sus datos (los tweets) están disponibles en la red de forma gratuita a medida que se producen, es decir, en tiempo real. Cada tweet geolocalizado deja una "huella" digital del lugar y el momento en que fue enviado. Si se procesan los datos según identificador de usuario, se puede tener una aproximación de los lugares que visita cada usuario en los distintos momentos del día y días de la semana, es decir, su perfil espacio-temporal. Así, es posible utilizar la actividad en las redes sociales como una proxy para analizar las densidades de población cambiantes a lo largo del día en la ciudad (Ciuccarelli et al., 2014) y las pautas de movilidad de la población (Wu y otros (2014)). Se han utilizado tweets geolocalizados también para analizar el grado de mezcla social en el uso del espacio, rastreando el movimiento de los grupos sociales en ciudades fuertemente segregadas como Río de Janeiro (Netto et al., 2005) y Louisville (Shelton et al., 2015). A diferencia de la información suministrada por las fuentes oficiales, que ofrecen datos relativos al lugar de residencia, en estos estudios los indicadores de multiculturalidad y mezcla elaborados a partir de Big Data se refieren al uso del espacio a lo largo del día. Así, por ejemplo, hay estudios sobre la diversidad lingüística en ciudades y regiones, a partir de las lenguas utilizadas en los tweets, como indicador de diversidad cultural (Mocanue et al., 2013). Los trabajos que utilizan tweets geolocalizados en el campo del turismo son muy escasos y han estado centrados en comparar el comportamiento espacial de los turistas a escala nacional o global (Bassolas et al., 2016; Hawelka et al., 2014; Sobolevsky et al., 2015) pero no a escala intraurbana.

2. HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS Y DATOS

Desde la API de Panoramio fueron descargados los registros de todas las fotografías localizadas en el municipio de Madrid cubriendo el periodo temporal 2005-2014, generando ficheros "csv". La base de datos contiene los siguientes campos: latitud, longitud, identificador de usuario, un link a la url, y la fecha en que fue subida la fotografía (día, mes y año). A partir de las coordenadas geográficas se generó una capa de puntos en ArcGIS 10.3. Los registros no contienen información sobre la nacionalidad del usuario. Para identificar si la fotografía fue tomada por un residente o un turista se utilizó el periodo temporal en que ese usuario tomaba fotografías: si era inferior a un mes, el usuario era considerado turista y en caso contrario residente. Ante la falta más información que permita diferenciar entre turista y residentes en las dos fuentes, pensamos que este periodo de un mes puede ser una buena aproximación sobre todo para asegurar no incluir entre los turistas a usuarios que son claramente residentes. De hecho, esta metodología es semejante a la utilizada por Fischer en su *Geotaggers' World Atlas* y García Palomares et al. (2015) con resultados en ambos trabajos claramente satisfactorios. El resultado de este proceso fue la asignación de 52,513 fotografías a turistas.

De la API de Twitter se descargaron tweets geolocalizados enviados desde Madrid a lo largo del año 2013, generando un fichero "csv". La base de datos contiene información sobre latitud, longitud, identificador de usuario, lengua en que está configurado el dispositivo, fecha en que fue enviado el tweet (minuto, hora, día, mes y año) y texto del mensaje. Estos ficheros fueron tratados de la misma forma que los de Panoramio, primero para generar una capa de tweets con ArcGIS usando las coordenadas de los registros y después para diferenciar los tweets de turistas y residentes en función del periodo en que los tuiteros han tuiteado desde Madrid. Se trató de afinar la definición de turista con la lengua del tweet, pero los resultados no fueron satisfactorios (se deja fuera, por ejemplo, todos los turistas de otras comunidades autónomas y los hispanohablantes). Resultó así que de un total de 9.257.561 tweets, 264.462 fueron atribuidos a turistas.

Aunque las fechas de las dos fuentes son diferentes, hemos optado por trabajar con todas las fotografías descargadas para el periodo temporal 2005-2014, tratando así de tener un número muy alto de fotografías y no solo el año 2013. Para las dos fuentes, en el SIG y para la aplicación del análisis estadístico, los datos individuales (a nivel puntual) han sido agrupados a nivel de sección censal. Todos los cálculos y mapas fueron realizados usando el software ArcGIS 10.3.

3. MÉTODOS

Para analizar la distribución espacial de los turistas con ambas fuentes de datos se siguió la siguiente metodología (Figura 1):

- 1) Número de turistas por sección censal.- Para hacer comparables las dos fuentes de datos, se procedió a localizar las fotos y los tweets de turistas según secciones censales, contabilizando el número de turistas únicos en cada sección censal según cada fuente a partir del identificador de usuario.
- 2) Densidad de turistas por sección censal.- El número de turistas en cada sección censal depende de la concentración real de turistas en esa sección censal y del tamaño de la sección censal. Secciones censales más grandes tienden a registrar un mayor número de turistas. Para mitigar este problema (unidad espacial modificable) se obtuvo la densidad de turistas por sección censal para cada una de las fuentes de datos.
- 3) Reescalamiento de los datos.- Los datos de densidad de turistas fueron reescalados a una escala de 0 a 1,000 mediante una transformación lineal para hacerlos comparables.
- 4) Mapas de densidad de turistas y estadísticas descriptivas.- A partir de los datos reescalados se elaboraron mapas de densidad de turistas a nivel de sección censales y se calcularon estadísticas descriptivas.
- 5) Análisis de regresión.- El análisis de regresión bivalente se utilizó para comparar ambas fuentes de datos a partir del coeficiente de determinación (que permite conocer la parte común de variación entre ambas fuentes de datos) y los mapas de residuos estandarizados (que permiten analizar las diferencias entre ambas fuentes).

6) Análisis de autocorrelación espacial.- A diferencia de los análisis anteriores, las técnicas de autocorrelación espacial consideran cada localización no de forma aislada, sino en relación a las localizaciones de su entorno (Anselin, 1995). Se calculó el índice global de Moran y se realizó un análisis LISA (Anselin Local Moran's I) para identificar clusters espaciales, utilizando el inverso de la distancia con un radio de 500 m. Los resultados obtenidos con las dos fuentes fueron combinados para conocer la especialización turística de cada sección censal.



Figura 1. Metodología seguida

4. RESULTADOS

4.1 Mapas de densidad de turistas

La figura 2 muestra mapas de densidades de turistas según secciones censales, con datos reescalados a una escala de 0 a 1.000 y usando los mismos intervalos en los dos mapas. El análisis de los datos extraídos de Panoramio (figura 2a) muestra una clara concentración en el centro histórico y a lo largo del principal eje norte-sur de la ciudad (Paseo de La Castellana). Las áreas de mayor densidad reflejan los espacios más visitados de la ciudad, por ejemplo Plaza de Cibeles, Puerta de Alcalá, Puerta del Sol, Plaza Mayor, Palacio Real, Templo de Debod, Plaza de España, Museo Reina Sofía, Estación de Atocha, Gran Vía, los estadios del Real Madrid y Atlético de Madrid, la Plaza de Toros de Las Ventas, las Torres Kio, o Cuatro Torres, etc. Algunas secciones censales tienen una alta densidad de fotos no porque contengan un punto de atracción turística en su interior, sino porque desde ellas se pueden tomar fotografías de un elemento localizado en una sección censal adyacente. La prohibición de hacer fotos en el interior de algunos monumentos explica la relativamente poca densidad de fotos en las secciones censales que contienen algunos de ellos (por ejemplo, Museo del Prado y Palacio Real).

La densidad de turistas identificados según Twitter (figura 2b) es especialmente alta en el centro histórico, en el eje del Paseo de la Castellana (sobre todo en el Estadio del Real Madrid y la Estación de Atocha) y en menor medida en el barrio de Salamanca (hoteles y comercios), pero tiende a extenderse por un mayor número de secciones censales.

El coeficiente de variación de los datos reescalados muestra que, tal y como sugieren los mapas, la distribución de Panoramio es más concentrada que la de Twitter (Tabla 1).

Tabla 1. Estadísticas descriptivas de las densidades según secciones censales

| | Densidad de turistas/Ha | | Densidad de turistas/Ha: datos reescalados | |
|---------|-------------------------|---------|--|----------|
| | Panamio | Twitter | Panamio | Twitter |
| Máximo: | 28,83 | 28,88 | 1000,00 | 1000,00 |
| Suma: | 731,14 | 2080,83 | 25357,03 | 53074,24 |

| | | | | |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Media: | 0,30 | 0,86 | 10,53 | 22,03 |
| Desviación Estándar: | 1,00 | 1,77 | 34,55 | 62,39 |
| Coefficiente de Variación | 333,33 | 205,81 | 328,11 | 283,20 |

Numero de secciones: 2409

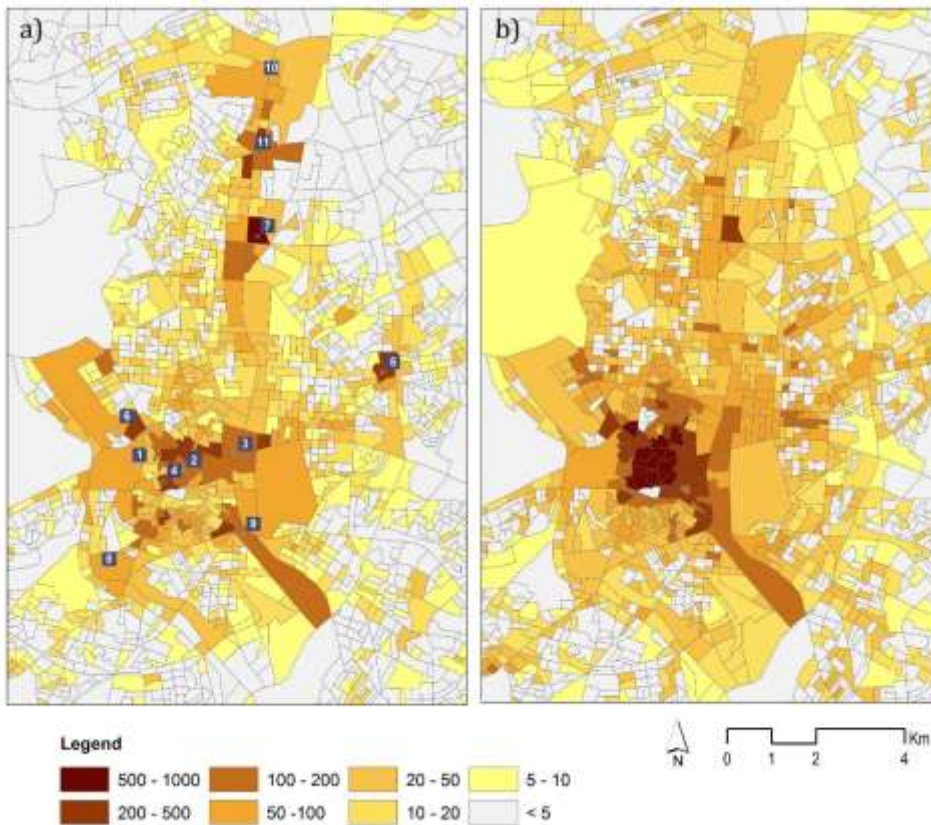


Figura 2. Densidad de turistas según: a) Panoramio, b) Twitter

Referencias: 1 Palacio Real; 2 Puerta del Sol; 3 Plaza de Cibeles; 4 Plaza Mayor; 5 Plaza de Toros; 6 Templo de Debod; 7 Estadio del Real Madrid; 8 Estadio del Atlético de Madrid; 9 Atocha – Museo Reina Sofía; 10 Cuatro Torres; 11 Torres Kio

Para conocer el grado de asociación entre las dos distribuciones se ha calculado el coeficiente de determinación, resultando un valor moderado de 0,28, pero altamente significativo (al nivel de 0,01). Los residuos estandarizados de la regresión muestran los lugares en los que las fuentes de datos presentan mayores diferencias (Figura 3). Twitter ofrece mayor densidad de turistas de lo esperado según Panoramio en el centro histórico y algunos barrios próximos (Barrio de Salamanca), espacios donde hay numerosos alojamientos y restaurantes, pero menos turistas de lo esperado en espacios muy fotografiados fuera del centro histórico: estadios de fútbol (Real Madrid y Atlético de Madrid), Plaza de Toros, Retiro Park, Torres Kio, Cuatro Torres, Templo de Debod.

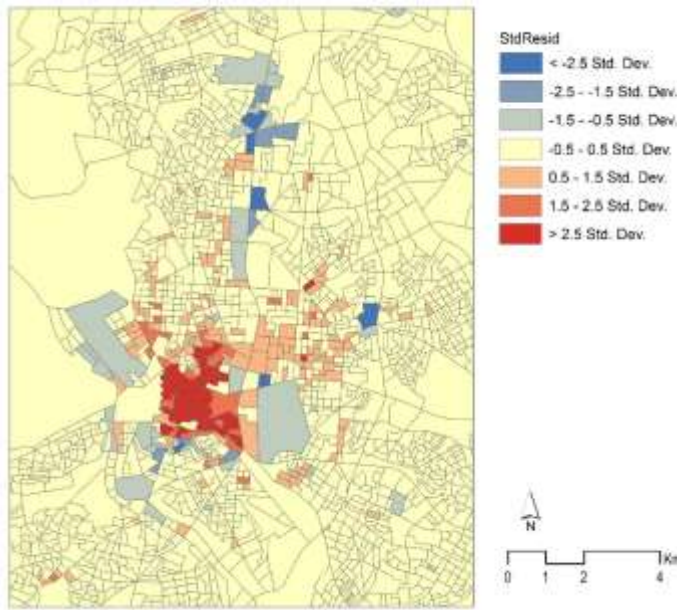


Figura 3. Residuos estandarizados de la regresión bivariada Panoramio-Twitter

4.2 Análisis de autocorrelación espacial

El análisis de autocorrelación espacial permite analizar los datos de cada sección censal en relación a los datos de las secciones censales de su entorno. Usando el inverso de la distancia (IDW) como procedimiento y un radio de distancia de 500 metros, el Índice Global de Moran muestra una autocorrelación espacial positiva significativa en los dos casos, pero mucho más alta en Twitter que en Panoramio (tabla 2). El índice Anselin Local Moran's I (LISA) muestra la distribución de los cluster espaciales (significativos al nivel de 0.01) (figura 4). Las secciones censales con valores Altos/Altos (HH, altos valores en una variable rodeados de altos valores en esa misma variable) tienden a formar un único cluster en el caso de Twitter (centro histórico) (figura 4a) y varios clusters en las fotografías geocalizadas (centro histórico, estadio del Real Madrid, torres Kio-cuatro torres) (figura 4b).

Para integrar la información de las dos fuentes de datos, se han cruzado los resultados de los análisis univariantes anteriores. La figura 5 muestra una clasificación de secciones censales considerando los dos clusters HH de las dos fuentes de datos conjuntamente. Así es posible identificar secciones censales que forman parte de los cluster HH en las dos fuentes de datos (centro), o solo en alguna de ellas, por ejemplo áreas especializadas en fotografías (por ejemplo, torres Kio-cuatro torres), en twitter (bordes del centro histórico) o en ambas (centro histórico). Si una sección censal forma parte de algún cluster HH en las dos fuentes de datos eso indicaría que en un radio de 500 m hay una gran densidad de oportunidades para visitar espacios de atractivo turístico o para estar conectados a internet. Por lo tanto, mediante el cruce de las dos fuentes es posible tener una visión LISA multivariante, más completa que la que obtendríamos recurriendo al análisis LISA bivariante. El mapa resultante (figura 5) muestra cómo la especialización turística de las secciones censales tiende a aumentar desde el centro histórico hacia la periferia: las secciones censales del centro con carácter mixto (polifuncional) aparecen rodeadas de otras generalmente con dos actividades y más al suelen estar especializadas en una actividad.

Tabla 2. Global Moran's I statistics (distance threshold = 500m)

| | Geocalized photographs | Twitter |
|----------------------|------------------------|---------|
| Global Moran's Index | 0,23 | 0,58 |
| z-score | 22,91 | 55,82 |
| p-value | 0,00 | 0,00 |

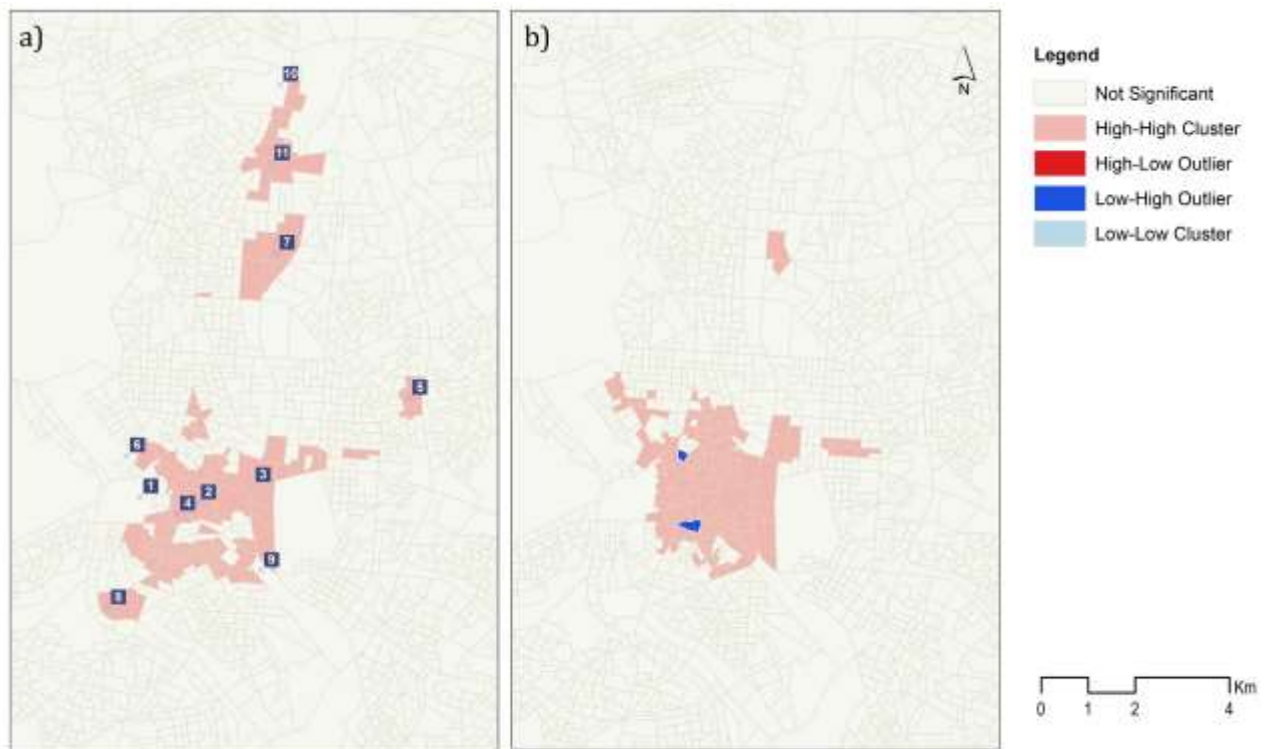


Figura 4. Resultados del análisis LISA (distance threshold = 500m). a) Panoramio, b) Twitter

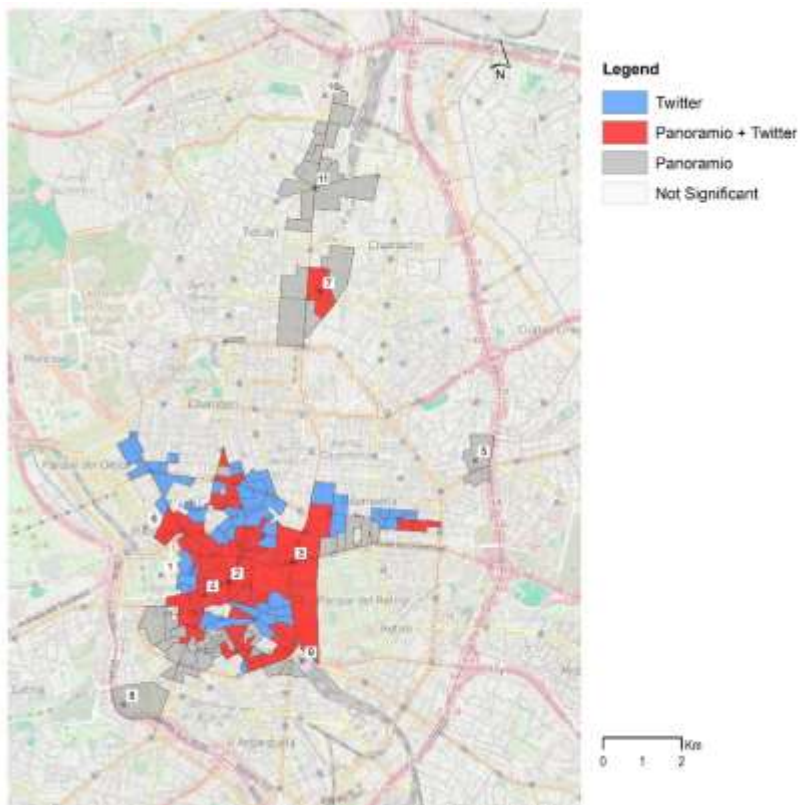


Figura 5. Tipología mediante la combinación de los cluster HH de las dos fuentes de datos

5. CONCLUSIONES

Este trabajo sigue la huella digital de los turistas urbanos, utilizando dos fuentes de datos (Panoramio y Twitter) y tomando como área de estudio la ciudad de Madrid. A diferencia de otros trabajos, aquí no se ha contabilizado la densidad de huellas digitales (por ejemplo, número de fotografías o tweets) sino la densidad de turistas. Esto mitiga problemas de posible sesgo (fotógrafos o tuiteros compulsivos) y hace comparables las dos fuentes de datos. Los resultados demuestran que no es suficiente utilizar una fuente de datos para conocer la distribución espacial de los turistas en las ciudades, ya que los turistas realizan actividades diferentes en espacios diferentes. No es de extrañar que las dos fuentes de datos muestren una alta densidad de turistas en el centro histórico, donde existe una alta concentración de monumentos, comercios, hoteles, restaurantes, etc. Pero la huella digital de los turistas se extiende también por otras áreas de la ciudad, ya se trate de espacios muy fotografiados (Panoramio) o que tienen una alta densidad de establecimientos visitados por turistas (Twitter).

Cuando se utilizan nuevas fuentes de información geográfica asociadas al Big Data y las redes sociales subyace el problema del sesgo. La mayor parte de los turistas no sube sus fotografías a las comunidades de fotografías compartidas como Panoramio e incluso parte de ellos nunca toma fotografías. Además las fotografías no siempre reflejan adecuadamente todos los monumentos de la ciudad, debido a la prohibición de hacer fotos en algunos monumentos, sobre todo en museos. Por otro lado, muchos turistas no utilizan redes sociales como Twitter y solo una pequeña proporción de los usuarios de Twitter envían tuits geolocalizados. Ciertamente el sesgo de cada fuente es difícil de conocer y de corregir. En esta comunicación el sesgo ha sido mitigado trabajando con la densidad de turistas en vez de con la densidad de sus huellas (ya se trate de fotografías o tweets), con lo que se evita contabilizar varias veces al mismo turista en la misma fuente, lo que es especialmente importante en el caso de tuiteros o fotógrafos “compulsivos”. Además la comparación entre fuentes de datos distintas permite considerar diferentes actividades de los turistas y por lo tanto compensar en parte el sesgo derivado de trabajar con solo una de ellas.

En investigaciones futuras incorporaremos nuevas fuentes de datos al estudio comparativo de la huella digital de los turistas para recoger mejor el conjunto de actividades que realizan. De hecho estamos trabajando ya con transacciones con tarjetas bancarias para reflejar las actividades de compras de los turistas, que no pueden ser captadas adecuadamente con Panoramio ni Twitter. Otra futura línea de investigación se orienta a centrar el foco de atención no en la densidad de turistas, sino en el gasto, con el objetivo de diferenciar patrones espaciales del gasto según nacionalidades y de formular modelos explicativos.

6. BILIOGRAFÍA

- Anselin, L. (1995): “Local Indicators of Spatial Association — LISA.” *Geographical Analysis*, 27 (2). Pp. 93–115.
- Bassolas, A., Lenormand, M., Gonçalves, B., Tugores, A. y Ramasco, J.J. (2016). “Touristic site attractiveness seen through Twitter”. *EPJ Data Science* 5.
- Frias-Martinez, V., Soto, V., Hohwald, H., y Frias-Martinez, E. (2012): “Characterizing urban landscapes using geolocated tweets”. In *Privacy, Security, Risk and Trust (PASSAT): International Conference on and 2012 International Confernece on Social Computing (SocialCom)*. pp. 239-248. IEEE.
- García-Palomares, J.C., Gutiérrez, J. y Mínguez, C. (2015): “Identification of tourist hot spots based on social networks: a comparative analysis of European metropolises using photo-sharing services and GIS”. *Applied Geography*, 63, pp. 408–417.
- Girardin, F., Fiore, F. D., Ratti, C., y Blat, J. (2008): “Leveraging explicitly disclosed location information to understand tourist dynamics: a case study”. *Journal of Location Based Services*, 2(1), pp. 41-56.
- Hawelka, B., Sitko, I., Beinart, E., Sobolevsky, S., Kazakopoulos, P., Ratti, C. (2014): “Geo-located Twitter as proxy for global mobility patterns”. *Cartography and Geographic Information Science*, 41, pp. 260–271.

- Kisilevich, S., Keim, D., Andrienko, N., y Andrienko, G. (2013): "Towards acquisition of semantics of places and events by multi-perspective analysis of geotagged photo collections". In A. Moore, & Drecki (Eds.): "Geospatial Visualisation, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography." Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Koerbitz, W., Önder, I., y Hubmann-Haidvogel, A. C. (2013): "Identifying Tourist Dispersion in Austria by Digital Footprints". Springer Berlin Heidelberg. pp. 495-506
- Kurashima, T., Iwata, T., Irie, G. y Fujimura, K. (2013): "Travel route recommendation using geotagged photos". *Knowledge and information systems*, 37(1), pp. 37–60.
- Li, X. (2013): "Multi-day and multi-stay travel planning using geo-tagged photos". In *Proceedings of the Second ACM SIGSPATIAL International Workshop on Crowdsourced and Volunteered Geographic Information*, pp. 1-8. ACM.
- Lu, X., Wang, C., Yang, J. M., Pang, Y. y Zhang, L. (2010): "Photo2trip: generating travel routes from geo-tagged photos for trip planning". In *Proceedings of the international conference on Multimedia*, pp. 143–152. ACM.
- Mocanu, D., Baronchelli, A., Perra, N., Gonçalves, B., Zhang, Q. y Vespignani, A. (2013): "The Twitter of babel: Mapping world languages through microblogging platforms". *PloS one*, 8(4), e61981.
- Murthy, D. (2013): "Twitter: Social communication in the Twitter age". John Wiley & Sons.
- Netto, V. M., Pinheiro, M., Meirelles, J. V. y Leite, H. (2015): "Digital footprints in the cityscape". International Conference on Social Networks, Athens, USA.
- Shelton, T., Poorthuis, A., y Zook, M. (2015): "Social media and the city: Rethinking urban socio-spatial inequality using user-generated geographic information". *Landscape and Urban Planning*, 142, pp. 198-211.
- Sobolevsky S, Bojic I, Belyi A, Sitko I, Hawelka B, et al. (2015): "Scaling of city attractiveness for foreign visitors through big data of human economical and social media activity". *arXiv:150406003*.
- Straumann, R. K., Çöltekin, A., y Andrienko, G. (2014): "Towards (Re)constructing narratives from georeferenced photographs through visual analytics". *The Cartographic Journal*, 51(2), 152-165.
- Sun, Y., y Fan, H. (2014): "Event Identification from Georeferenced Images. In Connecting a Digital Europe through Location and Place". Springer International Publishing, pp. 73-88.
- Wu, L., Zhi, Y., Sui, Z., y Liu, Y. (2014): Intra-urban human mobility and activity transition: evidence from social media check-in data. *PloS one*, 9(5), e97010.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la financiación de la Unión Europea (proyecto INSIGHT del Séptimo Programa Marco) y de la Comunidad de Madrid (red de grupos de investigación SOCIALBIGDATA-CM S2015/HUM-3427). Agradecemos también la ayuda de Luca Piovano del CEDINT (UPM) en la descarga de los datos de Panoramio.

DIAGNÓSTICO DE LA MOVILIDAD EN LOS CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

José A. Gutiérrez-Gallego¹, Enrique E. Ruiz-Labrador¹ y Rubén De Rodrigo-Muñoz¹

¹Universidad de Extremadura/Departamento de Expresión Gráfica/Escuela Politécnica, Avda. de la Universidad, s/n, 10071 Cáceres, España
jagutier@unex.es, eruizl@unex.es, rderodri@alumnos.unex.es

RESUMEN

Esta comunicación tiene por objetivo diseñar un modelo basado en entornos GIS genéricos, que permita cuantificar los costes producidos por la movilidad obligada a los campus universitarios y ayude a la implantación de un plan de movilidad en la Universidad de Extremadura (España). De esta forma, es posible detectar problemas de movilidad en estos entornos, facilitando la toma de decisiones en aras de una movilidad más sostenible y segura en los mismos.

La metodología empleada se apoya en una encuesta de preferencias reveladas, realizada a los usuarios que acceden a cada campus. En ella se identifica el origen y destino de sus desplazamientos, los tiempos empleados y su frecuencia de acceso. Para la asignación y conteo de viajes, se genera un modelo bimodal de transporte en el que se contempla el modo privado y el transporte público como ofertas posibles. Para el modo privado se consideran los desplazamientos urbanos e interurbanos a nivel regional, mientras que para el transporte público únicamente se considera el ámbito urbano.

La adecuación de la metodología aplicada a este tipo de estudios y los problemas de movilidad detectados heredados del abuso del vehículo privado, son los resultados más destacados del estudio. También es relevante el hecho de utilizar cartografía temática para identificar relaciones entre las variables analizadas y su distribución geográfica en el área de estudio.

Palabras clave: Modelo de transporte; G.I.S.; Movilidad universitaria; Movilidad sostenible; Universidad de Extremadura.

ABSTRACT

The focus of this paper is to design an urban mobility model, based in GIS environment, to quantify the costs of the mobility to access at the University Campus, and be in mind the implementation of mobility plan at the University of Extremadura (Spain) for manage this activity. Thus, it is possible to detect mobility problems in these environments, facilitating decision-making for obtain a more sustainable and secure mobility in it.

The methodology is based on a survey revealed preferences, done to users accessing each campus. The main origins and destinations of this type of mobility, the times used and frequency of access are identified by it. For the assignment and counting travels a bimodal model is generated, in which the private and public transport mode as possible offers is contemplated. For the private mode an urban and interurban movements at the regional level are considered, while only a public transport of the urban area is considered in this research.

The appropriateness of the methodology applied to these studies and the mobility problems detected, inherited at the abuse of private vehicles, are the main results of the study presented. Also relevant is the fact of using thematic mapping to identify relationships between the variables analyzed and their geographical distribution in the study area.

Keywords: Transport model; GIS; University mobility; Sustainable mobility; University of Extremadura.

1. INTRODUCCIÓN

Desde mediados de los años 60 del siglo pasado hasta nuestros días, la población residente en los núcleos urbanos en general y en aquellos de tamaño medio en particular, ha adquirido paulatinamente un modelo de movilidad caracterizado por los siguientes elementos (García y Gutiérrez, 2007):

- Abuso del vehículo privado en el acceso a los principales bienes y servicios ofertados en la ciudad, con ocupaciones en la mayoría de los casos que apenas alcanza los 2 ocupantes/vehículo.
- Aumento del número de desplazamientos y la velocidad en los mismos.
- Reducción drástica de formas de desplazamiento más saludables y eficientes, como el desplazamiento peatonal o ciclista, sin dejar de lado modos intermedios como el transporte público.
- Incremento de la distancia a cubrir en los desplazamientos habituales (trabajo, estudios, ocio o actividades burocráticas entre otros), fruto de la necesidad de cubrir un mayor espacio urbano vital por parte de los usuarios en dichos movimientos (González, 2009).

Esta movilidad va asociada a un tipo de crecimiento urbano identificado por una especialización de usos y un consumo de suelo urbano muy importante, reservado a áreas industriales y residenciales con baja densidad demográfica (Thomson, 2002; Fariña y Naredo, 2010). Estas pautas de diseño incrementan considerablemente los costes de desplazamiento, no solos económicos sino también sociales y medioambientales, muy vinculados al uso masivo del vehículo privado como modo de transporte más utilizado, aun siendo el modo menos sostenible (Bañobre y Romero, 2009). Algunas consecuencias heredadas por este tipo de movilidad tienen que ver con la reducción de la igualdad en el acceso a los principales servicios de determinados grupos socialmente desfavorecidos (personas mayores o con un bajo poder adquisitivo), los cuales no pueden acceder con garantías a un vehículo privado, el incremento de la contaminación acústica y atmosférica, o reducción de la seguridad vial en los desplazamientos, entre otras (Dombriz, 2009).

Este modelo de movilidad ha sido adoptado por todos los sectores económicos y grupos poblacionales residentes en nuestras ciudades medias, incluidos aquellos más proclives a los avances de nuestra sociedad y más sensibilizados a adoptar formas de movilidad más sostenibles y beneficiosas para el medio ambiente urbano, como es el caso de la Comunidad Universitaria. Así, resulta clave la localización de los Campus Universitarios en nuestras ciudades: una localización periférica promueve un modelo de movilidad más insostenible, basado en el uso casi exclusivo de los modos motorizados (y dentro de estos del vehículo privado), lo que deriva en problemas como la congestión vehicular a determinadas horas del día, la saturación de los espacios destinados al estacionamiento y una clara reducción de la seguridad vial en dichos entornos (García y Gutiérrez, 2007).

En este documento se aborda esta problemática para el caso concreto de la Universidad de Extremadura (en adelante UEx). Así, se describen pormenorizadamente los resultados y la metodología de trabajo utilizada para diagnosticar dicha movilidad obligada en los cuatro Campus que componen dicha Universidad: los dos campus universitarios de Badajoz y Cáceres, junto a los dos centros universitarios de Mérida (Badajoz) y Plasencia (Cáceres). Es de destacar que dicha metodología se apoya una encuesta de preferencia declarada con la que obtener información representativa de las pautas de movilidad en el acceso a dichos campus.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1 Movilidad Sostenible

A grandes rasgos, la movilidad sostenible se caracteriza por la equidad, la reducción de la congestión y el respeto al medio ambiente en el acceso a los servicios, ya sea en un ámbito urbano (movilidad urbana sostenible) o interurbano (movilidad sostenible en general). Otra definición muy acertada de este concepto lo describe como un conjunto de pautas de transporte que pueden proporcionar a los usuarios los medios y las oportunidades para conjugar necesidades económicas, medioambientales y sociales de manera eficiente y

equitativa, reduciendo los impactos negativos y sus costes asociados en el tiempo y en el espacio (Ilárraz, 2008).

Una racionalización en el uso de los modos de transporte motorizados, priorizando aquellos colectivos con respecto al vehículo privado y en el caso de desplazamientos de corta-media distancia, los modos llamados sostenibles en detrimento de los motorizados (bici o desplazamiento a pie), son medidas que fomentan este tipo de movilidad. Además, el adjetivo “sostenible” hace referencia a la igualdad en el acceso de la población a los servicios y la reducción de los niveles de contaminación acústica y ambiental en un espacio determinado, para satisfacer sus necesidades sin comprometer las de las generaciones venideras. Así el hecho de aplicar políticas de movilidad sostenible en un espacio urbano dado, repercute en un impulso del desarrollo económico y una maximización de la accesibilidad, al mismo tiempo que se mejora la calidad de vida de sus ciudadanos (COM{2007}551).

Los análisis de movilidad urbana sostenible han crecido en calidad y cantidad en los últimos años, debido a la mayor concentración de población localizada en las ciudades, a una tendencia creciente hacia un modelo de movilidad “intensiva” y a un uso amplio del territorio (Muñoz, 2009). Para combatir todos estos problemas han comenzado a surgir estudios técnicos que buscan la aplicación real de una gestión más eficiente sobre este tipo de desplazamientos. En lo que respecta a los movimientos intraurbanos, destacan los “planes de movilidad urbana sostenible” o PMUS, y los “planes de transporte al trabajo”, o PTT (IDAE, 2006 a y b).

Tanto los PMUS como los PTT son instrumentos de gestión de la movilidad a escala global que aúnan todos los criterios de sostenibilidad aplicados a dicha actividad. Así, el primer caso actuaría a una escala urbana, mientras que el segundo (PTT) se aplicaría a la problemática observada en un centro de trabajo determinado. Ambos documentos engloban un conjunto de actuaciones que intentan implantar formas de desplazamiento sostenibles y racionalizar el uso del vehículo privado. Para ello se adoptan medidas que intentan reducir los costes del transporte y los derivados de la congestión del tráfico.

El origen de estos planes de movilidad surgieron en la década de los años 80 del siglo pasado. A los PDU franceses se sumaron ya a principios de este siglo los LTP ingleses y los PUM italianos. El objetivo de todos ellos eran en buena medida comunes: ordenar la movilidad urbana, hacer más eficientes las plazas de estacionamiento disponibles y fomentar el uso de modos de transportes menos contaminantes, de aquellas ciudades que superaban los 100.000 habitantes. A partir de aquí, el número de países y ciudades que disponen de Planes de movilidad está aumentando notablemente, ya que se conjugan en dichos planes, optimización de la movilidad urbana junto a austeridad económica a la hora de llevar a cabo las actuaciones concretas para tales fines (López y La Paix, 2008).

Para conseguir los objetivos perseguidos en este tipo de planes se aplican diversos tipos de instrumentos (legales, fiscales, transporte público, incentivos, redes ciclistas, etc.), asegurando la coherencia del conjunto de las políticas locales de movilidad y planeamiento urbano.

Uno de los planes de movilidad específicos o PTT más importantes a considerar por el volumen de usuarios que atraen diariamente, son aquellos referidos a los campus universitarios. En dichos espacios se detectan cada vez más problemas heredados del resto de la ciudad, tales como congestión vehicular a determinadas horas del día (horas punta), problemas de estacionamiento, abuso del vehículo privado, o problemas de seguridad vial entre otros.

Para erradicar tales problemas se diseñan PTT que adaptan las fases propias de un PMUS a las características particulares de la movilidad en los campus. El fin de este tipo de planes es similar al de los PMUS: detectar problemas de movilidad para resolverlos o reducirlos mediante la aplicación de medidas correctoras al respecto (Lucas, 2015).

Considerando las buenas experiencias existentes en este ámbito en otros campus universitarios (Requena et al., 2008; ETT, 2009; Miralles-Guasch et al., 2009; NOVOTEC, 2010; Balbás et al., 2011; Balbás y Llop, 2011; Robusté et al., 2011; UA, 2011; Peterson y Lyth, 2012; o NOVOTEC, 2015 entre otros), estos PTT suelen abordar los siguientes estudios parciales:

- 1) **Análisis de la percepción** de la movilidad en el acceso a los campus.
- 2) **Diagnóstico** de la movilidad existente.
- 3) **Plan de Acción** (o documento de propuestas).

Dentro de los estudios parciales citados anteriormente, destacan aquellos referidos al diseño de modelos de transporte haciendo uso de entornos GIS genéricos y bases de datos relacionales. Este tipo de aplicaciones permiten extraer información sobre rutas por modo, tiempos de desplazamiento y costes asociados a cada elección del usuario que accede a los entornos universitarios. Esto facilita enormemente los análisis de diagnóstico y la elección posterior de medidas correctoras ante problemas detectados (Cristóbal, et al., 2000; Díaz et al., 2007; Loyola y Albornoz, 2009). De este modo, el trabajo de investigación que se muestra en este documento es un claro ejemplo de la utilidad de estos entornos al análisis de la movilidad en campus universitarios.

2.2 La Movilidad en la Universidad de Extremadura

El área de estudio tenida en cuenta para el diseño del modelo de movilidad presentado en este trabajo son los dos campus universitarios (Cáceres y Badajoz), junto a los dos centros universitarios (Plasencia y Mérida), pertenecientes todos ellos a la Universidad de Extremadura (en adelante UEx).

Esta universidad acoge a una media total de 20.309 alumnos por curso académico, procedentes de toda la región extremeña y de provincias colindantes a esta. A este volumen de alumnos inicial hay que añadirles unos 1.668 alumnos extra, procedentes de la Universidad de Mayores (en adelante UMA). Este grupo suponen un volumen adicional durante dos días en semana a los diferentes campus. Además de la población estudiantil, hay que considerar el volumen de 2.722 trabajadores (divididos entre personal docente/investigador y administración/servicios) que acceden diariamente a los diversos centros que conforman esta universidad.

En el caso de los campus universitarios (Cáceres y Badajoz), además se ubican varias empresas dedicadas al sector servicios. Estas atraen a un volumen adicional cercano a los 700 trabajadores que acceden a diario a dichos campus.

Toda esta población (cerca de las 25.399 personas relativas al curso académico 2015-2016) accede diariamente a los diferentes centros de la UEx diariamente, lo que ocasiona en las principales horas punta, problemas de congestión vehicular, estacionamientos y reducción de la seguridad vial en estos entornos, entre otros de índole ambiental.

Tales problemas tienen mucho que ver con el abuso del vehículo privado por parte de todos los usuarios que acceden diariamente a los diferentes centros de la UEx. Las alternativas al vehículo privado como modo de acceso a estos centros universitarios son el autobús urbano, la bicicleta y el desplazamiento peatonal para aquella población que reside en el entorno cercano a dichos centros. Sin embargo, la ubicación de los campus universitarios (Cáceres y Badajoz) en áreas periféricas de las ciudades, unido a las condiciones meteorológicas existentes en Extremadura, a las pendientes encontradas en determinadas zonas de los itinerarios peatonales y a la falta de seguridad en dichos itinerarios para el uso de modos más sostenibles, hacen que el uso de estos se reduzca enormemente. Prácticamente la alternativa utilizada hasta ahora al vehículo privado es el autobús urbano, que ofertan 2 líneas potencialmente utilizables en cada ciudad campus.

3. METODOLOGÍA

Con la metodología presentada en este documento se analiza a la población que accede a los diferentes centros UEx: Campus de Cáceres y Badajoz, junto a los Centros Universitarios de Plasencia y Mérida.

El método de encuesta realizado es el de encuesta de interceptación en destino, ya sea a través de e-mail, como por medio de breves entrevistas in situ en los distintos centros que conforman la universidad. El objetivo de esta encuesta es identificar los hábitos de desplazamiento seguidos por aquellos usuarios que acceden habitualmente a los centros universitarios de la UEx. De esta forma es posible diagnosticar sus pautas de movilidad y detectar hábitos poco sostenibles desde el punto de vista de dicha actividad.

3.1 Fuente de Datos

Las fuentes de datos tenidas en cuenta para realizar esta actividad son las siguientes:

- Tablas de registro poblacional (UTEC-UEx, 2015). Se utilizan las tablas recabadas por la “Unidad Técnica de Evaluación y Calidad” de la UEx, sobre alumnos y trabajadores inscritos en cada centro y ciudad universitaria concretos. De aquí se extrae la población objeto de estudio, desagregada por sexo, tipo de vinculación con la universidad (alumnos de grado, alumnos de posgrado, personal docente e investigador o PDI, personal de administración y servicios o PAS u Otros) y centro adscrito dentro de cada campus analizado (Plasencia, Cáceres, Mérida o Badajoz). En el caso del campus de Cáceres, también se contemplan la Facultad de Estudios Empresariales y Turismo y el edificio de Rectorado, por encontrarse ambos alejados del campus pero pertenecientes a la población y ámbito objeto de estudio.
- Información sobre Universidad de Mayores (UMEx, 2015). Se recaba información tabular sobre el número de alumnos matriculados en la UMEx, desagregado igualmente por sexo y centro de adscripción en cada ciudad campus.
- Centros de investigación o empresas vinculadas (2015). Junto a la población interna de la propia universidad, se recopila información sobre el volumen de usuarios externos que acceden igualmente a trabajar a los diferentes centros de investigación o empresas ubicadas en los campus objetos de estudio. Así, en el caso de Cáceres se dispone del número de trabajadores del CENIT Insa e Intromac. De Badajoz, se tiene información similar de Indra Sistemas S.A. y del Parque Científico-Tecnológico de Extremadura (Plasencia y Mérida no tienen centros externos a la UEx cuyos movimientos pudieran ser representativos). Este volumen de trabajadores está desagregado por sexo y centro de trabajo dentro de cada campus universitario.
- Cartografía base (IGN, 2015). Para identificar la ubicación de cada campus universitario y los diferentes centros albergados en cada caso y las zonas residenciales de la población que accede habitualmente a cada campus, se genera información cartográfica en formato “.shp” compatible con entornos GIS genéricos. Parte de esta información se extrae del Instituto Geográfico Nacional (2015) y parte es generada desde el propio equipo técnico del proyecto (ubicación de campus universitarios y centros de atracción derivados).

Toda esta información se implementa en una base de datos relacional y se generan los cálculos pertinentes para extraer el tamaño mínimo muestral a encuestar, conforme al procedimiento descrito en el apartado 3.3. Donde se ha hecho una estratificación de las encuestas por centro y género, dentro cada uno de los campus. De tal forma, que una vez establecida la muestra para cada campus, se han repartido proporcionalmente las encuestas entre los distintos centros que componen cada uno de ellos.

3.2 Modelo de Transporte

En este punto del artículo se describe la formación del modelo de transporte creado, sobre el cual se basa el estudio realizado. La formación del modelo se inició modelizando físicamente los desplazamientos de los usuarios de la universidad. Esto implicó localizar tanto los lugares de origen de los desplazamientos, como los destinos, focalizados en los centros de estudio.

Una vez claros tanto orígenes como destinos, se pasa a generar la matriz origen/destino que relaciona los puntos de salida de los desplazamientos con los puntos de llegada. Con este paso se logra tener cada origen asignado a su centro según el lugar de domicilio del usuario. La creación de este modelo permite estimar los flujos de los viajes de los usuarios que hay en la red de transporte, ya que un modelo de transporte es la representación de la realidad, que nos permite conocer o predecir propiedades del objeto real.

La realización del modelo se basó en varias etapas, mostradas en la Figura 1

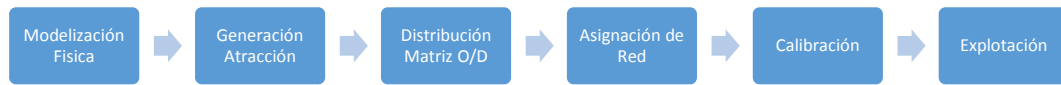


Figura 1. Etapas del modelo de transporte.

El inicio de la realización del modelo de transporte vino dado por los datos que se obtuvieron de la encuesta realizada a los usuarios de la Universidad de Extremadura. De esta encuesta se extraen diferentes datos, como son el domicilio de residencia, el centro de trabajo o estudio, el género y la edad del usuario, modo de transporte, rutinas de desplazamiento, etc. Los datos más relevantes a la hora de iniciar el modelo de transportes fueron los de dirección de residencia del usuario y el centro al cual se desplaza.

Para llevar a cabo la modelización física, se partió de los datos de residencia. Dichos datos son tomados como origen para el modelo de transporte.

Para materializar físicamente esos orígenes se tomó como punto de referencia el núcleo principal del municipio de residencia del usuario. A excepción de las cuatro ciudades con Centros Universitarios (Cáceres, Badajoz, Plasencia y Mérida), que se utilizaron como punto de referencia el núcleo principal de la barriada donde reside el usuario. Esto se realizó así debido al amplio radio de movimientos que se tomaría como cero si toda la ciudad se representara en un mismo punto, perdiendo todo el movimiento interno de las ciudades.

Se disponía de la información espacial del centroide del núcleo principal de cada municipio, pero no es así con la información necesaria de las barriadas. Por tanto, se localizaron los centroides de las barriadas necesarias en latitud y longitud. Una vez realizado este proceso, contamos con la modelización física de todos los orígenes.

Llegados a este punto, encontramos la necesidad de crear los centros de generación-atracción. Estos puntos son los que en la encuesta corresponden a los centros de trabajo o estudio, la razón de ser de la movilidad obligada de nuestro estudio. Estos centros son los que generan la necesidad del desplazamiento.

Se contaba con la dirección donde se ubican los diferentes centros, al igual que se hizo con los orígenes, se obtuvieron las coordenadas correspondientes de cada centro. Una vez se tienen las coordenadas, se utilizaron estas como punto de referencia del centro, al igual que los núcleos de población en los orígenes.

Una vez que se tiene referenciado a un punto con coordenadas conocidas todos los orígenes y los destinos, se pasó a introducir los datos en el programa informático que nos ayudara a crear el modelo de transporte. En nuestro caso dicho programa fue gvSIG.

En el programa informático se introdujo una cartografía de la región como referencia, en la cual se contaba con la red de carreteras actual. El sistema de referencia de esta cartografía no es compatible con los datos obtenidos para los orígenes y destinos. Por tanto, fue necesario transformar dichos datos al sistema de referencia de la cartografía que disponemos.

La información que disponemos de los puntos de origen y destino se encontraba referenciados al elipsoide WGS84 en coordenadas de longitud y latitud, siendo necesario transformarlas a coordenadas UTM huso 30 referenciadas al elipsoide ED50.

El siguiente paso en la creación del modelo de transporte fue generar la matriz origen destino. Dicha matriz determina el tiempo y la distancia entre cada uno de los domicilios de los usuarios y todos los centros. Este proceso se realizó mediante la extensión de análisis de redes del programa informático que se utilizó en la creación del modelo.

Para crear la topología de red fue necesario colocar un campo de coste, en nuestro caso fue la impedancia. Dicho campo es el tiempo que se tarda en recorrer cada tramo de carretera, calculado mediante la longitud de cada tramo de carretera entre la velocidad específica, dependiendo del tipo de carretera en el que nos encontremos.

Finalizada la creación de la topología de red, se pasó a la creación de la matriz origen/destino, que es lo que se iba buscando. Como se ha citado anteriormente, dicha matriz relaciona cada uno de los puntos de partida con los diferentes centros universitarios.

Una vez realizado este proceso, obtenemos un archivo en el que aparece cada origen con cada destino, el tiempo en segundos y la distancia en metros que se emplea en recorrer el espacio que separa ambos puntos.

El siguiente paso, para finalizar con nuestro modelo de transporte fue la asignación de red, esto consistió en determinar los viajes que realmente se producen en nuestro caso de estudio, ya que la matriz creada nos realiza el estudio para todas las posibles combinaciones. Por tanto, hubo que confrontar los datos obtenidos de la matriz con los datos de la encuesta para los traslados que se realizan.

Esto se llevó a cabo mediante una base de datos, en este caso se utilizó la base de datos de Access. En dicha base de datos se volcaron todos los datos que se tenían, tanto de la matriz origen/destino, como de la encuesta y el censo total de usuarios. Con este proceso se supo cuántos desplazamientos se realizan desde cada origen hasta cada centro.

El último paso antes de la explotación de los datos fue la calibración de datos. Se estimó que este paso no fue necesario en el caso concreto de este estudio, debido a que los datos obtenidos son razonables, hay un volumen de datos en la encuesta lo suficientemente grande como para tomar como válidos los resultados.

Con el modelo de transporte finalizado se pasó a la explotación del mismo. Del modelo se podrá obtener toda la información necesaria para evaluar la situación actual y plantear las posibles líneas de actuación para abordar los problemas detectados.

3.3 Captura de la Información

3.3.1 Encuesta de Movilidad

La primera tarea a realizar previa al diagnóstico, es detectar cuáles son las pautas de movilidad seguidas por los usuarios (ya sean trabajadores o alumnos) que acceden diariamente a los campus UEx. Para ello se lleva a cabo un proceso de encuesta de preferencias reveladas en destino. Este consiste en preguntar a los usuarios acerca de sus dinámicas de movilidad utilizadas diariamente para acceder a dichos entornos.

Para planificar este proceso de encuesta en campo, en primer lugar es necesario identificar los tamaños mínimos muestrales para que la información obtenida sea representativa de la movilidad que caracteriza a estos usuarios. Para la obtención de dicho tamaño muestral se tiene en cuenta en este caso, al total poblacional adscrito a cada campus (información de partida), junto a los parámetros relacionados con la siguiente expresión:

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{d^2(N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Donde N es la población total a analizar, Z^2 es el valor a contemplar para asegurarse un Intervalo de confianza del 95%, p es la probabilidad de encontrar al perfil tipo a encuestar (en este caso se toma el caso más desfavorable, $p=0,5$), q es $1-p$ y d^2 es el error máximo asumido en la muestra (en este caso un 5%).

Los tamaños muestrales a encuestar en cada campus se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, donde se distingue entre Campus universitario y Centro Universitario (C.U.).

Tabla 1. Tamaños mínimos muestrales a encuestar por campus UEx.

| Campus universitario | Población diana | Nº encuestas |
|----------------------|-----------------|--------------|
| C.U. Plasencia | 1.519 | 307 |
| Campus de Cáceres | 10.629 | 371 |
| C.U. Mérida | 932 | 272 |
| Campus de Badajoz | 11.995 | 372 |

| | | |
|----------------|---------------|--------------|
| Totales | 25.075 | 1.322 |
|----------------|---------------|--------------|

Una vez obtenido el tamaño muestral inicial, se genera la plantilla de encuesta vía web a través de la herramienta colaborativa *Google Drive* y se envía el formulario a los Vicedecanos y Subdirectores de Estudiantes y/o Planificación Académica para que difundan la encuesta entre sus alumnos y trabajadores (PDI y PAS). Igualmente se envía el formulario de encuesta a los trabajadores de las diferentes empresas ubicadas en cada campus. Para completar el tamaño mínimo muestral, dos técnicos del proyecto se desplazan a cada centro para encuestar *in situ* a los diferentes colectivos, haciendo uso de teléfonos móviles y conexión a internet propia de la UEx. Toda la información recabada se implementa en una base de datos relacional en la que se analizan los datos recabados.

Como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la muestra final obtenida en cada campus supera ampliamente el tamaño mínimo muestral inicial, con lo que la explotación de estos datos permite ofrecer una visión muy real de la movilidad llevada a cabo por los usuarios que acceden diariamente a cada uno de estos entornos.

Tabla 2. Muestra final obtenida en cada campus UEx

| Campus universitario | Censo | Encuestas iniciales | Encuestas finales | Alumnos encuestados | Trabajadores encuestados |
|----------------------|--------|---------------------|-------------------|---------------------|--------------------------|
| Plasencia | 1.519 | 307 | 309 | 192 | 117 |
| Cáceres | 10.629 | 371 | 908 | 458 | 450 |
| Mérida | 932 | 272 | 298 | 171 | 127 |
| Badajoz | 11.995 | 372 | 673 | 509 | 164 |

3.3.2 Aforo de Trafico

Junto a las encuestas en destino, se lleva a cabo un proceso de aforado de tráfico en los dos campus UEx más problemáticos desde el punto de vista de la movilidad: Cáceres y Badajoz (los Centros Universitarios de Plasencia y Mérida no presentan tantos problemas de movilidad dado su bajo censo de usuarios atraído diariamente).

En el caso del campus de Cáceres y tras el periodo de aforo de referencia realizado el martes 16 de febrero de 2016, la hora punta identificada se encuentra entre las 8:45h y las 9:45h (Figura 2).





Figura 2. Identificación del periodo de HP en el Campus de Cáceres.

En cuanto al campus de Badajoz se refiere, tras el periodo de aforo de referencia realizado el martes 15 de Marzo de 2016, la hora punta identificada se encuentra En la misma franja horaria que el campus de Cáceres, 8:45h y las 9:45h (Figura 3).

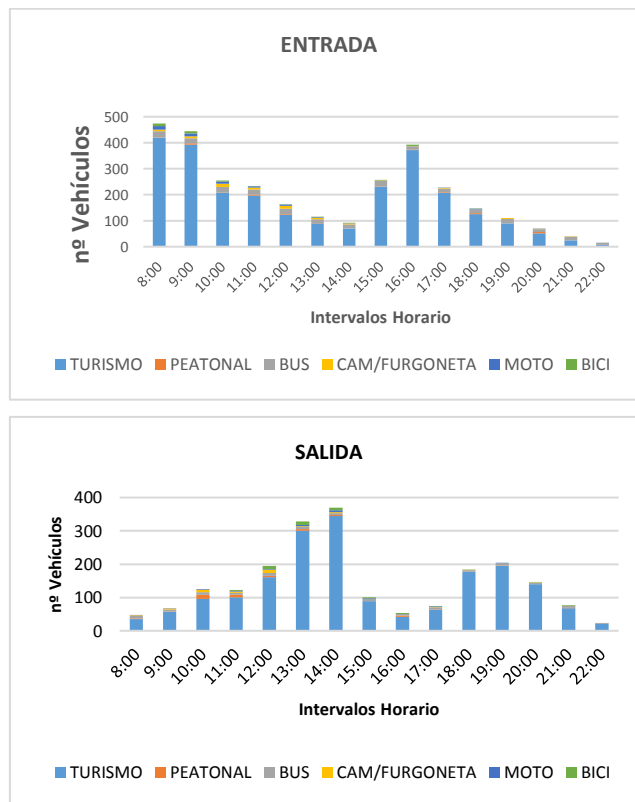


Figura 3. Identificación del periodo de HP en el Campus de Badajoz.

Atendiendo a las figuras anteriores, en el caso del tráfico de entrada a los principales campus, se observa un periodo punta inicial de 8:45h a 9:45h en el que entran un total de 667 vehículos para el campus de Cáceres y 474 vehículos para el campus de Badajoz, con repuntes menores comprendido entre las 16:00h y las 17:00h en ambos campus. En cuanto a las salidas, se detecta claramente un periodo de salida mayor entre las 14:00h y las 15:00h, con un aforo en ese periodo de 675 vehículos en el campus de Cáceres y 370 vehículos para el campus de Badajoz. En cuanto a la tarde, el flujo de salida es bastante constante entre las 18h y las 21h a partir de la cual prácticamente los desplazamientos desaparecen o se vuelven muy esporádicos.

3.3.3 Ajuste de viajes

Considerando los datos de la encuesta y los del aforo, ambos referidos al mismo día tipo lectivo para cada campus UEx se lleva a cabo un proceso de extrapolación de la movilidad en vehículo privado al total

poblacional. El objetivo de esta extrapolación es comparar y validar el volumen de vehículos estimado en la encuesta, con el aforo observado en campo. Este proceso se describe a continuación.

El paso final es comparar el número de vehículos privados extraídos de la encuesta y ya extrapolados al total poblacional, con el número de vehículos privados observados (aforo de referencia actual), al que se le ha añadido también el volumen de vehículos que se han estimado acceden por todas las entradas campus en cada caso (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) para el campus de Cáceres y (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) para el campus de Badajoz.

Tabla 3. Comparativa vehículos día encuesta vs. Observados en el Campus de Cáceres.

| Estimación Vehículo Martes Según Aforos | Diferencia entre encuesta y aforo | Error estimado |
|---|-----------------------------------|----------------|
| 4633 | -151 | -3% |

Tabla 4. Comparativa vehículos día encuesta vs. Observados en el Campus de Badajoz.

| Estimación Vehículo Martes Según Aforos | Diferencia entre encuesta y aforo | Error estimado |
|---|-----------------------------------|----------------|
| 4433 | 1073 | 24% |

De esta forma se puede ver en lo que al campus de Cáceres se refiere, que la diferencia de vehículos entre la encuesta y el aforo en el día que se realizó el aforo de referencia, es de 151, lo que supone un error aceptable (3%). En lo que respecta al resto de días, teniendo en cuenta que el valor es estimado se puede considerar válido el error cometido (entorno a un 7%). La diferencia observada entre los vehículos calculados con la encuesta y los del aforo en favor de los primeros, se justifica por el hecho de que hay usuarios que han realizado la encuesta y que revelan que acceden al campus cacereño todos los días en vehículo privado, pero no lo hacen con la misma asiduidad realmente (de ahí que el aforo de vehículos observado sea ligeramente menor).

En definitiva, estos datos permiten dar por bueno el proceso de encuesta y explotar el resto de información derivada con la que caracterizar la movilidad tanto del campus de Cáceres, como del resto de campus de la UEx.

En lo que al campus de Badajoz se refiere, una vez validada la encuesta, este ajuste sirve para poder discriminar todos los tráficos soportados por las infraestructuras del campus, que no son propios de la movilidad del mismo. Esto es debido a su emplazamiento y comunicación con el resto de la ciudad. Se puede decir que el campus soporta un tráfico externo entorno de unos 1.000 vehículos.

4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Gracias al modelo de transporte generado y a la explotación de las encuestas, se puede determinar la caracterización de la movilidad de los usuarios de la UEx.

A continuación se muestran algunos de los datos más relevantes obtenidos.

4.1 Movilidad General

4.1.1 Origen de los Desplazamientos

Un factor interesante a la hora de que los usuarios elijan un modo u otro de transporte, es el origen de los desplazamientos, ya que esto influye en la posibilidad de poder utilizar o no determinados modos de transporte.

En la Figura 4 se observa que el grueso de la población que se desplaza a la UEx lo hace desde las ciudades que poseen centros universitarios (Plasencia, Cáceres, Mérida, Badajoz), concretamente un 91% de los usuarios.

Mientras tanto, el resto de la población se distribuye entre otros municipios de la región y otras provincias en un 7% y 2% respectivamente.

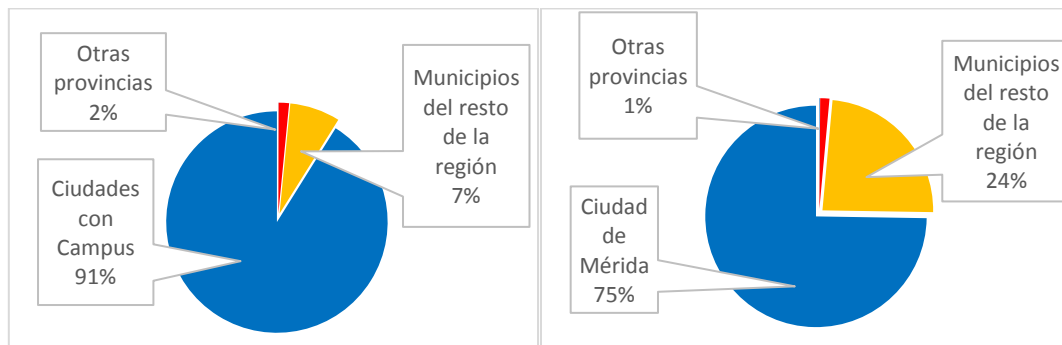


Figura 4. Desplazamientos a la Universidad de Extremadura.

En la Figura 4, se observa como la ciudad de Mérida rompe con la tónica anterior, ya que el 24% de los desplazamientos que acuden allí tienen su origen en otros municipios de la región. Los desplazamientos que se originan desde la propia ciudad están entorno a un 75%, porcentaje más bajo en que el resto de ciudades.

Junto a los datos extraídos de la encuesta de movilidad y considerando la red viaria interurbana extremeña de acceso a los diferentes centros universitarios, resulta muy interesante el indicador de accesibilidad absoluta, ponderada en este caso por el número de alumnos que acceden a cada campus. Así, la población extremeña en general presenta niveles de accesibilidad buenos (entorno al 75%, según la Figura 5), fruto de unas buenas vías de comunicación en la mayoría de dichos centros y que acercan enormemente este servicio al resto de municipios regionales (autovías A-66 Ruta de la Plata, que une Plasencia con Cáceres y Mérida, junto a la Autovía A-5, que une Mérida con Badajoz). Las zonas más alejadas y con peores niveles de accesibilidad son aquellas en las que los accidentes orográficos y las masas de agua que han de superar (ríos y embalses), influyen en buena medida en las infraestructuras de acceso (noroeste, nordeste y este de Extremadura).

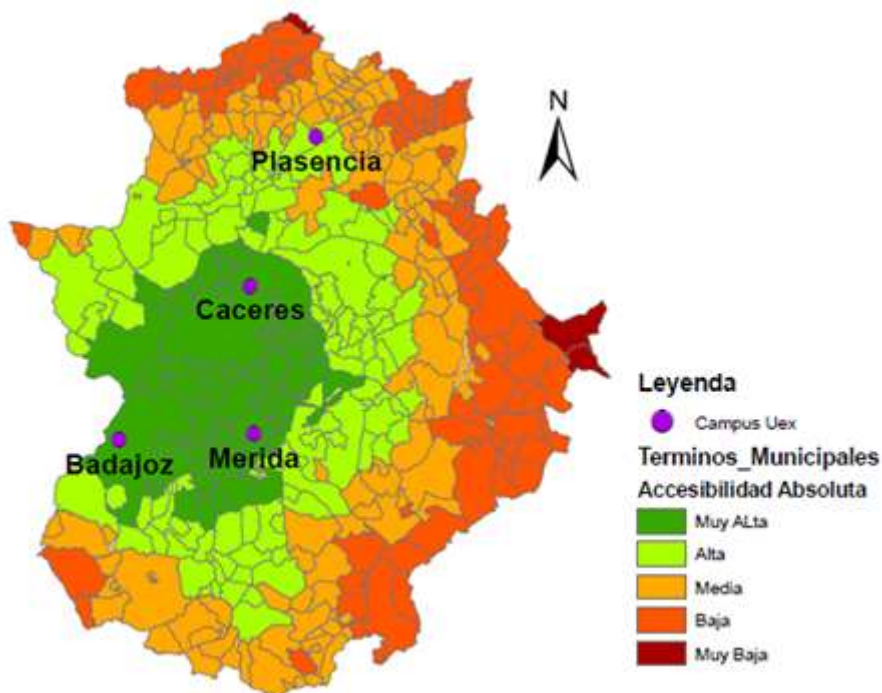


Figura 5. Mapa de Accesibilidad Absoluta a los Centros Universitarios.

Otro indicador interesante obtenido con entornos GIS genéricos, es el análisis de tiempos mínimos de acceso a cada ciudad campus extremeña (Figura 6). En este sentido, se observa cómo prácticamente el 80% de la población se encuentra a menos de 1 hora de un centro universitario (y de ellos al menos la mitad, a menos de 40 minutos).

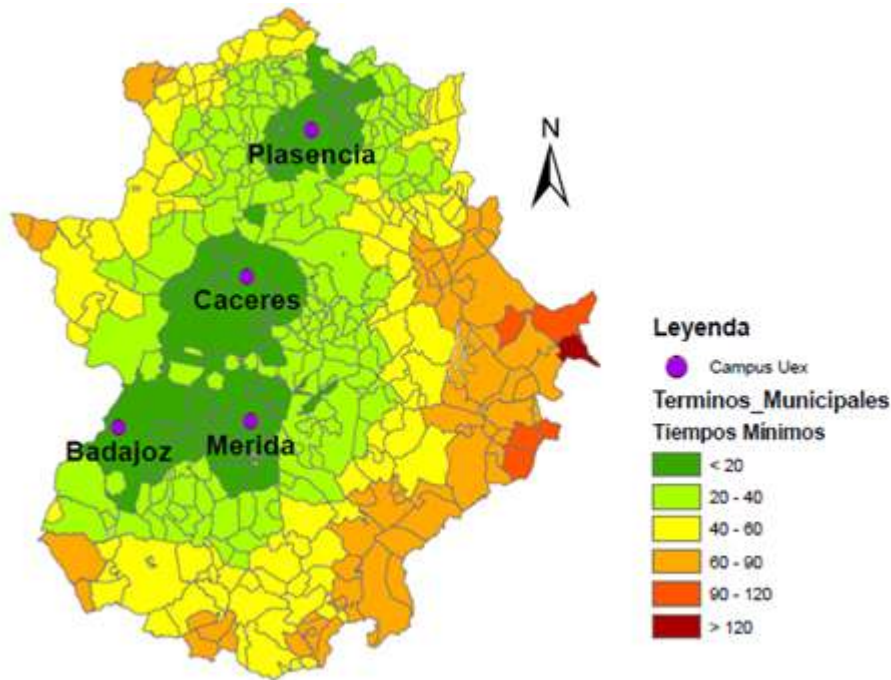


Figura 6. Mapa de Tiempos Mínimos a los Centros Universitarios.

Considerando ambas Figuras 5 y 6, se observa un buen acceso de la población residente en Extremadura a la Universidad, máxime teniendo en cuenta que esta se localiza en los principales núcleos urbanos de esta región y que buena parte de los estudiantes desplazan sus lugares de residencia temporalmente a estos núcleos para realizar sus estudios superiores.

4.1.2 Cuestiones generales de movilidad

En este apartado se exponen aquellos resultados más relevantes, obtenidos tras el proceso de encuesta realizado en destino. Para facilitar la comprensión de cada gráfico se describe además, la pregunta a la que dicho gráfico da respuesta.

4.2 Costes asociados a los desplazamientos

Ya que buena parte de la elección de un modo de transporte para acceder a un servicio determinado (como un campus universitario) tiene que ver con el coste de dicho desplazamiento, se muestran a continuación algunos resultados interesantes al respecto, obtenidos de la encuesta y el análisis bajo entorno GIS.

¿Cuántos kilómetros hacen de media los usuarios de la Universidad para acceder a la misma?

Tabla 5. Distancias diarias distribuidas por Campus Universitarios.

| Destino | Distancia Media (m) | Viajes Encuesta | Viajes Totales | Coches_Totales | Distancia (m) |
|-----------------------------------|---------------------|-----------------|----------------|----------------|---------------|
| Centro Universitario de Plasencia | 968 | 184 | 905 | 698 | 675.808 |
| Centro Universitario de Mérida | 2.160 | 188 | 588 | 363 | 784.480 |
| Campus Universitario de Cáceres | 4.489 | 725 | 7.812 | 4.852 | 21.782.738 |
| Rectorado de Cáceres | 3.517 | 2 | 34 | 22 | 78.552 |

| | | | | | |
|---|--------------|------------|--------------|--------------|---------------------|
| <i>Facultad de Empresariales de Cáceres</i> | <i>4.693</i> | <i>34</i> | <i>790</i> | <i>434</i> | <i>2.035.776</i> |
| <i>Campus Universitario de Badajoz</i> | <i>4.047</i> | <i>391</i> | <i>6.910</i> | <i>3.626</i> | <i>14.675.011</i> |
| <i>Escuela Agrarias de Badajoz</i> | <i>3.873</i> | <i>30</i> | <i>509</i> | <i>226</i> | <i>875.424</i> |
| <i>Facultad de Documentación de Badajoz</i> | <i>4.306</i> | <i>21</i> | <i>474</i> | <i>427</i> | <i>1.837.555</i> |
| | | | | TOTAL | 42.745.343 m |
| | | | | TOTAL | 42.745 Km |

Una vez extrapolados los datos de la encuesta al total poblacional, e identificados los orígenes, destinos y las rutas de acceso, se puede determinar la distancia media recorrida por los usuarios que acceden a cada campus en vehículo privado (Tabla 5). En este sentido, se estima que los usuarios que acceden a la UEx en vehículo privado, recorren una distancia total de 42.745 km/día. La distancia media recorrida es de 3,5 km/día. Sin embargo, la población que accede al campus de Cáceres recorre casi 4,5 km/día de media (y dentro de este, la que accede a la Facultad de Empresariales recorre de media 4,7 km/día), a la que se añade una distancia media recorrida por los usuarios del campus de Badajoz cercana a los 4,0 km/día. El campus cuyos usuarios recorren una distancia menor es el de Plasencia, donde apenas llegan a 1,0 km/día.

Sin duda, estas distancias guardan una estrecha relación con la ubicación de los campus en áreas periféricas de las ciudades o en zonas de difícil acceso para este tipo de vehículos. Prueba del primer caso es la reducción en algo más de 1km/día detectada en el acceso al Rectorado de la UEx situado en el centro de Cáceres, con respecto al campus de dicha ciudad. Con respecto al segundo caso (ubicación de centros de atracción en áreas que presentan dificultades de acceso en los centros urbanos), prueba de ello es la distancia media recorrida para acceder a la Facultad de Documentación de Badajoz, que pese a estar situada en el centro de dicha ciudad su distancia media recorrida apenas varía 300 m con respecto al acceso al campus de la zona periférica.

¿Cuántos kilómetros hacen semanalmente los usuarios de la Universidad para acceder a la misma?

Atendiendo a la tabla anterior, se puede extraer la distancia total recorrida por los alumnos en su acceso semanal a los diferentes campus universitarios extremeños. En este caso, basta con multiplicar por 5 la distancia diaria anterior. Así, los usuarios que acceden a estos campus en vehículo privado recorren una distancia total de 213.725 km/semanales.

¿Qué coste económico semanal tiene el desplazamiento en vehículo privado para los residentes en las ciudades con Campus Universitario?

Tabla 6. Coste económico de desplazamiento semanal en coche

| | <i>€/veh Km</i> | <i>Coste (€)</i> |
|-----------------------------------|-----------------|------------------|
| <i>Combustible</i> | <i>0,1052</i> | <i>22.484,05</i> |
| <i>Lubricantes</i> | <i>0,0002</i> | <i>42,75</i> |
| <i>Neumático</i> | <i>0,0047</i> | <i>1.004,52</i> |
| <i>Mantenimiento y reparación</i> | <i>0,0279</i> | <i>5.962,98</i> |
| <i>Amortiguación</i> | <i>0,16</i> | <i>34.196,27</i> |
| <i>Coste rentabilidad</i> | <i>0,0546</i> | <i>11.669,48</i> |
| <i>Aseguramiento</i> | <i>0,056</i> | <i>11.968,70</i> |
| Total | 0,4086 | 87.328,74 |

En cuanto al coste económico del desplazamiento en vehículo privado (Tabla 6), este supera ampliamente al resto de modos, más allá del coste de combustible (que es el que más se suele tener en cuenta en la elección de este modo).

5. CONCLUSIONES

Entre las conclusiones más destacadas a las que se llega tras este estudio, destaca en primer lugar, la relación directa que existe entre la ubicación de centros universitarios en áreas periféricas de los núcleos urbanos y el incremento exponencial de costes de desplazamiento asociados para los usuarios que acceden diariamente a estos espacios (Tablas 1, 2 y 3). Así, aunque la inmensa mayoría de la población usuaria procede de los propios núcleos urbanos donde se localizan los centros universitarios (Figura 4), han de recorrer una distancia amplia a diario. Esta distancia media diaria se incrementa aún más en aquellos volúmenes de población que acceden desde otros núcleos de la región, aun disponiendo de buenas infraestructuras de conexión (Figuras 5 y 6).

En general, la UEx acoge a un total de 18.000 viajes, que se reparten casi a partes iguales entre los dos campus universitarios de la región (Badajoz y Cáceres). El volumen de viajes referidos a los dos Centros Universitarios es casi testimonial. La mitad de estos desplazamientos se realizan por la mañana, en las dos horas punta principales del día (de 8:00h a 9:00h y de 13:00h a 14:00h), concentrando todas sus actividades laborales o didácticas en ese periodo de tiempo. Tan solo un 8% de los usuarios decide quedarse a comer en el campus cuando tiene jornada partida (Figuras 3 y 4).

6. BIBLIOGRAFÍA

- Balbás, D., Roca, E., Estrada, M., Uribe, V., Astals, F., y Martínez, F. (Dirs.) (2011): *La mobilitat sostenible i la UPC. Informe sobre aspectes globals i institucionals relacionats amb la mobilitat de la comunitat UPC*. Ministerio de Fomento, Madrid.
- Balbás, D., y Llop, C. (2011): *Plan de movilidad sostenible CBL (Campus del Baix Llobregat UPC, Castelldefels)*. Ministerio de Fomento, Madrid.
- Bañobre, E. y Romero, A. (2009): "Los BRT en corredores segregados como sistema óptimo de transporte urbano". En Cossío, F.J. (Coord.): "Administrando en entornos inciertos". *Congreso Nacional de la Asociación Europea de Dirección y Economía de Empresa*, Sevilla.
- Comisión de las Comunidades Europeas (2007): *Libro Verde. Hacia una nueva cultura de la movilidad urbana*. Bruselas.
- Cristóbal, C., Gutiérrez, J. y Gómez, G. (2000): "Accesibilidad peatonal a la red de metro de Madrid". *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 20, 451-464.
- Díaz, M.A., Cantergiani, C.C., Salgado, M.J., Rojas, C. y Gutiérrez, S. (2007): "Propuesta de un sistema de indicadores de sostenibilidad para la movilidad y el transporte urbanos. Aplicación mediante SIG a la ciudad de Alcalá de Henares". *Cuadernos de Geografía*, 81-82, 31-50.
- Dombriz, M.A. (2009): "Urbanismo y movilidad: dos caras de la misma moneda". *Ingeniería y Territorio*, 86, 4-9.
- ETT (2009): *Plan de transporte y movilidad para la Universidad Pública de Navarra. Diagnóstico*. Equipo de Técnicos en Transporte y Territorio S.A. (ETT), Madrid.
- Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía, IDAE (2006a): *Guía práctica PMUS para la elaboración e implantación de Planes de Movilidad Urbana Sostenible*. Madrid.
- Fariña, J. y Naredo, J.M. (2010): *Libro Blanco de la sostenibilidad en el planeamiento urbanístico español*. Biblioteca CF+S, Madrid.
- García, J.C. y Gutiérrez-Puebla, J. (2007): "Pautas de la movilidad en el área metropolitana de Madrid". *Cuadernos de Geografía*, 81/82, 7-30.

- Lucas, F. (2015): *Diseño y aplicación de una metodología para el desarrollo de planes de transportes sostenibles en centros universitarios*. Tesis Doctoral dirigida por el Prof. Jesús Racero Moreno. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, Sevilla.
- González, F.A. (2009): *Estimación de la demanda mediante modelos avanzados de distribución, utilizando técnicas econométricas y de programación matemática*. Tesis Doctoral dirigida por Prof. Dr. Ángel Ibeas Portilla y Prof. Dr. Luigi Dell'Olio. Santander, Universidad de Cantabria, 315 p.
- Ilárraz, I. (2006): "Movilidad sostenible y equidad de género". *Zerbitzuan Gizarte zerbitzuetarako aldizkaria*, 40, 61-66.
- Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía, IDAE (2006a): *Guía práctica PMUS para la elaboración e implantación de Planes de Movilidad Urbana Sostenible*. Madrid.
- Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía, IDAE (2006b): *Guía práctica PTT para la elaboración e implantación de Planes de Transporte al Centro de Trabajo*. Madrid.
- Loyola, C. y Albornoz, E. (2009): "Flujo, movilidad y niveles de accesibilidad en el centro de Chillán año 2007. Propuestas de mejoramiento mediante SIG". *Revista Urbano*, 18, 17-27.
- López, M. y La Paix, L. (2008): "Los planes de movilidad urbana sostenible (PMUS) desde una perspectiva europea". *II Congreso Internacional de Movilidad de Ciudadanos de Madrid (CIMO): hacia una nueva cultura de la movilidad urbana*, Madrid.
- Miralles-Guasch, C. (Dir.), Martínez, M., Ramón, A., Mellén, T. y Montané, M. (2009): *Hàbits de mobilitat de la comunitat universitària de la UAB*. GEMOTT, Grup d'Estudis de Mobilitat, Transport i Territori, Barcelona.
- Muñoz, F. (2009): *El tiempo del territorio, los territorios del tiempo*. Nogué y Romero, Ed. Las otras geografías. Colección Crónica, Valencia.
- NOVOTEC (2010): *Plan de movilidad sostenible Universitat Jaume I. Propuesta de plan de acción*. Universidad Jaume I, Castellón.
- NOVOTEC (2015): *Plan de movilidad sostenible Universitat Politècnica de València. Diagnóstico de la situación inicial*. Universidad Politècnica de Valencia, Valencia.
- Peterson, C. (Dir.) y Lyth, A. (2012): *Sustainable transport strategy 2012-2016 UTAS*. University of Tasmania, South Hobart.
- Requena, R., Alegre, Ll., Dombriz, M.A. y Pérez, M. (2008): *Pla de mobilitat de la Universitat Autònoma de Barcelona. Campus de Bellaterra*. Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona (IERMB), Barcelona.
- Robusté, F., Estrada, M., Cuscurita, D., Uribe, V., Amat, J. y Corbella, C. (2011): *Plan de movilidad sostenible de los campus nord y sud de la UPC*. Ministerio de Fomento, Madrid.
- Robusté, F., Vega, A., Ibeas, A., Díaz, J., y Moura, J. (2002): "Un modelo de operación del sistema de transporte público colectivo urbano en superficie considerando el tráfico en la ciudad". *V Congreso de Ingeniería del Transporte, CIT*, Santander.
- Sánchez, O. y Romero, J. (2010): "Factores de calidad del servicio en el transporte público de pasajeros: estudio de caso de la ciudad de Toluca, México". *Economía, Sociedad y Territorio*, 32, 49-80.
- Thomson, I. (2002): *Impacto de las tendencias sociales, económicas y tecnológicas sobre el transporte público: una investigación preliminar en ciudades de América Latina*. Ed. Cepal Eclac, Naciones Unidas, Santiago de Chile.
- Universidad de Alicante, UA. (2011): *Plan de movilidad sostenible Universidad de Alicante. Propuesta de plan de acción*. Universidad de Alicante, Alicante.

¿QUÉ FUTURO QUEREMOS? GENERACIÓN DE INDICADORES MEDIOAMBIENTALES PARA ESCENARIOS DE FUTURO

Richard Hewitt¹, Verónica Hernández Jiménez¹, Marta Lasiera Navarro¹, Azucena de la Cruz Lecanda¹, y Francisco Escobar²

¹ Observatorio para una Cultura del Territorio, c/ Duque de Fernán Núñez 2, 1ª planta, 28012 Madrid, España.
richard.hewitt@observatorioculturayterritorio.org

² Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente, Universidad de Alcalá, c/ Colegios, nº 2. 28801 Alcalá de Henares, Madrid, España. francisco.escobar@uah.es

RESUMEN

En el marco del proyecto DUSPANAC se realizaron cinco simulaciones que demuestran las posibles configuraciones de los usos de suelo en el año 2035 en función del mismo número de escenarios, para el Espacio Natural de Doñana (END) y su entorno más próximo. A través de un proceso participativo, agentes locales conocedores del entorno identificaron once indicadores medioambientales que consideraron necesarios para apoyar la gestión y ordenación territorial de la zona. La presente comunicación expone, con referencia a estos indicadores, obtenidos a través de un análisis basado en SIG, cómo los valores naturales de la zona se ven afectados en cada uno de los cinco escenarios, y reflexiona sobre las implicaciones para una futura ordenación territorial. A modo de conclusiones generales, los escenarios que más amenazas presentaron para el espacio natural según estos indicadores fueron el Escenario 0 (Todo Sigue Igual) y el Escenario 2 (Doñana Marca Registrada). El Escenario 3, (Doñana Árida), presentó algunos elementos positivos, desde un punto de vista ecológico, debido a la reducción importante de cultivos en regadío, que, junto a la extracción de recursos naturales, es la amenaza más importante a la que se enfrenta el entorno en la actualidad.

Palabras clave: Indicadores medioambientales; escenarios de futuro; Doñana, modelado espacial, procesos participativos

ABSTRACT

Under the DUSPANAC project five simulations were developed showing possible land use configurations for the year 2035 under five scenarios for the Doñana natural area (END) and its immediate surroundings. Through a participatory process, stakeholders identified eleven environmental indicators that they considered necessary to support the management and land planning of the area. This communication presents, with reference to these indicators, how the natural value of the area will be affected under each of the five scenarios, and reflects on the implications that this may have for future territorial planning. In general terms, the scenarios that presented the gravest threats to the natural area according to these indicators, were Scenario 0 (Business as Usual), and Scenario 2 (Trademark Doñana). Scenario 3 (Arid Doñana), did present some positive aspects from an ecological point of view, owing to the substantial reduction of irrigated cropland, something that, together with the extraction of natural resources, is the most serious threat that the area currently faces.

Keywords: environmental indicators; future scenarios; Doñana; spatial modeling; participatory processes

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En esta comunicación se presentan resultados del proyecto DUSPANAC obtenidos a través de un proceso de modelado espacial participativo para el Espacio Natural de Doñana (END) y su entorno más próximo. En el modelo se realizaron, junto con un grupo de agentes locales conocedores del entorno (Figura 1), cinco simulaciones de los usos del suelo de la zona en el año 2035. Una de las tareas más importantes realizados por los agentes consistió en la identificación de once indicadores medioambientales que se consideraron necesarios para apoyar la gestión y ordenación territorial de la zona. Posteriormente, se generaron estos

indicadores en formato estadístico y cartográfico, a través de un análisis basado en SIG. El objetivo de esta comunicación, por lo tanto, es exponer el proceso y metodología seguidos para llegar a este fin, y presentar los indicadores finales obtenidos. Esperamos que, sin pecar de optimistas, este trabajo sea de utilidad para la gestión del END y su entorno, sobre todo para los propios agentes, cuya participación fue fundamental para su exitosa realización.

Diversas publicaciones han descrito el papel de los indicadores como instrumento fundamental para la gestión ambiental como los trabajos de Manteiga (2000), donde se analiza la importancia de los indicadores ambientales en la toma de decisiones políticas o Polanco (2006), donde se estudian los sistemas de indicadores desarrollados por la OCDE y su utilidad en la gestión ambiental. Respecto al papel de la participación, como señalan Voinov y Bousquet (2010), el concepto de “consulta” con empresas, ciudadanos, y grupos interesados sobre decisiones medioambientales que les afectan no es algo novedoso. Sin embargo, es muy habitual que la participación de agentes sociales en estos procesos se limite a ofrecer su opinión sobre resultados obtenidos. En el caso que nos ocupa, sin embargo, los agentes aportaron, desde el principio, valiosa información para la realización del modelo espacial (Hewitt et al 2014), incluido, objeto de la presente comunicación, la identificación y priorización de los indicadores más relevantes para la futura gestión del espacio natural.

2. MÉTODOS

2.1 Proceso participativo: desarrollo y priorización de indicadores

El proceso de desarrollo de los indicadores formó la última fase de modelización participativa realizado con agentes locales conocedores del END a través de una serie de talleres (Hewitt et al 2014). Esta tarea se llevó a cabo en dos fases: a) definición y generación participativa de una batería de indicadores de utilidad a construir con los resultados del modelo, y b) priorización de la utilidad de los mismos. La metodología de trabajo consistió en dividir a los participantes en tres grupos de cuatro personas (doce participantes representando

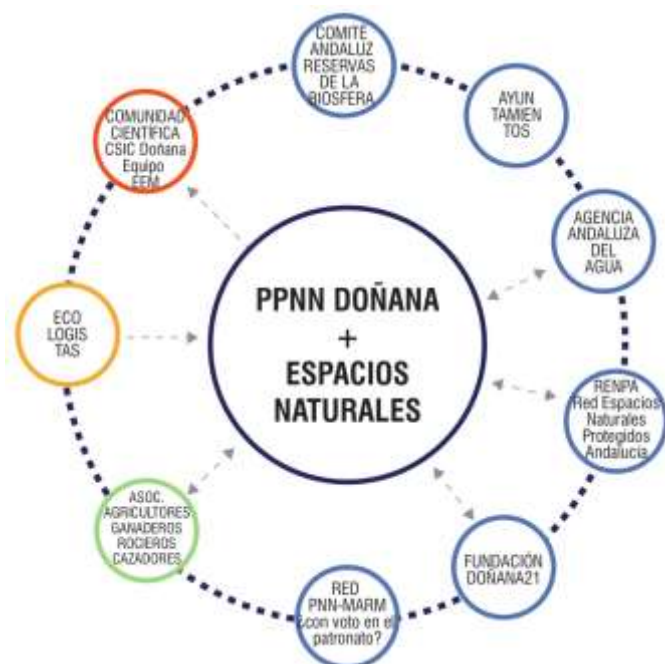


Figura 1. Sociograma de los agentes clave (según sector) involucrados en el proceso participativo¹ (Fuente: OCT, elaboración: Ana Zazo Moratalla)

¹ Descargar Lista de Participantes: <https://www.geogra.uah.es/duspanac/taller.html>

nueve sectores, véase la Figura 1), para facilitar una lluvia de ideas² sobre los indicadores más interesantes. Al finalizar, se unió la información recopilada por cada grupo en un papelógrafo conjunto, de manera que cada participante pudo escoger y puntuar los tres indicadores más relevantes, estableciendo un sistema de puntuación según nivel de preferencia. De este modo, se pasaron las tres listas realizadas por los grupos a una única lista de once indicadores priorizados (Tabla 1).

| Orden de priorización | Indicadores participativos priorizados | Detalles |
|-----------------------|--|--|
| 1 | ¿Existen indicadores que vinculen los procesos sociales y culturales con los usos del suelo? | No se ha podido determinar |
| 2 | Superficie de ecosistemas naturales y agricultura tradicional fuera de los espacios protegidos. | <ul style="list-style-type: none"> • Agricultura tradicional fuera del END • Ecosistemas naturales fuera del END |
| 3 | ¿Existe un indicador que vincule la participación y gestión democrática del territorio con los usos del suelo? | No se ha podido determinar |
| 4 | Servicios de los ecosistemas. | <ul style="list-style-type: none"> • Conservación biológica: superficie total de LICs • Conservación biológica: amenazas a la fauna • Captación de CO₂ |
| 5 | Índice de conectividad. | Índice de conectividad |
| 6 | Superficie de marisma mareal. | Superficie de marisma mareal |
| 7 | Longitud o superficie de bosques de ribera. | No se ha podido determinar |
| 8 | Consumo de agua (agrícola, doméstica). | <ul style="list-style-type: none"> • Consumo de agua doméstica • Consumo de agua agrícola |
| 9 | Calidad de agua. | No se ha podido determinar |
| 10 | Producción de residuos (Toneladas producidas) | Producción de residuos |
| 11 | Presencia de industria tecnológica. | No se ha podido determinar |

Tabla 1. Indicadores priorizados y determinados posteriormente (Fuente: proyecto DUSPANAC y agentes)

2.1 La simulación de los Eco-futuros en el modelo DUSPANAC

Los escenarios de Eco-futuros (Palomo et al. 2012), si bien eran espacialmente explícitos, no contemplaban los usos del suelo como parte integrante de los mismos. Por ello, para la simulación de estos escenarios de futuro en DUSPANAC, una de las actividades desarrolladas en los talleres participativos estuvo destinada a estimar, en términos de demandas de suelo para cada una de las categorías de usos del suelo, las implicaciones que cada uno de estos escenarios futuros tendrían en la configuración de los usos del suelo. Para más información sobre los escenarios, véase <http://www.geogra.uah.es/duspanac/escenarios.html>.

2.2 Metodología empleada para generación de los indicadores

Como consecuencia de falta de disponibilidad de datos, no todos los indicadores pudieron ser obtenidos. Por otro lado, unos indicadores priorizados por los agentes se dividieron en varias partes para facilitar su elaboración (Tabla 1).

2.2.1 Superficie de ecosistemas naturales y agricultura tradicional fuera de los espacios protegidos

El indicador se ha dividido en dos partes:

A: Agricultura tradicional fuera del END: Se ha considerado como agricultura tradicional, según las indicaciones de los agentes locales, las siguientes categorías de usos del suelo: Olivar y viñedos de secano, Otros cultivos de secano. Se ha calculado el indicador sumando las áreas correspondientes a los usos del suelo "Olivar y

² Esta técnica es ampliamente utilizada en procesos de trabajo en colectivo para recoger el máximo de reflexiones y posturas que surgen de forma espontánea que se recogen en común y posteriormente pasan a debatirse

viñedos de secano" y "Otros cultivos de secano" para cada uno de los escenarios en software SIG. El área calculada, con el fin de que se puedan apreciar mejor las diferencias entre los distintos escenarios, se normaliza con el área total, con valores entre 0 y 1, siendo 0 que no existen usos del suelo dedicados a la agricultura tradicional y 1 que la totalidad del espacio está dedicada a los usos del suelo relacionados con esta actividad.

B: Conservación de los ecosistemas naturales fuera del END : Dentro de las categorías de usos del suelo, se han considerado como ecosistemas naturales las siguientes: Matorral, Pastizal, Sistema litoral natural, Marisma no mareal, Marisma mareal, Pinares, Otro arbolado, Ríos y cauces, y Lagunas naturales. No se ha incluido la categoría Mar ni Zonas mareales, ya que se asume que no van a sufrir cambios. La metodología utilizada en el cálculo de este indicador es la misma que la utilizada para el indicador Agricultura tradicional, con la diferencia de que en este caso se suma la superficie de los usos del suelo indicados anteriormente. Al igual que en el caso anterior, la superficie de ecosistemas naturales se ha normalizado con el total de superficie para resultar en un valor entre 0 y 1, siendo 0 que no existen ecosistemas naturales en el escenario y 1 que toda la superficie está ocupada por ecosistemas naturales.

2.2.2 Servicios prestados por los ecosistemas

Se ha simplificado el cálculo del indicador seleccionando únicamente dos de los principales servicios ambientales que prestan los ecosistemas de Doñana: La conservación de la diversidad biológica (representada por 2 indicadores) y la captación de CO₂ atmosférico.

A: Conservación de la diversidad biológica: superficie total de LICs: Para desarrollar este indicador, se ha considerado que los usos del suelo con una mayor diversidad biológica corresponden con aquellos incluidos bajo la denominación de Lugares de Interés Comunitario (LIC), creados a partir de la Directiva Hábitats de la Unión Europea (92/43/CEE). Se ha llevado a cabo una comparación entre la cartografía de las capas de LIC y la de usos del suelo. Este indicador se ha obtenido por medio del cómputo de la superficie total de estos usos del suelo en cada escenario normalizado con la superficie total del área de estudio.

B: Conservación de la diversidad biológica: amenazas a la fauna: Para calcular este indicador partimos de una capa con la información de la red viaria de la zona de estudio y las capas con los usos del suelo en los cinco escenarios desarrollados. Se ha intersectado la capa de red viaria con la de usos del suelo, para así poder diferenciar los tramos de vía que atraviesan cada uso. Posteriormente, se ha calculado la longitud de carreteras que transcurren por cada categoría, sumando aquellas que atraviesan espacios con alta biodiversidad biológica. Con el objeto de minimizar el impacto de este indicador sobre los escenarios que cuentan con una mayor proporción de usos del suelo de alta diversidad, se ha normalizado el dato obtenido en base al total de la superficie de estos usos, que había sido calculado previamente con el indicador de conservación de la diversidad. Se consideran como espacios de alta biodiversidad las mismas categorías de usos del suelo utilizadas en el indicador de conservación de la diversidad biológica.

C: Captación de CO₂: Para el desarrollo de este indicador se han dividido los usos del suelo en dos grupos; aquellos que principalmente actúan como sumideros/receptores de CO₂ atmosférico, y aquellos otros que actúan como fuente/emisores de CO₂ (Tabla 2). El indicador es el resultado de dividir la superficie de usos del suelo que actúan como sumideros de CO₂ por la superficie de usos del suelo emisores.

| Usos Sumideros de CO ₂ | Usos emisores de CO ₂ |
|--|--|
| Matorral | Minería, vertederos y zonas en construcción, |
| Cultivos intensivos (leñosos en regadío), | Urbano |
| Cultivos en secano (olivar y viñedo) | Industrial |
| Eucaliptales, Pinares, y otro arbolado o arbolado mixto. | Infraestructura viaria, ferroviaria, aérea, portuaria y otras infraestructuras técnicas. |

Tabla 2. Usos sumideros y emisores de CO₂

2.2.3 Conectividad ecológica (Matorral)

Siguiendo la metodología propuesta por autores como Marull y Mallarach (2002) y ATECMA (2007), se calculó el Índice de Conectividad Ecológica (ICE) respecto al Matorral, unas de las asociaciones vegetales más importantes para la conservación de la biodiversidad de la zona, con el objetivo de representar la facilidad o dificultad que ofrece el territorio para la expansión de esta asociación vegetal en función de cada escenario. Para obtener el ICE, se realizaron los siguientes pasos: 1) Extracción de la superficie del matorral para cada uno de los escenarios; 2) Eliminación de esta cobertura de las manchas compuestas por menos de 10 celdillas (100 ha), considerando esta superficie la mínima para servir como área ecológica funcional (Marull y Mallarach 2002); 3) Creación de una superficie de impedancias o valores de fricción asociadas a las diferentes categorías de usos a partir de la cartografía de usos del suelo que representa la resistencia de las coberturas a ser atravesadas (Tabla 3). Se consideraron las carreteras, los usos del suelo artificiales y el mar como barreras (Tabla 3, Factor de Fricción 1); 4) Cálculo del coste de atravesar la cobertura de matorral desde cualquier punto del territorio con respecto a la superficie de impedancias, mediante una función que pone en relación distancia con fricción; 5) Computación del ICE, que representa la información previamente calculada en una escala logarítmica con valores entre 1, y 10, 10 siendo la máxima conectividad ecológica y 1 la menos (Figura 2).

| Uso | Fricción | Uso | Fricción | Uso | Fricción | Uso | Fricción |
|-------------------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|-------------------------|----------|
| Matorral | 0.001 | Alterado etc | 1 | Otros cultivos en regadío | 0.7 | Infra. viaria | 1 |
| Pastizales | 0.1 | Urbano | 1 | Secano | 0.7 | Infra. hidráulica | 1 |
| Sistema litoral natural | 0.9 | Industrial | 1 | Viñedo y olivar | 0.7 | Ríos y cauces naturales | 0.9 |
| Marisma no mareal | 0.5 | Arroz | 0.8 | Eucaliptales | 0.1 | Lagunas naturales | 0.9 |
| Marisma mareal | 0.9 | Cultivos bajo plástico | 0.9 | Pinares | 0.1 | Mar y zonas mareales | 1 |
| Minería etc | 1 | Leñosos en regadío | 0.7 | Otro arbolado y a. mixto | 0.1 | | |

Tabla 3. Factor de fricción aplicado a cada uso del suelo

2.2.4 Marisma Mareal

Este indicador consiste en la superficie total de marisma mareal bajo cada escenario.

2.2.5 Consumo de agua

A: Consumo de agua en medio urbano. El crecimiento del uso de suelo urbano en la zona conlleva irremediamente un aumento en el consumo de agua. Conociendo el aumento de suelo urbano que se produce en cada uno de los escenarios futuros, se ha obtenido un indicador que traduce el equivalente aumento en el consumo de agua. El incremento del suelo urbano se ha calculado por medio de una tabulación cruzada entre los usos del suelo urbano en la situación inicial y la superficie de este mismo uso del suelo en cada uno de los escenarios futuros.

B: Consumo de agua agrícola. A pesar de que el crecimiento urbano es un factor a tener en cuenta en el consumo de agua, la agricultura aparece como el principal demandante de agua de la zona, especialmente la agricultura intensiva en régimen de regadío. El aumento de cultivos intensivos como los frutos rojos, ha supuesto un aumento en la explotación de los recursos hídricos, en ocasiones de forma ilegal, suponiendo otra grave amenaza para los humedales de Doñana. Para determinar el consumo de agua agrícola se ha seguido la misma metodología que en el indicador de consumo de agua urbano, pero comparando la superficie de

cultivos de regadío en lugar de la urbana. Al igual que en el caso anterior, el indicador se expresa en porcentaje de variación sobre la situación inicial. El tipo de cultivo, no solo la extensión de cultivo, tiene importantes implicaciones para el consumo del agua agrícola. Como trabajo futuro, sería interesante modificar este indicador para tener en cuenta las diferentes demandas de agua de los distintos cultivos.

2.2.6 Producción de residuos

A falta de fuentes estadísticas que pudieran ser vinculadas directamente con la producción de residuos a los diferentes usos de suelo, se establecen datos a nivel municipal de los diferentes tipos de residuos, pudiendo ver de esta manera la distribución espacial en el END. Se establece el número de residuos urbanos por toneladas, residuos peligrosos tanto en la agricultura como en la industria química.

3. RESULTADOS

En este apartado presentamos los resultados obtenidos para cada uno de los indicadores que pudieron ser determinados (Tabla 4). El Índice de Conectividad (ICE), esta presentado en forma de mapa (Figura 2).

| Indicador | E0 | E1 | E2 | E3 | E4 |
|---|--------------------|--------|---------|---------|---------|
| Agricultura tradicional fuera del END | 0,21 | 0,20 | 0,18 | 0,28 | 0,25 |
| Ecosistemas naturales fuera del END | 0,14 | 0,21 | 0,22 | 0,24 | 0,22 |
| Conservación de la biodiversidad | 0,22 | 0,26 | 0,28 | 0,31 | 0,28 |
| Amenazas a la fauna | 0,18 | 0,2 | 0,19 | 0,17 | 0,24 |
| Captación de CO2 (todos los usos del suelo) | 14,04 | 13,34 | 11,45 | 14,98 | 15,59 |
| Captación de CO2 (solo vegetación leñosa) | 10,41 | 13,40 | 8,23 | 18,07 | 22,52 |
| Índice de Conectividad | Mapa (Figura 2) | | | | |
| Superficie de marisma mareal (ha) | 15487 | 16247 | 16218 | 16263 | 16276 |
| Consumo de agua urbano (% incremento) | 37,83% | 6,89% | 115,37% | -0,02% | -35,09% |
| Consumo de agua agrícola (% incremento) | 37,00% | -1,72% | -15,66% | -65,86% | -30,09% |
| Producción de residuos (toneladas) | Mapa (no mostrado) | | | | |

Tabla 4. Indicadores obtenidos en todos los escenarios

3.1 Agricultura tradicional fuera del END

El indicador de conservación de la agricultura tradicional presenta valores entre 0 y 1, siendo 0 que no existe ocupación del suelo dedicada a la agricultura tradicional y 1 que la totalidad de la superficie se dedica a esta actividad. El escenario 3 "Doñana árida" es el que presenta un mayor valor en el indicador, dado el gran crecimiento de los cultivos de secano en este escenario debido a la escasez de agua que impide el desarrollo de la agricultura intensiva. El escenario 4 "Doñana adaptativa" obtiene el segundo mejor resultado. Por el contrario, el escenario 2 "Doñana marca registrada" es el que ha obtenido un valor más bajo. En este escenario se considera que la globalización y las multinacionales son el principal impulsor de cambio. Esto conllevaría a que las explotaciones tradicionales de baja productividad tendrían difícil competir con la agricultura intensiva.

3.2 Ecosistemas naturales fuera del END

Al igual que en el caso anterior el indicador toma un valor entre 0 y 1. Los resultados mostrados en la Tabla 4 indican que el escenario 3 "Doñana árida" ha obtenido un valor más alto que el resto. Los efectos del cambio climático y el aumento de la aridez han impedido el desarrollo de la agricultura intensiva en la zona, por lo que hay una mayor preponderancia de los ecosistemas naturales, especialmente debido al gran crecimiento del matorral y en menor medida de los pinares. Sin embargo, hay que tener en cuenta que otros ecosistemas como los sistemas litorales naturales u otro arbolado han disminuido su extensión. El escenario 0 "Todo sigue igual" es el que presenta mayores diferencias con los otros, ya que presenta un valor del indicador mucho más bajo. Esto es debido a que el escenario supone que va a continuar el mismo crecimiento, tanto de la agricultura intensiva como del uso urbano y residencial, que se produce a costa de los usos del suelo naturales. En este escenario todos los ecosistemas naturales presentes en el END disminuyen en extensión.

3.3 Conservación de la biodiversidad

El indicador tomará un valor de 0 a 1. Como indica la tabla 6 el escenario 0 “Todo sigue igual” es el que obtiene peor resultado en el indicador de biodiversidad. Ha perdido superficie de matorral, marismas y litoral en beneficio de las tierras agrícolas y el desarrollo urbano. El escenario que tiene un valor más alto en el indicador corresponde al escenario 3 “Doñana árida”, donde el cambio climático es el principal motor de cambios en el territorio. Este resultado parece contradictorio con las propias expectativas del escenario, ya que una mayor desertificación debería afectar de forma negativa a la biodiversidad de la zona, muy vinculada al agua. Al igual que en el indicador de conservación de ecosistemas naturales, es debido principalmente al desarrollo del matorral, aunque otros espacios se verían perjudicados.

3.4 Amenazas a la fauna

En este caso el escenario con un mayor riesgo de atropello es el escenario 4 “Doñana adaptativa”, con un valor significativamente superior a los otros escenarios, lo que podría llegar a suponer una importante amenaza para la fauna terrestre y, en concreto, para algunas especies amenazadas como el lince ibérico. El escenario 3 “Doñana árida” cuenta con una menor longitud de carreteras atravesando zonas de alta diversidad.

3.5 Captación de CO₂

El escenario 4 “Doñana adaptativa” es el que obtiene un valor de indicador más alto en los dos casos, aunque se puede apreciar que en el segundo caso, donde solo se tiene en cuenta especies leñosas, la diferencia con los demás escenarios es más pronunciada. En ambos casos el peor posicionado es el escenario 2 “Doñana marca registrada”, debido a la pérdida de masas forestales y agricultura leñosa.

3.6 Conectividad ecológica

La conectividad ecológica es mayor en las zonas cercanas al matorral y en otras zonas de vegetación o bosque fácilmente transitable por las especies terrestres, salvo que encontremos barreras como son las vías de comunicación o suelo urbanizado o alterado. Las zonas de menor conectividad ecológica incluyen zonas cercanas a las ciudades y las marismas mareales, debido a que el agua puede ser un impedimento para la relación entre especies terrestres. Si comparamos los escenarios podemos ver casos llamativos como en el Escenario 3 que aumentaría la conectividad ecológica, por lo menos en el sur de la zona, debido a la pérdida de cultivos intensivos y arrozales y su reemplazo por matorral, consecuencia de la escasez de agua bajo este escenario (Doñana árida).

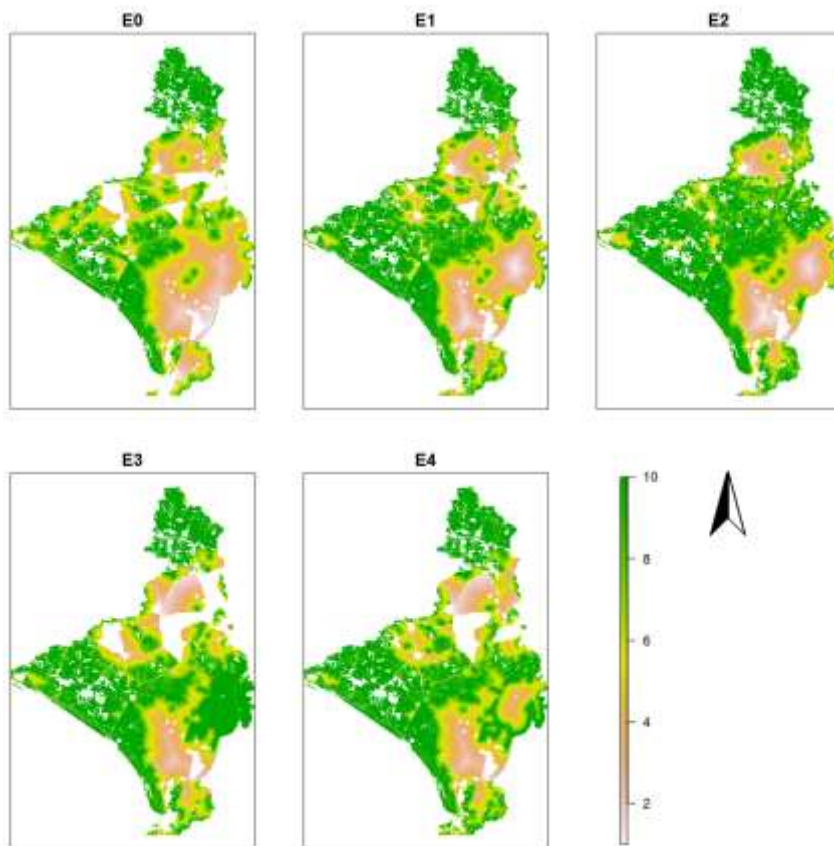


Figura 2. Representación de la conectividad ecológica para cada Escenario

Marisma mareal

El primer escenario (Escenario 0) será el que menos marisma mareal va a tener con 154 Km², el resto de escenarios se van a situar en torno a los 162 Km².

3.7 Consumo de agua urbano

El indicador muestra diferencias muy notables en el incremento de superficie urbana, y por lo tanto, en la cantidad de agua consumida. El Escenario 2 "Doñana marca registrada" presenta incrementos de la superficie urbana de más del 100%, lo que va a suponer un importante aumento en el consumo de agua urbano. En el sentido opuesto, el escenario 4 "Doñana adaptativa" muestra no solo que no existe crecimiento urbano, sino que hay una pérdida de la superficie destinada a dicho uso de cerca del 35%. Es poco probable que esta situación llegue a darse en la realidad, pero en cualquier caso, en este escenario las zonas urbanas no aumentarían, evitando así la presión sobre los recursos hídricos del entorno.

3.8 Consumo de agua agrícola

La evolución de la agricultura de regadío es muy diferente en función de cada escenario futuro. El escenario 0 o escenario tendencial es el único en el que se produce un aumento de la agricultura de regadío, por lo que continuar en la tendencia actual de creación de nuevos regadíos supondría un enorme riesgo para los acuíferos de Doñana y también para todos los ecosistemas que dependen de ellos. En el escenario 3 "Doñana árida" es donde encontramos unas mayores pérdidas de agricultura de regadío. Es lógico que así sea ya que el cambio climático y la escasez de agua en general harán de ésta un recurso cada vez más limitado.

3.9 Producción de residuos

Tras consultar diversas fuentes, los únicos datos de producción de residuos a menor escala que hemos podido encontrar son los de carácter municipal. Por lo tanto, se hace muy difícil su correspondiente relación con los

usos del suelo. Los residuos peligrosos provienen de dos fuentes importantes, la agricultura y la industria química. En el caso de la agricultura, las zonas rurales serán lógicamente las más afectadas, en este sentido destaca el municipio de Jerez de la Frontera, debido a su importancia agraria. Respecto a otros tipos de residuos peligrosos, las zonas urbanas son las que mayor riesgo de producción tienen, ya que es donde se ubican la mayoría de las zonas industriales.

4. DISCUSIÓN

Es de destacar que en algunos de los indicadores como son la conservación de la agricultura tradicional, conservación de los espacios naturales, conservación de la biodiversidad o consumo de agua agrícola, es el escenario 3 "Doñana árida" el que obtiene unos mejores resultados. Este hecho puede ser contradictorio con las expectativas creadas para un escenario de futuro donde el cambio climático y la escasez de los recursos hídricos van a ser los principales motores de cambio. Lo más lógico resulta pensar que en un ecosistema donde el agua resulta ser un valor fundamental que permite la presencia de ecosistemas como las lagunas y marismas, su escasez suponga un deterioro de los ecosistemas naturales de la zona.

Este resultado se debe, por un lado, a que la escasez de recursos hídricos ha hecho del agua un recurso escaso, y por lo tanto caro, que impide el desarrollo de una agricultura de regadío, lo que convierte a los sistemas agrícolas tradicionales de secano en la única alternativa posible. Por otro lado, está explicado por el aumento de superficie de algunos ecosistemas como matorral y pinar, mejor adaptados a un clima más árido. Hay que tener en cuenta que el estudio de especies o ecosistemas concretos, como el caso de aves o ecosistemas acuáticos, podrían dar un resultado diferente.

Así mismo, resulta interesante analizar los resultados obtenidos en los indicadores por el escenario 4 "Doñana adaptativa", que fue ideado como el mejor de los escenarios posibles. El E4 obtiene la mejor puntuación en los indicadores de captación de CO₂ atmosférico, así como en el de consumo de agua urbano y la superficie de marisma mareal. En el resto de los indicadores, el E4 ha obtenido la segunda mejor puntuación, en ocasiones empatando frente al E2 "Doñana marca registrada".

5. CONCLUSIONES

Sin duda estos resultados nos muestran como la idealización del futuro que queremos a través de los escenarios no se corresponde con los indicadores que son más necesarios para la planificación y gestión diaria y actual del END. La definición participativa de los indicadores a desarrollar basados en los resultados del modelo DUSPANAC es novedosa desde la fase de definición, su priorización hasta su construcción, siempre teniendo en cuenta el objetivo final que es obtener indicadores útiles que se puedan medir a partir de los resultados del modelo DUSPANAC. Esto hace que lo que podría ser un proyecto de investigación más, en el que se generan informes que posteriormente se trasladan a la población objetivo, se transforma en un proyecto vivo y dinámico con intervención y acción de los agentes locales. Comunes denominadores en el imaginario de los agentes locales participantes son el agua, la biodiversidad, los humedales, la fauna, la agricultura tradicional y la función de sumidero de CO₂ que realizan las masas de vegetación, lo que sitúa a estos grandes temas como ejes clave para el futuro del END.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al Organismo Autónomo de Parques Nacionales (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente) la financiación concedida en su convocatoria de 2010 (ref 118/2010) al proyecto DUSPANAC. Agradecemos también al proyecto SIGEOMOD II (BIA2013-43462-P) financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y por el Fondo Europeo Regional FEDER por el apoyo a la asistencia del congreso. Por último, queremos agradecer a los participantes en los talleres por compartir con nosotros su gran conocimiento del Espacio Natural de Doñana.

7. BIBLIOGRAFÍA

- ATECMA, 2007. *Identificación y diagnóstico de la red de corredores ecológicos de la región de Murcia*. http://www.murcianatural.carm.es/c/document_library/get_file?uuid=9cb17911-df85-4d4e-aa22-fcc3cdc2261e&groupId=14
- Hewitt, R., Van Delden, H., & Escobar, F. (2014). Participatory land use modelling, pathways to an integrated approach. *Environmental Modelling & Software*, 52, 149-165.
- Manteiga, L. 2000. *Los indicadores ambientales como instrumento para el desarrollo de la política ambiental y su integración en otras políticas*. Estadística y Medio Ambiente. Instituto estadístico de Andalucía. Sevilla. Pp: 75-87.
- Marull, J. y Mallarach, J.M, 2002. *La conectividad ecológica en el Área Metropolitana de Barcelona*. Ecosistemas 2002/2. <http://www.aeet.org/ecosistemas/022/investigacion6.htm>
- Montes, C. 2007, Construir Resiliencia para Doñana en un mundo cambiante. *Revista Sostenible* 35:14-15
- Palomo, I., Martín-López, B., López-Santiago, C., Montes, C. 2012, *El Sistema Socio-ecológico de Doñana ante el Cambio Global: Planificación de Escenarios de Eco-futuro*. Fundación Fernando González Bernáldez. Madrid.
- Polanco, C. 2006. *Indicadores ambientales y modelos internacionales para la toma de decisiones*. Universidad Nacional de Colombia. Gestión y Ambiente, vol. 9, Pp. 27-41.
- REDIAM., 2014. *REDIAM (Red de Información Ambiental de Andalucía)*. Junta de Andalucía. <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam>
- Voinov, A. y Bousquet, F. 2010. Modelling with stakeholders. *Environmental Modelling & Software* 25: 1268.

GEOCODIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE REDES EN LA PLANIFICACIÓN DE RUTAS ÓPTIMAS PARA ITINERARIOS GEOGRÁFICOS CULTURALES

Juan J. Lara-Valle

Universidad de Granada. Departamento de Geografía Humana. Facultad de Filosofía y Letras Campus de Cartuja 18071 Granada. jlara@ugr.es

RESUMEN

La accesibilidad de todas las personas, sean cuales fueren sus condiciones físicas, a espacios públicos y edificaciones, se ha convertido en un derecho humano, el cual ha quedado plasmado en el concepto de accesibilidad universal. Para que el mismo sea posible el espacio urbano tiene que reunir una serie de condiciones en su configuración paisajística. Particularmente, especial relevancia ha adquirido la preocupación por la mejora de la accesibilidad al patrimonio cultural urbano, por sus consecuencias sobre el turismo y la economía de la ciudad.

El barrio del Albaicín es uno de los principales atractivos turísticos de la ciudad de Granada. El número de visitantes aumenta cada año. Muchos son discapacitados. Este trabajo pretende evaluar las condiciones de accesibilidad que ofrece el barrio del Albaicín para estas personas con discapacidad, que desean realizar determinados itinerarios culturales y, a partir de este diagnóstico, como resultado, encontrar las rutas que presentan una mejor accesibilidad para estos colectivos de personas.

Para el desarrollo del trabajo emplearemos las herramientas que ofrece un SIG como ArcGis. El módulo de geocodificación para la georreferenciación de los elementos patrimoniales; el módulo Network para la búsqueda del trazado de rutas óptimas. Con ello queremos subrayar la conveniencia del uso de las TIG para planificar itinerarios geográficos culturales urbanos, que respondan a criterios de una mejor accesibilidad.

Palabras clave: rutas óptimas; accesibilidad universal; geocodificación; análisis de redes; Albaicín.

ABSTRACT

The accessibility of all persons, independently of their physical conditions, to public spaces, to buildings, has become a human right. This right is known as universal accessibility. The urban space must meet certain requirements in its configuration of cityscape so that this right may become a fact. Accessibility to urban heritage is an issue of social and economic importance, because accessibility has very important consequences on tourism and the economy of the city.

The Albaicín is one of the most important tourist attractions in the city of Granada. The number of visitors increases every year. Many people are disabled with mobility problems. This paper aims to assess the accessibility offered by the Barrio del Albaicín for these people with disabilities who want to go through cultural itineraries and to propose routes that have the best accessibility for these people.

To develop our work we use the software ArcGis, geocoding module for georeferencing of elements of urban heritage, the Network module for finding optimal routes. In this way, we want to stress the advantages that the GIT offer for these purposes.

Keywords: optimal routes; universal accessibility; Geocoding; Network Analyst; Albaicín.

1. INTRODUCCIÓN

La creciente movilidad de la población actual, ligada al desarrollo de la actividad turística, viajes de negocios, etc. hacia destinos, generalmente, desconocidos, ha creado la necesidad de conocer y planificar previamente los trazados de las rutas a seguir. Ello ha originado que una de las utilidades de más éxito de los SIG para los ciudadanos haya sido la experimentada por el desarrollo de aplicaciones para la planificación de rutas de viaje y su implementación en los navegadores de tráfico (GPS). Aplicaciones que encontramos igualmente en la Web, donde Google Maps y Google Earth marcaron un hito en su divulgación; popularizándose actualmente su uso en los dispositivos móviles (Tablets, Smartphone...).

Al mismo tiempo, en relación con la movilidad peatonal, la accesibilidad de todas las personas a espacios públicos y edificaciones, se ha convertido en un derecho humano. El mismo ha quedado plasmado en el concepto de accesibilidad universal. Para que esta se haga posible el espacio urbano tiene que reunir una serie de condiciones en su configuración paisajística. Particularmente, especial relevancia ha adquirido la preocupación por la mejora de la accesibilidad al patrimonio cultural urbano, por sus consecuencias sobre el turismo y la economía de la ciudad.

En este contexto, en el campo de la Geografía la planificación de itinerarios geográficos con fines de exploración científica, salidas de campo académicas, recorridos culturales, etc. ha conocido un auge importante en los últimos años. Los itinerarios geográficos se han revelado como un instrumento eficaz, bien para plasmar cartográficamente la secuencia de hitos espaciales donde se ubican los elementos relevantes de una exploración geográfica, o bien como la estrategia para poder entender mejor en toda su riqueza de matices las relaciones que guardan los bienes de interés cultural con el entorno en el que se ubican. De ahí que el servicio que los SIG pueden ofrecer para el desarrollo cartográfico de estos itinerarios es de gran interés.

Los objetivos, pues, de este trabajo se centran en evaluar las condiciones de accesibilidad que ofrece el barrio del Albaicín, especialmente para personas con problemas de movilidad y discapacidad, que desean realizar determinados itinerarios culturales. Para ello, presentaremos, en primer lugar, los criterios que, según la normativa vigente, deben de reunir los itinerarios peatonales accesibles; en segundo lugar, analizaremos las características del barrio en tales aspectos; finalmente, a partir de este diagnóstico, como resultado, se ofrecen la ruta que presenta una mejor accesibilidad para estos colectivos de personas.

La metodología, para conseguir los objetivos propuestos con herramientas de SIG, ha implicado poner en práctica dos procesos metodológicos: el de geocodificación de direcciones y el análisis de redes. Para ello utilizaremos las herramientas contenidas en el Software ArcGis; el módulo de geocodificación que posibilita la geocodificación de direcciones postales, y el módulo Network para modelización de trazado de rutas óptimas.

2. JUSTIFICACIÓN

El 17 de diciembre de 1994 el Albaicín fue declarado por la UNESCO como Patrimonio de la Humanidad. Con esta declaración la UNESCO incluye este barrio no dentro de la categoría de monumentos o lugares individuales, sino de 'Grupos de edificios urbanos' o lugares habitados, como "un rico legado de la arquitectura árabe vernácula con la que armoniosamente se combina la arquitectura tradicional andaluza". El elenco de elementos patrimoniales urbanos de este barrio es variado, (aljibes, casas moriscas, cármenes, casas palacio, antiguos minaretes reconvertidos en torres de iglesias, miradores, singular entramado viario, etc.).

Una de las consecuencias que se derivarán de esta Declaración será su puesta en valor como recurso económico en tanto podía mejorar la demanda turística de la ciudad.

Para conseguir este objetivo se pondrán en marcha una serie de iniciativas y actuaciones. En 1998 se crea la Fundación Albaicín, (Agencia Albaicín), que se encargará de todo lo relativo a la protección del patrimonio cultural. El Plan Estratégico de Granada recoge en sus líneas estratégicas la necesidad de ampliar la oferta cultural de la ciudad como apoyo a las actividades turísticas y comerciales y, en consecuencia, poner en valor el barrio del Albaicín y el Sacromonte. Especial incidencia tendrán las actuaciones llevadas a cabo en el barrio dentro del Programa Operativo Local aprobado en 1997 y el Plan Urban Granada 2006.

Paralelamente, la Carta Internacional sobre Turismo Cultural, dada a conocer por el ICOMOS en 1999, recogía en sus recomendaciones la necesidad de crear un entorno adecuado para el buen desenvolvimiento de la actividad turística y a este respecto se dice: “Los visitantes deberían poder experimentar los sitios con Patrimonio de modo tranquilo y a su propio ritmo, si éste es su deseo. De todos modos, pueden ser necesarios **itinerarios especiales** de circulación de visitantes para minimizar los impactos sobre la integridad y constitución física del Sitio y de sus características naturales o culturales”. En el 2008, también el ICOMOS, da a conocer la Carta Internacional de los itinerarios culturales; con el objetivo de poner de relieve la importancia de los mismos; para ello se detiene en precisar, entre otros aspectos, el concepto de itinerario cultural y cuáles son sus elementos definitorios.

Gracias a esta corriente de pensamiento, que va influyendo en la política urbana, la importancia de las rutas culturales estará presente en los planes de dinamización cultural del Albaicín. Así, el PEPRI incluirá en sus propuestas de intervención en el barrio el diseño de determinados itinerarios. El Proyecto Piloto Urbano (1998) recoge entre sus actuaciones el establecimiento de itinerarios de rutas turísticas; el Plan Urban II (2006) insistirá en la necesidad de identificar los ejes patrimoniales del barrio para diseñar las estrategias de intervención sobre el mismo. El Plan Estratégico Granada (2007) recogerá también en sus líneas estratégicas la “identificación y rehabilitación de rutas urbanas y periurbanas”. Lo mismo hará el Plan de Turismo de Granada que proyecta en sus actuaciones el establecimiento de rutas culturales.

Por otro lado, uno de los objetivos de la política urbana en las últimas décadas, ha sido mejorar las condiciones de accesibilidad para todas las personas a los espacios públicos urbanizados y edificaciones. Los avances logrados quedan reflejados en una serie de medidas normativas de ámbito estatal, autonómico y local. Como hitos normativos más significativos, a nivel estatal, hay que referirse a Ley 51/2003, de 2 de diciembre, de igualdad de oportunidades, no discriminación y accesibilidad universal de las personas con discapacidad. Esta Ley, introduce en la normativa española los conceptos de accesibilidad universal y diseño para todos. La accesibilidad universal implica “la condición que deben cumplir los entornos,.. (sic) para ser comprensibles, utilizables y practicables por todas las personas en condiciones de seguridad y comodidad y de la forma más autónoma y natural posible. Y el diseño para todos “la actividad por la que se concibe o proyecta, desde el origen, y siempre que ello sea posible, entornos, ...(sic), de tal forma que puedan ser utilizados por todas las personas, en la mayor extensión posible.” La Orden VIV/561/2010, de 1 de febrero, por la que se desarrolla el documento técnico de condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación para el acceso y utilización de los espacios públicos urbanizados. Andalucía cuenta con el Decreto 293/2009, de 7 de julio, por el que se aprueba el reglamento que regula las normas para la accesibilidad en las infraestructuras, el urbanismo, la edificación y el transporte en Andalucía.

En consecuencia, la mejora de la accesibilidad al Albaicín ha sido una preocupación constante en los planes de intervención sobre el barrio, aunque a la vista de lo desarrollado podría concluirse que ha primado más la

búsqueda de soluciones para el tráfico rodado que para los peatones. No obstante, el Programa Iniciativa Comunitaria Urban 2001-2006, introduce medidas para mejorar la accesibilidad y movilidad peatonal; el Plan Estratégico incluye en sus objetivos fomentar la accesibilidad universal y promover la implementación de accesibilidad urbana total como factor de calidad de vida. El Plan de Acción Granada 2009-2013 se propone la eliminación de barreras arquitectónicas y la implantación de medios mecánicos que faciliten el acceso al Albaicín. Pero, aún así, resulta necesario realizar un esfuerzo por dar a conocer aquellas rutas que serían más aconsejables utilizar para personas que quieren visitar el barrio y que presentan problemas de movilidad.

3. LA PLANIFICACIÓN DE RUTAS ÓPTIMAS COMO MEDIO DE FACILITAR EL ACCESO AL PATRIMONIO CULTURAL.

3.1 Los análisis sobre rutas óptimas: estado de la cuestión

Los trabajos desarrollados con software SIG sobre la búsqueda de rutas más eficientes para cumplir determinados propósitos son numerosos y con enfoques variados.

Convendría precisar, en primer lugar, que los SIG pueden ofrecer dos herramientas para la búsqueda y el trazado de rutas; aquellas herramientas destinadas a la obtención de rutas de menor coste y las que se emplean para la planificación de rutas óptimas. Ruta de menor coste y ruta óptima tiene una misma finalidad: la búsqueda de un itinerario que resulte el más eficiente, en términos de reducción de costes medidos en tiempo, distancia, seguridad, etc... entre dos puntos. Pero esta tarea se puede realizar dentro del SIG en dos contextos diferentes: uno sería cuando se pretende buscar la ruta de menor coste o ruta alternativa en un medio natural entre dos localizaciones, para lo cual se toman capas raster como un MDE, sobre el que se calculan los valores de pendientes, altitudes, orientaciones y otras capas, en formato vectorial o ráster, como red hidrográfica, poblamiento, usos del suelo o aprovechamientos, etc. que pueden complementar los condicionantes a la hora de evaluar por dónde debería discurrir la ruta; en este contexto las herramientas de análisis a utilizar son aquellas que permiten manejar información ráster, como los valores de un MDE para el cálculo de pendientes, orientaciones; o como la que pueden generar los ráster de coste de distancia (cost distance) o camino distancia (path distance, cost path), además de las que permiten la reclasificación de los valores de los rásteres para su puesta en una escala común de valores y la superposición de los mismos para obtener el resultado buscado. El otro contexto es la búsqueda de rutas óptimas (estimadas en condiciones de rutas de menor tiempo invertido o menor distancia a recorrer en el desplazamiento) a partir de un sistema de red, como puede ser una red de calles o carreteras. Para este otro contexto se parte con capas de referencia, como sería el sistema de red de ejes, paradas, barreras... que se corresponden con el modelo vectorial y para modelar el problema el Sistema ArcGis posee un conjunto de herramientas para el análisis que se integran en el módulo Análisis de Redes (Network Analyst).

Los trabajos que se han venido publicando sobre este campo de aplicación de los SIG se podrían clasificar en dos categorías, una la de aquellos que se centran en la búsqueda o crítica de los algoritmos empleados en el trazado de rutas, y otros destinados a la puesta en práctica de estas funciones que poseen los SIG y sus aplicación a determinados fines. Puesto que el análisis de redes está fundado en la teoría de los grafos (Haggett & Chorley, 1972) hay un número significativo de publicaciones cuyo objetivo es la búsqueda de nuevos algoritmos para la planificación de rutas, bien en relación al sistema de transporte (Garrido y Onaindia, 1999), o en el campo de la distribución de mercancías (Puchades, 2008). También son importantes las aportaciones realizadas poniendo en práctica las utilidades implementadas en los SIG para estos fines en diferentes campos como la prestación de servicios sanitarios (Dunn y Newton, 1992) o la búsqueda de rutas alternativas para el transportes de residuos peligrosos (Gómez y Bosque, 2001); más recientemente se está explorando lo que los SIG pueden aportar para facilitar una mejor accesibilidad a los cascos urbanos (Queraltó y Valls, 2010). En

cualquier caso, por lo que se ha podido constatar, parece que hay una mayor abundancia de trabajos que se han realizado utilizando las herramientas de coste-distancia, con las herramientas de análisis e información ráster, que los que se han basado en un sistema de redes.

3.2 Los análisis sobre rutas óptimas: metodología

Los análisis sobre rutas óptimas a partir de un sistema de red viaria, como el que este trabajo desarrolla, ha implicado poner en práctica dos tipos de procesos metodológicos: la geocodificación de direcciones postales y el análisis de redes.

Mediante la geocodificación podemos convertir la descripción de una ubicación en una localización sobre un mapa. ArcGis dispone de las herramientas de geocodificación que permiten geocodificar direcciones postales, lugares, topónimos. El uso de estas herramientas ha sido fundamental en el trabajo, puesto que la localización de los elementos de patrimonio inmueble que utilizamos en el análisis viene identificada mediante una dirección postal. Así pues, primero preparamos los datos de referencia, consistente en asignar a la capa ejes de calles y parcelario los componentes de la dirección que permitiesen la localización de una determinada dirección; en segundo lugar creamos el localizador de direcciones, es decir, el motor de búsqueda que posibilita encontrar una dirección o geocodificar una tabla de direcciones sobre la capa de referencia, si los datos de direcciones son concordantes. Finalmente, preparamos la tabla de direcciones de los elementos a geocodificar que, en este caso, fueron la localización de los aljibes del Albaicín y la dirección de las casas moriscas. El resultado de la geocodificación es la creación de dos capas de puntos, una que representa los aljibes y otra las casas moriscas, que se utilizarán como paradas en el trazado de rutas óptimas.

Con las herramientas de análisis de redes (Network Analyst) realizamos el modelo para la búsqueda de rutas óptimas. Un sistema de red lo compone de una serie de ejes interconectados por medio de nodos que gracias a las relaciones topológicas establecidas permite simular la dirección de un flujo o un itinerario desde un punto a otro. El dataset de red, como en ArcGis se conoce un sistema de red, es la base sobre la que se modela el trazado de una ruta. Poder utilizar esta herramienta nos ha exigido, en primer lugar, crear un sistema de red, lo cual hicimos tomando como información base la capa de ejes de calles del callejero granadino; en segundo lugar definimos los atributos, con sus parámetros y evaluadores correspondientes, que caracterizan el dataset de red, tales como valores de pendientes, tiempo de recorrido peatonal, calles en escalera, calles peatonales, calles de interés patrimonial, etc. Finalmente, las capas resultantes de la geocodificación se utilizaron como paradas para establecer los puntos que deberían recoger el trazado de la ruta.

3.3. Los condicionantes geográficos y urbanísticos de la zona de estudio para una accesibilidad universal

La normativa sobre la mejora de la accesibilidad en los espacios públicos establece los requisitos que deben cumplir los corredores peatonales para dar cumplimiento a los objetivos de la accesibilidad universal. Para estos fija una serie de parámetros como el ancho mínimo, las pendientes transversales y longitudinales, la altura, los pavimentos, pasos de peatones, escaleras,... son, pues, algunas de estas variables las que tenderemos en cuenta para evaluar las condiciones del barrio para el tránsito de estas personas (Tabla 1).

La extensión del Albaicín es de 85,27 Ha, considerando como límites, por el sur la carrera del Darro, por el Oeste la Cuesta del Chapiz y su prolongación por la calle Pagés hasta la Carretera de Murcia; por el norte el Camino y Cuesta de San Antonio y por poniente la Acera de San Ildefonso, Profesor Emilio Orozco y Gran Vía. Su viario lo comprende un total de 329 calles cuya longitud alcanza 43.45 Km de red (43454 mts), que representa el 8,30 % del viario total urbano de la ciudad. Estos datos nos dan una densidad de red de 509,6 m

de calle por ha. La Figura 1 nos muestra el reparto de los valores de densidad obtenidos con la herramienta densidad de líneas, utilizando como resolución del pixel 5 mts, un radio de búsqueda de 50 mts y tomando como unidad la hectárea. El barrio presenta, en general, un alto valor de densidad media, lo cual es un buen indicador de la permeabilidad del barrio. Los valores de densidad más altos forman una corona en torno al núcleo del barrio, que se sitúa sobre la Plaza Mirador de San Nicolás.

| NORMATIVA | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|--|--|---|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|------------------------|--------------------------|
| | Itinerario peatonal: Altura | Itinerario peatonal: Anchura libre de paso | Itinerario peatonal: Pendiente transversal | Itinerario peatonal: Pendiente longitudinal | Áreas de descanso | Anchura de rampas | longitud de rampas | Pendiente longitudinal rampas 3 mts | Pendiente longitudinal rampas 10 mts | pendiente transversal rampas | Escaleras | Anchura mínima escaleras |
| DECRETO 293/2009 | =>1,5 0 mts | 2 % | | | | => 1,50 | | 10 % | 6% | 2% | 10 peldaños | |
| Orden VIV/561/2010 | => 2,20 mts | => 1,80 mts | 2 % | 6% | Cada 50 mts | => 1,80 | 10 mts | 10 % | 8 % | 2 % | de 3 a 12 escalones | 1,20 |

Tabla 1. Valores correspondientes para el cumplimiento de la accesibilidad universal en itinerarios peatonales.

La extensión del Albaicín es de 85,27 Ha, considerando como límites, por el sur la carrera del Darro, por el Oeste la Cuesta del Chapiz y su prolongación por la calle Pagés hasta la Carretera de Murcia; por el norte el Camino y Cuesta de San Antonio y por poniente la Acera de San Ildefonso, Profesor Emilio Orozco y Gran Vía. Su viario lo comprende un total de 329 calles cuya longitud alcanza 43.45 Km de red (43454 mts), que representa el 8,30 % del viario total urbano de la ciudad. Estos datos nos dan una densidad de red de 509,6 m de calle por ha. La Figura 1 nos muestra el reparto de los valores de densidad obtenidos con la herramienta densidad de líneas, utilizando como resolución del pixel 5 mts, un radio de búsqueda de 50 mts y tomando como unidad la hectárea. El barrio presenta, en general, un alto valor de densidad media, lo cual es un buen indicador de la permeabilidad del barrio. Los valores de densidad más altos forman una corona en torno al núcleo del barrio, que se sitúa sobre la Plaza Mirador de San Nicolás.

El entramado viario del Albaicín se caracteriza por calles de reducidas dimensiones tanto en longitud como en su anchura; de las 329 calles contabilizadas 228 no superan los 100 mts de largo, el 69,30%; mientras que solamente 24 superan los 200 mts, esto es el 7,29%. Las calles más cortas, las inferiores a 100 mts, suponen el 38,09 de la longitud del viario, mientras que las más largas, aquellas que son superiores a 500 mts de largo, representan el 9,7 %. La longitud de las calles guarda una estrecha correlación con las zonas de más acusada pendiente, así 101 calles (el 30,9 %) se corresponde con aquellas que tienen un valor de pendiente media superior al 10 %.

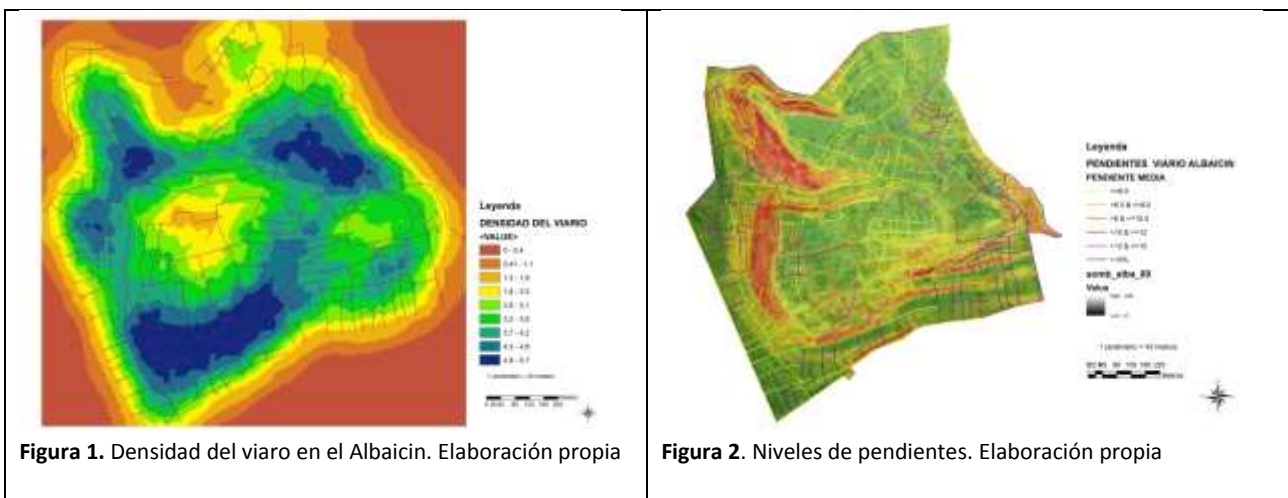
3.3.1 Los niveles de pendientes

El valor de la pendiente es uno de los indicadores más importantes para evaluar el nivel de accesibilidad de una zona urbana. Por ello la normativa sobre accesibilidad establece unos parámetros máximos para los itinerarios peatonales. Se acepta que todos aquellos que tienen unas pendientes superiores al 6% son de una accesibilidad insuficiente.

Los valores de pendiente para las calles del Albaicín se obtuvieron sobre la capa de rutas del Albaicín y un MDE del IGN de resolución 0,5 mts. La herramienta de ArcGis <añadir información de superficie> permite obtener los valores de z max, z min, pendiente min, pendiente max y pendiente media entre otros valores.

La Figura 2, en la que se representa el mapa de pendientes, permite observar la distribución desigual de las mismas; existiendo una clara concentración de las más fuertes en la parte oeste y norte del barrio. El viario del Albaicín presenta una pendiente media del 11,6 %, aunque se encuentran calles con valores extremadamente altos. El valor promedio de las pendientes más bajas es de 4,22 % y el promedio de las más altas es de 26,8 %. El viario que se encuentra por encima del límite recomendado por la normativa que define una aceptable accesibilidad es del 62,5 % de la longitud del viario. En número de calles 219 (66,5 %) sobre 329 sobrepasan el límite recomendado.

El uso que de este indicador se puede hacer en la planificación de rutas puede ser de carácter prohibitivo estableciendo todas las calles que superan unos determinados valores de pendientes como barreras para el tránsito, o bien como un condicionante con carácter restrictivo, el cual admite un escala de diferentes niveles de restricción.



3.3.2 Calles peatonales

La consideración de una calle como peatonal es, sin duda, uno de los factores que más pueden influir en la mejora de las condiciones de accesibilidad; en general para todas las personas y de modo particular para personas con discapacidad. Por ello es un condicionante importante que debe de ser tenido en cuenta en la planificación de rutas para viandantes. El evitar las calles donde se mezcla el tráfico rodado y el peatonal irá en beneficio de la seguridad del peatón y aumentará el nivel de confort sensorial en su recorrido.

La Figura 3 nos muestra la importante presencia de este tipo de viario. De hecho el 82 % de las calles se consideran peatonales, lo cual representa una longitud de viario de 34878 mts, esto es el 80,26 %. En consecuencia, las dificultades existentes en otros aspectos se ven paliadas por esta otra característica, que lo califica como una zona urbana tranquila especialmente configurada para ser transitada a pie.

La implementación de este criterio en el modelo de ruta óptima puede ser, por tanto, considerado como una restricción de sentido favorable de nivel alto.

3.3.3 Calles con escaleras

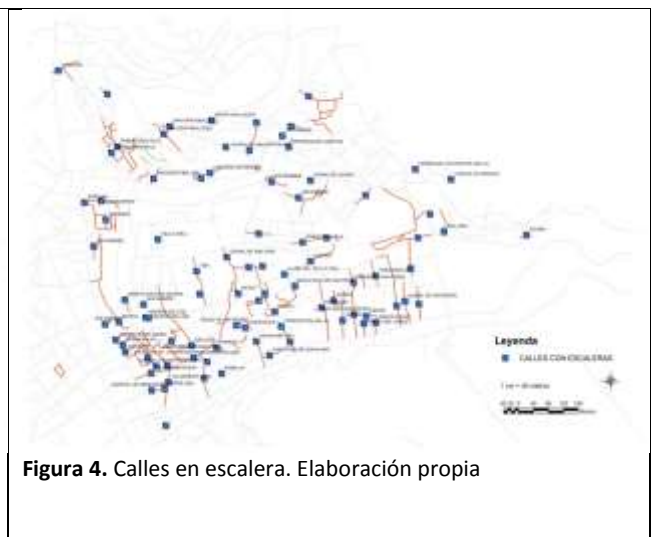
La existencia de fuertes pendientes en el entramado viario albaiciner ha hecho de las calles en escalera una de las característica definatorias de su paisaje urbano. Y evidentemente esto supone un obstáculo añadido a la

accesibilidad para aquellas personas que tienen que desplazarse en sillas de ruedas o que padecen una movilidad reducida por otras circunstancias.

Los datos obtenidos mediante trabajo de campo arrojan unos resultados importantes. En total son 105 (31,9%) calles, de las 329 que se contabilizan en el Albaicín, las que cuentan con escaleras; la longitud sería de unos 8820 mts, lo que supone el 20,2% de la longitud total.

Según se aprecia en la Figura 4 se produce una clara concentración de las mismas en la zona sur y suroeste del barrio, es decir en la ladera que desciende desde la Plaza de San Nicolás hacia el río Darro, la que está orientada hacia la Alhambra.

Su consideración dentro del modelo de planificación de rutas óptimas para personas con discapacidad es obvio que tiene que ser de obstáculo o barrera, o bien de una restricción, que puede tener el carácter de evitar preferentemente alto, para personas de cierta edad o con determinados problemas de salud.



3.4 La geocodificación de los elementos del patrimonio cultural: aljibes y casas moriscas del Albaicín.

La figura 5 contiene el modelado cartográfico que hemos seguido en el proceso de geocodificación de las tablas de direcciones postales de los elementos patrimoniales sobre los que hemos fijado el interés de las rutas y los componentes utilizados en el modelado del sistema de red para trazar la búsqueda de rutas según diferentes criterios de impedancias y restricciones.

Los elementos del patrimonio inmueble urbano que escogimos para la propuesta de itinerarios culturales: aljibes y casas moriscas, presentaban la dificultad de no tener una cartografía digitalizada adaptada para incluirlos como elementos del modelo de red. Por lo tanto, el primer paso consistió en preparar estas capas de información. La geocodificación de aljibes presentó ciertas dificultades dado que en su localización no todos responden a una dirección postal, y otros presentan una ubicación exenta en el parcelario, por lo tanto, su situación precisa es difícil de determinar por este medio. Para su localización, mediante geocodificación, se utilizó la información contenida en la publicación del Ayuntamiento de Granada: Aljibes públicos de la Granada islámica, que contiene las direcciones postales de algunos de ellos y su localización en parcela. En el proceso de geocodificación se utilizaron dos localizadores de direcciones uno con referencia a calle y número de portal y otro con referencia a identificación de parcela catastral. De esta manera se pudo obtener la capa de aljibes.

Para la geocodificación de las casas moriscas se partió de la información sobre las mismas contenidas en el Catálogo de patrimonio del Plan Especial Albaicín. En este caso sí se pudo construir una tabla de direcciones compuesta por 45 registros, que igualmente fue geolocalizada contra la capa del parcelario. Los datos de referencia fueron las capas del catastro de ejes de calles y parcelas. (Figura 6).

3.5. El Sistema de redes (Networkt) para la búsqueda de rutas óptimas con criterios de accesibilidad universal

Con los datos anteriores se ideó el modelo de rutas óptimas. El sistema de red se construyó sobre la capa de ejes de calles que proporciona el IGN con Cartociudad. La capa de referencia del sistema de red se editó para introducirle las direcciones postales, a fin de que pudiera ser utilizada igualmente en el proceso de geocodificación en la asignación de las paradas y las barreras que van a condicionar el trazado de la ruta. La tabla de atributos de esta capa fue ampliada con una serie de campos para utilizarlos a la hora de definir el criterio de coste y las restricciones a emplear. Con ello se pudo trazar las propiedades del sistema de red en cuanto a sus atributos. Así como atributos de coste se crean los campos: metros o distancia y minutos o tiempo que tardaría un peatón en alcanzar el objetivo. En principio, el tiempo del peatón es un valor calculado en función de la distancia a recorrer y una velocidad media (en nuestro caso 3Km/hora). Obviamente este coste puede ser ponderado por determinados factores como la pendiente. Así los valores usados del tiempo invertido en condiciones de una calle sin pendiente fue ponderado por los siguientes valores: calles de 0 a 3% de pendiente +1. Calles de 4 a 10 % de pendiente + 1,25. Calles de 10 a 20 % de pendiente * 1,50 calles de 20 a 20 * 1,75 y calles de más de 40 % + 2.

En cuanto a los atributos de restricción, que admiten tres posibilidades: de prohibición, de evitar y de preferir, como un atributo de restricción prohibitiva se va a considerar las calles con pendientes superiores al 20%; como un atributo de restricción, pero con el valor de preferir en escala de alto se va a establecer el atributo de la consideración de calles peatonales. Igual consideración tendrá el atributo de la presencia o no en las calles que componen el sistema de red de casas moriscas, que se utilizarán como complemento del itinerario cultural.

Establecido el sistema de red y sus propiedades, el siguiente paso consistió en crear la capa de análisis de ruta sobre la cual establecer los objetivos del itinerario cultural y sus condicionantes. Se realizan dos simulaciones: una en la que el itinerario sería para una persona de condiciones normales, por lo tanto, sin ningún tipo de restricciones de carácter prohibitivo y sólo con la de escoger preferentemente calles que cuenten con casas moriscas; y otra simulación para personas con problemas de movilidad y, por tanto, la búsqueda se hará introduciendo las restricciones que obligan a estas personas a la búsqueda de una ruta alternativa que evite los problemas que, según la normativa, no deberían estar presentes en la planificación de los itinerarios peatonales. En este caso se utilizara el elemento barrera las calles en escalera y como restricciones de carácter prohibitivo las calles con fuertes pendientes y como restricciones de carácter positivo escoger preferentemente calles peatonales

El objetivo es la búsqueda de la mejor ruta que permita la visita de los aljibes del Albaicín, aprovechando, al mismo tiempo que en el recorrido se puedan visitar algunas de las casas moriscas existentes en el barrio. El itinerario comienza en el mismo punto de salida que se establece en la Plaza del Triunfo, donde se encuentra la Puerta del Elvira que da acceso al barrio y se finaliza en el aljibe de San Cristóbal, donde se encuentra el mirador del mismo nombre.

La simulación de la primera ruta de personas sin problemas de movilidad: (Figura 10) se configuró con los siguientes parámetros: impedancia: coste de recorrido medido en tiempo de desplazamiento normal de un

peatón. Restricciones positivas: elección de calles con casa moriscas. Tiempo de permanencia en parada 3 minutos. El resultado fue un tiempo invertido: 3 horas y 5 minutos y una distancia recorrida: 5062,5 mts.

La simulación de la segunda ruta (Figura 11) para personas con problemas de movilidad se configuró con los siguientes parámetros: coste o impedancia: tiempo peatón: barreras: escaleras: restricciones de preferencia: casas moriscas e itinerario peatonal; restricción de evitar: pendiente. El tiempo invertido en este recorrido es de Total: 3 h 38 min y la distancia recorrida de 6719,5 m. La tabla 2 recoge el orden en el que serían visitados los aljibes según el modelo de ruta; en la ruta 1 no se establece ningún tipo de restricción, sí, en cambio, en la ruta 2.

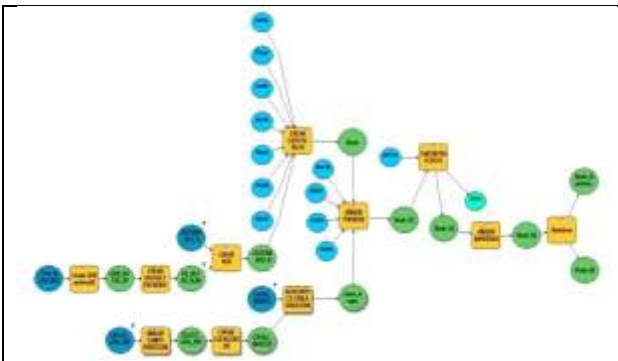


Figura 5. Modelo cartográfico del proceso seguido en la geocodificación de las tablas de direcciones y en el establecimiento del modelado del sistema de red para el trazado de rutas óptimas.



Figura 6. Capas de referencia para la geocodificación. Elaboración propia



Figura 2. Trazado de ruta óptima para personas sin problemas de movilidad. Elaboración propia.



Figura 3. Trazado de ruta óptima para personas con movilidad reducida. Elaboración propia.

| RUTA 1 | RUTA 2 |
|----------------|---------------|
| San Ildefonso | San Ildefonso |
| San | Del Rey |
| Aljibe de Paso | Gato |
| Cruz de | San Miguel |
| San Luis | Zenete |
| Santa Isabel | San José |
| Ajibe de la | Oidores |
| Polo | Cruz Verde |
| Salvador | Ajibe del ... |
| Peso de la | Cuesta de las |
| Bibalbonud | Tomasas |
| Cuesta de las | San Nicolás |
| Tomasas | Bibalbonud |
| San Nicolás | Gitana |
| Gato | Polo |
| Trillo | Salvador |
| Cruz verde | Peso de la |
| Oidores | Vieja |
| San José | Santa Isabel |
| Zenete | San Luis |
| San Miguel | Cruz de |
| Del Rey | Paso |
| De la Gitana | Alhacaba |
| Alhacaba | Colorado |
| Colorado | San |
| San Cristobal | San Cristobal |

Tabla 2. Orden en el que serían visitados los aljibes según el modelo de ruta escogido

4. CONCLUSIONES

El análisis realizado sobre las características morfológicas del entramado urbano, que presenta el barrio del Albaicín, ha demostrado la necesidad de tener establecidas rutas alternativas especialmente ideadas para personas con discapacidad o movilidad reducida. Es muy importante el viario de este barrio que ofrece unos niveles de pendientes, o una gran número de calles en escaleras que están impidiendo que en gran parte del mismo se pueda practicar la accesibilidad universal. El trabajo ha demostrado, no obstante, que, pese a estas dificultades es posible encontrar rutas alternativas a las habituales para estas personas; obviamente con un mayor coste de tiempo o de distancia recorrida; pero, en cualquier caso se pueden alcanzar similares objetivos siempre y cuando se conozca previamente el trazado de ruta que debe seguirse.

El trabajo que presentamos, con todo, no puede considerarse cerrado; por limitaciones de espacio y falta de información no han podido cerrarse algunos puntos. Sin duda, el haber tenido que recabar parte de la información a partir de trabajo de campo ha constituido una de los grandes obstáculos que hemos tenido que superar.

La utilización de las herramientas SIG, como las que se encuentran en el software que hemos empleado, ofrecen una gran capacidad y posibilidades para los objetivos propuestos. Sin duda que el nivel de control que se puede establecer en el diseño del modelo de ruta supera en mucho a lo que se puede hacer con cualquiera de las aplicaciones que se pueden encontrar en aplicaciones ad hoc en los dispositivos móviles.

La administración local debería, pues, ofrecer soluciones al problema planteado.

5. BIBLIOGRAFÍA

Dunn, Ch. & Newton, D (1992) Optimal Routes in GIS and Emergency Planning Applications. *Area*. Vol. 24, No. 3 (Sep., 1992), pp. 259-267.-Published by: The Royal Geographical Society (with the Institute of British Geographers

Garrido, A y Onaindía, E (1999): "Un algoritmo para la optimización de rutas de transporte". Universidad Politécnica de Valencia

Gómez, M. y Bosque, Joaquín. (2001): "Cálculo de rutas óptimas para el transporte de residuos tóxicos y peligrosos". *Revista: Geofocus. Revista internacional de Ciencia y Tecnología de la información Geográfica*.-pp 49-75.

Haggett, P. & Chorley, R. (1972): *Network analysis in geography*. London, Edward Arnold.

Puchades, V. y otros (2008): "Aplicación de la Teoría de Grafos para mejorar la planificación de rutas de trabajo de una empresa del sector de la distribución automática". *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*. (6). Páginas 7–22.Diciembre de 2008.

Queraltó, P; y Valls, F. (2010): "Herramienta de cálculo de rutas óptimas según parámetros de accesibilidad física en itinerarios urbanos. *Revista: ACE. Architecture, City and Environment* .- V(13): pp 161-184,

CARTOGRAFÍA DE LA BIOMASA AÉREA TOTAL EN MASAS DE *PINUS RADIATA* D. DON MEDIANTE ANÁLISIS MULTIVARIANTE A PARTIR DE DATOS PÚBLICOS LiDAR (PNOA) E IFN 4

Irati Lekuona-Zuazo¹, Antonio L Montealegre-Gracia², María Teresa Lamelas-Gracia^{2,3}

¹ Universidad de Zaragoza, Dpto. Geografía y Ordenación del Territorio, C/ Pedro Cerbuna 12, 50009, Zaragoza, España. irati.lekuona@gmail.com

² Universidad de Zaragoza, Dpto. Geografía y Ordenación del Territorio, Grupo GEOFOREST-IUCA, C/ Pedro Cerbuna 12, 50009, Zaragoza, España. monteale@unizar.es; tlamelas@unizar.es

³ Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza, Academia General Militar, Ctra. de Huesca s/n, 50090, Zaragoza, España. tlamelas@unizar.es

RESUMEN

La estimación de la biomasa total aérea (en adelante biomasa) es fundamental para conocer la estructura, el funcionamiento y la dinámica de los ecosistemas forestales, así como para su evaluación como recurso energético. El objetivo principal de este trabajo ha sido estimar y cartografiar la biomasa de las masas de *Pinus radiata* D. Don de la comarca Arratia-Nerbioi (Bizkaia). Para ello se han utilizado los datos de teledetección LiDAR (*Light Detection And Ranging*) del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), así como los datos de campo del Cuarto Inventario Forestal Nacional (IFN4). La biomasa fue calculada en 51 parcelas de campo del IFN4 aplicando la ecuación alométrica de Montero *et al.* (2005). Para convertir los valores de biomasa de la parcela a valores por hectárea, se utilizaron los factores de expansión para cada rango diamétrico de tronco que establece el IFN4. Mediante un análisis de correlación entre estos valores de biomasa y las variables independientes extraídas de las nubes de puntos LiDAR, se seleccionó el radio óptimo de 25 m. Finalmente, un análisis multivariante de regresión lineal permitió generar un modelo predictivo de la biomasa. Este modelo fue validado mediante la técnica de validación cruzada dejando un dato fuera y se obtuvo un coeficiente de determinación de 0,67. Mediante un análisis de correlación entre los valores de biomasa de las parcelas y los valores predichos por el modelo aplicando dos tamaños de pixel, se determinó como resolución más precisa para la cartografía final un tamaño de pixel de 45 m.

Palabras clave: Biomasa; regresión lineal múltiple; *Pinus radiata* D. Don; LiDAR-PNOA; IFN4.

ABSTRACT

The estimation of total aboveground biomass (hereinafter referred as biomass) is required to understand the structure and dynamics of forest ecosystems, as well as for their evaluation as a resource. The main objective of this study is to estimate and map the biomass of *Pinus radiata* D. Don forest stands located in the Arratia-Nerbioi region (Bizkaia). To perform this, LiDAR (Light Detection And Ranging) remote sensing data from the National Plan for Aerial Orthophotography and the information obtained by the Fourth National Forest Inventory (IFN4) have been used. The biomass was calculated in 51 IFN4 field plots applying the allometric equation from Montero *et al.* (2005). Expansion factors for each diameter range established by the IFN4 were used to estimate the biomass values per hectare. Using a correlation analysis between the biomass values and the independent variables extracted from the LiDAR point cloud, an optimal radius of 25 m was selected. Finally, a multivariate linear regression analysis allowed the generation of a biomass predictive model, which was validated using the leave one-out cross-validation technique. The coefficient of determination of the model was 0.67. A correlation analysis between the values of biomass at plot-level and the values predicted by different pixel sizes, allowed the selection of a proper resolution of 45 m.

Keywords: Biomass; multivariate linear regression; *Pinus radiata* D. Don; LiDAR-PNOA; IFN4.

1. INTRODUCCIÓN

El *Pinus radiata* es una especie de crecimiento rápido con turno de 30-35 años y originaria de la costa pacífica de Norteamérica. Ha sido introducida con fines productivos en Chile, Nueva Zelanda, Australia y Sudáfrica, principalmente, así como en España, donde 263.271 ha están dedicadas a esta especie, de las cuales, el 48 % se encuentran en el País Vasco (MAGRAMA, 2015).

Dichas plantaciones, que se introdujeron a finales del siglo XIX, respondieron durante años a la demanda de la industria maderera vasca, alcanzándose precios muy atractivos. Sin embargo, en la última década el ritmo de explotación y el precio de la madera han descendido. En este contexto, y como alternativa a la crisis que atraviesa el sector de la madera, las amplias superficies de *Pinus radiata* existentes en el País Vasco, la mayoría en estado extra maduro, podrían aprovecharse con fines energéticos. La biomasa es una fuente energética renovable, y además se puede traducir en cantidad de carbono retenido por la vegetación y en dióxido de carbono (CO₂) emitido a la atmósfera como consecuencia de un fuego forestal (Montero *et al.*, 2005; Vermote *et al.*, 2009), por lo que su estudio y caracterización es relevante en la lucha contra el calentamiento global.

La biomasa se define como el peso de materia orgánica que existe en un ecosistema forestal por encima y por debajo de la superficie del suelo, y normalmente se cuantifica en toneladas por hectárea de peso verde o seco, o a través de valores modulares por clases diamétricas (Montero *et al.*, 2005).

Los inventarios forestales tradicionales, como el Inventario Forestal Nacional (IFN), con los que se conoce el estado de las masas y la evolución de las superficies forestales, consisten en mediciones manuales por muestreo que tienen un alto coste económico y temporal, por lo que no se realizan con la frecuencia e intensidad necesaria para una correcta gestión forestal (Hazi, 2013). En estos inventarios solo se inventaría entre el 0,5% y 5% de la superficie total, y los datos se deben extrapolar después a valores medios por hectárea (Valbuena, 2014). El IFN se inició a mediados de 1960 y se viene realizando cada diez años, aunque el IFN4 de 2011 en Euskadi, marcó el inicio de la periodicidad quinquenal con la que se realizarán, a partir de entonces, los próximos IFN en las zonas productivas de clima atlántico.

La tecnología LiDAR (*Light Detection And Ranging*) tiene un alto potencial como alternativa a los inventarios tradicionales, ya que se obtienen datos continuos para grandes áreas y a menor coste económico. El carácter tridimensional de las nubes de puntos LiDAR proporciona información sobre la estructura de la vegetación, pudiéndose derivar unas métricas o variables independientes que presentan altas correlaciones con el conjunto de variables dasométricas del bosque, entre ellas la biomasa (Montealegre *et al.*, 2016).

El objetivo principal del trabajo es establecer un modelo para estimar la biomasa presente en las masas de *Pinus radiata* de la comarca Arratia-Nerbioi (Bizkaia, País Vasco), a partir de los datos del vuelo LiDAR del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), de baja densidad de puntos (0,5 puntos/m²) capturados en el año 2012 y los datos del IFN4 del año 2011. Además se analizará cuál es el tamaño de pixel óptimo para elaborar una cartografía de la distribución de la biomasa en el área de estudio.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

El área de estudio corresponde a las plantaciones de *Pinus radiata* de la comarca Arratia-Nerbioi, situada en Bizkaia (Figura 1), que ocupan el 44 % de la superficie total comarcal (17.700 ha). Según el Mapa Forestal Español a escala 1:25.000 de 2010, el 42 % de las plantaciones se encuentran en estado de fustal, el 23 % en estado de latizal, el 18 % en estado de monte bravo, el 12 % en estado de repoblado y el 5 % son terrenos talados donde no se ha vuelto a plantar. La comarca presenta un clima atlántico oceánico, propicio para el crecimiento del *Pinus radiata* por las abundantes precipitaciones. Las plantaciones se sitúan, por lo general, en laderas por debajo de los 600-700 m de altitud (Figuras 2 y 3).

2.2 Datos LiDAR

Los datos LiDAR fueron capturados entre los meses de julio y agosto de 2012 mediante un sensor de pulsos discretos LMS-Q680 y una densidad de 0,5 puntos/m², en el marco del PNOA. Los datos han sido distribuidos por Eusko Jaurlaritza-Gobierno Vasco en ficheros de formato LAS, de 2 x 2 km, clasificados de forma automática.

Los puntos identificados como suelo fueron utilizados para crear un modelo digital de elevaciones (MDE) con un paso de malla de 1m, para lo cual se empleó el comando “*GridSurfaceCreate*” del software FUSION. Este MDE fue necesario para normalizar las alturas de la nube de puntos LiDAR. Dichas nubes fueron recortadas utilizando radios de 15 y 25 m a partir de las coordenadas del centroide de parcela que indica el IFN4, y se extrajeron un conjunto de variables independientes relacionadas con la altura y la distribución de los retornos LiDAR, despreciando aquellos pertenecientes al sotobosque (por debajo de 3 m). Para ello se hizo uso de los comandos “*ClipData*” y “*Cloud Metrics*” de FUSION. El objetivo de recortar la nube de puntos y extraer las variables para dos tamaños de parcela diferentes, fue analizar el radio con el cual las estadísticas de la nube de puntos se ajustan mejor a los datos de biomasa obtenidos en las parcelas de campo del IFN4.

2.3 Datos de campo

A la hora de realizar un inventario forestal basado en la tecnología LiDAR, es necesario obtener previamente los datos de campo que posteriormente se relacionarán con las métricas de la nube de puntos. Para ello, hay que medir o inventariar *in situ* la altura y el diámetro normal de cada uno de los árboles de la parcela de campo, a partir de los cuales pueden obtenerse variables como la biomasa.

En este estudio, los datos de campo se han obtenido a partir de la selección de 51 parcelas del IFN4 del año 2011, teniendo en cuenta los siguientes requisitos: 1) encontrarse sobre masas homogéneas y de origen artificial, establecidas por plantación y con tratamiento de monte alto; 2) ser coetáneas (al menos el 90 % de los pies tienen la misma edad individual) o regulares (al menos el 90 % pertenecen a la misma clase artificial de edad) y tener más del 80 % de ocupación de *Pinus radiata*; y 3) presentar una distribución espacial uniforme (el estrato arbóreo es continuo en el espacio). También se evaluó el error posicional derivado de las coordenadas del centroide de la parcela, tomadas durante las tareas de elaboración del IFN4. Para conocer este error se buscaron los rejonos de 10 parcelas del IFN4 en masas de *Pinus radiata* de los valles cantábricos de Álava y Bizkaia, y se tomaron en campo sus coordenadas con un GPS diferencial de alta precisión. Tras comprobar que entre las coordenadas del IFN4 y las coordenadas de los centroides de parcela puede existir una diferencia de hasta 9 m, se estableció un margen de error de 10 m, que permitió seleccionar las 51 parcelas de campo del IFN utilizadas en este trabajo.

En las parcelas seleccionadas se calculó la biomasa de cada pie de pino utilizando la ecuación alométrica de Montero *et al.* (2005) (1). La biomasa de cada pie se ponderó por el factor de expansión del IFN que le corresponde por su rango diamétrico. Con la suma de la biomasa de todos los pies de pino ponderados se obtuvo la biomasa en kg/ha.

$$Biomasa (Kg) = CF * e^{-2,61} * Dn^{2,49} \quad (1)$$

Donde CF es el factor de corrección ($CF = e^{SEE^2/2}$); SEE es el error estándar de la estimación; e es el número de Euler y Dn es el diámetro a la altura del pecho en cm.

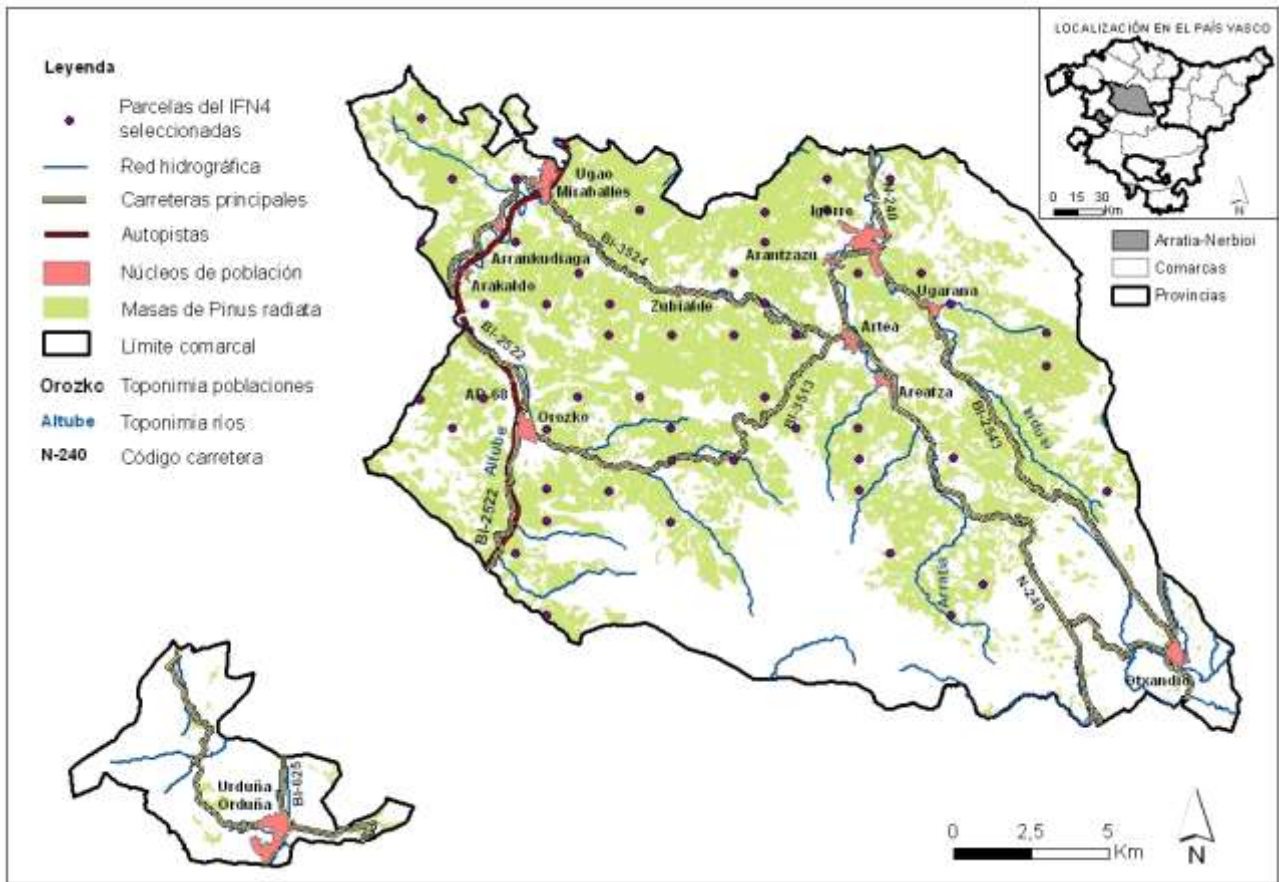


Figura 1. Área de estudio con la localización de las 51 parcelas de campo del IFN4 seleccionadas.



Figura 2. Plantaciones forestales de *Pinus radiata* en Pagomakurre (Areatza). Foto: I. Lekuona.



Figura 3. Interior de una masa de *Pinus radiata* en Urigoiti (Orozko). Foto: I. Lekuona.

2.4 Construcción del modelo de estimación de la biomasa

En primer lugar, se realizó un análisis de correlación de *Spearman* entre los valores de biomasa y las variables LiDAR, empleando parcelas de campo con radios de 15 y 25m (Figura 4). A partir de estas correlaciones se

eligió el radio más adecuado y se llevó a cabo un análisis multivariante de regresión lineal. Para seleccionar el modelo más adecuado, se consideraron el coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado) y la significación estadística. Se comprobó el cumplimiento de las hipótesis básicas de los modelos de regresión lineal y finalmente, al modelo se le aplicó una validación cruzada dejando un dato fuera.

2.5 Representación cartográfica de la biomasa

El modelo final de biomasa se utilizó para generar la cartografía de las masas de *Pinus radiata* de la comarca Arratia-Nerbioi. Se probaron dos resoluciones de píxel con un tamaño similar a la superficie de las parcelas circulares de campo, siguiendo el método basado en áreas (Gutiérrez *et al.*, 2013). Mediante un análisis de correlación entre la biomasa calculada en cada parcela y la predicha por cada píxel, según su resolución, se determinó cuál era el paso de malla más apropiado para la cartografía final.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La biomasa media calculada en las parcelas fue de 158,08 tn/ha. Las correlaciones entre la biomasa y los estadísticos LiDAR en parcelas de 15 y 25 m de radio resultaron ser muy similares, siendo ligeramente mejores las obtenidas con 25 m, tal como se puede observar en la Tabla 1.

| Variables LiDAR derivadas de los retornos | Parcela IFN de 15m de radio | Parcela IFN de 25 m de radio |
|---|-----------------------------|------------------------------|
| Elev. máxima | 0,82** | 0,80** |
| Elev. media | 0,80** | 0,80** |
| Varianza | 0,70** | 0,73** |
| Asimetría | -0,62** | -0,71** |
| Percentil 40 | 0,80** | 0,80** |
| Percentil 60 | 0,81** | 0,82** |
| Percentil 75 | 0,83** | 0,84** |
| Porcentaje de primeros retornos sobre la altura media | 0,47** | 0,50** |
| Porcentaje de retornos por encima de 3m | 0,36** | 0,39** |

Tabla 1. Coeficientes de correlación de Spearman entre la biomasa y las variables LiDAR en parcelas de 15 y 25m de radio. **: La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

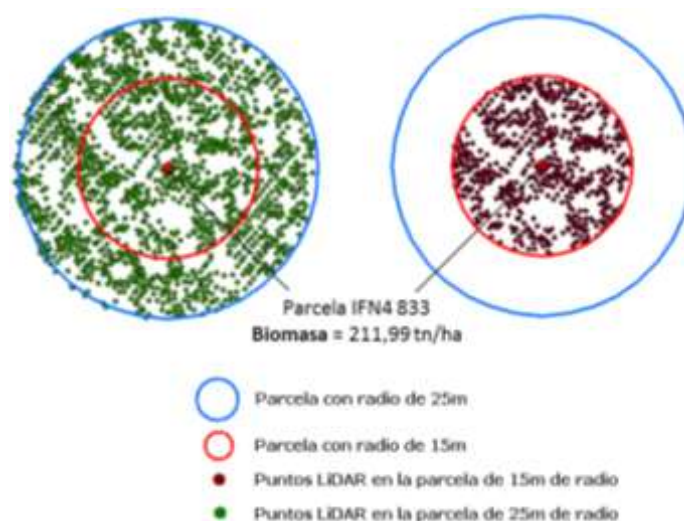


Figura 4. Ejemplo del recorte de la nube de puntos LiDAR para dos radios de parcela diferentes (15 y 25 m).

El modelo de regresión lineal obtenido (2) incluyó dos métricas LiDAR: la elevación máxima y la asimetría de la distribución de las alturas de los retornos. La altura máxima de los puntos tiene una relación directa con la biomasa (la biomasa es mayor en parcelas con pies más altos, en estado de fustal), mientras que la asimetría tiene una relación inversa (los valores más altos de biomasa implican una concentración de puntos en los valores altos de altura). Al modelo se le aplicó una transformación logarítmica inversa, puesto que fue construido con la variable dependiente transformada con objeto de cumplir las hipótesis estadísticas básicas.

$$\text{Biomasa} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{ha}} \right) = 1,063 * 31984,29 * e^{(0,050 * \text{Elev.máxima})} * e^{(-0,370 * \text{Asimetría})} \quad (2)$$

El modelo presenta un R^2 de 0,67 y un Error Cuadrático Medio (ECM) de 0,34 kg/ha. El sesgo presenta un valor de 0,08.

Teniendo en cuenta que se han utilizado los datos del IFN4, los cuales presentan cierto error posicional y de medida, se considera que el modelo obtenido tiene un buen ajuste. Por ejemplo, González *et al.* (2012) obtuvieron para unas masas de *Pinus radiata* en Galicia un ajuste similar (R^2 de 0,68) en el modelo de estimación de biomasa, en el que también se refleja la relación inversa de la asimetría con la biomasa.

El presente trabajo, que ha resultado ser una aproximación a escala comarcal de la relación entre el IFN4 y los datos del LiDAR-PNOA, podría mejorarse ampliando la zona de estudio y, por consiguiente utilizando más parcelas de campo, pasando de una intensidad de muestreo de 0,05% (con 51 parcelas) a un 10% como sugieren Gutiérrez *et al.* (2013) para la realización de inventarios con LiDAR.

Una vez obtenido el modelo final, se aplicó en dos resoluciones de píxel diferentes: 45 y 50 m de lado. El análisis de correlación entre la biomasa de cada parcela y la predicha para los dos tamaños de píxel (0,81 y 0,75, respectivamente), determinó como más adecuado el píxel de 45 m para realizar la cartografía final (Figura 5).

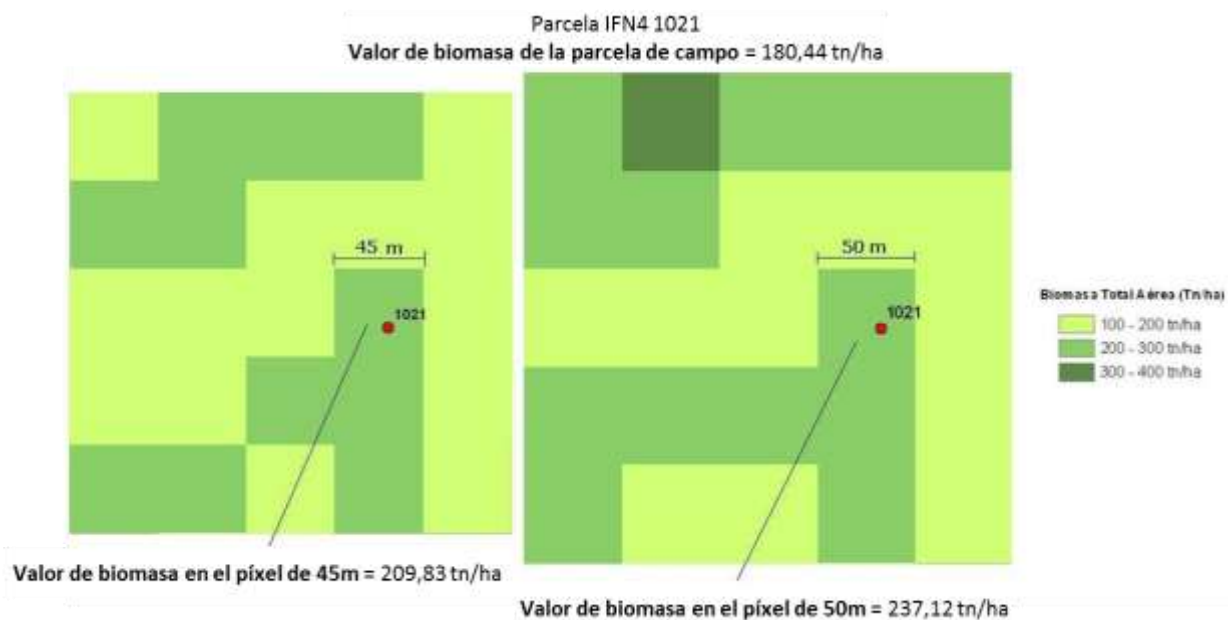


Figura 5. Ejemplo sobre las diferencias en el valor de biomasa estimado para cada resolución (píxel de 45 y 50m). El valor de biomasa de la parcela del IFN4 es el mismo, pero el del píxel sobre el que se sitúa es diferente dependiendo de su tamaño.

Los resultados obtenidos para el conjunto de la comarca Arratia-Nerbioi muestran un valor medio de biomasa de 134,04 tn/ha y un valor máximo de 656,82 tn/ha. Destaca especialmente la zona del valle de Zeberio (Figura 6).

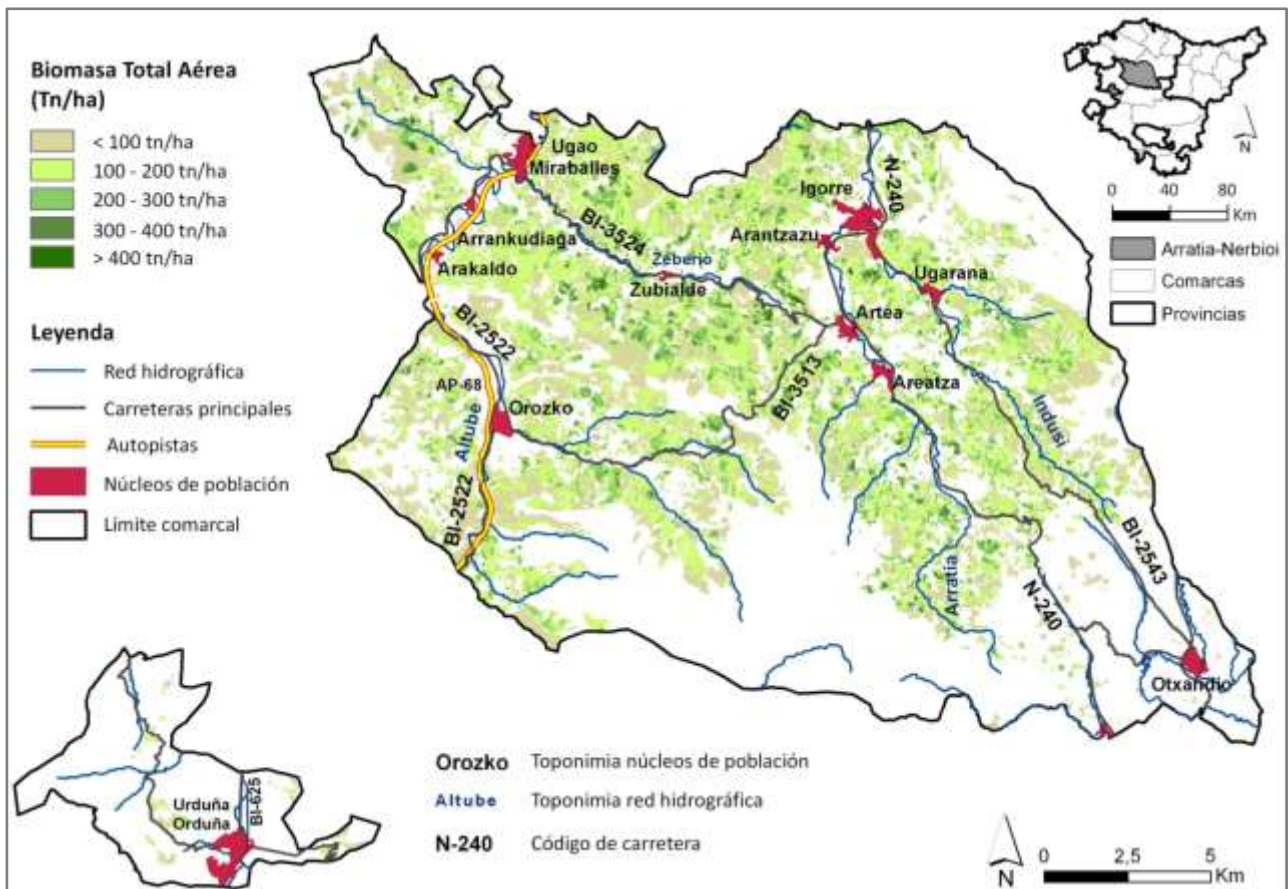


Figura 6. Distribución de la biomasa en la comarca Arratia-Nerbioi (Bizkaia) de acuerdo con el modelo de regresión seleccionado.

4. CONCLUSIONES

Los resultados del trabajo demuestran la utilidad de los datos del IFN4 combinados con los datos LiDAR-PNOA de baja densidad para la construcción de un modelo de estimación de la biomasa. La disponibilidad de datos capturados con esta tecnología LiDAR de manera continua para todo el territorio ha permitido realizar, mediante la aplicación de este modelo, una cartografía de la distribución de la biomasa en las plantaciones forestales de *Pinus radiata* de la zona de estudio. La utilización de los datos del IFN, ya disponibles, podría contribuir a planificar mejor el trabajo de campo y a conocer “desde gabinete” la distribución de la biomasa y otras variables estructurales útiles para la gestión forestal de estas plantaciones, cuya vocación es claramente productiva.

Sería deseable la aplicación de la metodología presentada en este trabajo a zonas más amplias e incluso sobre otras especies forestales. La disponibilidad en los próximos años de nuevas coberturas LiDAR del PNOA y la existencia de inventarios forestales periódicos constituye un aspecto relevante de cara a la gestión del bosque.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Alejandro Cantero de Hazi Fundazioa su apoyo durante el trabajo de campo llevado a cabo para determinar los centros de algunas de las parcelas del IFN4.

6. BIBLIOGRAFÍA

González, E., Diéguez, U., Miranda, D. (2012): “Estimation of stand variables in *Pinus radiata* D. Don plantations using different LiDAR pulse densities”, *Forestry*, 85, 2, pp. 281-292.

Gutiérrez, M., García, D., García, A., Martín, S., Núñez, M.V., González, C., Ayuga, E. (2013): *Reducción del número de parcelas de muestreo al incorporar información auxiliar LiDAR en la estimación de variables dasométricas*. 6º Congreso Forestal Español (6CFE01-482). Sociedad Española de Ciencias Forestales.

Hazi Fundazioa (2013): *Medir el bosque, comprender el paisaje*. Araba, Fundación Hazi Fundazioa.

MAGRAMA (2015): *El Inventario Forestal Nacional. Cincuenta años conociendo el Bosque*. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/inventario-cartografia/inventario-forestal-nacional/50_anios_IFN.aspx (último acceso, 23 de mayo de 2016).

Montealegre, A.L., Lamelas, M.T., de la Riva, J., García-Martín, A., Escribano, F. (2016): "Use of low point density ALS data to estimate stand-level structural variables in Mediterranean Aleppo pine forest", *Forestry*, 0, pp.1-10.

Montero, G., Ruiz-Peinado, R., Muñoz, M. (2005): *Producción de Biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles*. Monografías INIA: Serie Forestal nº13. Madrid. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Ministerio de Educación y Ciencia.

Valbuena, M. (2014): *Determinación de variables de forestales de masa y de árboles individuales mediante delineación de copas a partir de datos LiDAR aerotransportado. Aplicación a las masas de *Pinus sylvestris* L. en Álava*. Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de la Rioja.

Vermote, E., Elliot, E., Dubovik, O., Lapyonok, T., Chin, M., Giglio, L., Roberts, GJ. (2009): "An approach to estimate global biomass burning emissions of organic and black carbon from MODIS fire radiative power", *Journal of Geophysical Research*, 114, D18, pp. 205-227.

ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS RECURSOS EDUCATIVOS EN EXTREMADURA MEDIANTE HERRAMIENTAS SIG Y ANÁLISIS DE LOCALIZACIÓN ESPACIAL

Ana Nieto-Masot¹, Gema Cárdenas-Alonso¹, Ángela Engelmo-Moriche¹

¹Universidad de Extremadura/Facultad de Filosofía y Letras/ Departamento de Arte y Ciencias del Territorio/ Calle Av. De las Letras s/n, Cáceres, España.

ananieto@unex.es, gemacardenas@unex.es, anengelmo@alumnos.unex.es

RESUMEN

Atendiendo a las características demográficas y socioeconómicas de Extremadura y teniendo en cuenta el proceso de envejecimiento en el que se encuentra inmersa, así como la despoblación de sus áreas más desfavorecidas, se considera necesario cubrir las necesidades básicas de la población joven que puede ayudar a solucionar estos problemas. Por ello, se analizan en este trabajo, la oferta y la demanda de los equipamientos educativos en la región extremeña a través del estudio de su distribución espacial, la tipología de las plazas que se ofertan (educación infantil, primaria, secundaria, formación profesional y universitaria), su grado de ocupación y la relación con los indicadores más convenientes (índice de juventud, población por tramo educativo y actividad económica). Para ello se llevarán a cabo técnicas de análisis espacial y correlación de variables, a través de Sistemas de Información Geográfica y Análisis Multivariante, con el fin de comprobar si la distribución y la oferta de servicios educativos en la región es la adecuada, detectar posibles zonas con conflictos y si la población tiene los mismos derechos de acceso en condiciones de igualdad al sistema educativo con independencia de sus circunstancias personales, sociales, económicas o culturales.

Palabras clave: Recursos educativos; Localización Espacial, Sistemas de Información Geográfica, Análisis de Componentes Principales.

ABSTRACT

Attending to demographic and socioeconomic characteristics of Extremadura and taking into account the processes of aging and depopulation of its disadvantaged areas, to provide the needs of young people is necessary, because this population could solve the previous commented problems. For this reason, in this paper, the spatial distribution of supply and demand of educational equipment is analyzed, as well as the kind of places that are offered (childhood education, primary education, secondary education, vocational education and university education), the occupancy and its relation with the most appropriate indicators (youth rate, population by educational stretch and economic activity). Through Geographic Information Systems and Multivariate Analysis, spatial analysis techniques and correlation between several variables are developed. The objective is to prove if the distribution and the offer of educational services in Extremadura are appropriated and to detect potential conflictive areas, as well as if the whole population has the same rights with an equal educational system, regardless of personal, social, economic or cultural circumstances.

Key words: Educational resources; spatial localization; Geographic Information Systems; Principal Components Analysis.

1. INTRODUCCIÓN

Este artículo pretende analizar si existe un acceso equitativo de la población a los recursos educativos, tanto de educación obligatoria (educación infantil, primaria y secundaria) como no obligatoria (educación de menos de 2 años, bachillerato, formación profesional y universidad) dentro de la ordenación del sistema educativo español y más concretamente aplicado a territorios aislados, de baja densidad demográfica (donde el acceso a estos recursos está más limitado) y con un nivel de desarrollo económico menor a las medias de la UE, como es nuestra región de estudio, Extremadura.

Desde el punto de vista educativo, la Ley 4/2011, de 7 de marzo de Educación de Extremadura, única Ley educativa regional aprobada por unanimidad en un Parlamento Regional consensuada por los dos partidos políticos existentes en ese momento en la Asamblea de Extremadura (PP y PSOE), presenta claramente en su Artículo 4 el derecho a acceder en condiciones de igualdad al sistema educativo a todos los extremeños, con independencia de sus circunstancias personales, sociales, económicas o culturales, por ello la importancia de una buena distribución de los equipamientos educativos en la región, de tal manera que la accesibilidad a ellos sea la más adecuada. La planificación de la Red de Centros de Extremadura se debe llevar a cabo de manera que preste un servicio de calidad, atendiendo a las necesidades de todos los extremeños. De la organización territorial de los centros educativos en Extremadura se encarga la administración regional, de tal modo que, teniendo en cuenta el criterio de proximidad a los ciudadanos, se establece una distribución que garantice una escolarización de calidad, desde centros de educación infantil, primaria y secundaria a centros de educación de personas adultas, centros de profesores y recursos, conservatorio profesional de música, escuela oficial de idiomas y las tres modalidades de bachillerato, siempre atendiendo a las características demográficas y a la demanda social de los servicios. Respecto a la Educación Superior o Universitaria, las Facultades pertenecen a la Universidad de Extremadura y las encontramos en las principales ciudades (Badajoz, Cáceres, Mérida, Plasencia y Almendralejo, con un centro asociado). No se puede olvidar el papel que en este caso presenta la escuela rural debido a la dispersión de la población de Extremadura que exige una especial atención en la planificación educativa con el fin de recibir una educación en igualdad de oportunidades y en similares condiciones de calidad al resto del alumnado.

Estos esfuerzos se han incrementado desde las transferencias educativas con la ampliación de la Red de Centros con el objetivo de que todos los alumnos extremeños tuvieran un centro de Educación Primaria y Secundaria lo más cercano posible a su localidad y con amplia oferta educativa en los distintos niveles. Mencionar como ejemplo del esfuerzo por lograr este objetivo, que de los 100 Centros Educación Secundaria existentes antes de las transferencias educativas (en el año 2000) se pasó a 148 en el año 2010.

El interés de este trabajo radica en describir estadística y geográficamente la distribución espacial de estos centros educativos para localizar inequidades espaciales.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Debido a la existencia de desequilibrios intrarregionales en numerosos territorios se han realizado estudios que potencian la distribución de medios por parte de los poderes públicos para atenuar las desigualdades entre las clases socio-espaciales, dejando a un lado ciertos aspectos económicos y favorecer, en lo posible, la equidad y la justicia social (Moreno, 1999), plasmando la necesidad de diseñar una configuración espacial mejorada de la ordenación de los equipamientos para dar respuesta a las desigualdades en la calidad de vida de la población (Moreno, 2007), en la necesidad de la equidad a la hora de distribuir recursos públicos (Benson, 2001), en la disminución de las diferencias entre unas áreas más o menos desarrolladas (Harvey, 1977) o en el acceso a determinados recursos primordiales como los educativos y sanitarios (Nieto y Cárdenas, 2015a).

Por ello, se pueden destacar dos tipologías de trabajos más relacionados con este estudio, los desarrollados para lograr una óptima distribución de recursos en el sector sanitario como son los realizados por Gutiérrez y García (2002), Escalona y Díez (2003), Fuenzalida (2010) o Rodríguez (2011) y en el educativo, por Pitarch (2000), Talen (2001), Oberty (2007), Sabuda (2007) o De La Fuente et al (2013).

También, mencionar estudios que utilizan las metodologías empleadas para analizar la concentración de patrones espaciales de incendios forestales mediante el uso del índice de Getis Ord (Pompa y Hernández, 2012) o los análisis de redes en tiempos mínimos de coste de transporte como Gutiérrez et al (1993) y Mora et al (2003).

3. ÁMBITO DE ESTUDIO

Extremadura cuenta con unas características poblacionales, territoriales y económicas que le han condicionado a sumirse en un importante retraso socioeconómico respecto a otras regiones españolas y

europeas, a pesar de ofrecer un legado histórico, natural y cultural de valor incuestionable. La región posee poco más de 1 millón de habitantes y una densidad de población de 27 hab/km², largas distancias entre sus extremos y una economía aún muy dependiente del sector agrario, éste representa aún el 10% en el empleo regional y el 8% del Valor Añadido Bruto (Nieto y Cárdenas, 2015b).

Dentro del propio espacio extremeño, también existen diferencias territoriales, con municipios más desarrollados y dinámicos que se localizan en las zonas agrarias más productivas y mejor comunicadas de la región, y de manera opuesta, áreas muy rurales que se localizan en una franja periférica, aislada y menos accesible, con densidades de población que no ocupan, en algunos casos los 10 hab/km² y en las que su población no ve satisfechas sus necesidades respecto a calidad de vida y bienestar social y se traslada a aquéllas áreas urbanas o cabeceras comarcales que ofrecen mejores oportunidades socioeconómicas y de equipamientos básicos, como es el caso de los educativos.

4. METODOLOGÍA

Técnicamente se han utilizado métodos de análisis estadístico (Análisis de Componentes Principales) y Sistemas de Información Geográfica para generar un índice que indique dónde se localizan los municipios en los que existe mejor oferta educativa, detectar las agrupaciones espaciales de estos equipamientos (mediante el Índice local de Moran y el Análisis de Punto Caliente) y si estos óptimos espacios están bien distribuidos en el territorio extremeño, a través del cálculo de tiempos mínimos de acceso a los mismos.

Los datos **cartográficos** utilizados proceden de instituciones oficiales españolas. Son el Mapa Oficial de Carreteras de 2013 del Ministerio de Fomento y la cartografía municipal de la BTN 1: 100.000 del Instituto Geográfico Nacional.

Los datos **alfanuméricos** para el análisis estadístico se han obtenido de diversas fuentes y se han codificado a nivel municipal, partiendo de un identificador común, el Código INE. Son los siguientes: los datos **educativos**, que se han obtenido de la Consejería de Educación de la Junta de Extremadura, han sido proporcionados en una base de datos con todos los Centros de Extremadura, su número de matrículas y unidades (aulas en funcionamiento con la asignación de al menos un profesor por cada 25 alumnos en primaria y 30 alumnos en secundaria). Estos datos se han agrupado en una Base Datos Access a nivel municipal y por etapas educativas: enseñanza no obligatoria hasta 2 años, educación infantil (3-5 años), educación primaria (6-11 años), educación secundaria obligatoria (12-15 años), bachillerato, formación profesional y universidades. Se han añadido otros datos complementarios para relacionar posteriormente la localización de los recursos educativos con otras variables de contexto: **demográficas**, obtenidas a través del Padrón del INE (Instituto Nacional de Estadística) con datos de población y los índices de juventud y de vejez; variables **socioeconómicas**, que se han extraído del Atlas Socioeconómico de Extremadura 2014, obteniéndose índices económicos como los de Actividad comercial, Actividad industrial, de Restauración y bares e Índice de Productividad, así como el PIB por habitante y los presupuestos municipales transferidos por la Administración General del Estado; variables de **ocupación del suelo**, con el cálculo de la superficie de regadío y de viñedo y olivar extraídas del Corine Land Cover del año 2012; y variables **físicas**, como es la pendiente, la cual se ha obtenido con la creación de un Modelo Digital del Terreno a partir de la capa cartográfica con información altimétrica (curvas de nivel) a escala 1:100.000 (BTN100).

Como herramienta de trabajo se utilizó el Sistema de Información Geográfica ArcGis 10.3 para la representación y el análisis espacial, y para el estadístico se usó el software SPSS 22.

4.1. Análisis factorial de componentes principales.

A través del Análisis de Componentes Principales se determina el grado de correlación entre variables que configuran la oferta educativa (unidades y matrículas con la población joven concentrada en esos municipios y el ratio máximo que podían tener por unidad: 25 alumnos en Primaria y 30 en Secundaria) y otras variables de contexto como, el índice de juventud, vejez, tamaño y nivel económico para identificar estructuras territoriales con diferentes comportamientos en cuanto a la localización de los recursos educativos. Este análisis multivariante facilita la posibilidad de localizar los municipios con mayores pesos en las variables

escogidas (educativas, demográficas, físicas y socioeconómicas), descubrir las relaciones causa-efecto de unas variables en las que intervienen factores externos (Uriel, 1995), así como reducir el conjunto amplio de variables originales a un número menor de componentes, independientes entre sí, ordenados por poder explicativo y definidos por las interrelaciones entre las mismas (Pallarès et al, 2004).

Para llevar a cabo el análisis estadístico, las variables elegidas debían ser objetivas y neutras, por lo que todas se expresaron en tasas o porcentajes y las educativas, como se ha comentado en párrafos anteriores, se ponderaron en relación con la población joven. Se realizaron todos los análisis prospectivos necesarios hasta llegar a una matriz considerada como óptima con las variables más representativas, como son las matrículas en las diferentes etapas educativas por estratos de población; el nivel de formación de la población; los índices de juventud, dependencia y envejecimiento; los principales indicadores económicos como el PIB, Cuota de Mercado o Presupuestos Municipales; y los usos del suelo de regadío, olivar y viñedo. Se calculó además la medida de adecuación muestral de Kaiser, Meyer y Olkin (Castro y Galindo, 2000) más conocida como KMO, para validar la adecuación de las variables obtenidas.

4.2. Análisis de Patrones de Localización Espacial.

Una vez obtenidos los municipios que concentran las funciones educativas (los mayores pesos en el Componente 1 del ACP) se introdujo una serie de indicadores espaciales para comprobar si existen patrones de localización.

Mediante la autocorrelación espacial, con el cálculo de la I de Moran, se permite identificar el tipo de asociación existente entre unidades espaciales vecinas a través de la comprobación de los valores de las variables muestreadas en puntos cercanos, si son independientes o no, o dicho de otro modo, cuando muestras próximas entre sí exhiben valores más parecidos que con muestras más alejadas. La asociación significativa puede no darse en toda la región, si no sólo en determinadas zonas, por lo que se ha de recurrir a los denominados indicadores locales de asociación espacial o indicadores LISA (*Local Indicator of Spatial Association*), que tienen como objetivo que el estadístico obtenido para cada zona suministre información acerca de la relevancia de valores similares alrededor de la misma. Por ello, se utilizará el indicador I Anselin local de Moran, con el que se pueden identificar zonas con presencia alta de miembros de un grupo rodeadas de zonas con presencia también alta (situación *High-High*), o bien zonas con presencia alta rodeadas de unidades con presencia baja (situación *High-Low*). Asimismo, también se permite la detección de zonas con presencia baja rodeadas de unidades también con presencia baja (situación *Low-Low*), o bien zonas de presencia baja rodeadas de unidades con presencia alta de la variable analizada (situación *Low-High*). Por último, también se pueden detectar zonas sin asociación espacial significativa (Anselin, 1995).

Por otro lado, el análisis de Getis-Ord indica si las funciones con valores altos o valores bajos tienden a concentrarse en un área de estudio identificando clusters espaciales estadísticamente significativos de valores altos (puntos calientes) y valores bajos (puntos fríos). Si el valor de una función es alta y los valores de todos sus vecinos también, nos encontramos ante un punto caliente. El resultado es una puntuación Z, para las puntuaciones positivas estadísticamente significativas, mayor será la puntuación Z y, consecuentemente, más intensa la agrupación de valores altos. Las Puntuaciones Z son medidas de desviación estándar, por ejemplo, si una herramienta devuelve una puntuación Z de 2,5 se interpreta como "2,5 desviaciones estándar de la media" (Getis and Ord, 1992).

4.3. Análisis de Accesibilidad

El modelo de Análisis de Redes se fundamenta en la teoría de grafos. Los grafos son una colección de nodos que en este estudio son los centroides del núcleo principal de los municipios extremeños, conectados por aristas, en este caso las carreteras de la región (no se ha tenido en cuenta el transporte aéreo ni el ferroviario por la escasa utilización que se hace de ellos). Lo esencial es a qué nodo está unida cada una de las aristas, no tanto la forma de las aristas ni la posición de los nodos.

El cálculo del **tiempo de acceso mínimo** de cada localidad a la cabecera con recursos educativos más próxima mostrará un modelo ideal en el que la población siempre se acerca al núcleo más cercano sin tener en cuenta las funciones que desempeña ni la competencia con otros núcleos aunque más alejados. La expresión es la siguiente:

$$TAM_i = \min(IR_{ij}) \forall j$$

donde se averigua el tiempo mínimo de cada nodo i a la cabecera comarcal más cercana (nodo j).

5. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El ACP definitivo se realizó con 21 variables, donde las de mayor explicación se refieren a **variables económicas** como la Cuota de Mercado, los Ingresos Municipales, el PIB y el Índice de Actividad Económica, a **variables educativas** como el número de matrículas y unidades totales y el número en educación primaria, infantil, formación profesional y bachillerato y a las **variables demográficas**, como son los índices de vejez y de dependencia, todas ellas con un valor de explicación superior a 0,85. Un segundo grupo, con valores entre 0,85 y 0,7 son el índice de juventud, las matrículas en ESO y los usos del suelo. Por último, las de menor explicación y más complejas son los niveles de formación y las matrículas en educación infantil menor de 3 años (Tabla 1). El resultado obtenido de método KMO fue 0,817, por lo que la decisión de hacer el ACP con las variables es muy buena (superior a 0,75 (Hair, 2001)). También se obtuvieron tres componentes principales con un total del 60,2% de la varianza explicada, por lo que se considera suficiente para explicar la muestra analizada, aunque con un valor no excesivamente alto debido a la complejidad del territorio extremeño, con una importante variabilidad demográfica, social, económica y natural.

Tabla 1: Comunalidades y Componentes Principales del ACP. Elaboración Propia.

| Variables | Comunalidades | Comp. 1 | Comp. 2 |
|--|---------------|-------------|-------------|
| Número de Matrículas por población menor de 20 años | ,971 | ,723 | ,619 |
| Cuota de Mercado | ,964 | ,792 | - ,534 |
| Ingresos Municipales | ,963 | ,807 | - ,519 |
| Porcentaje de Población respecto al total de Extremadura | ,953 | ,772 | - ,552 |
| Índice de Actividad Económica | ,937 | ,725 | - ,517 |
| PIB | ,936 | ,066 | - ,087 |
| Número de Matrículas de Educación Primaria por población entre 6-11 años | ,923 | ,401 | ,639 |
| Número de Unidades por población menor de 20 años | ,922 | ,456 | ,693 |
| Índice de Vejez 2014 | ,916 | -,595 | - ,313 |
| Índice de dependencia 2014 | ,883 | -,503 | - ,312 |
| Número de Matrículas de Educación Infantil (3-5 años) por población entre 3-5 años | ,878 | ,329 | ,606 |
| Número de Matrículas de Formación Profesional por población entre 16 -20 años | ,876 | ,712 | ,173 |
| Número de Matrículas de Bachillerato por población entre 16 -20 años | ,864 | ,694 | ,199 |
| Índice de Juventud 2014 | ,844 | ,461 | ,294 |

| | | | |
|--|------|-------------|-------------|
| Número de Matrículas de Educación Secundaria Obligatoria por población entre 12 -15 años | ,804 | ,598 | ,367 |
| Porcentaje de Superficie de Olivar | ,785 | ,383 | - ,172 |
| Porcentaje de Superficie de Viñedo | ,779 | ,342 | - ,209 |
| Porcentaje de Superficie de Regadío | ,715 | ,749 | - ,331 |
| Nivel de Formación de 3º Grado | ,398 | ,558 | - ,185 |
| Nivel de Formación de 2º Grado | ,339 | -,085 | ,438 |
| Número de Matrículas de Educación Infantil (0-2 años) por población entre 0-2 años | ,331 | ,420 | - ,012 |

El Componente 1 (Tabla 1) viene definido por **variables educativas** como la localización de mayor número de matrículas y unidades totales, de bachillerato, formación profesional, ESO y de educación primaria e infantil menor de 2 años por estratos de población, también por los **principales indicadores económicos** como los presupuestos municipales, la cuota de mercado y el índice de actividad económica, el **índice de juventud** y los **usos del suelo** de regadío. En el Componente 2 tienen valores altos la **educación infantil y primaria**, pero a medida que subimos de nivel educativo presentan peores resultados.

Los municipios que obtienen mayores pesos factoriales en el Componente 1 son 22, con un rango que va desde +13.7 hasta los + 0.25, en orden decreciente: Badajoz, Cáceres, Mérida, Plasencia, Don Benito, Villanueva de la Serena, Almendralejo, Navalmoral de la Mata, Jerez de los Caballeros, Zafra, Olivenza, Azuaga, Coria Trujillo, Castuera, Miajadas, Albuquerque, Montijo, Cabeza del Buey y Alcántara (Figura 1). Son los que presentan mayores funciones educativas y económicas de Extremadura.

En los valores negativos del Componente 1 se han obtenido altos pesos factoriales en las variables de Índice de Envejecimiento y la Tasa de Dependencia. Los municipios que presentan altos valores negativos se localizan en las zonas de montaña, penillanura y los límites de la región extremeña, áreas más despobladas, con un nivel de desarrollo económico menor y alejadas de las principales vías de comunicación (Figura 1).

El comportamiento de este Componente 1 es bipolar con dos grupos opuestos, con áreas más desarrolladas, jóvenes y con mejores recursos educativos, sobre todo en cuanto a educación superior, en los valores positivos, frente a áreas envejecidas y en regresión económica y de equipamientos, en los valores negativos.

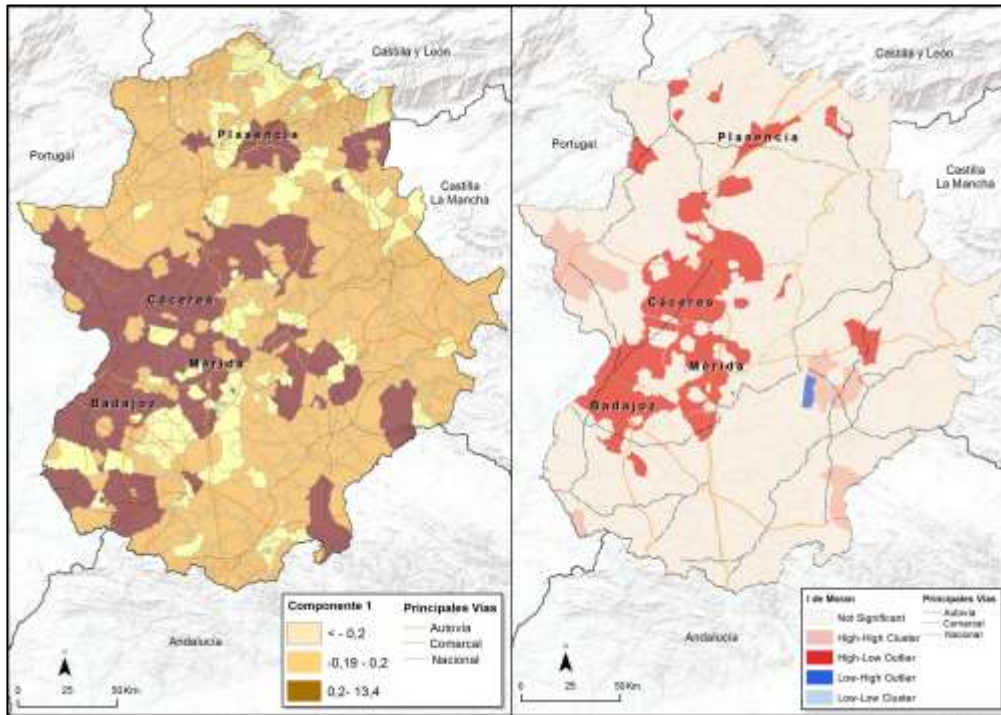


Figura 1: Localización del Componente 1 y Análisis I Anselin Local de Moran. Elaboración Propia

Con el cálculo de los índices de Localización Espacial se han obtenido mejores resultados con el método de la I Local de Moran (Figura 1) que con el Análisis de Getis-Ord (Figura 2). Con el Método de la I local de Moran se obtienen patrones de localización espacial con alta significancia en las zonas centrales y urbanas de Extremadura que además presentaban los mejores indicadores de Extremadura en el Componente 1, y están situadas en las Vegas del Guadiana y Vegas del Árrago y del Tiétar en el Norte de Cáceres. Son municipios que presentan altos valores Z superiores a 2,58 por lo que indica que estas entidades tienen valores similares. Se representan en la leyenda en color rojo y con la simbología HL (Valores Alto - Bajo) porque las entidades circundantes presentan valores bajos en este índice educativo (pesos factoriales de los municipios en el Componente 1 del ACP). Solamente en estas zonas centrales y bien comunicadas de Extremadura podríamos afirmar que existen clusters o concentraciones espaciales de oferta educativa por estos valores superiores a 2,58, por lo que se puede concluir que la concentración no es aleatoria con un nivel de confianza del 99% bajo el supuesto de una distribución normal en estas áreas (Anselin, 1995, Goodchild, 1987).

En la Figura 2, el Análisis de Punto Caliente de Getis Ord muestra cómo todavía se concentra más la localización de la oferta educativa, solamente obteniéndose valores superiores con más de un 95 % de coincidencia en los 7 municipios con valores más altos en el índice educativo (con pesos factoriales > 1,7 en el Componente 1 del ACP) y que se localizan además en la franja central de la región y alrededor de las dos principales vías de comunicación existentes (las autovías a Madrid y la Ruta de la Plata). Sólo en estos 7 municipios se podría afirmar que existen clusters o alta concentración espacial de los recursos educativos (Ord and Getis, 1995).

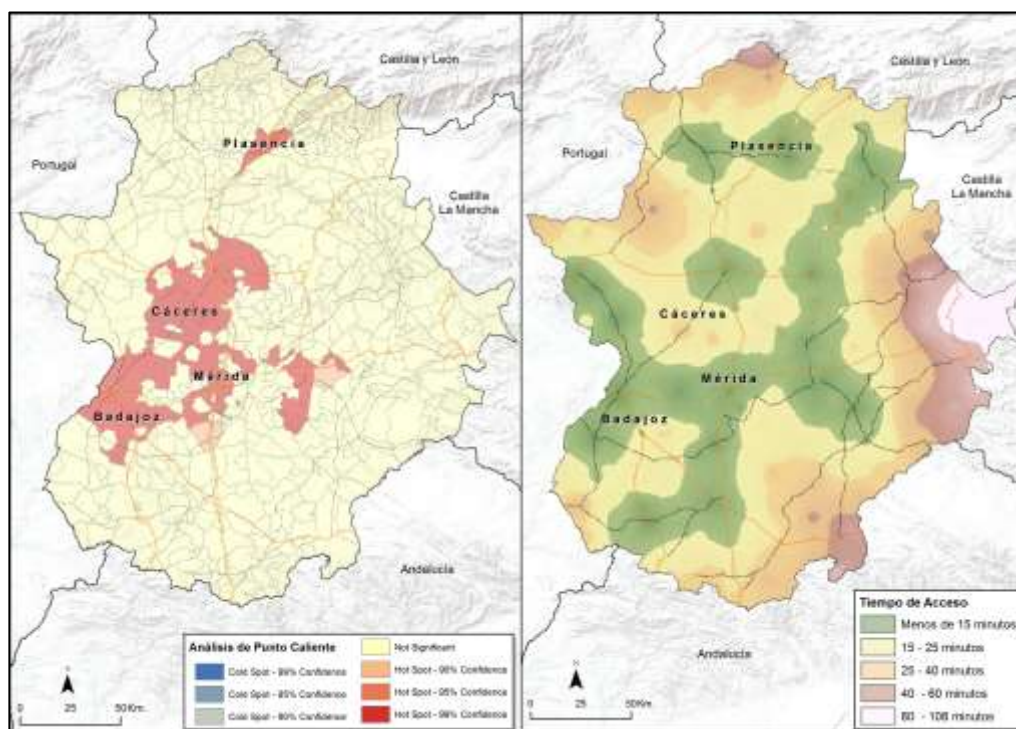


Figura 2: Análisis de Punto Caliente de Getis Ord y Tiempo de Acceso Mínimo a los núcleos con mayor peso en el Componente 1. Elaboración propia

Con el cálculo del **tiempo de acceso mínimo** (Figura 2) se muestra el grado de lejanía de todos los núcleos a los 22 que obtuvieron mayores puntuaciones en el Componente 1 del Análisis de Componentes Principales. Se localiza una serie de debilidades en las zonas cercanas a las delimitaciones fronterizas, sobre todo en la frontera de Castilla La Mancha, en las zonas de montaña de Las Villuercas (provincia de Cáceres) y en La Siberia (provincia de Badajoz) donde el tiempo de desplazamiento es superior a 90 minutos. También se localizan zonas que presentan debilidades en las áreas de montaña del Norte de Cáceres, del Sureste de la provincia de Badajoz y el límite con Portugal de la comarca de Alcántara en la provincia cacereña. En el área central de Extremadura, ligeramente desviada hacia la izquierda por la fuerza de atracción del municipio de Badajoz, se obtienen los mejores resultados de accesibilidad. Es donde los alumnos tienen mayores posibilidades de estudiar todos los niveles educativos obligatorios o no, con mayor oferta de formación profesional y universitaria.

6. CONCLUSIONES

Desde hace décadas, en Extremadura, al igual que en otras regiones rurales, se ha venido buscando una ordenación territorial equitativa de equipamientos públicos con el objetivo de disminuir los desequilibrios interregionales y frenar los procesos de envejecimiento y emigración. Entre ellos podemos destacar los numerosos esfuerzos en la ordenación educativa con la consolidación de una Red de Centros que, sobre todo desde el traspaso de las competencias en esta materia a la región se ha ampliado considerablemente por considerar que su oferta era menor (mencionar que sólo la oferta en Educación Secundaria se incrementó en un 32 % del 2000 al 2010 al construirse 48 nuevos centros en una sola década).

Con este trabajo se han detectado que todavía existen deficiencias de la oferta en educación secundaria obligatoria y la complementaria de educación no obligatoria (educación infantil hasta los 2 años, distintas opciones de bachillerato, módulos de formación profesional y hasta la enseñanza universitaria) en determinadas áreas de la región: áreas limítrofes, peor situadas en la red de comunicaciones extremeña y en zonas de peor acceso, como las ubicadas en los sistemas montañosos. Son los municipios que obtenían pesos factoriales negativos en el Componente 1 y 2 del ACP y que posteriormente con los análisis de

accesibilidad y de localización espacial se ha comprobado que están alejados, en algunos casos a más de 30 minutos a los municipios donde se localizan la oferta óptima de recursos educativos.

Los municipios que presentan los mejores resultados en oferta educativa son los 22 con mayores pesos factoriales positivos en el Componente 1 del ACP. Además con los índices de localización espacial de I de Moran y de Getis Ord comprobamos que presentan clusters o concentraciones espaciales de estos recursos en la franja central del territorio extremeño, ligeramente desplazada hacia el Este por la influencia del municipio de Badajoz, y donde se encuentran las mejores vías de comunicación (las autovías a Madrid y la Vía de la Plata) y las zonas agrarias más productivas del regadío.

Por lo tanto, se considera necesario seguir invirtiendo en la mejora en el acceso a los recursos educativos desde las zonas detectadas con peores resultados en los análisis estadísticos, potenciando sobre todo la mejora de la red de comunicaciones y el uso sostenible de los recursos ya existentes, y no la construcción de nuevos centros, lo que posibilitará una mejora en la justicia social y equidad espacial de estas poblaciones menos desarrolladas.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Anselin, L. (1995): "Local Indicators of Spatial Association—LISA", *Geographical Analysis*, 27 (2), pp. 93–115.
- Benson, J.S. (2001): "The impact of privatization on access in Tanzania", *Social Science & Medicine*, 52, pp. 1903–1915.
- Castro, J.A. y Galindo, M.P. (2000): *Estadística multivariante. Análisis de correlaciones*. Amarú Ediciones. Salamanca.
- De La Fuente, H.E., Rojas, C. y Salado, M.J. (2013): "Distribución de los equipamientos educativos. Evidencias de inequidad espacial en la educación del área metropolitana de Concepción", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-2, pp. 231-257.
- Escalona, A.I. y Díez, C. (2003): "Accesibilidad geográfica de la población rural a los servicios básicos de salud: estudio en la provincia de Teruel", *Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural*, 3, pp. 111-149.
- Flores, V. (2009): *Localización de instalaciones no deseables: Aportes desde la geografía a la instalación de rellenos sanitarios en el Área Metropolitana de Concepción*. Tesis para optar al título de Geógrafo. Concepción. Universidad de Concepción, p.128.
- Fuenzalida, M. (2010): "Análisis de desigualdades territoriales en la oferta de equipamientos públicos: El caso de los hospitales en la red asistencial del sistema público de salud en Chile", *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*, 2, pp. 111-12.
- Getis, A. y J.K. Ord. (1992): "The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics" *Geographical Analysis*, 24(3).
- Goodchild, M. (1987). "A spatial analytical perspective on geographical information systems". *International Journal of Geographical Information Systems*. Nº 1. pp. 327-334.
- Gutiérrez, J. y Monzón, A. (1993): "La accesibilidad a los centros de actividad económica antes y después del Plan Director de Infraestructuras". *Ciudad y territorio: Estudios territoriales*. Nº 97.
- Gutiérrez, J. y García, J. (2002): "Accesibilidad peatonal a la red sanitaria de asistencia primaria en Madrid", *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, Vol. extraordinario, pp. 269-280.
- Hair, J., Anderson, R., Tatham, R. y Black, W. (1999): *Análisis Multivariante*. 5ª Edición. Prentice Hall.
- Harvey, D. (1977): *Urbanismo y desigualdad social*. Madrid, España, Siglo XXI Editores S.A.
- Mora, J., Nogales, J.M., Gutiérrez, J.A. y Cortés, T. (2003): "Aplicación de técnicas SIG en la aplicación del transporte por carretera en Extremadura (España)". *Finisterra*. Vol. XXXVIII, 75, pp. 67-83.
- Moreno, A. (1999): "Justicia y eficiencia espacial como principios para la planificación: Aplicación en la provisión de servicios colectivos con SIG". *IX Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica*, pp.197-230.
- Moreno, A. (2007): "En torno a los conceptos de equidad, justicia e igualdad espacial", *Huellas*, 11, pp. 133-142.

- Nieto, A. y Cárdenas, G. (2015a): "Research on the accessibility to health and educational Services in the rural areas of Extremadura", *European Countryside*. 7th Volume, pp. 57-67.
- Nieto, A. y Cárdenas, G. (2015b): "El Método Leader como política de desarrollo rural en Extremadura en los último 20 años (1991-2013)". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*. Nº 69. pp. 139-162.
- Ord, J.K. and A. Getis. (1995). "Local Spatial Autocorrelation Statistics: Distributional Issues and an Application". *Geographical Analysis*, Nº 27.
- Pitarch, M. D. (2000): "Los modelos de planificación espacial de los servicios públicos: El caso de los servicios educativos", *Cuadernos de Geografía*, 67/68, pp. 119-136.
- Pompa, M. y Hernández, P. (2012): "Determinación de la tendencia espacial de los puntos de calor como estrategia para monitorear los incendios forestales en Durango, México". *Bosque*, 33(1), pp. 63-68.
- Rodríguez, V. (2011): "Medición de la accesibilidad geográfica de la población a los Hospitales de Alta Resolución de Andalucía mediante herramientas SIG basadas en el análisis de redes", *GeoFocus* (Artículos), nº 11, pp. 265-292.
- Sabuda, F; Ares, S. y Mikkelsen, C. (2005): "Calidad de vida y accesibilidad geográfica en la ciudad de Mar del Plata, primeros aportes", *X Jornadas Argentinas de Estudios de Población*, pp.1-7, Mar del Plata, Argentina.
- Talen, E. (2001): "School, community and spatial equity: An empirical investigation of access to elementary schools in West Virginia", *Annals of the Association of American Geographers*, 91, 3, pp. 465-486.
- Uriel, Enrique. (1995): *Análisis de datos: series temporales y análisis multivariante*. Madrid, Editorial AC.
- Villanueva, A. (2010): "Accesibilidad geográfica a los sistemas de salud y educación. Análisis espacial de las localidades de Necochea y Quequén", *Revista Territorio y Transporte*, 2, p. 23.

COMARCALIZACIÓN Y ORDENACIÓN TERRITORIAL DE EXTREMADURA

Ana Nieto-Masot, Ángela Engelmo-Moriche, Gema Cárdenas-Alonso

¹Universidad de Extremadura/Facultad de Filosofía y Letras/ Departamento de Arte y Ciencias del Territorio/ Calle Av. De las Letras s/n, Cáceres, España.

ananieto@unex.es; anengelmo@alumnos.unex.es; gemacardenas@unex.es

RESUMEN

La ordenación del territorio es una de las cuestiones más en boga actualmente, sin embargo, la organización óptima de los recursos y el acceso de la población a los mismos es uno de los grandes temas aún pendientes en Extremadura, porque sigue siendo considerada una región desordenada y desarticulada debido a las diferentes comarcalizaciones que existen en la actualidad.

En este estudio, se van a revisar las principales divisiones comarcales para detectar su grado de solapamiento y posteriormente se localizarán, aplicando una metodología basada en el análisis factorial de componentes principales, los núcleos que están ejerciendo en la actualidad como cabecera comarcal y que podrían actuar como centros de una futura y única organización comarcal. Para comprobar su diseño se añadirán modelos de accesibilidad y gravedad para localizar las áreas de influencia en función de la capacidad de atracción de estos centros de forma que quede estipulada una nueva organización que tenga en cuenta el desplazamiento de la población. Todos estos análisis y resultados se realizarán utilizando Sistemas de Información Geográfica y un software estadístico (ArcGis 10.3 y SPSS).

El interés de este trabajo se centra en detectar el solapamiento de las divisiones existentes y fomentar una nueva y única reorganización territorial de comarcas de prestación de servicios a la población, atendiendo a las características anteriormente mencionadas.

Palabras clave: Comarcas, Ordenación del Territorio, Sistemas de Información Geográfica; Análisis de Componentes Principales, Extremadura.

ABSTRACT

Territorial planning is quite in the spotlight nowadays. However, the optimal resource managements and public access to them is one of the outstanding topics in Extremadura, because it continues to be still as disorganized and disconnected region due to different partnerships that exists currently.

In this study, the objective is to review the partnerships that exist in the region in order to detect the degree of overlap and where are located, through a methodology based on Principal Component Analysis (PAC). Moreover, the principal population towns or regional head, which could prove as future centers of new planning, are studied as well. To check the design of all regional partnerships, accessibility and gravitational models are implemented to locate the areas of influence depending on the attractiveness of the main centers so that is stipulated a new planning to take into account the displacement of the population. All these analysis are made via Geographical Information Systems and statistic software (ArcGis 10.3 and SPSS).

The interest of this study is the detection of overlaps of partnerships and the creation of a new and unique territorial planning that offers services to the population, depending on the above characteristics.

Keywords: Partnerships; Spatial Planning; Geographic Information Systems; Principal Component Analysis; Extremadura.

1. INTRODUCCIÓN

La ordenación del territorio en los espacios rurales europeos es un área de estudio en continua actualidad debido a las problemáticas que presentan: son zonas en crisis, con pérdidas importantes de población, sobreenviejecimiento, menor desarrollo económico y con la posibilidad de desaparecer en las próximas décadas. Por ello, es una preocupación desarrollada por la Unión Europea desde hace décadas y plasmada en documentos como el Acta Única Europea (1986), la Agenda 2000 (1997) o más recientemente

la ETE (1999) que, partiendo de la diversidad regional (entre zonas rurales y urbanas principalmente), plantea la necesidad de reforzar la cohesión económica y social de los primeros creando un entramado urbano descentralizado, policéntrico y equilibrado que procure la colaboración e integración entre lo urbano y lo rural, puesto que ambos espacios articulan una unidad funcional y territorial. Por esto, la necesidad de una comarcalización con la que el mundo rural se inserte en una estrategia más amplia de ordenación territorial, donde la ciudad suministre todos los bienes y servicios al espacio rural integrado en su hinterland y conlleve a la fijación de la población aprovechando las ventajas que ofrecen las nuevas infraestructuras y la mejora de la accesibilidad.

En Extremadura existen numerosas comarcalizaciones debido a la descentralización administrativa nacional (transferencia de competencias educativas y sanitarias), las políticas de gestión de equipamientos públicos y sociales en municipios rurales menores mediante la creación de Mancomunidades Integrales de Desarrollo, agrupaciones de municipios que gestionan ayudas de fondos estructurales europeos desde los años 90 como es Leader, comarcas agrarias, partidos judiciales o comarcas de las Diputaciones Provinciales. Sin olvidarnos de las áreas comerciales, con influencia no sólo dentro de la propia región sino además con fuerza de atracción hacia otras localidades portuguesas incrementada en las últimas décadas con la aparición del Euro y la eliminación de las barreras fronterizas para el intercambio de personas, trabajo y bienes de consumo y servicios.

En el caso extremeño, todas las delimitaciones existentes se consideran de carácter administrativo, puesto que la finalidad de las mismas es aglutinar y regular una serie de servicios y equipamientos, sin embargo, gran parte de ellas se podría identificar, a la vez, con las históricas comarcas naturales, principalmente en el norte de la provincia cacereña, al tratarse de agrupaciones de municipios que comparten no sólo características físicas, si no también humanas e históricas, determinantes de sus paisajes históricos.

Estas excesivas delimitaciones comarcales, debido a su diseño y organización (existen municipios que pertenecen a distintas agrupaciones dependiendo del recurso que gestionen o algunos excesivamente alejados y mal comunicados del centro comarcal), no están logrando la equidad espacial o justicia social que necesita la población rural y debido a ello no se está mitigando la pérdida poblacional ni envejecimiento de los espacios menos desarrollados.

En este trabajo se plantea, primeramente, un estudio de las comarcas ya establecidas y, en segundo lugar, localizar los núcleos extremeños que están actuando como cabeceras comarcales, pues se agrupan en ellos los principales equipamientos públicos y económicos y, mediante diversos análisis de accesibilidad, comprobar si podrían ser la base para una nueva estructura comarcal.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

La necesidad de una ordenación comarcal eficiente para la gestión de recursos es una preocupación latente que aparece en la Constitución Española y cuya competencia para desarrollarla e implementarla recae en las Comunidades Autónomas. Por ello, existen experiencias en distintas administraciones regionales, como en Cataluña, donde se han establecido 41 divisiones comarcales atendiendo a características sociales e históricas, así como a las actividades económicas de los municipios; Aragón tiene dividido su territorio en 33 comarcas, destinadas a la prestación de servicios comunes a los municipios que las integran; o el caso gallego, con 53 comarcas con diferentes competencias en administración de servicios y donde se elaboraban Planes de Desarrollo Comarcal como modelos de desarrollo económico a menor escala para la búsqueda de soluciones ante los procesos de despoblación demográfica.

Existen numerosos trabajos que han analizado esta necesidad y, atendiendo a los diversos enfoques, destacan las aportaciones de López Vizcaíno y Sánchez Fernández (2009), que estudian la calidad de vida en las comarcas gallegas empleando el DEA (Análisis Envolvente de Datos) basado en el uso de la programación lineal; Rodríguez Gutiérrez et Al. (2005), quienes han analizado las comarcas en España como una forma de superar las limitaciones de los mapas municipales y con una técnica basada en el análisis descriptivo de las comarcas existentes o Zoido (2001), sobre el diseño de una metodología para la medición de los desequilibrios

territoriales mediante tres procedimientos: ponderaciones, análisis de componentes principales y análisis clúster.

En Extremadura no existe una delimitación comarcal única y diversos autores han realizado trabajos en los que plantean distintas soluciones. Mencionar a Barrientos et Al. (1986), quienes utilizan diversas técnicas teniendo en cuenta la accesibilidad como primer criterio para la ordenación territorial mediante la aplicación de la Teoría de Grafos; Sánchez Zabala (1992), que incluye un análisis factorial de componentes principales para constatar la jerarquía urbana de los núcleos extremeños en la década de los años 90 y utiliza una metodología similar a la empleada en este trabajo pero teniendo en cuenta que en ese momento no se habían transferido aún las competencias educativas ni sanitarias ni se había establecido el Decreto de las Mancomunidades Integrales; u otros trabajos como el elaborado por Mora (2006), que establece 5 macrocomarcas con más de 200.000 habitantes cada una y que se dividen a su vez en 14 comarcas para la gestión de recursos menores. Baigorri (1995) expone la realidad y las problemáticas existentes a la hora de organizar el territorio en comarcas y Campesino (2001) estudia la ordenación territorial de Extremadura desde los inicios de la democracia y aunque ambos expresan la necesidad de una comarcalización, no la desarrollan, ya que sus estudios están ligados al ámbito social y urbanístico.

3. ÁMBITO DE ESTUDIO

La Comunidad Autónoma (CC.AA.) de Extremadura se sitúa al Oeste del territorio español, limitando con las regiones de Castilla y León al Norte, Castilla la Mancha al Este, Andalucía al Sur y con Portugal al Oeste. Presenta una extensión de 40.000 Km² de superficie y una población de poco más de 1 millón de habitantes, repartida en 388 municipios, como consecuencia de la profunda emigración sufrida en décadas anteriores. Está constituida por las dos provincias más grandes de España, Badajoz y Cáceres, y su densidad de población es de las más bajas del país, con una media de 27 hab/Km²; además, presenta largas distancias entre sus extremos, con un poblamiento muy disperso y concentrado mayoritariamente en los principales núcleos de población (Nieto y Cárdenas, 2015). De este modo, posee unas características poblacionales, territoriales y económicas que le han condicionado a sumirse en un importante retraso socioeconómico respecto a otras regiones españolas y europeas, encontrando también diferentes realidades dentro del propio espacio extremeño: áreas con buen nivel de desarrollo, equipamientos e infraestructuras que presentan una agricultura y un sector agroindustrial articulado, moderno y competitivo y localizadas en áreas de regadío y secano productivo de vid y olivo; áreas alejadas de los centros urbanos, envejecidas, despobladas y con importantes carencias en materia de infraestructuras y equipamientos en las que el sector primario es incapaz de aportar las rentas necesarias a su población, debido a su escasa competitividad o a una insuficiente articulación con otros sectores como el agroindustrial. Son áreas localizadas en zonas de montaña y penillanura de la provincia cacereña y en los límites de la provincia de Badajoz. Por último, áreas intermedias con una buena interacción rural/urbana, donde la población complementa sus rentas procedentes del sector primario con la realización de otras actividades en otros sectores como consecuencia de la práctica del desplazamiento diario de los trabajadores rurales al entorno urbano (se localizan en los entornos de Cáceres, Badajoz, Mérida y Plasencia).

4. METODOLOGÍA

Los datos cartográficos utilizados proceden de instituciones oficiales españolas. Son el Mapa Oficial de Carreteras de 2013 del Ministerio de Fomento y la cartografía municipal de la BTN 1: 100.000 del Instituto Geográfico Nacional. Las diferentes comarcalizaciones se han introducido en distintas capas alfanuméricas que se asocian a la capa poligonal de los municipios de Extremadura, de manera que se han obtenido entidades de: Mancomunidades, Grupos de Acción Local, Comarcas Agrarias, Partidos Judiciales, Comarcas Turísticas de Diputación, Áreas Sanitarias, Distritos Educativos y Áreas Comerciales

Los datos alfanuméricos para el análisis estadístico se han obtenido de diversas fuentes y se han codificado a nivel municipal, partiendo de un identificador común, el Código INE. La obtención de los primeros datos, los demográficos, se ha hecho a través del Padrón del INE (Instituto Nacional de Estadística) con datos medios de

variables de natalidad, mortalidad, crecimiento vegetativo, saldos migratorios e índices de juventud y de vejez, todos de 2010 a 2014. Las variables socioeconómicas se han extraído del Atlas Socioeconómico de Extremadura 2014, obteniéndose índices económicos como los de Actividad comercial, el de Actividad industrial y de Restauración y bares e Índice de Productividad y el PIB por habitante. En cuanto a superficie de regadío y de viñedo y olivar, las variables son extraídas del Corine Land Cover del año 2012, aportando la información más actual al respecto; y la pendiente se ha obtenido con la creación de un Modelo Digital del Terreno a partir de la capa cartográfica con información altimétrica (curvas de nivel) a escala 1:100.000 (BTN100). También se han añadido los municipios que actúan como cabecera comarcal de las distintas delimitaciones y el número de funciones que desempeñan, así como los presupuestos municipales transferidos por la Administración General del Estado.

Como herramienta de trabajo se utilizó el Sistema de Información Geográfica ArcGis 10.3 para la representación y el análisis espacial y para el estadístico se empleó el software SPSS 22.

4.1. Análisis de intersecciones geométricas.

Se han delimitado los límites de las comarcalizaciones estudiadas y la localización de los centros o cabeceras comarcales en donde se gestionan esos recursos: en el caso de los Grupos de Acción Local, dónde se localiza el Centro de Desarrollo Rural; en las Comarcas Agrarias, las Oficinas Comarcales Agrarias; en los Partidos Judiciales, los juzgados; en las Mancomunidades, las localidades donde se gestionan los diferentes servicios (el Área de Rehabilitación Integrada, el técnico de Turismo y el de servicios sociales, la oficina de gestión de aguas o de residuos) o el núcleo dinamizador de las Áreas Comerciales.

Una vez situados estos límites mediante intersecciones geométricas (Intersect) se pudo comprobar el grado de solapamiento entre los mismos y posteriormente establecer dos tipologías, una de comarcas teniendo en cuenta los solapamientos localizados en ellas y el grado de estabilidad de los límites, y otra con el número de funciones localizadas en las cabeceras comarcales. Con este análisis se manifiesta una ausencia de planificación regional y se observa que los criterios de organización comarcal varían dependiendo de unos organismos u otros, utilizándose en algunos casos criterios homogéneos (población afectada, sectores económicos predominantes) o bien criterios funcionales (accesibilidad principalmente).

4.2. Análisis factorial de componentes principales.

Para la extracción de las funciones urbanas en los municipios extremeños se ha empleado el Análisis de Componentes Principales (ACP), un análisis multivariante que facilita la posibilidad de localizar los municipios con mayores pesos en las variables escogidas como representantes de la realidad extremeña (demográficas, físicas y socioeconómicas) a la hora de determinar la posibilidad de actuar como cabecera comarcal. El análisis multivariante permite descubrir las relaciones causa-efecto, como un método causal y explicativo de unas variables en las que intervienen factores externos (Uriel, 1995) así como identificar las dimensiones latentes de un conjunto de variables y reducir el espacio vectorial, el cual viene definido por un conjunto amplio de variables originales, a un número menor de factores, independientes entre sí y ordenados por poder explicativo (Pallarès et al, 2004).

Para llevar a cabo el análisis estadístico, las variables elegidas debían ser objetivas y neutras, por lo que todas se expresaron en tasas o porcentajes. Se realizaron todos los análisis prospectivos necesarios hasta llegar a una matriz inicial considerada como óptima, y por ello, de las más de 100 variables originales empleadas en el ACP las definitivas en nuestro resultado final han sido 32 (las más representativas en la estructura demográfica como los índices de juventud y envejecimiento, los principales indicadores económicos, la localización de funciones como cabeceras comarcales o los usos del suelo de regadío, olivar y viñedo). Además, se calculó la medida de adecuación muestral de Kaiser, Meyer y Olkin (Castro y Galindo, 2000) más conocida como KMO, para validar la adecuación de las variables obtenidas. Es un índice con el que se obtienen valores entre 0 y 1 y en nuestro caso el resultado es 0,855, por lo que la decisión de hacer el ACP con las variables es muy buena (superior a 0,75 (Hair, 2001)).

Por otro lado, se obtuvieron tres componentes principales con un total del 59,3 % de la varianza explicada, por lo que se considera suficiente para explicar la muestra analizada, aunque con un valor no excesivamente alto debido a la complejidad del territorio extremeño, con una importante variabilidad demográfica, social, económica y natural. En el Componente 1 se obtuvieron los municipios que aglutinan las mayores funciones urbanas.

4.3. Accesibilidad territorial

Una vez establecidas las cabeceras comarcales (municipios que aglutinan con mayores pesos en el Componente 1 del ACP y que concentran funciones urbanas) se introdujo una serie de indicadores de accesibilidad para comprobar las posibilidades de interacción entre ellas y los demás núcleos del territorio extremeño.

El modelo de análisis de redes se fundamenta en la teoría de grafos. Los grafos son una colección de nodos, que en este estudio son los centroides del núcleo principal de los municipios extremeños, conectados por aristas, en este caso las carreteras de la región (no se ha tenido en cuenta el transporte aéreo ni el ferroviario por la escasa utilización que se hace de ellos. Lo esencial es a qué nodo está unida cada una de las aristas, no tanto la forma de las aristas, ni la posición de los nodos.

En este estudio se van a obtener los índices de accesibilidad absoluta y relativa, tiempo de acceso mínimo y atracción gravitatoria de los municipios con características urbanas hacia el resto de municipios extremeños siguiendo metodologías previas desarrolladas en trabajos como los de Gutiérrez y Monzón (1994) y Mora et Al. (2003) pero adaptándolas a los resultados obtenidos en el ACP. Para el cálculo de estos índices es necesario conocer la impedancia, el efecto de resistencia que se asocia al desplazamiento por la red y que se ha calculado teniendo en cuenta la longitud y la velocidad de las vías, en la siguiente expresión:

$$[Longitud]/((Velocidad] * 1000)/60)$$

El indicador de **accesibilidad absoluta** es sensible a la localización geográfica de los núcleos de población primando a los núcleos centrales, lo que resulta fundamental desde el punto de vista del desarrollo regional, en el que la base territorial no puede obviarse (Gutiérrez Puebla et Al., 1994). Este indicador trata de calcular el promedio de las impedancias que separan a cada población con respecto a las diferentes cabeceras comarcales a través de la red por el camino de mínima impedancia y considerando como factor de ponderación los pesos factoriales de los municipios en el Componente 1. La expresión es la siguiente:

$$IAA_i = \frac{\sum_{j=1}^n (IR_{ij} \times RC1U_j)}{\sum_{j=1}^n RC1U_j}$$

En esta expresión IAA_i es el índice de Accesibilidad Absoluta del nodo i ; IR_{ij} es la Impedancia Real; en este caso el tiempo empleado entre los nodos i y j ; y $RC1U_j$ son las puntuaciones del Componente 1 para las nuevas cabeceras comarcales. Los nodos i son los centroides de cada uno de los municipios de población de la región y j son los nodos que corresponden con las nuevas cabeceras comarcales.

El indicador de **accesibilidad relativa** neutraliza el efecto de la localización geográfica, con el objetivo de resaltar más los efectos de la oferta infraestructural sobre la accesibilidad porque refleja los índices de rodeo al relacionar la Impedancia real (el tiempo que se tarda en recorrer un tramo de carretera teniendo en cuenta la estructura geométrica de la vía y la velocidad máxima permitida) y la impedancia ideal (el tiempo que se tardaría en recorrer ese mismo tramo si fuera en línea recta y a la velocidad máxima permitida de una autovía) La expresión es la siguiente:

$$IAR_i = \sum_{j=1}^n \left(\frac{IR_{ij}}{II_{ij}} \times RC1U_j \right)$$

En esta expresión IAR_i es el índice de Accesibilidad Relativa; II_{ij} es la impedancia ideal y IR_{ij} y $RC1U_j$ y los nodos i y j son términos ya conocidos.

El cálculo del **tiempo de acceso mínimo** de cada localidad a la cabecera comarcal más próxima nos mostrará un modelo ideal en el que la población siempre se acerca al núcleo más cercano sin tener en cuenta las

funciones urbanas que desempeña ni la competencia con otras aunque más alejadas. La expresión es la siguiente:

$$TAM_i = \min(IR_{ij}) \forall j$$

donde se averigua el tiempo mínimo de cada nodo i a la cabecera comarcal más cercana (nodo j)

El índice de **atracción gravitatoria** permite determinar el área de influencia gravitatoria de cada centro de actividad económica y la fuerza de atracción que ejerce sobre todos los municipios extremeños. En este trabajo se ha considerado el número de habitantes como valor de las masas de los municipios de población y el tiempo de acceso mínimo a través de la red a las cabeceras teniendo en cuenta también el peso factorial de las mismas en el Componente 1. La expresión es la siguiente:

$$AG_i = \sum \left(k \frac{RN_i \times RC1U_j}{IR_{ij}^2} \right) \forall j$$

donde AG_i es el índice de Atracción Gravitatoria de un núcleo de población de la región i , RN_i es el número de habitantes del núcleo de población considerado, a la constante k le damos un valor igual a 1, ya que es un estudio comparativo y IR_{ij} , $RC1U_j$ y los nodos i y j son términos ya conocidos.

5. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se han analizado en la región las principales delimitaciones comarcales existentes y se puede comprobar que efectivamente existen duplicidades en las mismas (Figura 1). Más de la mitad del territorio extremeño se ve afectado por la pertenencia a distintas comarcalizaciones dependiendo del recurso que se gestione, aunque también se distinguen zonas con unos límites bien definidos, como es el caso del norte de Extremadura, en concreto Sierra de Gata, Las Hurdes, Valle del Ambroz y el Valle del Jerte, o la zona de la Serena en la provincia de Badajoz.

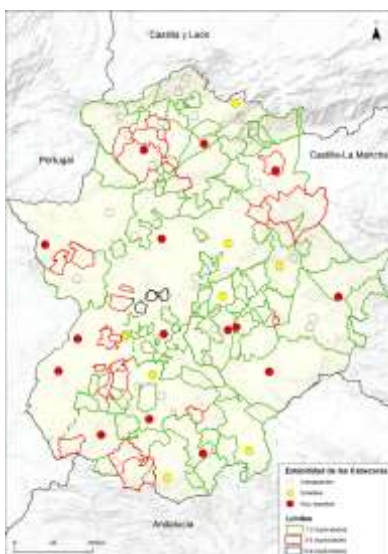


Figura 1: Estabilidad de los límites y cabeceras comarcales. Fuente: Elaboración Propia

En la primera tipología existen 53 zonas solapadas (pertenecen a distintas comarcalizaciones) que suponen el 57,26 % del territorio extremeño, viéndose afectados 253 municipios (63 % del total). La población afectada asciende a un total de 490.227 habitantes, lo que supone un 45 % de la población y de los 253 municipios afectados, 233 tienen menos de 5.000 habitantes (92 %). Son territorios con escasa población y que presentan características muy diferentes entre sí (económicas, poblacionales, físicas...) y cuyas comarcalizaciones se han delimitado en función de la necesidad de cada organismo que lo gestiona, sin tener en cuenta una política integral de ordenación del territorio. La segunda tipología agrupa comarcas que ser podrían denominar tradicionales, caracterizadas por modos de vida propia o por una características naturales homogéneas, que surgieron a través de la adaptación y transformación de las condiciones ambientales que establecía el medio,

son las históricas comarcas naturales. Sus límites son más homogéneos, aunque se aprecia una tendencia hacia la ruptura o debilitamiento de los mismos como consecuencia de las actuaciones de las inversiones de la administración o de la aparición de sectores económicos y sociales más fuertes en núcleos cercanos que no pertenecen a la comarca en cuestión.

También existen diferencias en la localización de las cabeceras comarcales, donde las más estables y que agrupan más de 8 funciones coinciden con los núcleos con más de 10.000 habitantes. Estas funciones no se concentran en unos municipios u otros ni por criterios de accesibilidad ni de buena localización dentro de la región extremeña, sino por ser las entidades de mayor población (por ejemplo, el caso de Badajoz, ciudad ubicada en los límites de la frontera portuguesa alejados de la centralidad de la región extremeña).

Como primer resultado, se constata la existencia de múltiples divisiones comarcales que no coinciden entre sí, por la diversidad de objetivos y criterios utilizados para su delimitación y la vertiente temporal en su implantación. La falta de una política de ordenación territorial planificada está provocando un caos en la organización de la prestación de servicios y las consecuencias serán claros desequilibrios entre unas zonas y otras.

Con el Análisis de Componentes Principales se han obtenido los municipios que están actuando como cabeceras comarcales y donde se localizan las principales funciones urbanas. Son aquellos que obtuvieron mayores puntuaciones en el Componente 1, definido por variables que explican el nivel de desarrollo urbano, como son la localización de funciones de las distintas comarcalizaciones, los presupuestos municipales, los principales indicadores económicos, el crecimiento de la población y el porcentaje que supone respecto al total de Extremadura y los usos del suelo de regadío, tierras labradas y olivar y viñedo. En total, se han obtenido 16 municipios con un rango que va desde +14.77 hasta + 0.38. Son, en orden decreciente: Badajoz, Cáceres, Mérida, Almendralejo, Plasencia, Don Benito, Villanueva de la Serena, Zafra, Villafranca de los Barros, Coria, Navalmoral de la Mata, Talayuela, Olivenza, Montijo, Jaraíz de la Vera y Miajadas.

Posteriormente, se ha decidido realizar dos modificaciones, la primera de ellas es la unión de los municipios de Don Benito y Villanueva de la Serena, que por su proximidad geográfica se consideran como una conurbación, sumando sus pesos factoriales en el componente 1; y la segunda es la eliminación de Montijo como cabecera comarcal, ya que su cercanía a Badajoz y Mérida hace que se vea afectada por sus áreas de influencia, pudiéndose producir una duplicidad en los servicios y en los equipamientos de la nueva organización. De este modo, la nueva organización quedaría configurada por 14 cabeceras comarcales.

A continuación, se han realizado los análisis de accesibilidad que se definieron en el apartado metodológico para comprobar si están actuando como ejes de una futura comarcalización extremeña (Figura 2).

El primer mapa, el **tiempo de acceso mínimo**, muestra el grado de lejanía a las nuevas cabeceras comarcales a través de la Red de carreteras de la región. Se localiza una serie de debilidades en las zonas cercanas a las delimitaciones fronterizas y donde la orografía es más complicada, como ocurre en las estribaciones de los Montes de Toledo, los riberos del Tajo, las Villuercas, el Parque Nacional de Monfragüe o en las zonas del Sureste de la provincia pacense, con municipios en los que el tiempo de desplazamiento se encuentra en el intervalo de entre 30 y 90 minutos (unas cantidades limitantes para desplazarse a su cabecera comarcal de manera asidua).

Con la **accesibilidad absoluta** se puede observar una zona central que engloba a 7 municipios de los 14 propuestos, donde la accesibilidad absoluta es bastante buena, en total comprenden un 23% de los municipios y un 54,4% de la población. Esta zona está desplazada hacia la frontera portuguesa debido a la influencia de Badajoz, prolongándose por la carretera nacional N-100 que une las dos ciudades provinciales, así como por la A-66 o Ruta de la Plata, la A-5 o Autovía hacia Madrid y la N-432, la cual une Badajoz con Granada. A medida que nos alejamos de esta zona central, la accesibilidad va empeorando casi de forma uniforme, hasta llegar a las zonas fronterizas donde es considerada deficiente, resaltando los mismos resultados que en el análisis anterior: las zonas fronterizas con Castilla-La Mancha y con Andalucía al Este y el Norte de la región en la zona fronteriza con Castilla y León y Portugal.

A diferencia de la accesibilidad absoluta, la **accesibilidad relativa** es bastante irregular, presentando buena accesibilidad solo aquellas zonas más próximas a algunas de las cabeceras comarcales. A partir de estas zonas, la accesibilidad va empeorando, lo que viene a demostrar que, aunque el sistema de transportes extremeño ha sido reformado significativamente en las últimas décadas, aún puede serlo más y mejor, optimizando con esto los resultados para gran parte de los municipios de la región.

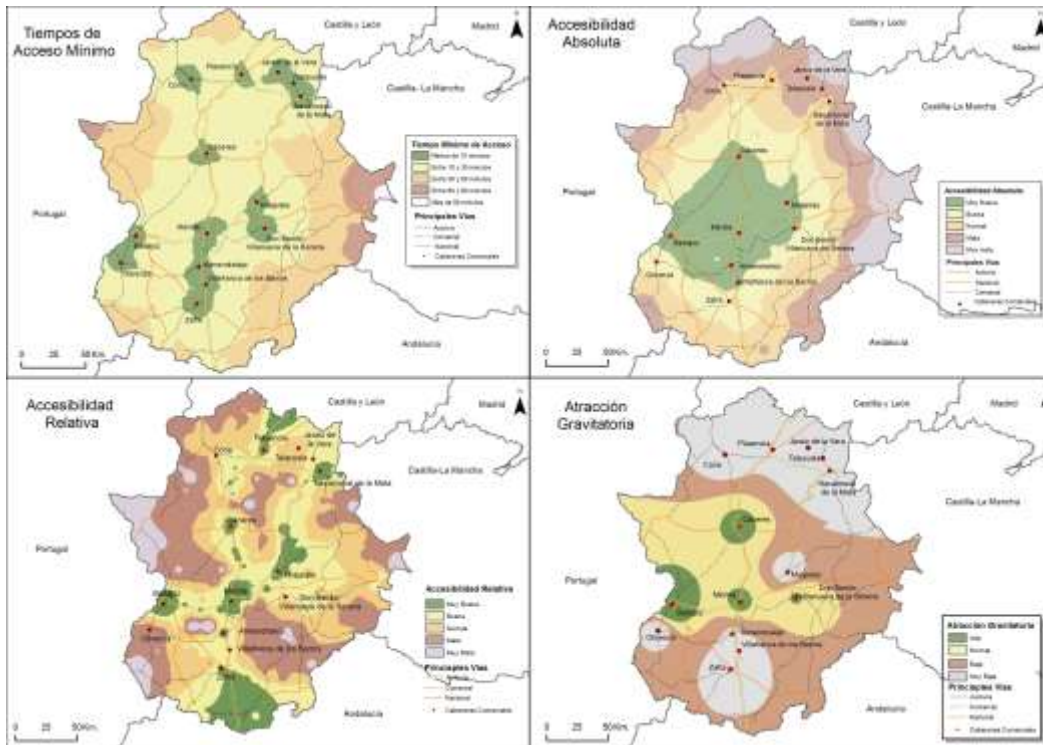


Figura 2: Accesibilidad territorial a las nuevas cabeceras comarcales. Fuente: Elaboración propia

En el mapa de la suma de **atracción gravitacional** de las cabeceras comarcales a todos los núcleos de la región se obtienen las zonas de competencia entre los distintos centros urbanos. A través de este análisis se puede observar cómo los municipios rurales sienten mayor atracción hacia las principales ciudades extremeñas: Badajoz, que extiende su área hacia el Norte y al Sur siguiendo la frontera portuguesa, donde no tiene la competencia de otros centros; Cáceres, que queda como principal foco de atracción en la provincia cacereña; Mérida, como capital autonómica y vertebradora de la A-5 y la A-66; y la conurbación Don Benito-Villanueva de la Serena, cuya atracción se extiende hasta el Sureste de la región y hacia el valle del Río Rucas por el Noreste. El resto de cabeceras comarcales, Almendralejo, Olivenza, Villafranca de los Barros y Zafra en la provincia pacense y Coria, Jaraíz de la Vera, Navalmoral de la Mata y Talayuela en la provincia cacereña, se sitúan en zonas con baja atracción, lo que indica que el verdadero peso urbano de la región recae en los municipios anteriormente mencionados. Estos últimos son centros a pequeña escala que, aun presentando ciertas características urbanas, no poseen el poder de atracción suficiente para desempeñar el papel de cabecera comarcal. Caso excepcional es el de Plasencia, que pese a ser la principal ciudad del Norte de la región, su área gravitacional es muy baja, debido a la influencia de la ciudad de Cáceres y de las comunidades autónomas colindantes.

6. CONCLUSIONES

Desde hace décadas, en Extremadura, al igual que en otras regiones rurales, se ha venido buscando una ordenación territorial eficaz con el objetivo de acercar los servicios y equipamientos a la población, independientemente de donde esta resida, y así fijarla en estos territorios, para acabar con el problema del despoblamiento debido a los procesos migratorios y al sobrevejecimiento. No se ha realizado una única

comarcalización que ordene todos los recursos, sino que se han realizado varias ateniendo al recurso que se vaya a gestionar y siguiendo una diversidad de criterios que han generado una serie de duplicidades y de conflictos, ya que el 45 % de la población tiene que desplazarse a diferentes localidades para obtener un determinado servicio o realizar actividades de ocio y comercio. Además, estas delimitaciones no están consiguiendo su objetivo, ya que las variables demográficas regresivas (envejecimiento, crecimiento natural negativo y migración hacia zonas urbanas) siguen siendo características, y de manera a veces alarmante, en los municipios con menos de 2.000 habitantes (Nieto y Cárdenas, 2015).

En este trabajo se han seleccionado 14 nuevas cabeceras comarcales que podrían ser la base para una nueva ordenación territorial si en ellas se localizaran los principales servicios y que son las que actualmente presentan mejores condiciones demográficas e índices de actividad económica, comercial, de ocio y localización de infraestructuras y equipamientos.

Sin embargo, los análisis de accesibilidad realizados muestran que estas cabeceras comarcales y las funciones que están desempeñando no son suficientes para un nuevo diseño de comarcalización. Las que presentan mayores pesos factoriales y se localizan en las zonas próximas a las vías de comunicación (mapa de accesibilidad absoluta y de atracción gravitatorio) pueden ejercer estas funciones en el área central de Extremadura (el 45 % del territorio), pero, por el contrario, en las zonas fronterizas con otras regiones y con Portugal, se identifica una doble tipología: una que engloba espacios muy alejados y mal comunicados en la que no se localiza una cabecera comarcal hasta más de 45 minutos de distancia (municipios de La Siberia, Villuercas, La Serena o Campiña Sur en el Este de la región, de Hurdes y Gata en el Norte y de Valle del Alagón y Sierra de San Pedro en la frontera portuguesa) (Figura 2), y una segunda tipología con espacios que, aunque en proximidad se localiza una cabecera comarcal, esta presenta poco peso factorial en las características urbanas, son núcleos próximos a las cabeceras de Almendralejo, Olivenza, Villafranca de los Barros y Zafra en la provincia pacense y Coria, Jaraíz de la Vera, Navalmoral de la Mata y Talayuela en la provincia cacereña. Así, tal y como se puede comprobar en el Mapa de Atracción Gravitatoria, la población prefiere desplazarse a otros núcleos más alejados pero con mayor actividad comercial y económica.

Por todo lo anterior, queda constancia de que existe todavía una problemática acuciante en la comarcalización de Extremadura, siendo necesario plantear a las Administraciones una única ordenación territorial eficiente, en la que además de las 14 cabeceras comarcales detectadas, se fomente otorgar el mismo papel a núcleos centrales y bien comunicados en los territorios fronterizos en los que se experimenten aun malos resultados de accesibilidad, como son algunos localizados en La Siberia, Campiña Sur, La Serena, Valencia de Alcántara, Hurdes o Gata. Por otro lado, existen núcleos considerados actualmente como cabeceras comarcales que tienen poca actividad comercial y que han resultado en el ACP con un peso factorial inferior a 4 en el Componente 1, con lo que se comprueba que la descentralización de algunos servicios públicos no es suficiente para mantener a la población en sus hinterlands, por lo que se debe intentar favorecer la implantación de actividades de comercio y ocio en ellas y brindar así todo lo que la población demanda y en igualdad de condiciones.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Baigorri, A., (1995): "Comarcalización en Extremadura, Materiales para el debate". *I Jornadas sobre Ordenación del Territorio en Extremadura*. Cáceres.
- Barrientos Alfageme, G., Gurría Gascón, J.L. y Pérez Díaz, A., (1986): "Territorio y Organización: accesibilidad y estructura del espacio extremeño". *Norba, Revista de Historia. Universidad de Extremadura*. Nº 7. pp. 145-154.
- Carpesino Fernández, A. J., (2011): "Ordenación Territorial de la Extremadura Democrática". *Cuadernos Geográficos*. Nº 47. pp. 553-581.
- Castro, J.A. y Galindo, M.P. (2000): *Estadística multivariante. Análisis de correlaciones*. Amarú Ediciones. Salamanca.
- Gutiérrez Puebla, J. Y Monzón de Cáceres, A. (1994): "La accesibilidad a los centros de actividad económica antes y después del Plan Director de Infraestructuras". *Ciudad y territorio: Estudios territoriales*. Nº 97

- Hair, J., Anderson, R., Tatham, R. y Black, W. (1999): *Análisis Multivariante*. 5ª Edición. Prentice Hall.
- López Vizcaíno, M.E. y Sánchez Fernández, P. (2009): "A mediación da calidade da vida nas comarcas galegas", *Revista galega de economía*. Nº, 18- 1, pp. 29-48.
- Mora Aliseda, J., Nogales Galán, J.M., Gutiérrez Gallego, J.A. y Cortés Ruíz, T. (2003): "Aplicación de técnicas SIG en la aplicación del transporte por carretera en Extremadura (España)". *Finisterra*. Vol. XXXVIII, 75. pp. 67-83.
- Mora Aliseda, J. (2006). "Ordenación del Territorio y comarcalización en Extremadura". En González Regidor, J. (Ed.) *Desarrollo rural de base territorial. Extremadura (España)*. Edt. Junta de Extremadura, Consejería de Desarrollo Rural,
- Nieto Masot y Cárdenas Alonso, G. (2015): "El Método Leader como política de desarrollo rural en Extremadura en los último 20 años (1991-2013)". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*. Nº 69. pp. 139-162.
- Rodríguez Gutiérrez, F., Menéndez Fernández, R. y Cadenas Nevado, A., (2005): "Comarcas, consorcios y otras experiencias innovadoras de cooperación territorial en España". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*. Nº 39 pp.177-199.
- Ruíz Requena, A. (1992): *Sistemas de Transporte*. Universidad de Granada, Granada, 53, pp.14-15.
- Sánchez Zabala, R. (1992): *Comarcalización funcional y ordenación del territorio en Extremadura*. Universidad de Extremadura. Cáceres.
- Uriel, Enrique. (1995). *Análisis de datos: series temporales y análisis multivariante*. Madrid: Editorial AC.
- Zoido Naranjo, F. y Caballero Sánchez, J.V., (2001): "Desarrollo y cohesión territorial en Andalucía. Metodología para una medición periódica de los desequilibrios territoriales intrarregionales". *Ería*. Vol. 54-55, pp.53-76.

EL COSTE DEL AHORRO TEMPORAL EN UNA AUTOPISTA DE PEAJE. EL CASO DE LA AP-7 EN LA COSTA DEL SOL OCCIDENTAL

Abraham Nuevo López¹, Juan Francisco Sortino Barrionuevo²

¹ Universidad de Málaga (Departamento de Geografía, Área Análisis Geográfico Regional, Grupo de Investigación HUM-776, 29070 Málaga, España) abraham@uma.es

Este trabajo ha sido financiado con fondos del programa FPU del Gobierno de España, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, con referencia FPU/01524.

² Universidad de Málaga (Departamento de Geografía, Área Geografía Física, Grupo de Investigación RNM279, 29070 Málaga, España) francis.sortino@uma.es

RESUMEN

La importancia del transporte reside en su capacidad para permitir el funcionamiento del mercado laboral y del desarrollo económico, del mismo modo que contribuye a reducir el aislamiento de determinadas zonas; además de ser elemento decisivo de estructuración territorial.

El presente estudio versa sobre la aplicación de un índice que mide la relación entre el coste que supone la utilización de la Autopista de la Costa del Sol y ahorro temporal para el viajero. Su aplicación se sintetiza en los desplazamientos desde la capital malagueña hacia el oeste, poniendo fin en la localidad gaditana de Algeciras.

Los resultados se han obtenido gracias a Google Maps, tanto aquellos referidos a la distancia como a los que se refieren a la temporalidad aplicada a los desplazamientos.

Se demuestra que los resultados de este índice calculado son mayores en las zonas limítrofes con Málaga. Es decir, el coste de un desplazamiento por la AP-7, atendiendo al factor tiempo, disminuye conforme nos alejamos hacia el Oeste.

Palabras clave: autopista; peaje; A-7; AP-7; N-340.

ABSTRACT

The transportation importance lies in its ability to allow the functioning of the labour market and economic development. In the same way it contributes to reduce timing performances of isolated areas and being a key factor for territorial structuring.

The present essay deals about the application of an index that measures the ratio of using the motorway Costa del Sol and its expenses and time saving by travellers in their displacements from Málaga city to the west finishing it at the city of Algeciras, Cádiz.

Thank to Google Maps we have been obtained accurate details about distance and time performances concerning those displacements. Due to this information obtained from Google Maps it is shown that the higher rate in time performance are about the areas surrounding Málaga city using AP-7 motorway decreasing if we move away to the west.

Keywords: motorway; toll; A-7; AP-7; N-340.

1. INTRODUCCIÓN

Se trata de un territorio notoriamente poblado, con una densidad de población de 420 hab/km², es decir, más de cuatro veces superior a la media española. Una zona con un claro crecimiento de los usos residenciales, hoteleros, deportivos, recreativos y comerciales, en detrimento de aquellos industriales y agrarios, que quedan reducidos a una consideración residual. La importancia del transporte de esta zona, sumada a la gran cantidad de población que soporta, reside en ser zona de tránsito constante por la cercanía de los aeropuertos costasoleño y gibraltareño, y del puerto algecireño, sumada a la población flotante ligada al turismo residencial y de sol y playa. Ha de prestársele especial atención a las características orográficas del territorio que, a pesar de la cercanía al mar y, lejos de tratarse de una homogénea llanura, presenta considerables elevaciones de altitud, dificultando la construcción de redes de transporte en toda esta zona.

Recibe la denominación Nacional 340 la Carretera del Mediterráneo, la más larga de las carreteras nacionales toda España, desde Cádiz a Barcelona. En nuestro ámbito de estudio, coincide en la mayoría de los tramos con la propia Autovía del Mediterráneo.

La Autovía A-7 o Autovía del Mediterráneo discurre paralela al mar desde Barcelona hasta Algeciras, donde continúa hacia Jerez de la Frontera a través de la Autovía Jerez – Los Barrios, A-381 o Ruta del Toro, o continúa bordeando la península por la no finalizada en la actualidad A-48 o Autovía de la Costa de la Luz, compartiendo diversos tramos con la N-340.

Es el eje vertebrador de nuestros municipios, discurre por todos ellos, excepto Benahavís, Istán y Ojén, conectados con la autovía a través de carreteras locales y comarcales. Se trata de una vía muy concurrida, que absorbe el tráfico de un volumen de población considerable en su movilidad supramunicipal, ya sea en su conexión con las playas del litoral, las urbanizaciones de la sierra, el transporte de mercancías y pasajeros entre Algeciras, Málaga...

Las continuas incorporaciones a la autovía desde las urbanizaciones colindantes a ellas se hacen muy peligrosas, bien sin apenas carril de incorporación, o bien con una señal de stop al entrar a la autovía, provocando un mayor consumo energético de los vehículos al tener que acelerar lo más rápidamente posible en un tramo estrecho y mayor posibilidad de accidentes de tráfico, dada la escasa velocidad con la que estos vehículos se incorporan a la, ya de por sí, concurrida autovía. Se suman los problemas que atienden a la presencia de rotondas, en lugar de salidas a distinto nivel, que obligan a la reducción de la velocidad de una manera considerable y a un flujo ralentizado del tráfico en este tramo. Además, por el propio arcén de la autovía encontramos en diversos tramos paradas de autobuses.

La Autopista AP-7 es la variante de la Autovía del Mediterráneo, que en los tramos en que ambas no son coincidentes, se ha de pagar un peaje por su utilización; tributo que, como veremos en este estudio, varía en función de la zona de la autopista donde nos encontremos. Su longitud es de 1.109 km. y discurre desde la frontera con Francia en La Junquera y Guadiaro (San Roque). Cintra – Autopista del Sol, Concesionaria Española S. A., es una de las seis concesionarias de la Autopista de la Costa del Sol y se encarga del peaje entre Málaga y Guadiaro.

Los tramos en que esta vía no coincide con la Autovía A-7 y que, por lo tanto, el paso es totalmente gratuito, se sitúan en Fuengirola, Estepona y Marbella. La afluencia de paso, según datos proporcionados por el Ministerio de Fomento, resulta hasta más de siete veces inferior que en el tramo paralelo correspondiente de la Autovía del Mediterráneo, como es el caso de San Pedro de Alcántara, coincidente aproximadamente con el Túnel de la Quinta de la autopista.

La Geografía del Transporte fue hasta mediados del siglo XX parte del campo de la Geografía Económica. Otros enfoques provienen de la Geografía de la Población, e incluso de la Geografía Urbana. El estudio científico de la circulación de personas estuvo influenciado por la Escuela de Múnich de Geografía Social; se analizaron no sólo los diversos fines de transporte, sino también a la elección particular de transporte. El transporte público, el transporte de mercancías por ferrocarril o el diseño de áreas urbanas y urbanizaciones son temas centrales de la Geografía del Transporte.

Obra esencial, publicada en 1972, fue un informe encargado al Instituto Tecnológico de Massachusetts por el Club de Roma, "Los límites del crecimiento", que llegó a influir en las prioridades de investigación dentro de la geografía del transporte; la escasez previsible de los recursos llevó a la consideración del principio de sostenibilidad.

En esta materia destacan autores como M. Potrykowski, cuya obra, *Geografía del Transporte*, de 1984, es considerada como clásica dentro de la literatura relacionada con el transporte y su contexto espacial, R Giménez i Capdevila, con la tesis *Els Transports, objecte d'estudi de la Geografia*, de 1985 y J. Gutierrez Puebla con recientes investigaciones sobre este tema, como *Transport Geography in Spain. Journal of Transport Geography* (2013).

El objetivo primordial de este estudio es comprobar si el coste que supone la utilización del peaje de la Autopista de la Costa del Sol es superior a medida que nos aproximamos a zonas más pobladas y tradicionalmente (en el último medio siglo) más enriquecidas como Marbella; es decir, si se produce una disminución paulatina de este coste en dirección Este-Oeste.

2 ÁMBITO DE ESTUDIO

La Costa del Sol Occidental se encuentra en el Sudoeste de la provincia de Málaga, limitando con la Aglomeración Urbana de Málaga al Este, el Valle del Guadalhorce y Serranía de Ronda al Norte y Campo de Gibraltar al Oeste, atendiendo a la delimitación comarcal establecida por el Plan de Ordenación del Territorio de la Costa del Sol Occidental. Los municipios que comprenden el ámbito territorial de nuestro estudio son:

| | <i>Superficie (km²)</i> | <i>Población (2015)</i> | <i>Densidad (hab / km²)</i> |
|--------------|--|-----------------------------|--|
| Benahavís | 145,5 | 7.105 | 48,8 |
| Casares | 162,4 | 5.954 | 36,7 |
| Estepona | 137,4 | 67.080 | 488,2 |
| Fuengirola | 10,4 | 77.525 | 7454,3 |
| Istán | 99,3 | 1.388 | 14 |
| Manilva | 35,6 | 14.587 | 409,7 |
| Marbella | 116,9 | 139.537 | 1193,6 |
| Mijas | 148,8 | 79.483 | 534,2 |
| Ojén | 85,9 | 3.353 | 39 |
| TOTAL | 942,2 | 396.012 | 420,3 |

Tabla 1: Municipios de la comarca: Extensión superficial, población y densidad. Fuente: Padrón de Habitantes. Instituto Nacional de Estadística. Elaboración propia.

En definitiva, nueve municipios próximos al millar de kilómetros cuadrados y a los cuatrocientos mil habitantes, entre los que no están incluidos los aldeaños de Benalmádena y Torremolinos, puesto que nos hemos ceñido a la delimitación realizada por el Plan de Ordenación del Territorio de la Costa del Sol Occidental, con el objetivo de realizar un tratamiento homogéneo de los datos en este estudio. Delimitación que, por otra parte, difiere de aquellas efectuadas por la Consejería de Turismo y Comercio de la Junta de Andalucía, las Comarcas Agrarias del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente o la propia Diputación de Málaga.

La población de los municipios de la Costa del Sol Occidental, según datos oficiales del Padrón de 2014, es de 390.147 habitantes. En la siguiente tabla se presenta el volumen de población municipal desde el Censo de

1857, primer censo moderno español que cumple con las necesidades de auspicio oficial, territorio definido, universalidad y simultaneidad.

| | 1857 | 1860 | 1877 | 1887 | 1897 | 1900 | 1910 | 1920 | 1930 |
|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Benahavís | 794 | 731 | 799 | 924 | 854 | 806 | 1.007 | 775 | 807 |
| Casares | 4.428 | 4.190 | 5.421 | 5.460 | 5.458 | 5.702 | 5.500 | 5.475 | 5.463 |
| Estepona | 9.316 | 8.790 | 9.994 | 9.771 | 8.307 | 9.310 | 9.478 | 10.047 | 10.485 |
| Fuengirola | 2.373 | 2.884 | 4.329 | 4.788 | 4.835 | 5.927 | 6.342 | 6.228 | 7.052 |
| Istán | 1.517 | 1.623 | 1.721 | 1.879 | 1.689 | 1.484 | 1.467 | 1.501 | 1.603 |
| Manilva | 2.549 | 2.147 | 2.871 | 3.172 | 3.126 | 3.166 | 3.355 | 2.963 | 3.198 |
| Marbella | 6.564 | 6.698 | 7.947 | 8.811 | 7.927 | 9.629 | 10.286 | 9.704 | 9.301 |
| Mijas | 5.073 | 5.155 | 5.589 | 6.625 | 5.631 | 5.690 | 6.507 | 6.117 | 6.530 |
| Ojén | 1.966 | 1.983 | 2.309 | 2.438 | 1.725 | 1.605 | 1.293 | 1.939 | 2.061 |
| TOTAL | 34.580 | 34.201 | 40.980 | 43.868 | 39.552 | 43.319 | 45.235 | 44.749 | 46.500 |

| | 1940 | 1950 | 1960 | 1970 | 1981 | 1991 | 2001 | 2011 | Padrón 2015 |
|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Benahavís | 768 | 938 | 845 | 1.020 | 1.276 | 1.433 | 1.513 | 5.053 | 7.105 |
| Casares | 5.338 | 5.964 | 5.661 | 4.045 | 3.045 | 3.309 | 3.387 | 5.276 | 5.954 |
| Estepona | 11.851 | 12.913 | 13.231 | 21.163 | 24.261 | 36.307 | 43.109 | 64.468 | 67.080 |
| Fuengirola | 6.630 | 6.695 | 8.492 | 20.597 | 30.606 | 43.048 | 49.675 | 72.019 | 77.525 |
| Istán | 1.681 | 1.579 | 1.688 | 1.546 | 1.556 | 1.346 | 1.343 | 1.463 | 1.388 |
| Manilva | 2.940 | 3.062 | 3.704 | 4.462 | 3.768 | 4.902 | 6.303 | 13.510 | 14.587 |
| Marbella | 8.982 | 9.921 | 12.069 | 33.203 | 67.822 | 84.410 | 100.036 | 135.124 | 139.537 |
| Mijas | 6.748 | 7.129 | 7.483 | 9.319 | 14.896 | 32.835 | 46.232 | 74.028 | 79.483 |
| Ojén | 2.007 | 1.933 | 1.841 | 1.938 | 2.023 | 1.976 | 2.041 | 3.256 | 3.353 |
| TOTAL | 46.945 | 50.134 | 55.014 | 97.293 | 149.253 | 209.566 | 253.639 | 374.197 | 396.012 |

Tabla 2: Evolución histórica de la población de los municipios. Fuente: Padrón de Habitantes. Instituto Nacional de Estadística. Elaboración propia.

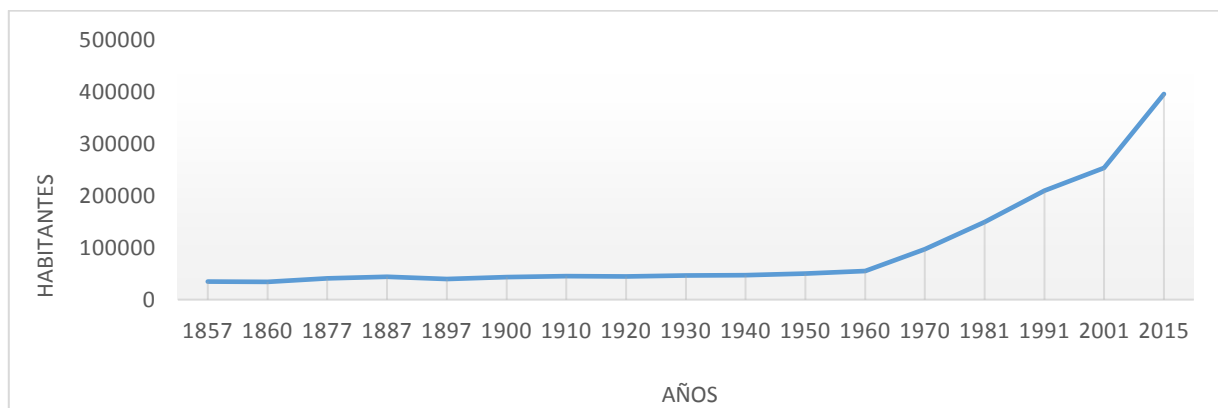


Figura 1: Evolución de la población de la Costa del Sol Occidental. Fuente: Padrón de Habitantes. Instituto Nacional de Estadística. Elaboración propia.

Como puede observarse en el gráfico, el auge del turismo en la Costa del Sol Occidental se hace notar, a efectos del incremento de la población, a partir de la década de los sesenta del pasado siglo, punto de inflexión para una recta cuya pendiente se mantiene, es decir, una progresión que resulta prácticamente constante y se mantiene hasta que da comienzo el nuevo siglo, cuando el incremento de población vuelve a acentuarse aún más, si cabe.

Consecuencia de diversos aspectos demográficos tales como el envejecimiento de la población o el retraso en la edad de jubilación propiciarán el aumento de los usos turísticos y residenciales en toda esta zona, coadyuvando a ello el clima (mediterráneo subtropical, en posición de solana, resguardado de las invasiones frías del Norte) y los servicios turísticos que se ofrecen. Se ha pasado de una economía rural tradicional, que se basaba meramente en la agricultura, hacia otra economía urbana que se articula sobre el sector turístico, que demanda paulatinamente más suelo para construir zonas de ocio y urbanizaciones.

En definitiva, nos encontramos ante datos demográficos que nos indican la obligatoriedad de contar en este territorio con una red de transporte eficaz y eficiente para satisfacer las necesidades de movilidad de todos aquellos que residen y visitan los municipios comprendidos en nuestro ámbito de estudio costasoleño.

3 METODOLOGÍA

En este apartado de nuestro estudio trataremos de darle un valor monetario al tiempo, en función de la distancia recorrida y la ganancia temporal en los trayectos. Explicado de otro modo, el valor “relación o coste por minuto ahorrado” viene a significar cuánto cuesta a un usuario en euros ahorrar un minuto de trayecto. La tarifa corresponde al año 2016, para vehículos ligeros, calculando la duración aproximada de los viajes. Para nuestro ejemplo, tendremos en cuenta viajes con origen Málaga, hacia determinadas localidades de la Costa del Sol Occidental.

La tarifa de la que partiremos será la normal, aplicada a todos los usuarios entre los meses de octubre a mayo, excepto en Semana Santa, y a los usuarios habituales de la autopista, es decir, aquellos que habrían realizado un uso de la misma, al menos, en sesenta ocasiones en un período no inferior a cuatro meses.

Para la obtención de datos sobre la duración temporal haremos uso de Google Maps, claro instrumento TIG. Siempre tendremos en cuenta valores en práctica ausencia de tráfico. El punto de origen es el Ayuntamiento de Málaga y, con respecto a los puntos de destino, para una mayor homogeneidad, sean tenido en cuenta los Ayuntamientos, o Tenencias de Alcaldía en su defecto, ya que éstos siempre suelen estar situados en el centro de la ciudad. El caso de Calahonda, pedanía de Mijas, es especial, dado que la Tenencia de Alcaldía más próxima se encuentra en Cala de Mijas, para la cual no sería necesario utilizar la autopista de peaje. Por lo tanto, el punto de referencia tomado en este caso es el Club de Golf La Siesta, situado en la Urbanización Sitio de Calahonda.


Los valores referidos a la distancia son exactos, mientras que el factor tiempo es aproximado, dado que podrá variar en función del tráfico existente, ya que la autovía presenta valores de tráfico muy superiores al de la autopista, sobre todo en determinadas franjas horarias, fines de semana o en la época estival. El valor “Distancia” se refiere a una distancia acumulada, si comenzamos el viaje en Málaga y finalizamos en una localidad determinada, junto al tiempo que emplearíamos, mientras que la “Diferencia” es un valor acumulativo del total del recorrido, es decir, la cantidad de kilómetros y de minutos de ahorro si se opta por el uso de la AP-7.

La información contenida en este estudio forma parte de los Datos Espaciales de Referencia en Andalucía, del Instituto de Estadística y Cartografía de la Junta de Andalucía. Para poder realizar el análisis de manera más ajustada a la realidad presente, se ha procedido a digitalizar todos los accesos a los diferentes puntos de llegada, así como el punto de partida que da conexión con las vías principales de comunicación de la AP-7 y A-7.

Una vez confeccionada y elaborada la red de análisis, ésta se ha sometido a revisiones topológicas para evitar errores de conectividad y sobreposición de entidades que puedan duplicar la distancia o tiempos calculados. Acto seguido, se elabora una *geodatabase* con el fin último de establecer un cálculo del coste de desplazamiento medido en tiempo, utilizando las velocidades máximas permitidas en cada tramo de vía. Para poder establecer estas velocidades se ha realizado un análisis de la señalización existente con su posterior tramificación de la red:

- o Accesos: 50 km/h.
- o A-7 / N-340: 80 km/h.
- o AP-7: 80 km/h (túneles).
- o A-7 / AP-7: 100 km/h.
- o A-7 /AP-7: 120 km/h.

La fórmula empleada para calcular los diferentes costes de desplazamientos en tiempo ha sido la siguiente:



Impedancia

Costo en llevar un recurso de un extremo del segmento al otro extremo. Puede expresarse en términos de TIEMPO

Longitud metros
Velocidad km/h

$$I \text{ (min)} = \frac{\text{Longitud (m)} * 60}{\text{Vel (km/h)} * 1000}$$

1 h : 60 min
1 km : 1000m

$$= \text{Longitud} * 0.06 / \text{Vel (km/h)}$$

Imagen 1: Fórmula del cálculo de los costes de desplazamientos.

Una vez obtenidos los resultados correspondientes se ha seleccionado, gracias a la herramienta de análisis de redes, los diferentes recorridos que se pueden realizar, obteniendo los valores de tiempo y distancias que deben emplearse para desplazarse desde el Ayuntamiento de Málaga hasta los distintos puntos de llegada.

4 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tras la obtención de datos, los resultados obtenidos se sintetizan en el siguiente cuadro:

| | Autovía A-7 | Autopista AP-7 | Diferencia | Relación | |
|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|--|-------------|
| <u>De Málaga a:</u> | <i>Distancia (km) / Minutos</i> | <i>Distancia (km) / Minutos</i> | <i>Precio (€)</i> | <i>(km) / Minutos</i> | |
| | | | | <i>Precio (€) / Minutos diferencia</i> | |
| Calahonda | 44,5 / 28,7 | 43,2 / 26,6 | 2,85 | 1,3 / 2,1 | <u>1,36</u> |
| Marbella | 60,5 / 39,8 | 59,6 / 35,1 | 4,55 | 0,9 / 4,7 | <u>0,97</u> |
| San Pedro | 73,1 / 45,5 | 72,7 / 42,2 | 6,4 | 0,4 / 3,3 | <u>1,94</u> |
| Estepona | 89,7 / 58,1 | 90,2 / 51,4 | 7,7 | 0,5 / 6,7 | <u>1,15</u> |
| Manilva | 102,6 / 65,4 | 102 / 57,7 | 8,65 | 0,6 / 7,7 | <u>1,12</u> |
| Algeciras (Cádiz) | 139,8 / 89,8 | 138,4 / 79,1 | 9,7 | 1,4 / 10,7 | <u>0,91</u> |

Tabla 3: Diferencias espaciales y temporales respecto al uso del peaje, e índice coste-tiempo de un viaje con origen Málaga utilizando la Ap-7. Tarifa normal. Fuente: Google Maps. Elaboración propia.

Si trasladamos estos resultados a un gráfico, obtenemos:

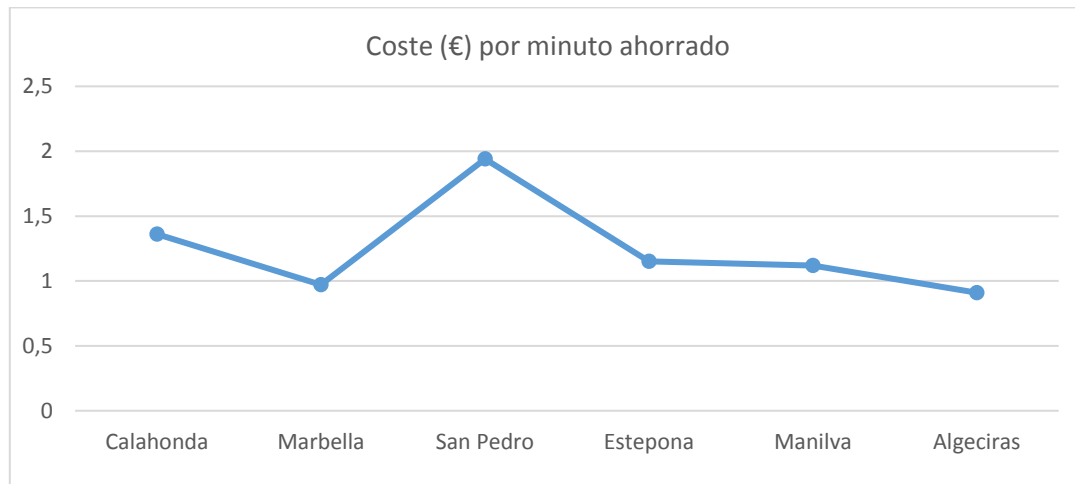


Figura 2: Coste por minuto ahorrado gracias a la utilización de la AP-7. Fuente: Google Maps. Elaboración propia.

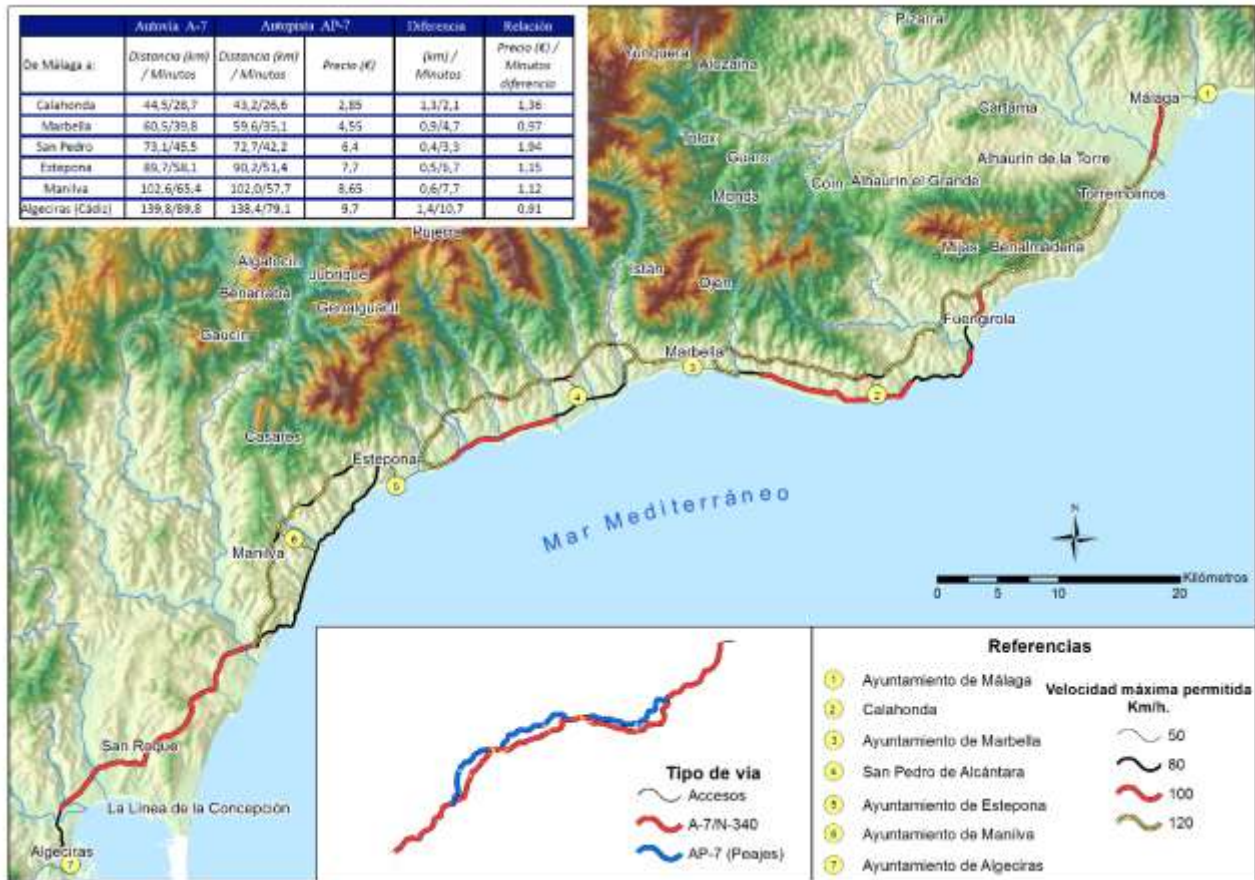


Imagen 2: Resultados obtenidos. Fuente: Instituto de Cartografía y Estadística de Andalucía. Elaboración propia.

El tiempo empleado con el uso de la autopista de peaje es menor en comparación con la autovía, no dándose esta situación con la distancia recorrida, pues apenas existen diferencias significativas. El ahorro temporal es constante, aumenta progresivamente en dirección Este-Oeste, a excepción de San Pedro de Alcántara.

En definitiva, conforme nos alejamos desde Málaga hacia la provincia de Cádiz por la Autopista del Mediterráneo, comprobamos que el coste que debemos abonar se va reduciendo, salvo excepciones puntuales, en función de la mayor distancia recorrida. Podríamos incluso afirmar que la única rentabilidad posible para el usuario es aquella que verse sobre el uso de la autopista AP-7 en los últimos tramos limítrofes con la provincia de Cádiz.

5 CONCLUSIONES

Consecuencia de este estudio hemos verificado la hipótesis planteada de que, a medida que nos alejamos de la provincia de Málaga hacia el Oeste, disminuye el coste proporcional al tiempo ahorrado en un trayecto determinado, no a un ritmo constante, dadas las excepciones de Marbella, pero sí paulatino. No obstante, sea cual sea un coste, implica un desembolso económico para el viajero. Las ventajas de la autopista de peaje no sólo se ciñen al tiempo, sino a una mayor seguridad y calidad en las vías o a un menor tránsito, aspectos que en conjunto pueden hacer que su utilización merezca la pena.

Este tránsito de viajeros tiene lugar en su mayoría en la gratuita autovía de peaje, clave para los desplazamientos que se realizan en las localidades de toda esta zona. La Carretera Nacional 340 funciona como eje articulador y saturado en la que, a pesar de la apertura de la autovía y autopista, no se ha producido apenas disminución del tráfico que circula por ella. Estos problemas de conexión no se ciñen sólo a esta vía, sino también a aquellos tramos en los que coinciden la A-7 con la AP-7 (Marbella, Estepona) o con la N-340 (Marbella, Estepona, Casares, Manilva).

Esta excesiva utilización de la autovía podría solventarse con la construcción de una vía alternativa, la Autovía del Guadalhorce conectada a través de Ojén, Coín y Cártama, con el fin de mejorar las conexiones con la capital malagueña. También podrían mejorarse las conexiones por carretera con un corredor interno que atravesase Ronda, una oferta complementaria y cercana al turismo de la Costa del Sol, o realizar plataformas reservadas al transporte colectivo en una ampliación de la autovía.

Se hace totalmente necesario limitar el consumo de energía y evitar el excesivo uso de combustibles fósiles para luchar contra el cambio climático y apostar por la sostenibilidad ambiental, aumentando a su vez el atractivo turístico de la zona, con criterios de una óptima calidad ambiental urbana y habitabilidad.

Para evitar el masivo y continuo uso de transporte motorizado, esencialmente privado, podrían desarrollarse redes peatonales continuas en el territorio intermunicipal, que articularían el territorio, evitando la contaminación producida por los vehículos a motor; e incluso planes para la construcción de redes de carriles-bici, no solamente de carácter urbano, sino también metropolitano.

6. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, mostramos nuestro más sincero agradecimiento al geógrafo y Profesor Dr. D. Federico Benjamín Galacho Jiménez, con quien aprendimos gracias a su demostrada experiencia y profesionalidad conocimientos relacionados con las Sistemas de Información Geográfica.

Este trabajo ha sido financiado con fondos del programa FPU del Gobierno de España, Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, con referencia FPU/015245.

Finalmente, nos gustaría agradecer la colaboración prestada en todo momento a nuestros directores de tesis, D. Matías Francisco Mérida Rodríguez y Dña. María Jesús Perles Roselló.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, M. J. (2006): *Ejercicios prácticos de Geografía Humana*. Madrid. Ed. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Alonso, L. (2009): *La Costa del Sol, destino pionero e innovador*. Málaga, La Opinión de Málaga.
- Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. *Datos Espaciales de Referencia de Andalucía*.
<http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/DERA/> Consulta: 15 de marzo de 2016.
- Instituto Nacional de Estadística. *Patrón Municipal*.
<http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=/t20/e245/&file=inebase> Consulta: 24 de febrero de 2016.
- Giménez, R. (1985): *Els Transports, objecte d'estudi de la Geografia*. Tesis de Licenciatura. Universitat de Barcelona.
- Gutiérrez, J. (2007): Los sistemas de información geográfica en la planificación del transporte. En: Camacho, M.T., Cañete, J.A., Chica, M. y Lara, J.J.: *Información espacial y nuevas tendencias de la información geográfica*. Granada, Universidad de Granada, pp. 67-107. 2007.
- Gutiérrez, J. (2013): *Transport Geography in Spain*. Journal of Transport Geography. 28, 216-128. 2013.
- Mancomunidad de Municipios de la Costa del Sol Occidental (2000): *Turismo y Tradición: Benahavís, Benalmádena, Casares, Estepona, Fuengirola, Istán, Manilva, Marbella, Mijas, Ojén, Torremolinos*. Málaga.
- Zárate, M. A, Rubio M. T. (2006): *Glosario y prácticas de Geografía Humana*. Madrid. Ed. Ceura.
- Zárate, M. A, Rubio, M. T. (2009): *Geografía Humana: Sociedad, Economía y Territorio*. Madrid. Ed. Universitaria Ramón Areces.

MEDICIÓN DE LA VULNERABILIDAD SOCIO-AMBIENTAL INTRAURBANA: UN ENSAYO EXPLORATORIO BASADO EN SIG

Antonio Moreno-Jiménez¹, Antonio J. Palacios-García¹, Pedro Martínez-Suárez¹

¹ Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Geografía, Ciudad Universitaria de Cantoblanco, 28049 Madrid, España antonio.moreno@uam.es, antonio.palacios@uam.es, pedromarts@hotmail.com

RESUMEN

Los estudios sobre justicia ambiental buscan determinar la existencia de discriminaciones, particularmente hacia grupos desfavorecidos, en cuanto a beneficios y perjuicios de naturaleza ambiental. La delimitación social y espacial de colectivos vulnerables al medio ambiente resulta en ellos una prioridad y en esta aportación se aborda la construcción de un indicador de vulnerabilidad socio-ambiental (IVuSA) centrado en grupos concretos de población. A tal fin se enuncia la lógica del mismo y se formula un procedimiento estadístico que integra la presencia de dichos grupos ponderada por el estatus socioeconómico. La aplicación experimental de varias versiones del IVuSA a la ciudad de Barcelona ha producido unos patrones de vulnerabilidad intraurbana (por secciones censales) que son caracterizados y comparados mediante técnicas estadísticas y cartográficas. Con ello se busca valorar las implicaciones de distintas formulaciones y avanzar hacia un instrumento idóneo para el diagnóstico de posibles situaciones de injusticia ambiental.

Palabras clave: vulnerabilidad socio-ambiental; indicador socio-espacial; ciudad; sistemas de información geográfica; análisis estadístico

ABSTRACT

Environmental justice studies seek to determine the existence of discrimination particularly to disadvantaged groups, in terms of benefits and harms of environmental nature. Social and spatial delimitation of environmentally vulnerable groups is then a priority. This work deals with the design of a socio-environmental vulnerability indicator (IVuSA) focused on specific population groups. It is described its development and a statistical procedure that integrates the presence of these groups weighted by the socioeconomic status. The experimental application of several versions of IVuSA to the city of Barcelona has produced intra-urban patterns of vulnerability (by census tracts) that are characterized and compared through statistical and mapping techniques. The objective has been to assess the implications of different formulations and to move towards an appropriate tool for the diagnosis of possible environmental injustice situations.

Keywords: socio-environmental vulnerability; socio-spatial indicator; city; geographical information systems; statistical analysis

1. INTRODUCCIÓN

Es notorio el interés por la vulnerabilidad humana, por un lado, como concepto que integra un variado conjunto de debilidades poseídas por las personas en su vida ordinaria y, por otro, como instrumento operativo para determinar prioridades de acción por parte de las políticas sectoriales y territoriales, avistando posibles mejoras en empoderamiento, resiliencia o protección. La vulnerabilidad se puede presumir diferenciada según tipos de amenazas, eventos, situaciones, etc., esto es, atañe a factores ambientales (físicos y humanos) que inciden en los individuos, según sus rasgos personales. Por ello, la vulnerabilidad interesa singularmente cuando se trata de grupos de población más sensibles o frágiles.

Los objetivos específicos de esta aportación son, por un lado, ensayar el diseño de un indicador cuantitativo de vulnerabilidad socio-ambiental que tenga en cuenta rasgos relevantes de la población involucrados en ese concepto; y por otro, explorar y valorar su empleo para desvelar y caracterizar patrones intraurbanos de grupos vulnerables, es decir, zonas destacadas, bien por la abundancia, bien por la escasez de dichos grupos.

Tras unos breves antecedentes, se describen los datos y métodos, algunos resultados selectos y unas breves conclusiones.

2. BREVE ESTADO DE LA CUESTIÓN

Aunque el interés por conocer las desigualdades urbanas, en sentido estricto, cuenta con una larga tradición sociológica, urbanística, económica y geográfica, en los últimos años parece cobrar importancia un enfoque diferente en los estudios de diferenciación socio-espacial urbana. Así, en la actualidad priman las visiones que plantean las diferencias en la composición social de la población a través de su desigual distribución espacial y, por ende, su desigual comportamiento ante los problemas medioambientales. Precisamente es esta incapacidad o dificultad que presentan determinadas personas o grupos de personas para enfrentar un fenómeno amenazante (por tanto un riesgo, Alguacil *et al.*, 2014) y/o reponerse del mismo con posterioridad (Egea *et al.*, 2009), lo que entendemos por vulnerabilidad social. Así, la perspectiva social de la vulnerabilidad sería aquella que pone el acento entonces en la fragilidad de las personas (Bertoux y González, 2015), lo que resulta más acusado aún si cabe, en los grupos más sensibles o vulnerables, como niños y ancianos, en los que basaremos los análisis posteriores.

Sin embargo, aunque los conceptos básicos sobre los que se asienta esta aportación, la justicia ambiental y la vulnerabilidad social, están bien justificados teórica y prácticamente en diversos estudios, no lo están tanto los indicadores cuantitativos empleados para la medición, cuantificación y/o representación (Mateos, 2013).

En este sentido, se dispone ya de un cierto número de intentos de crear indicadores y medidas aplicadas a la vulnerabilidad social. La mayor parte de ellos analizan las desigualdades a través de variables y dimensiones de las condiciones sociales de carácter demográfico (edad, raza, sexo, país de nacimiento, educación, ocupación, etc.), económico (estatus social, ingresos, ahorro, etc.) o de otro tipo (vivienda, dotaciones, redes sociales, seguridad, etc.), referenciados casi siempre a nivel individual o de hogar. En este sentido, en la literatura internacional uno de los principales referentes sería el Índice de Vulnerabilidad Social al peligro ambiental (SoVI) de Cutter *et al.* (2003). En esta misma línea estaría el mapa de riesgos integrado de Collins *et al.* (2009) aplicado a la ciudad mexicana de Ciudad Juárez y a la estadounidense de El Paso. Otras aportaciones que toman como grupos desfavorecidos a los niños y a los ancianos son la de Andrey y Jones (2008), que realizan mediante un análisis de componentes principales un estudio sobre el Gran Vancouver (Canadá) y la de Sadd *et al.* (2011) que, adaptando la herramienta de medición de justicia ambiental de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, evalúan el ranking de impactos acumulativos y vulnerabilidad social en la costa californiana.

En España, por su parte, el principal referente lo constituye el Catálogo de Barrios Vulnerables incluido en el Observatorio de la Vulnerabilidad Urbana del Ministerio de Fomento, cuya metodología diacrónica ha sido planteada en la obra de Alguacil *et al.* (2014). Otros ejemplos significativos serían los de Egea *et al.* (2009), que en la ciudad de Granada realizan un estudio a partir de la obtención de un indicador final de síntesis, el nivel de situación desfavorable. Por último, en la misma ciudad, Sánchez (2009) verifica a través de un índice de vulnerabilidad socio-espacial del envejecimiento que dicha situación se debe fundamentalmente a los factores de exclusión, dependencia y discapacidad.

3. DATOS Y MÉTODOS

3.1 Fuentes de datos estadísticos y cartográficos

El ámbito de estudio corresponde a la ciudad de Barcelona, donde residen 1.609.550 habitantes (Ayto. de Barcelona, 2016a). Las variables poblacionales elegidas atañen, por un lado, a los grupos de edad más vulnerables (*vid. supra*), es decir, los niños (0-4 años) y ancianos (80 y más años), y por otro, al nivel de instrucción clasificado como bajo (sin estudios) y alto (estudios universitarios / ciclos formativos de grado superior). Los datos por secciones censales (1.068) fueron obtenidos del Departamento de Estadística del Ayuntamiento de Barcelona (Padrón Municipal de Habitantes, 30/06/2015). Luego se calcularon los porcentajes respecto a la población total (edad) y a la población de 16 y más años (nivel de instrucción).

Como zona estricta de estudio se delimitó el “área urbana poblada (AUP)”, por su presencia habitual de residentes, incluyendo en ella las zonas de vivienda y entorno cercano, comercial, de ocio, etc. y excluyendo las áreas extensas de uso industrial, transporte, agrícola, ganadero, forestal, etc., donde la densidad de población es baja o nula. Su delimitación operativa con SIG se realizó tras un minucioso examen de diferentes fuentes de geoinformación del Instituto Geográfico Nacional y del Ayuntamiento de Barcelona (fechadas entre 2012 y 2016). De esta última institución (2016b) se obtuvo también la cartografía de divisiones administrativas (fecha 01/2015). Las unidades espaciales de análisis (UE) serán las secciones censales (ámbito dentro del AUP).

3.2 Métodos y técnicas estadísticas

La obtención de indicadores cuantitativos orientados a aprehender conceptos complejos ha atraído la atención en las ciencias sociales desde hace tiempo (*vid.* Horn, 1993, y en Geografía cuenta con una amplia trayectoria (Olivera, 1997). Típicamente el proceso metodológico recorre unas etapas, que están bien definidas en la bibliografía (*e. g.* Coombes y Wong, 1994). En la descripción de Smith (1977) básicamente serían: concepto abstracto → propiedades involucradas → medidas cuantitativas.

Como punto de partida conceptual asumimos que hay grupos demográficos (segmentos de población) que, por sus rasgos, por ejemplo biológicos o de situación social, son objetivamente más “débiles” a las amenazas ambientales. Por tal motivo, su presencia en una zona, bien en términos absolutos, bien relativos, supone un componente fundamental para cuantificar la vulnerabilidad allí. El indicador se sustentará en tales cifras.

Por otro lado, resulta lógico asumir también que un cierto número de otros factores afectan el grado de debilidad / fragilidad. Cabría citar al respecto atributos como educación, renta, situación familiar, ocupación, etc. En conjunto, puede postularse que la dimensión conocida como estatus socioeconómico (ESE) y los componentes que lo integran aportan una capacidad al individuo de “modular” aquella vulnerabilidad a través de, por ejemplo, el conocimiento y potencialidades propias, la ayuda y asesoramiento de terceros, la autoprotección, etc. Por tal razón, aquí se incorporará este indicador bajo la forma de una ponderación.

Sobre tales bases, nuestro indicador se concibe como una función de esta guisa: $IVuSA_j = f(GP_j, ESE_j)$, siendo, GP_j = efectivos del grupo de población vulnerable j ; ESE_j = estatus socioeconómico del grupo de población j . El indicador implicaría entonces dos tipos de variables: A) unas relativas a los efectivos de los grupos de población biológicamente vulnerable (GPBV) y B) otras al estatus socioeconómico de ellos.

A) La medición de los efectivos de los GPBV requeriría primero una justificación de las propiedades que determinan su vulnerabilidad y luego su delimitación operativa. En este trabajo preliminar se ha adoptado un criterio algo simple, pero que cuenta con sobradas pruebas de su idoneidad, la edad. Es bien conocido a través de los estudios demográficos y de salud que algunos grupos de edad resultan singularmente vulnerables como seres vivos, destacando al respecto los niños y los ancianos.

Desde la perspectiva espacial, la presencia en un lugar (unidad espacial) de más o menos efectivos de un grupo considerado como vulnerable constituiría una base contable obvia. Su expresión operativa puede recurrir a obtener la cantidad, bien absoluta, bien relativa, de cada grupo vulnerable en cada unidad espacial. El uso de la primera transcribiría una magnitud de “vulnerabilidad” espacialmente georreferenciada directamente

proporcional a lo que se quiere medir. La cuestión a solventar en tal caso radicaría en la comparabilidad de esas frecuencias entre unidades espaciales. Dado que estas suelen tener áreas (y formas) diferentes (por ejemplo, secciones censales, barrios, distritos, etc.), se requeriría calcular la densidad espacial de cada grupo (para deflactar el desigual tamaño) en cada unidad espacial, o mejor aún, estimar la cuantía absoluta por unidades estándar en tamaño y forma, por ejemplo cuadrados (píxeles en la jerga de los SIG), mediante alguno de los conocidos instrumentos cuantitativos. La ventaja de tales datos radica en que se aproximarían “en bruto” a la magnitud de los colectivos vulnerables allí existentes. Un asunto importante a considerar estriba en que, como es sabido, la delimitación de grupos vulnerables precisa recurrir a criterios para “segmentar” a la población, con la particularidad de que algunos de tales criterios conducen inexorablemente a subconjuntos no disjuntos, sino intersecados. Cómo tratar la “contabilidad repetida” que se generaría a la hora de derivar mediciones sintéticas de la “vulnerabilidad global” de la población de un lugar, integrando varios criterios de segmentación, es un problema importante que habría de ser teórica y operativamente resuelto de forma satisfactoria. Si no hubiese intersección de subconjuntos, como será nuestro caso aquí, el asunto se obvia, facilitando bastante el proceso.

En la segunda opción, enfocada hacia las cantidades relativas, el recurso a los porcentajes de cada grupo sobre la población en cada UE resulta la vía habitual, pues ello facilita la comparación entre zonas. La integración de tales valores relativos (para avanzar hacia una síntesis de ellos), derivados de otros tantos criterios de vulnerabilidad, requiere adoptar una función conveniente. Tres alternativas se han avistado al respecto, siempre recurriendo al mismo tipo de estadístico, la media, en cada UE:

1) El promedio aritmético simple, que notaremos MA; es bien conocido que la representatividad de la media estadística puede resultar mermada cuando se aplica a porcentajes muy dispares, como los que pueden hallarse en casos como el nuestro. Los valores y su rango de variación pueden diferir bastante entre las variables a integrar, incluso estando todas ellas en la misma escala (por ejemplo porcentajes).

2) La media geométrica, que notaremos MG (Ec. 1); suele estar recomendada precisamente para tipos de variables como los porcentajes, índices, tasas, etc. (*vid.* Martín Guzmán y Martín Pliego, 1985, pp. 31-33), cuando el fenómeno medido posee rasgos acumulativos (*v. gr.* tasas de crecimiento o variación); como particularidad importante de ella merece reseñarse que es menos sensible que la media a los valores extremos, esto es, la fórmula atenúa en mayor medida los valores más altos.

3) La familia de medias de orden m (M_m), según la fórmula general de Foster (Ec. 2).

$$MG = \sqrt[N]{\prod_{j=1}^N x_j}$$

Ec. 1. x_j = porcentaje del grupo j

$$M_m = \sqrt[m]{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j^m}$$

Ec. 2

La media aritmética es el caso particular cuando $m = 1$. Un ejemplo también común de este tipo es la media cúbica (con $m = 3$), utilizada en los conocidos índices de pobreza humana, IPH-1 e IPH-2 (*vid.* Anand y Sen, 1997). El uso de exponentes > 1 otorga más importancia a los valores más altos, es decir, exagera las diferencias; esto implicaría, pues, una sobre-valoración para los lugares donde ello sucede. En este estudio se ha elegido tentativamente la media cuadrática (que notaremos MC), con un valor para $m = 2$, que implicaría una exageración moderada.

B) La aprehensión y medición del ESE ha de recurrir a la larga tradición de estudios sobre patrones sociales intraurbanos, en la que se ha establecido el conjunto de facetas y variables que se ven involucradas en él (*e. g.* Johnston, 1971; Moreno, 1987; Fuenzalida y Moreno, 2010). En este trabajo preliminar, por severas limitaciones en la disponibilidad de datos, el abanico se ha reducido exclusivamente a la dimensión educativa, adoptando para ello dos variables bien conocidas: los porcentajes de personas > 16 años con nivel educativo bajo y alto, según se han descrito antes, si bien en situaciones de mayor riqueza de información se habría de adoptar una gama más extensa y representativa de variables.

Para obtener la síntesis de tales variables en un indicador compuesto de ESE el recurso a la familia de técnicas del análisis de componentes principales (ACP) o análisis factorial (*vid.* Moreno, 1994) resulta adecuado. Dado que lo que se busca es retener la mayor parte de la variabilidad de ese tipo de variables, seleccionadas para capturar facetas del ESE, la atención se centra en el primero de los componentes, por lo que solo se ha analizado el primero de ellos (excluyendo las conocidas rotaciones). Como resultado se ha aprovechado la matriz de cargas de las variables en dicho componente (*factor loadings*) y las puntuaciones factoriales (z_i , *factor scores*) de las secciones en el mismo.

El objetivo expuesto antes de adoptar una ecuación en la que el ESE actuase como peso de los efectivos identificados como vulnerables demandaba una transformación de las puntuaciones factoriales obtenidas en el ACP. A tal fin se han desarrollado dos pasos:

1) Transformar linealmente las puntuaciones factoriales z_i , que, por estar tipificadas, poseen signos, unas negativo y otras positivo, para convertirlas todas en positivas y eventualmente cambiar su signo. Se ha recurrido a la expresión (que se suele denominar normalización): $T_i = a \cdot z_i + b$. Siendo $a = \pm 1$ una constante unitaria destinada a cambiar el signo de las puntuaciones, en caso de ser necesario y según fuese el sentido que el factor asocia a los valores positivos y negativos. En el supuesto de que las z_i positivas expresen alto ESE, entonces $a = -1$; si por el contrario las z_i positivas expresasen bajo ESE, entonces $a = 1$. En nuestro estudio el ACP asignó valores positivos a las zonas con bajo ESE, por lo que se adoptó $a = 1$ y $b = 10$. Así se consigue que todas las puntuaciones factoriales, habitualmente en un rango entre ± 3 , sean positivas.

Tras esa transformación cabe recordar que las nuevas puntuaciones tendrían como media = 10 (recuérdese que las z_i originales poseen media 0) y como desviación típica 1 (no cambia respecto a la de las z_i originales).

2) Obtener pesos adecuados para integrarlos en la fórmula del IVuSA que operen de la forma deseada, es decir, ponderar más a los lugares con bajo ESE y menos a los que poseen alto ESE. A tal fin se adoptó una reducción por la nueva media de este tenor: $W_i = T_i / 10$. Su fin será aumentar o reducir proporcionalmente las medias que expresan los grupos vulnerables en cada UE, tomando como referencia la nueva media de las puntuaciones factoriales en el ESE (10).

La integración operativa de ambos componentes parciales, GP y ESE, ha recurrido a un simple producto. En resumen, se han ensayado 3 versiones para el índice de vulnerabilidad socio-ambiental (IVuSA). Para cada unidad espacial i se computarían como sigue:

- o IVuSA^a basado en la media aritmética de los porcentajes, para la UE_j sería: $IVuSA_i^a = MA_i \cdot W_i$
- o IVuSA^b basado en la media geométrica de los porcentajes: $IVuSA_i^b = MG_i \cdot W_i$
- o IVuSA^c basado en la media cuadrática de los porcentajes: $IVuSA_i^c = MC_i \cdot W_i$

Los tratamientos se han realizado con ArcGIS y con el sistema estadístico Number Cruncher Statistical System (NCSS). Los mapas de coropletas se han diseñado de manera consistente y comparable.

4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 El componente educativo del ESE

La aplicación del ACP a las dos variables de nivel educativo parte de una aceptable base, pues la correlación lineal entre ambas asciende a -0,781. La prueba de significación estadística de la t de Student para un coeficiente tal con 1.068 datos, y si fuesen distribuciones normales (los test lo han rechazado), arrojaría un valor de 40,78, que avalaría ser estadísticamente distinto de 0, con un p -valor = 0,000. El primer componente extraído posee un *eigenvalue* de 1,78, que supone el 89,03 % de la varianza de dichas variables. La matriz factorial (Tabla 1) desvela unos coeficientes en dicho componente muy altos (próximos a $|1|$). La dimensión educativa queda bien recogida por dicho componente bipolar, siendo de notar que el polo positivo apunta a los niveles de instrucción bajos y el negativo a los niveles superiores.

| VARIABLES | Componente 1 | Componente 2 | Comunidad |
|----------------------------------|--------------|--------------|-----------|
| Nivel de instrucción bajo (%) | 0,9436 | 0,3312 | 1 |
| Nivel de instrucción alto (%) | -0,9436 | 0,3312 | 1 |
| Valor propio / <i>eigenvalue</i> | 1,7806 | 0,2194 | 2 |
| % | 89,03 | 10,97 | 100 |

Tabla 1. Matriz de coeficientes factoriales en los dos componentes. Fuente: elaboración propia.

4.2 Análisis estadístico comparado de las versiones ensayadas del IVuSA

El cotejo de los estadísticos univariados sobre los resultados arrojados por las tres fórmulas (Tabla 2) permite una primera caracterización de los efectos derivados de cada una. Tomando como referencia el IVuSA basado en la media aritmética se constata que el sustentado en la media geométrica provoca una reducción de todos los estadísticos, incluyendo una contracción de la dispersión de cierta importancia. Claramente, pues, la media geométrica homogeneiza y atenúa las diferencias intraurbanas del indicador de vulnerabilidad socioespacial. Por su parte, el empleo de la media cuadrática provoca el efecto contrario: aumenta todos los estadísticos y amplifica las diferencias intraurbanas del indicador de vulnerabilidad. Estos rasgos son observables en los histogramas (omitidos aquí).

| FÓRMULA | Media | Desv. típica | Coef. var. | Mínimo | Máximo | Amplitud | C. asimetría |
|------------------|-------|--------------|------------|--------|--------|----------|--------------|
| Media aritmética | 6,06 | 1,59 | 0,26 | 2,50 | 18,02 | 15,52 | 1,81 |
| Media geométrica | 5,63 | 1,23 | 0,22 | 2,16 | 11,20 | 9,04 | 0,90 |
| Media cuadrática | 6,45 | 1,96 | 0,30 | 2,80 | 23,60 | 20,46 | 2,30 |

Tabla 2. Estadísticos univariados de las tres versiones del IVuSA. Fuente: elaboración propia.

La confrontación mediante técnicas bivariadas profundiza un poco más en los resultados con las distintas medias. Las correlaciones se muestran siempre altas (Tabla 3), si bien el valor más bajo emerge entre los IVuSA usando la media geométrica y la cuadrática, debido a los efectos contrarios que provocan. Según estos resultados las distintas variantes no alteran sustancialmente los resultados.

| FÓRMULA | Media aritmética | Media geométrica | Media cuadrática |
|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Media aritmética | 1 | | |
| Media geométrica | 0,951 | 1 | |
| Media cuadrática | 0,989 | 0,896 | 1 |

Tabla 3. Correlaciones lineales entre los índices de vulnerabilidad basados en tres tipos de medias. Fuente: elaboración propia.

El examen de la Figura 1 resulta muy clarificador a nuestros fines experimentales: en el diagrama A queda de manifiesto cómo la media geométrica contrae los valores altos llegando a ocasionar una ligera distorsión no lineal, detectada por la línea Loess, y una cierta heterocedasticidad (en la parte derecha del eje X). La fórmula con la media cuadrática (diagrama B) no altera tanto la forma de la nube de puntos, si bien de nuevo el ajuste Loess desvela una pequeña desviación del caso anómalo, respecto a la casi linealidad en el resto del diagrama. Finalmente, el diagrama C, donde se confrontan los resultados de las medias geométrica y cuadrática, tiene un parecido general con el A, si bien los puntos ahora están menos concentrados, habiéndose expandido horizontalmente por efecto de la media cuadrática. Ello acarrea un aumento de la heterocedasticidad y de la no linealidad, como refleja la línea Loess. En resumen, los análisis realizados han permitido aflorar unas variaciones estadísticas en los resultados de distinto signo, pero de un alcance moderado.

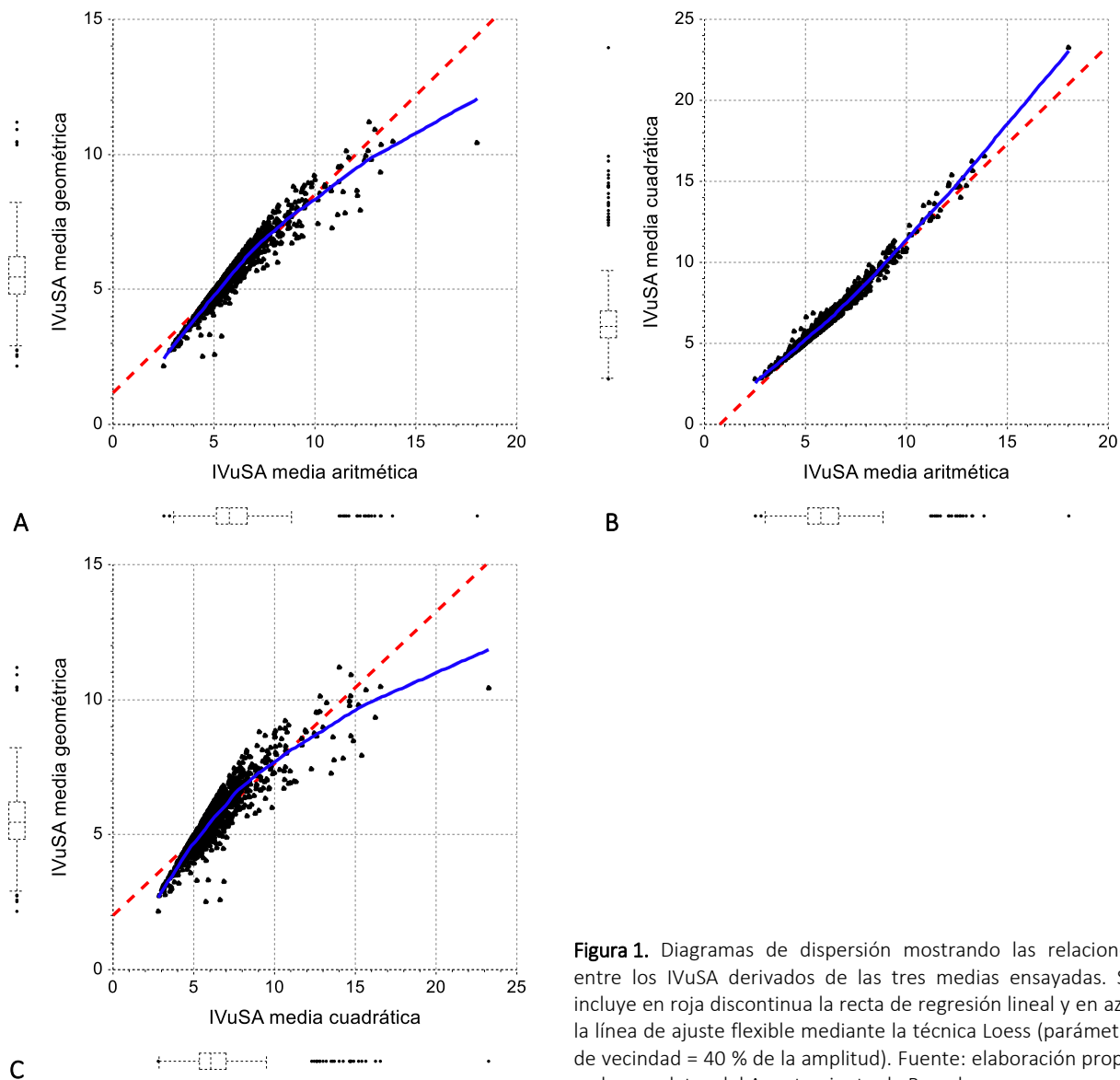


Figura 1. Diagramas de dispersión mostrando las relaciones entre los IVuSA derivados de las tres medias ensayadas. Se incluye en roja discontinua la recta de regresión lineal y en azul la línea de ajuste flexible mediante la técnica Loess (parámetro de vecindad = 40 % de la amplitud). Fuente: elaboración propia en base a datos del Ayuntamiento de Barcelona.

4.3 Comparación de los mapas de distribución intraurbana de las tres versiones del IVuSA

El último elemento útil para la valoración comparada que estamos realizando estriba en los mapas de los indicadores de vulnerabilidad generados por los tres tipos de medias, en los cuales se ha mantenido consistentemente la técnica de división en intervalos y la paleta de color.

La adopción de la media aritmética desvela un patrón en el que prevalecen con mucho las secciones censales del intervalo central (Figura 2A). La mayor vulnerabilidad (tonos rojos) surge en ciertas zonas de los distritos del norte como Horta-Guinardo, Nou Barris y Sant Martí, con clara proclividad periférica. Fuera de tales lugares, brota en algunas secciones aisladas del tejido urbano: parte interior, e incluso en el sur. Por su lado, la menor vulnerabilidad (en azul) aflora, de manera algo más dispar, con particular presencia en Ciutat Vella y secciones próximas de Sant Martí, pero también en diversos ámbitos de todos los distritos.

El mapa del IVuSA basado en la media geométrica da lugar a siete intervalos (Figura 2B), uno más que en el anterior, lo que altera un poco la comparación. En el tramo superior del IVuSA (tonos rojos) los valores elevados se han acentuado y exhiben ahora una extensión algo superior; ello es patente en los tres distritos del norte y noreste (sobre todo en Sant Martí), donde se conforman manchas continuas, y se corrobora también en el sur de la ciudad. Por el lado de los valores bajos (en azul) las diferencias más reseñables respecto

al anterior mapa conciernen a dos aspectos: por un lado en diversas secciones se constata un corrimiento hacia intervalos superiores (*i. e.* azules más claros); por otro, en ciertas secciones el deslizamiento les ha llevado al intervalo central ($\pm 0,5$ desv. típicas), denotando un aumento. Ello les situaría en una posición de vulnerabilidad media y no medio-baja como antes.

La comparación del IVuSA basado en la media cuadrática (Figura 2C) con el de la media aritmética, aunque los valores, como se vio antes, se modifican, denota un patrón espacial con muy alto grado de semejanza –salvo en unas pocas secciones censales de Sant Andreu, Sant Martí y Sants-Montjuich–, tanto en los intervalos que superan claramente la media ($> 0,5$ desv. típicas, en tonos rojizos), como en los inferiores ($< -0,5$ desv. típicas, en verde), por lo que ambas técnicas transmitirían un mensaje gráfico semejante.

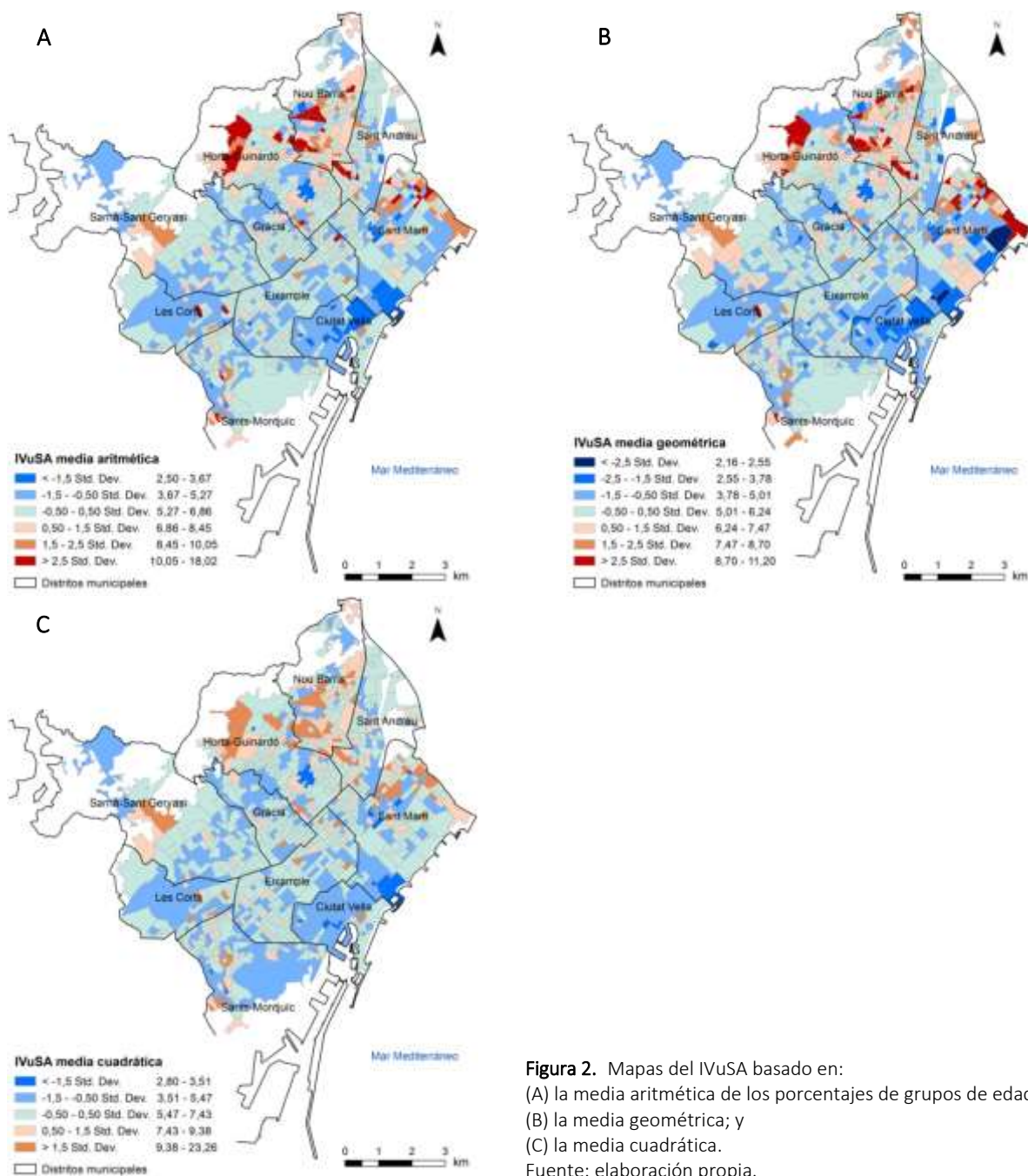


Figura 2. Mapas del IVuSA basado en: (A) la media aritmética de los porcentajes de grupos de edad; (B) la media geométrica; y (C) la media cuadrática. Fuente: elaboración propia.

Como balance de los tres mapas presentados cabe señalar: la importante coincidencia que entre ellos se aprecia, siendo mayor entre el primero y el tercero; en ambos, los contrastes espaciales del IVuSA aparecen más patentes o exagerados que en el caso de la media geométrica; si se tiene en cuenta que ciertas concentraciones de ancianos podrían estar asociadas a residencias de mayores, la opción de limitar su impacto en el IVuSA con la fórmula de la media geométrica podría ser preferentemente adoptada.

5. CONCLUSIONES

Un cierto número de trabajos han abordado el reto de medir la vulnerabilidad recurriendo a una pluralidad de variables, dada la multiplicidad de facetas involucradas en tal concepto, y a técnicas destinadas a sintetizarlas, tales como el ACP. En el marco de una investigación más amplia sobre justicia ambiental, en este trabajo se ha presentado un ensayo original de medición de la vulnerabilidad de ciertos grupos de población al ambiente, en el interior de grandes ciudades. Respecto a los antecedentes bibliográficos descritos, nuestra aportación ha puesto el acento en la forma de aprehenderlo operativamente. Así, se ha concretado una lógica procedimental que integra dos componentes importantes de la vulnerabilidad: por un lado los efectivos de ciertos grupos demográficos, caracterizados por su notoria debilidad a amenazas ambientales, tal como se ha recogido en los estudios citados sobre el tema; y por otro, el estatus socioeconómico como “modulador” que modifica dicha fragilidad. La estructura del índice propuesto ha conducido, mediante el empleo de diversas técnicas de estadística univariada, bivariada y multivariante, a una fórmula controlable e interpretable fácilmente por expertos y decisores. Los resultados de tres versiones de la misma han sido confrontados para desvelar y apreciar sus particularidades métricas. Se ha obtenido, pues, un primer instrumento, que habrá de ser ensayado en situaciones diversas (*i. e.* otras ciudades) y con datos más abundantes, cuestión esta que ha limitado el alcance de este trabajo preliminar. En todo caso, cabe postular la potencialidad que encierra el indicador propuesto para la evaluación diagnóstica y las comparaciones diacrónicas de esa importante dimensión que es la vulnerabilidad humana.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el marco del Proyecto de Investigación “Polución del aire, poblaciones vulnerables y salud: análisis de injusticias ambientales basados en geotecnologías” (Ref. CSO2014-55535-R), financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España.

7. BIBLIOGRAFÍA

Alguacil, J., Camacho, J. y Hernández, A. (2014): “La vulnerabilidad urbana en España. Identificación y evolución de los barrios vulnerables”, *EMPIRIA. Revista de Metodología de Ciencias Sociales*, 27, pp. 73-94.

Anand, S. y Sen, A. (1997): Concepts of human development and poverty. A multidimensional perspective, en *Poverty and Human Development. Human Development Papers*. New York, United Nations Development Programme, pp. 1-20.

Andrey, J. y Jones, B. (2008): “The dynamic nature of social disadvantage: implications for hazard exposure and vulnerability in Greater Vancouver”, *The Canadian Geographer*, 52, 2, pp. 146-168.

Ayuntamiento de Barcelona (2016a): *Lectura del Padrón Municipal de Habitantes, año 2015 (a fecha 30/06/2015)*. Departamento de Estadística. Disponible en web: <<http://www.bcn.cat/estadistica/castella/dades/tpob/pad/padro/a2015/index.htm>>.

- Ayuntamiento de Barcelona (2016b): *Web de Descargas de Cartografía del Ayuntamiento de Barcelona (CartoBCN)*. Departamento de Información de Base y Cartografía. Disponible en web: <<http://w20.bcn.cat/cartobcn/>>.
- Bertoux, L. y González, D. (2015): "Vulnerabilidad y resiliencia urbana frente al cambio climático: el caso de la zona metropolitana de Guadalajara, México", *Revista Urbano*, 31, pp. 24-31.
- Collins, T., Grineski, S. y Romo, M^a. (2009): "Vulnerability to environmental hazards in the Ciudad Juárez (México) – El Paso (USA) metropolis: A model for spatial risk assessment in transnational context", *Applied Geography*, 29, pp. 448-461.
- Coombes, M. y Wong, C. (1994): "Methodological steps in the development of multivariate indexes for urban and regional policy analysis", *Environment and Planning A*, 26, pp. 1.297-1.316.
- Cutter, S., Boruff, B. y Shirley, W. (2003): "Social vulnerability to environmental hazards", *Social Science Quarterly*, 84, 2, pp. 242-261.
- Egea, C., Nieto, J. A., Domínguez, J. y González, R. (2009): "Viejas y nuevas realidades urbanas. Identificación de zonas de habitabilidad desfavorecida en la ciudad de Granada", *Cuadernos Geográficos*, 45 (2), pp. 83-105.
- Fuenzalida, M. y Moreno, A. (2010): "Propuesta metodológica para establecer el patrón territorial del status socio-económico de la población, basada en pequeñas unidades espaciales estándar. Aplicación a la región de Valparaíso (Chile)", *Argos*, 27 (52), pp. 98-125.
- Horn, R. V. (1993): *Statistical indicators for the economic and social sciences*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Instituto Geográfico Nacional (IGN) (2016): *Centro de Descargas*. Centro Nacional de Información Geográfica. Disponible en web: <<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/inicio.do>>.
- Johnston, R. J. (1971): *Urban residential patterns: an introductory review*. Londres, Bell.
- Martín-Guzmán, M. P. y Martín Pliego, F. J. (1985): *Curso básico de Estadística Económica*. Madrid, AC.
- Mateos, P. (2013): "La doble segregación urbana: desigualdades socio-espaciales y justicia ambiental", en Márquez, J. A., González, R., Jurado, J. M. y Rúa, A. (Coords.): *Actas del III Congreso Internacional de Desarrollo Local*. La Habana, Universidad de La Habana, pp. 3.488-3.510. 6-9 noviembre 2103, La Habana.
- Moreno Jiménez, A. (1987): "La diferenciación social del espacio en Carabanchel", *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 7, pp. 473-482.
- Moreno Jiménez, A. (1994): "Análisis factorial", en Bosque Sendra, J. y Moreno Jiménez, A.: *Prácticas de análisis exploratorio y multivariante de datos*. Barcelona, Oikos tau, pp. 87-142.
- Olivera, A. (1997): "Indicadores en geografía social", *Estudios Geográficos*, 229, pp. 689-709.
- Sadd, J., Pastor, M., Morello-Frosch, R., Scoggins, J. y Jesdale, B. (2011): "Playing it safe: Assessing cumulative impact and social vulnerability through an environmental justice screening method in the South Coast Air Basin, California", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8, 5, pp. 1.441-1.459.
- Sánchez, D. (2009): "Geografía del envejecimiento vulnerable y su contexto ambiental en la ciudad de Granada: discapacidad, dependencia y exclusión social", *Cuadernos Geográficos*, 45 (2), pp. 107-135.
- Smith, D. (1977): *Patterns In Human Geography: An Introduction to numerical methods*. Londres, Penguin.

MÉTODOS DE ADSCRIPCIÓN Y TRATAMIENTO ESPACIAL PARA LA GENERACIÓN Y VISUALIZACIÓN DE INDICADORES DE VIVIENDA (GRID) A TRAVÉS DE CATASTRO

Juan P. Pérez-Alcántara, M. del Pilar Díaz-Cuevas¹, José I. Álvarez-Francoso¹ y José Ojeda-Zújar¹

¹Universidad de Sevilla. Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico. C/ Doña María de Padilla s/n. CP41004. Sevilla). jp.alcantara@geographica.gs, pilard@us.es, jalvarez2@us.es, zujar@us.es

RESUMEN

Si bien el Catastro inmobiliario constituye un excelente banco de datos georreferenciado, su representación cartográfica, en el máximo nivel de detalle (shapefiles de parcelas y construcciones), solo permite que las agregaciones puedan ser realizadas a nivel administrativo (manzanas catastrales, municipios, etc.), dificultando la percepción visual de los patrones espaciales.

El objetivo principal del presente trabajo consiste en mostrar la metodología seguida y los resultados preliminares de los métodos de adscripción y representación de indicadores catastrales del parque residencial andaluz (calculados y expuestos en otro trabajo en este congreso y extraídos de la información catastral - formato CAT-), a diversas celdillas pertenecientes a GRIDs de diferente tamaño (1 km², 250 m², 125 m², 62.5 m² y 32.25 m²). Los resultados muestran como la estructura en celdillas mejoran la visualización de los patrones espaciales a escalas pequeñas y medianas. La estructura en celdillas facilitan igualmente la automatización de generación de servicios WMS para su visualización en geovisores web, a la vez que suponen una buena opción para aquellos indicadores que puedan verse afectados por secreto estadístico.

Por otro lado, la representación en grid de los datos catastrales posibilitará la integración futura de éstos con otros datos demográficos, socioeconómicos o medioambientales, también distribuidos en celdillas (grid), o raster (MDEs, Corine Land Cover, Grid de 250 m² de población realizado para Andalucía, o Grid de 1 km² del Censo de población y viviendas 2011).

Palabras clave: Catastro; Grid; parque residencial.

ABSTRACT

Although Spanish Cadastre is an excellent geo-referenced data bank, its cartographic representation at the highest disaggregation level, (boundaries of plots and constructions), only allows cadastral data aggregations at higher administrative levels, making very difficult the identification of spatial patterns.

The main purpose of this work is to set out the methodology carried out for residential properties cadastral indicators allocation and cartographic representation (calculated using Cadastral information-CAT- and presented in another work at this Congress), for different grid cells levels (1 km², 250 m², 125 m², 62.5 m² y 32.25 m²).

Results shows how using of cells for spatial mapping facilitates the identification of spatial patterns at medium-small spatial scales. The use of grid structure provides an automated procedure for WMS web viewers visualization, being a good option for the representation of indicators than are affected by statistical confidentiality.

On the other hand, grid representation of cadastral information will allow the future integration with another kind of grids or raster data (MDEs, Corine Land Cover, Andalusia Population 250 m² grid or 1 km² Censo de Población y Viviendas Grid, 2011)

Keywords: Cadastre; Grid; residential properties.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo forma parte de la investigación realizada en el marco de un Proyecto FEDER con la Agencia de Obra Pública de Andalucía titulado *Georreferenciación, caracterización estadística y estrategias de difusión del espacio residencial en Andalucía*, cuyo objetivo era la realización de un inventario de vivienda en Andalucía, así como el diseño y la promoción de estrategias para una correcta difusión de los resultados obtenidos. Para el cumplimiento de estos objetivos, el uso de Catastro inmobiliario ha resultado fundamental no sólo por aportar la base geométrica al inventario residencial (parcela), sino porque además Catastro aporta información temática de gran importancia, dado que es un registro administrativo en el que se describen los bienes inmuebles, incluyendo sus características físicas, económicas y jurídicas (entre las que se encuentran: la referencia catastral, la localización, la superficie, el uso o destino, la clase de cultivo o aprovechamiento, la calidad de las construcciones, entre otros). Dicha información, en permanente actualización, convierte al Catastro inmobiliario en un excelente banco de datos georreferenciado. Todo ello hace que sea relativamente frecuente el uso de esta fuente de información para diferentes investigaciones científicas (Fidalgo y Sancho, 2004; Gávez-Salinas *et al.*, 2013; Mora-García y Martín, 2015).

En el caso que nos ocupa, la información del Catastro descargable (formato CAT) se recoge en diferentes tablas, pero la referencia espacial al mayor nivel de detalle de los atributos de estas solo es posible adscribirla a las parcelas catastrales (polígonos del shapefile poligonal *parcela*). Aunque también se distribuye otra información directamente relacionada con la vivienda en el shapefile poligonal *constru* (polígonos que recogen la geometría y número de plantas del espacio construido dentro de la parcela), no existe ningún código, al menos en el formato CAT, que asocie el inmueble residencial con esta información espacial.

La necesidad de buscar estrategias para la difusión de la información y los indicadores resultantes, alejados de la representación en coropletas, que permitan superar las agregaciones a nivel administrativo y que garanticen el secreto estadístico de la información sensible, han llevado en la actualidad a la representación en grid de la información geográfica del cual existen varios ejemplos. Destacan los grids utilizados para la representación de indicadores climáticos por el Global Climate Monitor (Álvarez *et al.*, 2014), el grid de la población europea (European Forum for GeoStatistics, 2012), el grid de densidad de población de España (Goerlich, F. J. y Cantarino, I. (2012), el grid de hogares e individuos -Censo de población y viviendas (INE)¹ y los grid de población andaluza del Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía² (Enrique *et al.*, 2013). Todos ellos utilizan diferentes metodologías para la adscripción de la información territorial a la rejilla.

Esta estructura basada en la representación de celdas cuadradas de idéntico tamaño, a la que se adscribe información temática, permite una fácil gestión de esta información, así como su adaptación a diferentes escalas espaciales. Además facilita la modelización y representación de la información como servicios web lo que supone una mejora de la difusión y el acceso a la información geográfica en general, permitiéndose además su integración con la información demográfica y socioeconómica ya descritas en el párrafo anterior, así como con otros datos geográficos o medioambientales, recogidos en muchas ocasiones en formato de rejilla (grid), o raster.

2. OBJETIVO Y ÁREA DE ESTUDIO

El objetivo general de esta comunicación consiste en mostrar los resultados de diferentes formas de adscripción de la información de inmuebles de uso residencial asociados a las parcelas (como única referencia espacial para la información en formato CAT), llevadas a cabo para asociar estos indicadores a celdillas de diferente tamaño de la estructura del formato grid.

¹ http://www.ine.es/censos2011_datos/cen11_datos_metodologia.htm

² <http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/distribucionpob/index.htm>

Para cumplir con este objetivo general se establecen dos estrategias y objetivos secundarios:

- evaluar los procesos de adscripción teniendo en cuenta solo la geometría de la parcela (*shapefile parcela*);
- evaluar los procesos de adscripción incorporando la información de los elementos constructivos (*shapefile constru*) sin vinculación directa con la información alfanumérica de inmuebles.

En los casos en que toda o la mayor parte de la parcela está construida el problema es menor (lo más frecuente en zonas urbanas), pero cuando la parte mayoritaria de la parcela no está construida (viviendas en zonas rurales) o contiene varios polígonos construidos (amplias parcelas con varios edificios exentos y amplias extensiones de jardines -frecuente en zonas residenciales costeras-) es más difícil asignar la información de los inmuebles residenciales a una estructura grid si queremos proporcionarle coherencia espacial con la ubicación real de los edificios residenciales.

Un segundo objetivo complementario al anterior se centra en evaluar las ventajas que la estructura en celdillas proporcionan a la geovisualización y difusión web a diferentes escalas de esta información, y su contraste con las que ofrece su representación gráfica teniendo en cuenta solo la información poligonal de las parcelas.

Dado que esta comunicación toma como datos de partida la base de datos espacial generada como resultado del proyecto FEDER *Georreferenciación, caracterización estadística y estrategias de difusión del espacio residencial en Andalucía*, el ámbito de estudio es la totalidad del territorio de la Comunidad Autónoma de Andalucía (en torno a 87.547 Km²).

3. INFORMACIÓN DE PARTIDA

La información temática a adscribir en los grid a distintas escalas ha sido calculada a partir de la información extraída del Catastro Inmobiliario (formato CAT) del proyecto FEDER mencionado. En este sentido, el presente trabajo parte de los dos indicadores que en este proyecto se extraen de las tablas CAT y que solo pueden asociarse espacialmente a la geometría del shapefile *parcela* (ver Figura 1). Tanto el proceso de descarga de la información gráfica y alfanumérica, como el modelo de datos diseñado para la integración de todo este conjunto de datos en un sistema gestor de base de datos espaciales PostgreSQL/PostGIS que optimice las posibilidades de consulta, explotación y actualización y los diferentes procedimientos de explotación de la base de datos espacial creada, así como el cálculo de los dos indicadores que utilizaremos en esta comunicación, quedan recogidos en otra comunicación presentada a este congreso (ver Noguero *et al.*: *Identificación del espacio residencial en Andalucía a partir de datos catastrales*). Los dos indicadores seleccionados y georreferenciados a nivel de parcela catastral en la citada comunicación son:

- número total de inmuebles con uso principal residencial (extraído de la Tabla 15): número de bienes inmuebles de carácter residencial en cada parcela que se deriva de la asignación del uso principal de cada uno de los inmuebles en esta tabla (indicador pu005).
- número total de inmuebles con al menos una construcción cuyo destino (uso) sea vivienda, extraído de la Tabla 14 (CONTRU): (indicador pu029).

Por otra parte, las rejillas que se han utilizado para la adscripción de indicadores son divisiones de la rejilla estándar europea de 1 km de lado (ver Balk *et al.*, 2010; European Commission, 2010; European Forum For Geoestadistics, 2012). A partir de la rejilla oficial andaluza de 250 metros de lado (consistente geoméricamente con la anterior), se han creado rejillas dividiendo cada nivel entre cuatro, resultando finalmente la citada de 250, otra de 125, otra de 62,5 y por último una de 32,25 metros. La división de rejilla se ha realizado obteniendo sobre el perímetro de la inicial (250 m) los puntos medios de cada uno de sus lados, trazando entre los puntos opuestos un segmento. Estas operaciones se han realizado con PostGIS, obteniéndose así una ingente cantidad de segmentos y celdas originales. Posteriormente se ha procedido a

compendiar este conjunto de segmentos y celdas con una topología en el sistema vectorial de GRASS 7 que genere nuevas celdas a partir de los segmentos y los perímetros del nivel inmediatamente superior, pero dado el enorme número de primitivas topológicas originales (1.416.000 celdas a nivel de 250 m², 5.664.000 a nivel de 125 m², 22.657.000 a 62,5 y finalmente 90.629.000 a 31,25, más la segmentación referida anteriormente), una única instancia GRASS no pudo realizar la topología de una sola vez, por lo que se fraccionó el juego de datos en bloques que fueron automáticamente distribuidos a diversas instancias GRASS en varias máquinas. Dichas instancias independientes leen cada lote de trabajo desde PostGIS, realizan la topología creando las nuevas celdillas y vuelven a escribir el resultado del proceso topológico en la base de datos. Obviamente, se producen celdillas duplicadas en las zonas de solape de los lotes de trabajo, pero su eliminación posterior por proximidad infinitesimal de centroides de rejillas duplicadas es trivial.

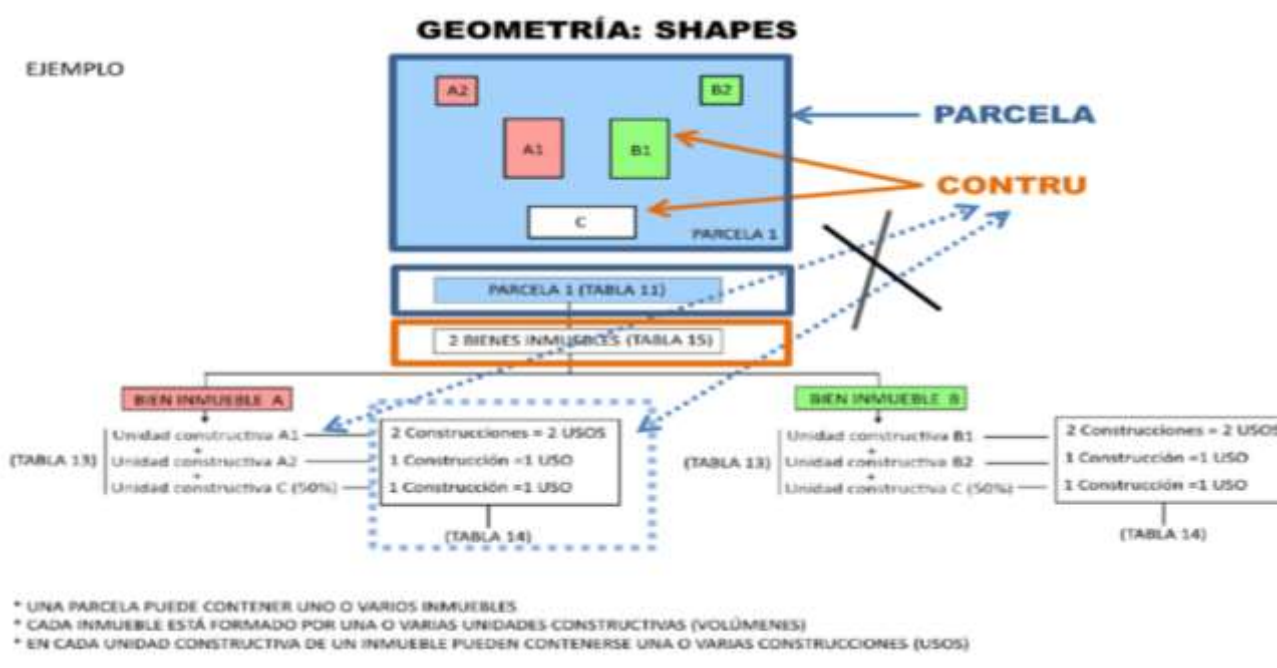


Figura 1. Esquema que refleja las relaciones entre los dos shapefiles con referencia espacial (*parcela* y *constru*) y las tablas alfanuméricas de bienes inmuebles (Tabla 15) y construcciones (Tabla 14). Es interesante observar que solo existe relación entre las tablas y el shapefile *parcela* a través del código del inmueble.

4. METODOLOGÍA

4.1 Métodos de adscripción al formato grid de la información residencial asociada a parcelas

La metodología seguida para conseguir el primer objetivo ha consistido en comparar los resultados de la asignación de la información del espacio residencial en cada *parcela* (número de inmuebles residenciales dentro de la parcela calculados según los dos indicadores citados en el apartado anterior) a cada una de las rejillas de la estructura multiescalar grid, siguiendo dos estrategias:

- una más simple que consiste en asignar la información correspondiente de los inmuebles residenciales a los centroides de las parcelas y utilizar estos para calcular los valores agregados a cada nivel de resolución de las celdillas definidas y descritas en la información de partida;
- otra más compleja consistente en utilizar la posición de los espacios construidos dentro de las parcelas (proporcionados por el shapefile *constru* en el formato CAT de Catastro), -ver Figura 2-, para ubicar el punto que agregue la información del número de inmuebles residenciales de cada parcela. Esta opción

parte de la hipótesis que “todo inmueble de uso residencial tiene que estar asociado a un espacio construido dentro de la parcela”. Partiendo de esta idea, se ha reducido el shapefile *constru* exclusivamente a aquellos polígonos individualizados que potencialmente pueden contener un inmueble residencial (eliminando piscinas, zonas deportivas, etc. a partir del campo “constru” del mismo shapefile). Una vez seleccionados estos:

- o cuando existe un solo recinto geométrico en el shapefile *constru* dentro de la parcela la información se asigna al centroide de este elemento y no de la parcela;
- o cuando existen varios recintos la información se asigna al centro de gravedad entre los mismos, ponderado por la superficie (en un futuro se intentará ponderar utilizando el volumen, según el número de plantas asociada a cada entidad geométrica). El objetivo es ubicar el punto que agregará los inmuebles residenciales de cada parcela dentro o próximo a los espacios construidos definidos por el shapefile *constru*

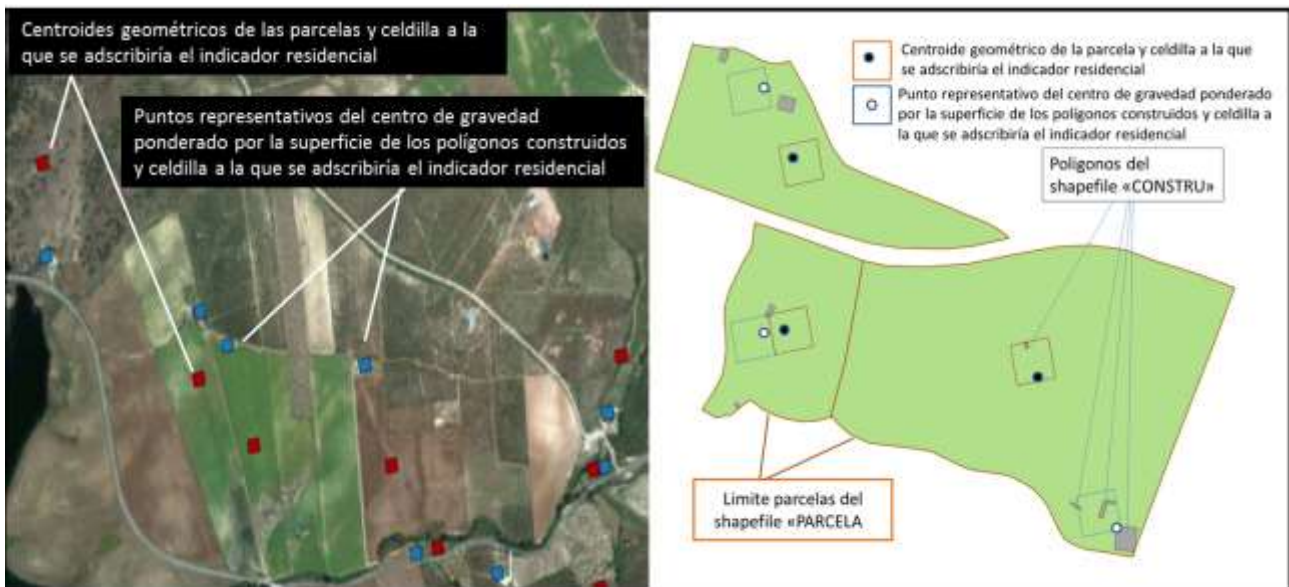


Figura 2. Derecha: ejemplo de los métodos de adscripción de los indicadores residenciales de cada parcela a la rejilla de mayor detalle -32,25 m de lado- utilizando bien el centroide geométrico de las “parcelas”, bien el centro de gravedad ponderado de los polígonos construidos del shapefile *constru*. Izquierda: ejemplo de la mayor consistencia geométrica del segundo método al adscribir los indicadores dentro o junto a los espacios construidos en un espacio rural -generalmente junto a los caminos de acceso-. Elaboración propia a partir de Catastro, 2013.

La participación del Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA) en el proyecto FEDER antes citado ha permitido complementariamente utilizar también una capa de hogares referenciados espacialmente por geocodificación (Enrique *et al.*, 2013). Con el fin de preservar el secreto estadístico, solo se utilizó la ubicación espacial de una capa de puntos de hogares sin ninguna información alfanumérica asociada. Esta capa permitía confirmar que los recintos (*constru*) más próximos a los puntos de la capa *hogares*, o que los incluían, estaban asociados a un inmueble de uso residencial.

4.2 Geovisualización y difusión web.

La metodología seguida para la evaluación del interés del uso del formato grid en la geovisualización y difusión web ha consistido en la generación, para los indicadores calculados (tanto basados en las parcelas como en los diferentes niveles de grid construidos), de servicios interoperables OGC y su inclusión en el geovisor elaborado para el proyecto FEDER. Posteriormente se ha procedido a evaluar su eficacia en términos de calidad semiológica de la representación gráfica, su capacidad de transmitir visualmente estructuras o

patrones espaciales del parque residencial, la facilidad para la generación cuasi automática de los servicios y la velocidad de respuesta en el visor.

Todos los procesos de manipulación, análisis, adscripción y, finalmente, generación de servicios se han basado en las funcionalidades del gestor de bases de datos espacial PostgreSQL/PostGIS junto al servidor de estándares OGC GeoServer.

5. RESULTADOS

5.1 Métodos de adscripción 1: Centroide de parcelas.

Esta opción es lógicamente la más simple y fácil de automatizar. De hecho cuando, como en el caso que nos ocupa, la información del shapefile *parcelas* y la información asociada de los dos indicadores de vivienda calculados se ha integrado en PostgreSQL/PostGIS, pueden fácilmente programarse los procesos de agregación subsiguientes que permiten el cálculo de los mismos para cada uno de los niveles de resolución del grid. Funciona bastante bien en las zonas urbanas de estructura urbana compacta y, por lo tanto, para el indicador pu005 es una solución consistente en estos sectores (Figura 3).

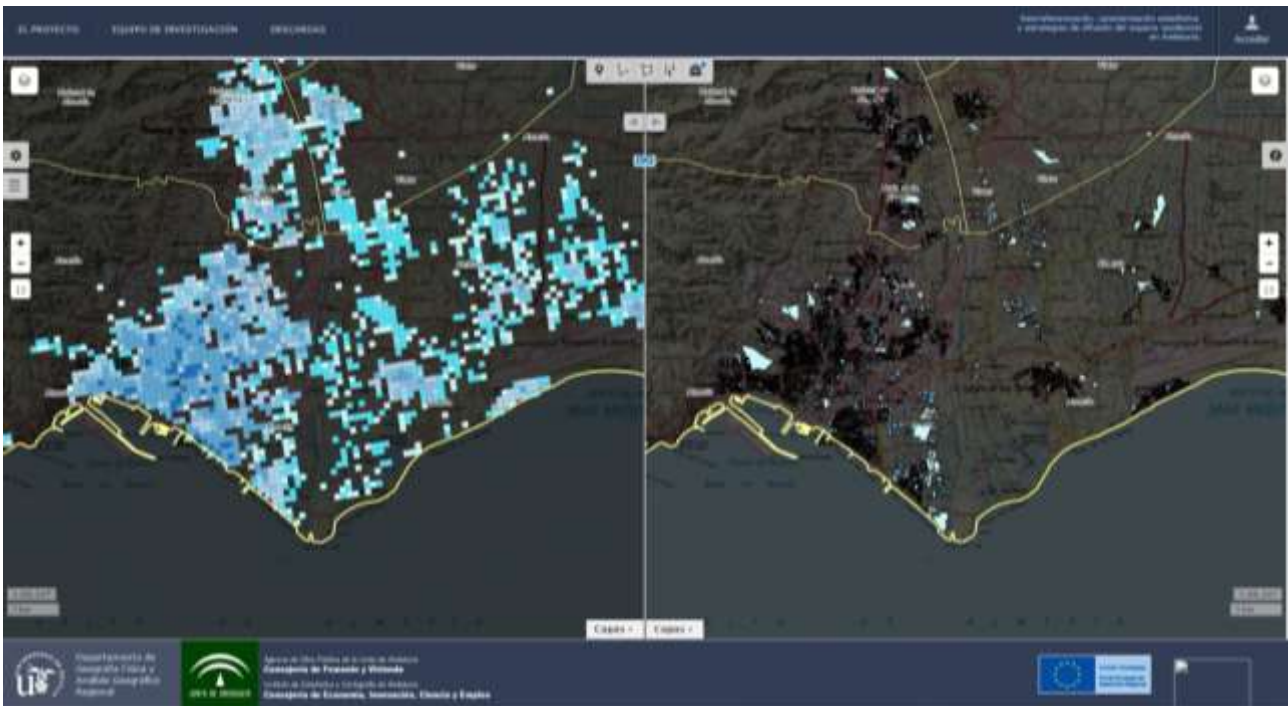


Figura 2. Representación del indicador pu005: número total de inmuebles con uso principal residencial representados en grid utilizando el método de adscripción basado en el centroide de las parcelas (derecha) y en parcelas (izquierda). Fuente: Elaboración propia a partir de Catastro, 2013.

5.2 Métodos de adscripción: Uso del shapefile *constru*.

Este método se basa en la utilización de la información espacial procedente del shapefile *constru*, una vez simplificado geoméricamente tal y como queda recogido en el apartado 4. Aunque para su ejecución es necesario utilizar diferentes funciones de análisis espacial (*selección de polígonos* de la capa *constru* como posibles receptores de viviendas –exclusión de piscinas, patios, etc.–, asignación al centroide del polígono en el caso que solo exista una entidad poligonal, cálculo del centro de gravedad en el caso de que existan varios,

etc.), la utilización del gestor PostgreSQL/PostGIS ha permitido su cálculo así como la asignación final de los dos indicadores residenciales agregados a las diferentes resoluciones grid de forma muy eficiente, a pesar el elevado número de polígonos de parcelas y construcciones que supone utilizar como ámbito de estudio toda la Comunidad Autónoma de Andalucía. Los resultados del uso de este método de adscripción proporcionan una mayor coherencia espacial a las capas grid, mucho más evidente en los espacios rurales y espacios urbanos de estructura dispersa o tipologías urbanas abiertas con bloques exentos. En este trabajo este hecho ha resultado de gran importancia ya que el segundo indicador pu029 complementa en estas zonas al primero pu005 en un doble sentido (Figura 4). Por una parte, aparecen ahora todos los inmuebles con algún uso residencial que no quedaban recogidos en el indicador pu005 (especialmente en zonas rurales); por otra, les proporciona una mayor coherencia espacial a la información grid ya que en su generación se tiene en cuenta el espacio construido dentro de la parcela.

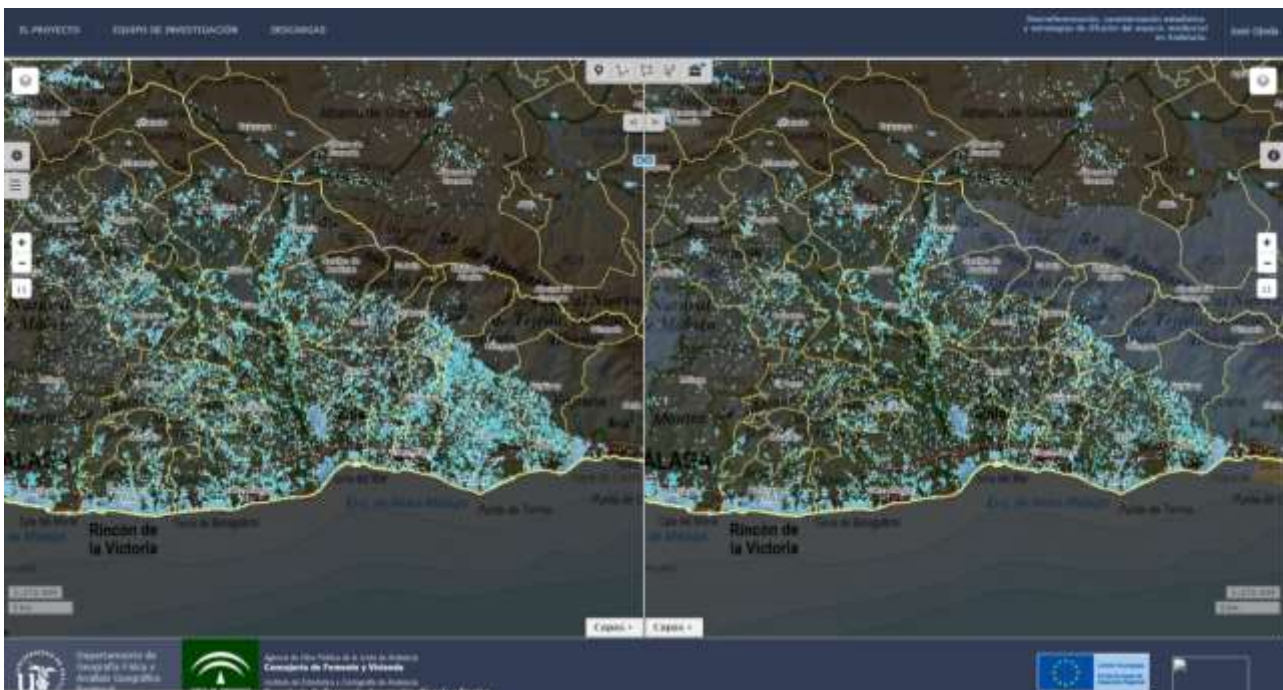


Figura 4. Representación del indicador pu029 (izquierda) y pu005 (derecha) con una celdilla de 125 m². La imagen refleja el carácter complementario de ambos indicadores, pudiéndose apreciar cómo se eleva el número de celdillas en el primer caso Fuente: Elaboración propia a partir de Catastro, 2013.

5.3 Geovisualización y difusión web

Una vez calculados los valores agregados para los dos indicadores utilizados, un segundo objetivo se centró en evaluar las ventajas que la estructura en celdillas (grid) proporcionan a la geovisualización y difusión web a diferentes escalas de esta información, y su contraste con las que ofrece su representación gráfica teniendo en cuenta sólo la información poligonal de las parcelas.

5.3.1 Ventajas en la generación de servicios interoperables WMS

Dado el elevado número de servicios WMS que se debían generar para las diferentes resoluciones de los grids, se optó por realizarlos no utilizando de forma genérica el servidor de mapas GeoServer, sino programando en Python una librería de serialización de servicios WMS a partir de fuentes de tablas y sentencias SQL en PostGIS. Este proceso generaba automáticamente cada servicio y le asignaba una semiología automáticamente para lo que se utilizaron dos estrategias: cuantiles (generaban una distribución equitativa de la representación de

cada nivel) y natural breaks (más consistente estadísticamente pero que este caso no proporciona una buena transmisión de patrones espaciales).

5.3.2 Ventajas en la geovisualización y difusión web

La principal ventaja en la representación grid es, sin duda, su mayor facilidad para transmitir visualmente los patrones espaciales en la distribución del parque residencial, sobre todo a escalas pequeñas (regional, nacional, provincial...) donde la diversidad de tamaño de las parcelas dificulta la comparación entre diferentes sectores, así como la asignación de una semiología adecuada. Como puede apreciarse en la Figura 5, la utilización del grid de 250 metros de lado, con una asignación de semiológica simple (clasificación en 5 cuantiles y una gama de colores del gris al negro) permite tener por primera vez una representación de patrón espacial de los asentamientos ligados al espacio residencial para toda Andalucía.



Figura 5. Representación espacial de los asentamientos ligados al espacio residencial en grid de 250 metros de lado (indicador pu029).
Fuente: Elaboración propia a partir de Catastro, 2013.

La Figura 6 muestra las mismas ventajas a una escala comarcal (Costa occidental de Huelva) en este caso utilizando una celdilla de 125 m de lado en el visor web desarrollado para el proyecto. Pueden observarse no solo los patrones espaciales del espacio residencial, sino que además, la utilización de los dos indicadores (izquierda pu029 y derecha pu005), facilita la identificación de los espacios construidos de uso residencial (código destino “vivienda” en los ficheros CAT) que escapaban al indicador pu005. Este hecho es especialmente revelador en el municipio de Lepe.



Figura 6. Representación del indicador pu029 (izquierda) y pu005 (derecha) con una celdilla de 125 m². La imagen refleja el carácter complementario de ambos indicadores, pudiéndose apreciar cómo se eleva el número de celdillas en el primer caso. Fuente: Elaboración propia a partir de Catastro, 2013.

5.3.3 Facilidades para la integración de datos con estructura grid y el cálculo de indicadores complejos

Las estructuras de datos grid se han convertido en los últimos años en el soporte de grandes bases de datos a nivel mundial, estatal o regional. El hecho de poseer la representación de los dos indicadores utilizados para la georreferenciación del espacio residencial de Andalucía a partir de Catastro en una estructura grid multiescalar integrada en el gestor PostgreSQL/PostGIS nos permitirá en el futuro su combinación con otras bases de datos públicas para la generación de indicadores más complejos. Del mismo modo, dado que ya tenemos asociadas las referencias catastrales de los inmuebles residenciales a las celdillas, se podrían calcular y representar cualquier otra variable asociada potencialmente extraíble de las tablas CAT de Catastro (superficie media, tipología, antigüedad, etc.). Esta información, en combinación con la información de altura u orientación derivadas de un MDE, permitiría el cálculo de indicadores de gran interés medioambiental o económico o de eficiencia energética. En la Figura 7, a modo de ejemplo, el visor representa la combinación visual del indicador pu029 con la información de la población de Andalucía que el IECA distribuye como servicio WMS en celdillas de 250 m².



Figura 7. Combinación visual del número total de inmuebles de uso residencial (pu029) en celdillas de 250 m de lado (tonos azules) junto al servicio WMS de la población andaluza del IECA, publicado a la misma resolución espacial.

6. CONCLUSIONES

Entre las conclusiones obtenidas del presente trabajo destacan las siguientes:

- Respecto a los métodos de adscripción, se observa cómo mientras la opción del centroide de la parcela es la más rápida y da buenos resultados a pequeñas escalas, sobre todo en las zonas urbanas, la opción de la utilización complementaria de la información proporcionada por el shapefile *constru* mejora la consistencia espacial de la representación de un número elevado de parcelas en el grid, especialmente en las zonas rurales o zonas urbanas abiertas donde las parcelas pueden ser muy amplias en relación al espacio construido (ver Figura 8), y la opción del centroide de la parcela distorsionaría la representación espacial especialmente a escalas medias o de detalle.

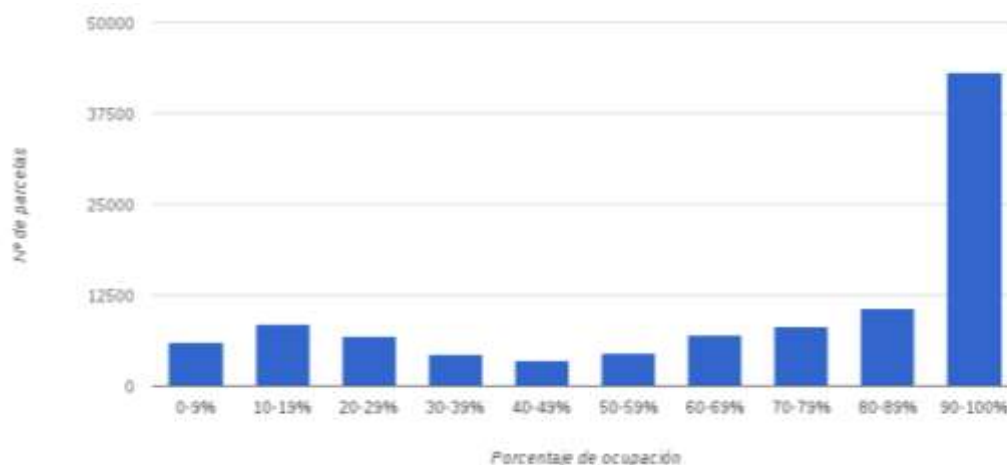


Figura 8. Porcentaje de ocupación de las parcelas por el conjunto de elementos construidos (shapefile *constru*) que potencialmente puede albergar una vivienda. Elaboración propia a partir de Catastro, 2013.

- Respecto a la geovisualización de los indicadores se constata como la representación en celdillas de los indicadores utilizados es la opción más consistente para la transmisión de los patrones espaciales a escalas pequeñas y medias (nacional, regional y comarcal). En el caso de esta comunicación es la mejor forma de detectar las diferencias y complementariedad de los dos indicadores utilizados.

- Respecto a la difusión web, la estructura grid no solo facilita la gestión de la información sobre grandes conjuntos de datos (catastro de toda Andalucía) en combinación con el gestor PostgreSQL/PostGIS, sino que, adicionalmente, permite automatizar/programar muchos de los procesos para la generación de servicios WMS en el servidor de mapas GeoServer, así como una gestión más adecuada de las semiologías.

- Sin duda, los resultados de esta comunicación nos permitirán en el futuro la integración de los datos de catastro con otros datos disponibles en formatos grid (modelos climáticos, MDE, población, etc.) abriendo nuevas posibilidades de integración y cálculo de nuevos indicadores más complejos que, dada la magnitud de los datos manejados, enlazarían con las nuevas posibilidades de las nuevas tecnologías asociadas al Big Data y Data Mining.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez Francoso, J. I., Camarillo Naranjo, J. M., Limones Rodríguez, N. y Pita López, M. F. (2014): "Globalclimatemonitor.org: una herramienta de acceso a datos climáticos globales", *GeoFocus*, nº 14, p 1-6.
- Balk, D., Yetman G. y de Sherbinin, A. (2010): *Construction of Gridded Population and Poverty Data Sets from Different Data Sources*. European Forum for GeoStatistics-Tallinn.http://www.efgs.info/geostat-project/efgs-conference-2010-e-proceedings/e-proceedings_EFGS_2010_Deliverable_WP4.pdf/view
- European Commision (2010): *D2.8.1.2 INSPIRE Specification on Geographical Grid Systems - Guidelines*. http://inspire.ec.europa.eu/documents/Data_Specifications/INSPIRE_Specification_GGS_v3.0.1.pdf.
- European Forum for GeoStatistics (2012): *ESSnet project GEOSTAT 1A-Representing Census data in a European population grid-Final Report*. Eurostat-Luxembourg.
- Enrique, I., Molina, J., Escudero, M., Ojeda, S. y Pérez, G. (2013): "La distribución espacial de la población en Andalucía" en IV Jornadas Ibéricas de Infraestructuras de Datos Espaciales.
- Fidalgo, C. y Sancho, I. (2004): "Evolución del paisaje vegetal en el siglo XX a partir del Catastro de la Propiedad Rústica (Comarca del Alberche, Madrid)". *CT: Catastro*, nº 52, p 55-84.
- Gálvez-Salinas, J.A.; Fischer, J. y Valenzuela-Montes, L.M. (2013): "Metodología para la desagregación espacial de la información demográfica, en ámbitos urbanos, mediante la elaboración de unidades espaciales modificables". *GeoFocus*, Vol. 13 (nº1), p. 337-366.
- Goerlich, F. y Cantarino, I. (2012): *Una grid de densidad de población para España*. Madrid, Fundación BBVA.
- Mora-García, R. y Marti-Ciriquian, P. (2015): "Desagregación poblacional a partir de datos catastrales", en de la Riva, J., Ibarra, P., Montorio, R., Rodrigues, M. (Eds.) 2015: *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación*. Universidad de Zaragoza y AGE, pp. 305-314. XIV Congreso de la Asociación de Geógrafos Españoles, 28-30 de Octubre, Zaragoza. Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación.

DESDE LA CARACTERIZACIÓN DEL OLIVAR HACIA PROPUESTAS TERRITORIALES DE COOPERACIÓN PARA LA EFICIENCIA AGRARIA: EL PROBLEMA DEL SISTEMA DE PROPIEDAD EN LA PROVINCIA DE JAÉN

Manuel Perujo Villanueva¹, Sergio Colombo Autor²

¹Área de Economía y Sociología Agraria, IFAPA, Centro Venta del Llano, Mengíbar, Jaén (España)
manuel.perujo@juntadeandalucia.es

²Área de Economía y Sociología Agraria, Grupo Agroecosost, IFAPA, Centro Camino de Purchil, Granada (España)
Sergio.colombo@juntadeandalucia.es

RESUMEN

El estudio propone una metodología, basada en información territorial y Sistemas de Información Geográfica, que permite conocer la estructura de las explotaciones agrarias y su repercusión en los costes de producción, demostrando como se produce un encarecimiento considerable en la obtención del producto (aceite en éste caso), con respecto a explotaciones de mayor dimensión y más concentradas geográficamente. Se propone una nueva metodología de análisis orientada a la estimación realista de los costes de producción de los cultivos, basada en la caracterización de la fragmentación y dispersión espacial de las explotaciones agrarias.

Para minimizar el impacto de la estructura de la propiedad agraria se presentan como alternativas interesantes los cultivos asistidos y compartidos. Un mapa de síntesis establecerá las zonas de la provincia de Jaén donde el impacto es mayor y por tanto, es necesario implementar medidas de ahorro de costes de producción.

Palabras clave: fragmentación, dispersión, rentabilidad, olivar

ABSTRACT

The study proposes a methodology based on spatial information and GIS to find out the structure of farms and their impact on production costs, showing how significant rise occurs in obtaining the product with respect to farms larger and more concentrated geographically. A new analysis methodology oriented realistic estimate of the costs of crop production based on the characterization of spatial fragmentation and dispersion of farms is proposed.

To minimize the impact of the structure of land ownership are presented as interesting alternatives assisted and shared cultivation. A synthetic map established areas of the province of Jaen where the impact is greater and therefore is necessary to implement cost saving measures production.

Keywords: fragmentation, dispersion, profitability, olive grove

1. INTRODUCCIÓN

El análisis de la dimensión espacial de las parcelas y/o explotaciones agrarias permite valorar determinadas relaciones que normalmente pasan inadvertidas en los estudios de rentabilidad agraria. Este aspecto no es tenido en cuenta en los estudios sobre costes de producción de los cultivos, que asumen típicamente tiempos de labores para fincas homogéneas, normalmente de grandes dimensiones, y sin ningún impedimento al rendimiento de las maquinarias empleadas. Por ejemplo, en el caso del olivar, el estudio de costes de AEMO (Cubero y Penco, 2012) asume una finca tipo de 30 ha en los precios de las labores de mecanización por las empresas de servicios empleadas. Estas fincas homogéneas de grandes superficies no son las más generalizadas en la actualidad.

El minifundismo, generalizado en gran parte del planeta, se debe a un proceso de fragmentación de la propiedad inmobiliaria rústica, que en España fue iniciado en el siglo XVI y consumado en el siglo XIX con la desamortización civil y eclesiástica, de un lado, y la desvinculación de vínculos y mayorazgos, por otro, a través de la Reforma Liberal (Alía y Del Valle, 2004). A raíz de este acontecer histórico, se ha creado un mosaico territorial vinculado a una explotación de carácter familiar con escasa aptitud competitiva (Mata Olmo, R, 1987). Actualmente, existe una tendencia general al abandono de la agricultura en Europa (Feranec et al., 2010; MacDonald et al., 2000).

El cultivo del olivar, por ejemplo, constituye un agrosistema enraizado fuertemente en un intenso minifundismo focalizado en los denominados países mediterráneos donde la estructura de producción está muy fragmentada (Comisión Europea, 2011). De hecho, los principales productores europeos de olivar son España, Italia y Grecia, y entre ellos se dan valores de superficie media de las explotaciones agrarias olivareras tan reducidos como 5,3 ha en España, 1,6 ha en Grecia y 1,3 ha en Italia. La situación económica de las pequeñas explotaciones agrarias, específicamente en el olivar, se ha deteriorado a lo largo de los últimos años (Colombo & Camacho-Castillo, 2014).

El tamaño de la parcela y el número de las mismas que componen la explotación (fragmentación) no es la única variable que permite entender la situación actual del olivar. La distribución geográfica entre las parcelas (dispersión) que componen una explotación también penaliza la gestión agraria, obligando al propietario a desplazarse entre un espacio agrario y otro para culminar las diferentes labores o incluso la irregularidad geométrica de los límites parcelarios. En efecto, un elevado número de parcelas, sobre todo si están distanciadas entre sí, dificulta las labores de cultivo y la gestión de la explotación, y encarece los costes de producción (Vilar et al., 2011). Estas variables son esenciales para entender la realidad agraria actual de Europa y proponer medidas de mejora para explotaciones pequeñas y poco eficientes (Parlamento Europeo, 2013).

El objetivo fundamental de las nuevas estrategias de desarrollo debe pasar por aumentar la rentabilidad de las explotaciones de pequeña dimensión con distribución atomizada, para ello, se plantea una metodología que permite caracterizar el sistema agrario, cuantificar los costes de las explotaciones fragmentadas y dispersas y proponer nuevos métodos de eficiencia agraria mediante la disminución de costes. Entre las posibles actuaciones encaminadas a la mejora de la rentabilidad del olivar tradicional, aquellas orientadas a la reducción de los costes y a la innovación incremental son las más prometedoras (Colombo et al., 2015). En este campo los cultivos asistidos (sistema mediante el cual los titulares de las explotaciones olivareras ceden la gestión de sus fincas a una entidad con los suficientes recursos humanos, tecnológicos y mecánicos para la explotación "profesional" de las mismas) o compartidos (actividad de un conjunto de agricultores que comparten con medios comunes la explotación de las parcelas de olivar) entre espacios olivareros homogéneos pueden presentar alicientes significativos para la reducción de costes de producción. Observa (Ruz, 2012) que estos sistemas permiten una reducción significativa de los costes de producción y, por ende, incrementan la renta de los agricultores. Advierte que una dimensión de explotación de 50 hectáreas optimizaría los costes de las maquinarias y de los recursos necesarios en el manejo del olivar.

Por ello, el método propone un marco teórico que mide la fragmentación parcelaria de la provincia, con carácter de fundamento esencial, para posteriormente proponer espacios geográficos concretos donde es necesario formular medidas de mejora de eficiencia dada la fragmentación. Los sistemas cooperativos que se plantean presentan numerosos beneficios, entre otros, destacan que no necesitan cambios estructurales, que favorecen la reconversión de las zonas minifundistas, que pueden ofrecer una solución a la falta de relevo generacional, que mejora la gestión medioambiental, que se favorece el establecimiento de vecindades y en definitiva, que se generan economías de escalas que aumentará el beneficio neto de cada olivicultor.

El artículo se estructura de la siguiente manera: en la próxima sección se describe la metodología y las fuentes de datos empleadas, en la siguiente se comentan los principales resultados, para resumir las principales conclusiones obtenidas en el estudio en la última sección.

2. ÁMBITO DE ESTUDIO

El estudio se centra en el olivar tradicional de la provincia de Jaén, Andalucía (España). La provincia de Jaén representa el cultivo del olivar en su máxima expresión (83% de la superficie agraria útil). Si Andalucía es el mayor productor con una superficie de 1,5 millones de hectáreas, que supone el 19% del mundo y el 30% de Europa (CAyP, 2008), la provincia de Jaén con 571.423 representa el 37,37% de la superficie total de Andalucía, constituyendo la principal zona de producción (CAPyDR, 2015). Ésta provincia es significativa en cuanto a la fragmentación y dispersión parcelaria. El 58,77% de las parcelas agrarias presentan una superficie inferior a 1 ha, mientras que el 93,51% no superan las 5 ha (Perujo et al, 2015). Existe un predominio del minifundio, la superficie media por explotación es inferior a 5 ha, en cuanto a la dispersión, el 35,10% de las explotaciones disponen de una distancia intraparcilaria mayor o igual a 4 km. Se centran los resultados del método en el Olivar Tradicional Mecanizable que es el de mayor representación (el 78,85% del olivar, con una superficie de 449.423 ha).

3. METODOLOGÍA

La caracterización del olivar, así como la confección de la cartografía temática asociada, se ha llevado a cabo a través de herramientas de sistema de información geográfica (SIG), empleando datos georreferenciados facilitados por la Agencia de Gestión Agraria y Pesquera (AGAPA) y por la Dirección General de Estructuras Agrarias de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. Debido al elevado grado de detalle requerido en los análisis, se ha optado por adoptar el recinto como nivel de desagregación espacial.

En primer lugar, para la caracterización de los recintos se han estudiado las variables que se consideran más influyentes en la producción olivarera y en los costes de explotación (densidad de plantación, régimen de cultivo y pendiente media). Estas variables permiten identificar con claridad la distribución espacial de las principales tipologías de olivar y atribuirles unos costes de producción según un manejo óptimo de los recursos. Se han obtenido doce tipos de recintos olivareros a través de la superposición de capas de información y centroides procedentes de los recintos SIGPAC

A continuación, y sólo para el olivar tradicional (< 200 olivos / ha) y mecanizable (<25%) por adyacencia espacial se han delimitado las parcelas agrarias (conjunto de recintos de un mismo secuencial que son adyacentes) y las explotaciones agrarias (conjunto de parcelas de un mismo propietario que se encuentran distantes entre sí).

Una vez definida la caracterización en las tres escalas de análisis (recinto SIGPAC, parcela agraria y explotación agraria), para caracterizar las explotaciones agrarias de la provincia, disponemos de la superficie media, el número de parcelas que componen cada una y se necesita calcular la dispersión total de la explotación (que medirá los kilómetros de desplazamiento que debe realizar un olivarero para la gestión del 100% de su tierra agraria).

La localización geográfica de cada parcela agraria permite conocer la relación espacial que existe entre ellas y calcular la distancia que separa dos parcelas Sin embargo, la determinación del itinerario que el agricultor lleva a cabo para trasladarse de una parcela a otra en las operaciones de manejo del olivar es una tarea más complicada, debido a varias limitaciones existentes en las fuentes de datos, en los programas de análisis y en el conocimiento del camino seguido por el agricultor. Por todas las razones, se ha medido la dispersión mediante el cálculo de la distancia en línea recta entre una parcela y otra asumiendo que el agricultor se desplace hacia la parcela más cercana (Fig 1)

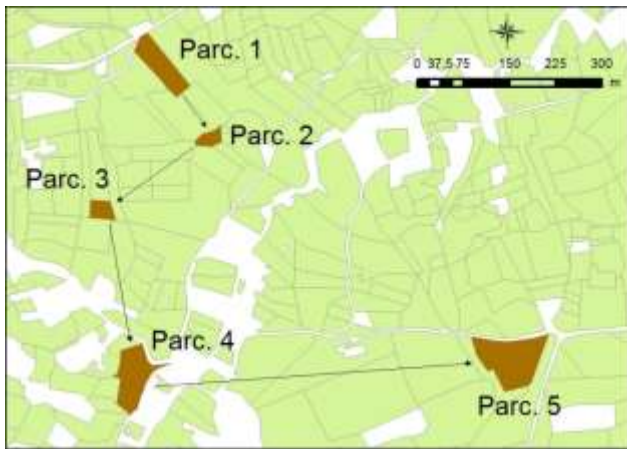


Figura 1. "Explotación Agraria constituida por cinco parcelas".
Fuente: Elaboración propia

El procedimiento seguido realiza un análisis de vecindad centrado en figuras geométricas, concretamente a través de áreas de influencia con el fin de encontrar la adyacencia espacial entre las mismas (mínima distancia necesaria para que haya un solape entre las áreas de influencia de dos o más parcelas.). Para ser más exhaustivos se ha realizado el procedimiento de forma iterativa con diferentes radios de las áreas de influencias de modo que se puede medir la distancia con la precisión deseada. Por ejemplo, en el caso de las 5 parcelas ($n=5$) descritas en la figura 1, en la primera iteración ($i=1$) el proceso dibuja un área de influencia de 10 metros de radio ($r=10$) a partir de los bordes de cada parcela y analiza si hay solape entre ellas. Como se puede ver en la figura 2, las áreas de influencia de tres parcelas se solapan, indicando que las mismas se hallan a una distancia menor de 20 metros ($r*2$). El procedimiento propuesto fusiona las tres áreas de influencia y empieza otra iteración con un radio mayor (25 metros en el ejemplo). Es importante señalar que en cada iteración se registra en una variable el número del conjunto de parcelas que quedan sin fusionar ($n=3$ en la figura 2). Repitiendo el proceso hasta el radio en que todas las áreas de influencias se solapan es posible calcular la distancia que separa las parcelas de una explotación.

Una vez se ha caracterizado el olivar y planteada una metodología que manifiesta el grado de fragmentación y dispersión del olivar en la provincia de Jaén, se expone un nuevo escenario donde implementar los sistemas de cultivos definidos anteriormente. A título demostrativo, se diseña la metodología para el Olivar Tradicional Mecanizable (OTM). Así, en primer lugar, se divide el mapa olivarero jienense en celdas de 50 ha. Se filtran aquellas parcelas agrarias con superficies superiores a 30 ha, que se consideran tienen una superficie óptima para una gestión eficiente. Se genera un mapa, por disolución espacial, con el conjunto de parcelas del olivar estudiado. A continuación, se intersectan las celdas con la información del olivar analizado. Para considerar una celda o cuadrícula óptima se requiere que al menos el 60% de la misma (30ha) se cubra con este tipo de olivar (es decir, olivar que permite un manejo homogéneo y que se encuentra a escasa distancia entre sí). Estas premisas nos permitirán definir espacios con aptitudes, a priori, idóneas para implementar los sistemas de cultivos definidos. Finalmente una intersección espacial y un análisis geoestadístico de los valores obtenidos permitirán implementar para cada celda el número de parcelas que se hallan en el interior de la misma y/o el número de propietarios. Ello permitirá destacar los espacios donde la penalización por la fragmentación es más acuciente y por tanto, donde es necesario priorizar la implantación de cultivos asistidos o compartidos y los espacios donde el consenso entre propietarios, teóricamente, es mayor.

4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los datos obtenidos en el proyecto deben ser analizados desde dos perspectivas diferentes. En primer lugar, la fase de caracterización ha permitido definir el tipo de olivar tradicional existente en la provincia de Jaén, atendiendo fundamentalmente a los parámetros de fragmentación y dispersión. En segundo lugar, se presentarán los resultados obtenidos en base a la definición de áreas donde implementar los sistemas de cultivos asistidos y compartidos.

Del conjunto de los recintos de olivar, un 94,38% están constituidos por olivares tradicionales con densidades inferiores a los 200 olivos/ha. Por encima de éste umbral, se sitúan los olivares intensivos y superintensivos (27.414 recintos). Con respecto al régimen de cultivo, los recintos en regadío alcanzan el 30,38% de la muestra (173.140) y una superficie del 45,67% (260.312 Ha). El 74,99% de los recintos son mecanizables, es decir tienen una pendiente media inferior al 25% y se extienden sobre una superficie de 476.800 ha (83,66%).

En la tabla 1 se resumen los datos de la caracterización de las parcelas agrarias de olivar tradicional mecanizable de la provincia, obtenidos a partir del mapa de parcelas agrarias. Dichos datos ponen de manifiesto el intenso grado de minifundismo de este cultivo en la provincia de Jaén, resultando un tamaño medio de parcela de 1,71 ha, y una elevada proporción de parcelas agrarias de dimensiones reducidas: el 62,93% de las parcelas presentan una superficie inferior a 1 ha (17,80% del suelo olivarero), y el 54,56% la presentan inferior a 5 ha.

| Tamaño (ha) | Parcelas agrarias | | Superficie Media (ha) | Superficie Acumulada | |
|-----------------|-------------------|-------------|-----------------------|----------------------|------------|
| | Nº | % | | ha | % |
| 0 - 1 | 164.526 | 62,93 | 0,48 | 79.896,65 | 17,80 |
| 1,01 - 5 | 81.576 | 31,21 | 2,02 | 164.975,00 | 36,76 |
| 5,01 - 10 | 9.103 | 3,49 | 6,87 | 62.564,00 | 13,94 |
| 10,01 - 15 | 2.764 | 1,05 | 12,12 | 33.515,59 | 7,47 |
| 15,01 – 20 ha. | 1.253 | 0,47 | 17,16 | 21.506,58 | 4,79 |
| 20,01 – 50 ha. | 1.832 | 0,70 | 29,52 | 54.081,08 | 12,05 |
| 50,01 – 100 ha. | 314 | 0,12 | 66,15 | 20.772,90 | 4,63 |
| >100 ha. | 82 | 0,03 | 140,84 | 11.519,67 | 2,56 |
| Total | 261.450 | 100% | | 448.831,49 | 100 |

Tabla 1. Estructura de la parcela agraria provincia de Jaén

A nivel de explotaciones agrarias se definen tres atributos esenciales en la tipificación de las mismas. La dispersión media de la provincia es de 3,98 km. No obstante si se observan exclusivamente las explotaciones con más de una parcela agraria, la dispersión media es de 6,27 km. La explotación con mayor dispersión fija el valor en 73,61 km. El percentil setenta es de 7.78 km, mientras que el percentil noventa se posiciona en 14.15 km. En cuanto a la superficie media, los análisis indican que el 77,62% de las explotaciones agrarias (65.820) presentan una superficie inferior a 5 ha, lo que supone una superficie de 11.217 ha (24,55%). En cuanto al número de parcelas, las explotaciones agrarias jiennenses constan de 3,08 parcelas por término medio, que están muy dispersas en el territorio.

Esta tipología de olivar caracterizada por su fragmentación y dispersión provoca que muchas de estas tierras presenten altos costes de producción, que su rentabilidad sea escasa y que dependa en gran medida de la subvención comunitaria (Colombo et al, 2015). Así a título ilustrativo, la dispersión de las diferentes parcelas que se encuentran en distantes entre sí, obliga al olivicultor a realizar desplazamientos que encarecen su producto (kg. de aceite producido) debido a los costes en tiempo y gastos de combustible. Así para una explotación muy atomizada (más de 33 km de dispersión) los costes llegan a encarecerse hasta 243,22 €/ha.

Ello repercute en el kg aceite producido en un 15,74€ (0,34 céntimos) para el olivar tradicional de secano y de 0,20 € / kg. Aceite (10,63%) para las explotaciones muy atomizadas en regadío.

Dada esta tipología de olivar se prevé necesario definir nuevos métodos productivos que aumenten los rendimientos y la eficiencia de espacio olivarero jienense. Para ello, se considera necesario aumentar los mecanismos de cooperación y/colaboración. En primer lugar, se han definido celdas de 50 ha, considerado que si al menos el 60% de la misma está cubierta por olivar tradicional (30 ha) es un espacio idóneo donde implementar las propuestas. El monocultivo del olivar, característico de la provincia se manifiesta en el grado de cubrimiento de olivar en cada celda. Así el 5,86% de las celdas están cubiertas en un 90% por este cultivo. Este requisito lo cumplen 85.091 celdas. A continuación se propone un plano en el que, además, se define la fragmentación parcelaria.

En la figura 2 se representan los espacios olivareros tradicionales en función del grado de fragmentación. Se ha realizado una categorización en función de la misma. En tono rojo aparecen los espacios de olivar homogéneos (80% de la celda de 50ha) con una fragmentación alta (entre 9 y 44 parcelas por celdas). La fragmentación alta supone el 43, 44% de las celdas estudiadas, con un promedio de cubrimiento de cada celda de 45, 29 ha.

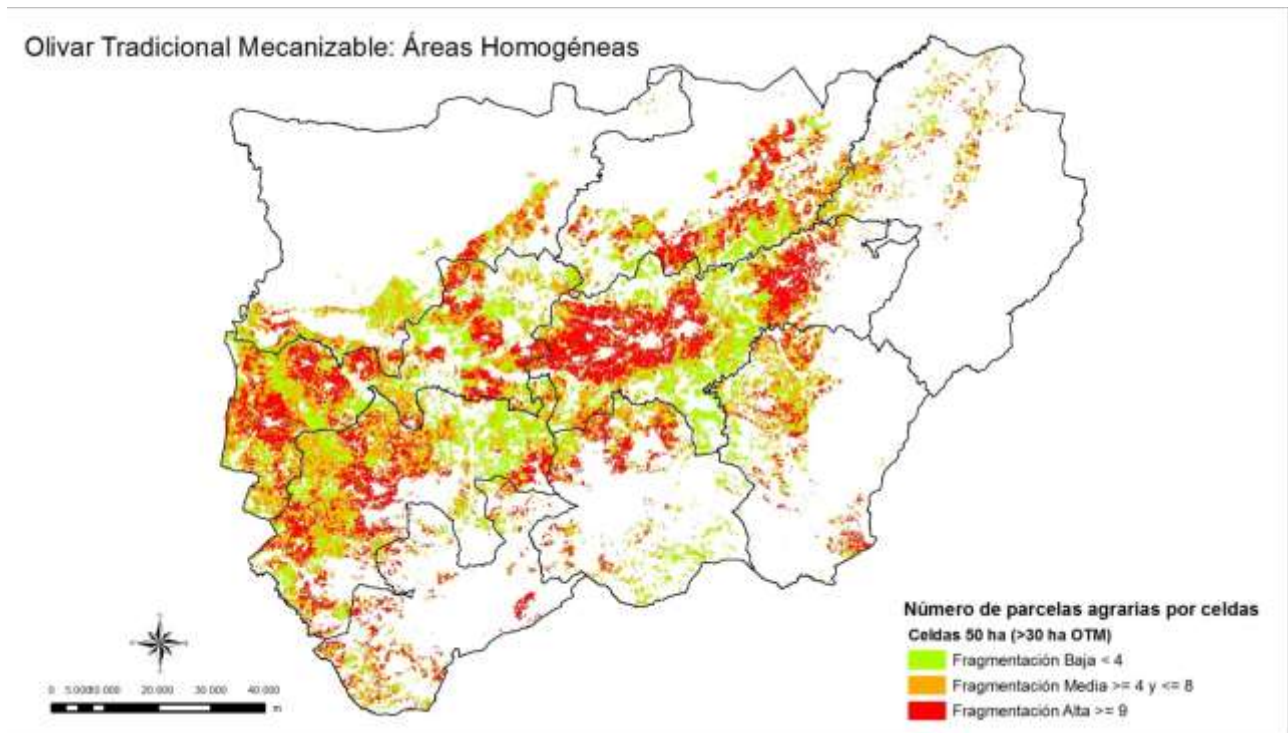


Figura 2: Áreas Homogéneas en función de la fragmentación parcelaria

Las áreas homogéneas con fragmentación media, constituidas por celdas que aglutinan parcelas entre 4 y 8 parcelas, constituyen el 36,56% de las celdas con un grado de cubrimiento del 45,01%. Por último, el grado de fragmentación bajo viene constituido por las celdas con menos de 4 parcelas, suponen el 20%.

5. CONCLUSIONES

La caracterización del olivar de la provincia de Jaén permite definirlo como eminentemente tradicional (<200 Árboles por ha) y el 94,77% y mecanizable (pendiente media <25%), el 83,66%. Su estructura espacial se define por la fragmentación (minifundismo y elevado número de parcelas) y la dispersión (distancia existente entre las parcelas de una misma explotación). Estas variables no han sido asumidas en los trabajos bibliográficos

sobre costes de producción, aun cuando tienen gran influencia en los mismos. El análisis descrito viene a colmar éste déficit.

Disponer del mapa de síntesis permite valorar el grado de fragmentación y por tanto, los espacios olivareros con mayores dificultades para un manejo eficiente de su olivar, atendiendo especialmente a las limitaciones que establece el sistema de propiedad agraria. Disponer del mapa de síntesis permite además conocer exhaustivamente los propietarios y las condiciones particulares (régimen de cultivo, proximidad) de cada uno de los espacios, lo que sin duda facilitará la transferencia del conocimiento y llevar a la práctica los sistemas de cultivos asistidos y compartidos.

En los espacios de fragmentación alta la ineficiencia es mayor, mientras que existe mayor dificultad para llevar a la práctica (consenso) las acciones propuestas. En el lado opuesto, en las celdas menos fragmentadas la eficiencia es mayor (teóricamente las parcelas son de mayor tamaño) y el consenso para la gestión conjunta será más probable.

La cooperación entre agricultores se ha promovido y se está fomentando desde la administración pública. El nuevo Reglamento de Desarrollo Rural (PE-CONS 93/13) prevé en su artículo 35, ayudas específicas para la cooperación entre pequeños agentes, para organizar procesos de trabajo en común y compartir instalaciones y recursos, además de ofertar ayudas para una amplio conjunto de actividades realizadas por una agrupación de productores, en aras de mejorar el impacto de la agricultura en el medio ambiente y el cambio climático e incrementar la colaboración entre los agentes de la cadena de distribución.

6. BIBLIOGRAFÍA

AEMO (2012): Aproximación a los costes del cultivo del olivo. Cuaderno de conclusiones del seminario de la Asociación Española de los Municipios del Olivar. Córdoba.

Alía Miranda F, Del Valle Calzado AR (2004): Guía de fuentes para el estudio de la reforma agraria liberal (1835-1880) Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros 202:11-50.

Mata Olmo R (1987): Pequeña y gran propiedad en la depresión del Guadalquivir: aportación al estudio de la génesis y desarrollo de una estructura de propiedad agraria desigual. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaría General Técnica. Madrid.

Feranec, J, Jaffrain G, Soukup T, Hazeu G (2010): Determining changes and flows in European landscapes 1990 e 2000 using CORINE land cover data. Appl. Geogr. 30, 19 e 35. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2009.07.003>

Mac Donald D, Crabtree J, Wiesinger G, Dax T, Stamou N, Fleury P, Gutierrez Lazpita J, Gibon A (2000): Agricultural abandonment in mountain areas of Europe: environmental consequences and policy response. J. Environ. Manag. 59, 47 - 69. <http://dx.doi.org/10.1006/jema.1999.0335>.

European Commission (2011): What is a small farm?. DG Agriculture and Rural Development, Unit Economic Analysis of EU Agriculture. Agricultural Economics Briefs Nº 2

Colombo S, Camacho Castillo J, (2014): Caracterización del olivar de montaña Andalucía para la implementación de los Contratos Territoriales de Zona Rural. Información Técnica Económica Agraria (ITEA), 110: 282-299.

Vilar Hernández J, Velasco Gámez M, Puentes Poyatos R, Martínez Rodríguez M (2011). El olivar tradicional: alternativas estratégicas de competitividad. Grasas y Aceites 62 (2):221-229.

Parlamento Europeo (2013): Resolución del Parlamento Europeo, de 4 de febrero de 2014, sobre el futuro de las pequeñas explotaciones agrícolas (2013/2096 (INI)

Colombo S, Perujo Villanueva M, Ruz Carmona A, Gallego Álvarez FJ (2015): Caracterización de la rentabilidad del olivar jiennense: propuestas de estrategias de gestión para incrementar su sostenibilidad. XVII Simposio Científico Técnico Exploliva, Jaén (España), May6-9. ECO-26

Ruz A (2012): Análisis de costes de explotación: modelo tradicional vs. Modelo intensivo. Máster universitario en olivar, aceite de oliva y salud. Universidad de Jaén.

Consejería de Agricultura y Pesca (2008): El sector del aceite de oliva y la aceituna de mesa en Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca – Junta de Andalucía. Sevilla (España)

Consejería de Agricultura Pesca y Desarrollo Rural (2015): Plan Director del Olivar Andaluz. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural – Junta de Andalucía. Sevilla (España)

Perujo Villanueva M, Ruz Carmona A, Gallego Álvarez FJ, y Colombo S. (2015): Caracterización de la rentabilidad del olivar jiennense: propuestas de estrategias de gestión para incrementar su sostenibilidad. X Congreso de la Asociación Española de Economía Agraria. Alimentación y Territorios Sostenibles desde el Sur de Europa

Colombo S, Perujo Villanueva M, Ruz Carmona A (2015): El Olivar tradicional jiennense frente a la reforma de la PAC. XVII Simposio Científico Técnico Exploliva, Jaén (España), May6-9. ECO-26

7. AGRADECIMIENTOS

Proyecto P11-AGR7515 financiado por la Consejería de Economía, Innovación, Ciencia y Empleo de la Junta de Andalucía y del Ministerio de Economía y Competitividad.

LA SIERRA DE LA CONTRAVIESA: MEDIO SIGLO DE CAMBIOS EN EL PAISAJE DE UNA MONTAÑA MEDITERRÁNEA

Laura Porcel-Rodríguez¹, Jesús Camacho-Castillo¹ y Yolanda Jiménez-Olivencia¹

¹ Instituto de Desarrollo Regional de la Universidad de Granada (Universidad de Granada, c/ Rector López Argüeta s/n Edif. Centro de Documentación Científica 3ª planta, 18071 Granada, España).
lporcel@ugr.es, brincacequias@hotmail.com, yjimenez@ugr.es

RESUMEN

Situada al sur de la Península Ibérica, la Sierra de la Contraviesa es un macizo litoral, tradicionalmente dominado por un entramado agroforestal de vertiente, donde predominaban los cultivos leñosos en régimen de secano. La inadaptación de la montaña mediterránea a los nuevos condicionantes productivos surgidos a partir de mediados del S.XX ha supuesto una notable desarticulación de este agrosistema.

Para evaluar estos procesos se ha realizado un análisis diacrónico, que se extiende desde mediados del pasado siglo hasta la actualidad, con objeto de determinar las transformaciones sufridas por las coberturas del suelo, así como los cambios en su configuración y estructura, aplicando una selección de índices procedentes de la Ecología del Paisaje y usando los Sistemas de Información Geográfica. Se ha tratado de aportar una visión global de los cambios en clave paisajística, a través de la cuantificación y modelización de su dinámica reciente, además de estudiar los niveles de diversidad y de naturalidad entre otros indicadores de paisaje.

Palabras clave: Montaña; agrosistema; paisaje; Ecología del Paisaje.

ABSTRACT

Located South of the Iberian Peninsula, the Sierra de la Contraviesa is a solid coastline traditionally dominated by an mountainside agroforestry framework, where predominated woody crops on non-irrigated land. The unsuitability of the Mediterranean mountain to new production conditions has led to the serious disruption of this agrosystem. Scenically, the changes that have occurred can be identified as both a homogenization or as an alteration of them.

To quantify these processes has made a diachronic analysis of key dates from the land cover and its configuration and structure by applying a selection of indices from Landscape Ecology and using Geographic Information Systems. It has tried to provide an overview of key changes in landscape through quantification and modeling of its recent dynamic addition to studying the diversity and level of naturalness among other landscape indicators.

Keywords: Mountain; agrosystem; landscape; Landscape Ecology.

1. INTRODUCCIÓN

Con la definición del término paisaje por parte del Convenio Europeo del Paisaje (Florenia, 2000) se marcó un hito en el tratamiento específico de este recurso. Ratificado por España en 2007, define al paisaje como "cualquier parte del territorio, tal y como la percibe la población, cuyo carácter sea el resultado de la interacción de factores naturales y humanos". Se promueve una clarificación conceptual, que permita de un lado una consideración estética y cultural colectiva del paisaje y de otro, un desarrollo científico vinculable al entendimiento funcional, sistémico y ético del mismo (Zoido, 2012).

Si bien es cierto que aún se está lejos de lograr un diálogo fluido entre las diferentes áreas del conocimiento científico, cada vez es más frecuente la adopción de planteamientos de carácter transdisciplinar.

Así, para el análisis geográfico del paisaje se emplean desde hace tiempo conceptos propios de la ecología del paisaje (Sotelo, 1991). El enfoque holístico e integrador de esta perspectiva científica, afín al geográfico, permite una aproximación paisajística de carácter estructural, funcional y evolutiva (Forman y Godron, 1986). La convergencia metodológica - conceptual y el empleo de métricas de análisis espacial o índices ecológicos, con una menor implicación ambiental/funcional, confieren una mayor transcendencia al análisis diacrónico de paisajes culturales y sobre todo al papel ejercido por la componente socioeconómica (Burel y Baudri, 2002; Vila et al., 2006).

Las dinámicas y sus procesos de cambio en el paisaje analizadas a partir del análisis de los usos y coberturas del suelo han sido objeto de investigación en la comunidad científica en numerosas ocasiones sobre todo en relación con el cambio ambiental global (Turner et al., 1995; Lambin y Geist, 2006).

En las últimas décadas se han desarrollado un gran número de trabajos sobre cambios de usos del suelo en la montaña española (Lasanta, 1990). En especial, la montaña mediterránea ha sido objeto de estudio con la intención de evaluar las consecuencias del abandono agrícola (Poyatos et al., 2003; Lasanta et al., 2005; Romero et Perry, 2004; Sancho, 2013), el estado de las coberturas vegetales (Regato et al., 1999; Lasanta y Vicente, 2007; Gómez et al., 2009), la evolución del paisaje agrario (Mazzonelli et al., 2005; Errea et al., 2007; Serra et al., 2008; Lasanta et al., 2013; Jiménez et al., 2015; Camacho et al., 2015), etc.

En relación a esto último, la crisis de la agricultura tradicional iniciada a mediados del siglo XX ha supuesto la desarticulación territorial de muchos de estos paisajes. Los efectos de las profundas modificaciones de los usos del suelo en la estructura y patrones espaciales del paisaje, así como sus consecuencias ecológicas y sociales han sido objeto de estudio en numerosas ocasiones en las montañas mediterráneas (Lasanta y Vicente, 2001; Romero y Perry, 2004; Varga y Vila, 2005; Heredia et al., 2013).

Para intentar avanzar en la comprensión de estas dinámicas, el presente estudio plantea una caracterización y cuantificación de la estructura y la evolución paisajística de la sierra de la Contraviesa y cuyas señas de identidad pasan por la escasez hídrica y el intenso uso agrario. A través de un análisis diacrónico y con la aplicación de métricas de análisis espacial o indicadores paisajísticos se pretende contribuir al conocimiento de su realidad paisajística, de sus tendencias evolutivas y de sus perspectivas de futuro, conscientes de su potencial contribución al desarrollo sostenible de la zona.

2. ÁMBITO DE ESTUDIO

La sierra de la Contraviesa se ubica en el SE de la provincia de Granada y SO de Almería. Administrativamente, sus aproximadamente 600 km² de extensión comprenden total o parcialmente a 15 municipios. En el presente trabajo se ha adoptado la unidad municipal como nivel de desagregación espacial óptimo al permitir una diagnosis a macroescala. En concreto nos hemos centrado en el caso de Murtas, con 72 km² de superficie municipal y 541 habitantes (INE, 2014), como paradigmático del paisaje de este macizo. Encuadrado en la tipología genérica de paisajes culturales mediterráneos del informe Dobris (Comisión Europea, 1991), las claves interpretativas de este espacio, vienen marcadas de un lado, por la espectacularidad geomorfológica de su intrincada red hidrológica (García, 1973; Rodríguez, 1979), y de otro, por el entramado agroforestal, basado en asociaciones de cultivos en secano, que lo tapizan (Camacho, 1995).

La crisis de este agrosistema tradicional ha acentuado la secular marginalidad socioeconómica de este territorio, tanto por su localización periférica como por sus condicionantes biofísicos (suelos raquíuticos, elevados índices de erosión, etc.), históricos (aislamiento) y estructurales (elevadas tasas de envejecimiento, éxodo rural, etc.).

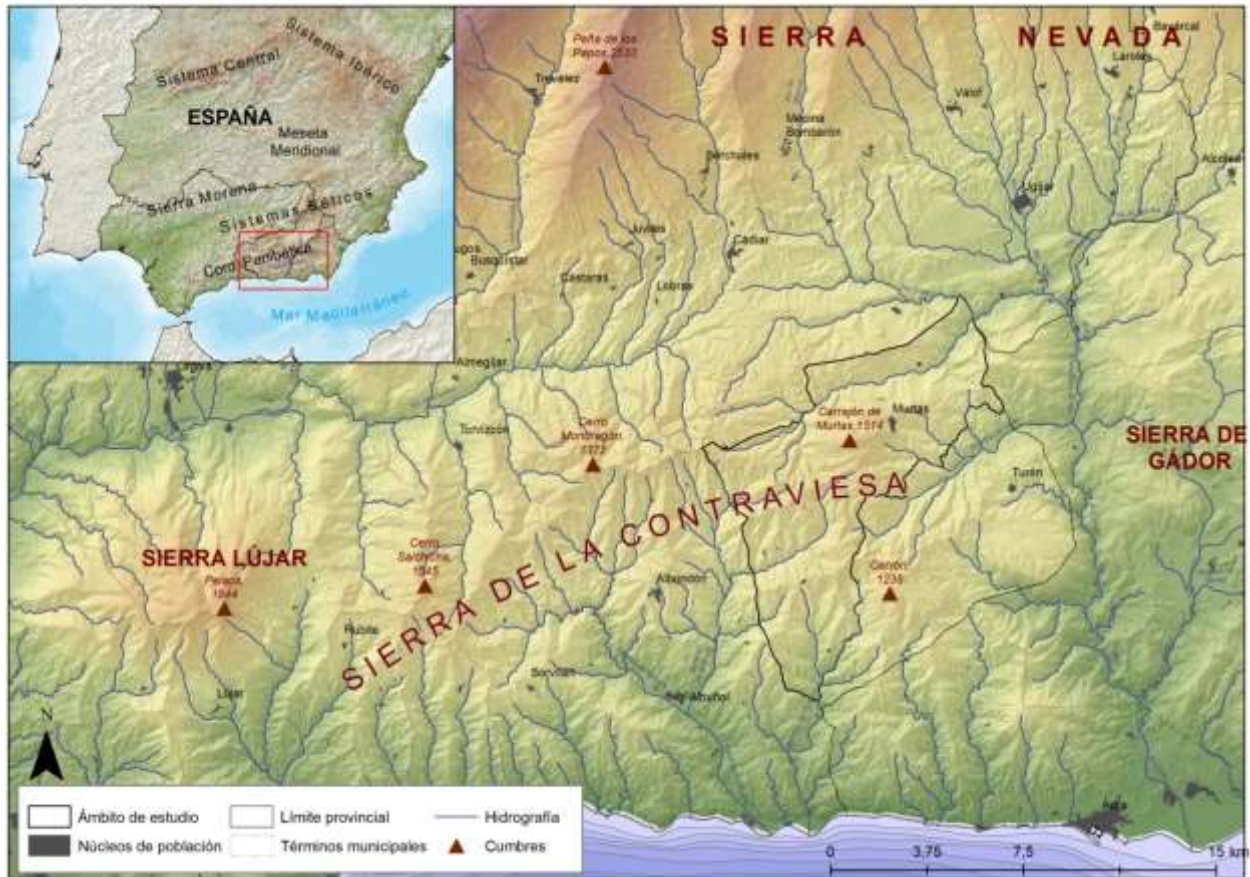


Figura 1. Mapa de situación del área de estudio. Fuente: Elaboración propia en base a cartografía del DERA (IECA, 2013).

3. METODOLOGÍA

Uno de los métodos más usuales para el estudio de la evolución del paisaje es el de la detección de cambios en los usos y coberturas del suelo utilizando fotogramas aéreos o imágenes de satélite. Como fuentes se han empleado la Ortofotografía pancromática de Andalucía a partir del vuelo fotogramétrico nacional B/N a escala 1:33000 de 1956-57 (Vuelo Americano del 56) y la Ortofotografía color de Andalucía año 2006 de 0,5 m de resolución, generada a partir del vuelo fotogramétrico digital de 0,30 m de resolución de 2006 (PNOA) de la Junta de Andalucía y el Instituto Geográfico Nacional. Para ello se usó el programa de Sistemas de Información Geográfica ArcGis v.10.3. La creación de las cartografías de ambos cortes temporales se realizó a partir de una fotointerpretación a escala 1:5.000 con objeto de diferenciar las tipologías del espacio agrario de interés, lo que supuso para el primer corte temporal un esfuerzo adicional por presentar éste una menor resolución y nivel de calidad.

A partir de la diferenciación de 7 clases de usos del suelo se analizaron los estados sucesivos del paisaje en cada fecha, así como los cambios producidos en el mismo (pérdidas, ganancias y trasvases entre clases).

El estudio de la configuración y estructura del paisaje se realizó a través de la aplicación de una serie de índices pertenecientes a la Ecología de paisaje, tanto a nivel de "clase" como de "paisaje". Desde el programa Fragstat v. 4.2.1. se seleccionaron varias métricas tales como el número de parches (NP), el área media de parche (AREA_MN) así como la densidad de parches (PD). Paralelamente se calcularon el porcentaje de clases por paisaje (PLAND), y el cambio en la forma con el índice de forma media (SHAPE_MN) junto con el estudio de la diversidad con el índice de diversidad de Shannon (SHDI).

4. RESULTADOS

4.1 Cambios en los usos del suelo

En la cartografía de usos del suelo de 1956 (figura 2), es patente la dominancia de la actividad primaria, que con un porcentaje cercano al 77% de la superficie total municipal, presenta una gran compacidad espacial. Así el cultivo arbóreo alcanza el 40,49 % del espacio cultivado municipal. Por su parte, los herbáceos ocupan una extensión superficial del 28%, siendo los menos importantes superficialmente los cultivos mixtos, con unos porcentajes de casi del 18% del total. Por su parte, las coberturas naturales tanto arbóreas (6,43% del total municipal) como arbustivas (16,43 % del total municipal) se reducen a los espacios de escasa/nula capacidad agronómica.

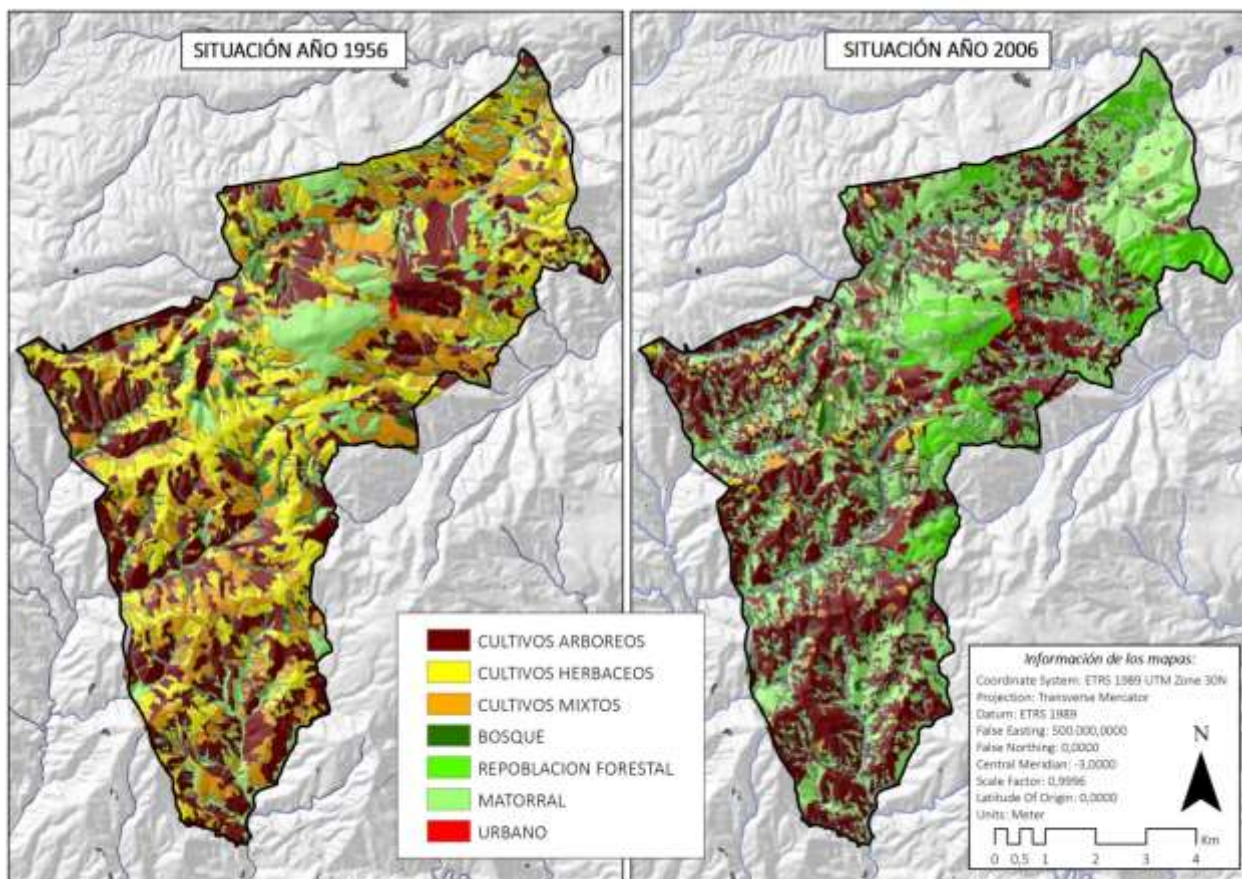


Figura 2. Usos del suelo de Murtas en los años 1956 y 2006. Fuente: Elaboración propia.

La fotointerpretación de 2006 nos muestra la instantánea de un agrosistema tradicional en quiebra, habiéndose reducido el espacio agrícola a un 40% del total municipal. El cultivo arbóreo concentra más del 90% del espacio cultivado en detrimento de otros cultivos tradicionales. Las coberturas naturales y/o espontáneas arboladas alcanzan un porcentaje cercano al 9%, mientras que las formaciones seriales de matorral se incrementan superficialmente hasta cerca del 42% del total municipal. Junto a estas, aparece una nueva cobertura: las áreas reforestadas, alcanzando una extensión superficial cercana al 10% del total municipal.

Las principales dinámicas detectadas en la segunda mitad del siglo XX (véase tabla 1), se concretan en diversos procesos. El más significativo, consiste en una contracción generalizada del espacio agrícola, pasando su extensión relativa del 76% a un 40%. Esta pérdida de espacio cultivado supone un notable cambio en los usos

tradicionales motivado por el fuerte abandono agrícola, lo que ha favoreciendo el proceso de recolonización vegetal en la mayoría de los casos, dando lugar a un lento proceso de matorralización. En la misma línea, las coberturas naturales arboladas también han experimentado una ligera expansión. Finalmente, la aparición de las repoblaciones forestales responde a la política hidrológica forestal de la cuenca del embalse de Benínar.

| Hectáreas | C. arbóreos (2006) | C. herbáceos (2006) | C. mixtos (2006) | Bosque (2006) | Matorral (2006) | R. Forestal (2006) | Urbano (2006) |
|---------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|------------------|--------------------|-----------------------|------------------|
| C. arbóreos (1956) | 1163,45 | 21,28 | 16,97 | 91,37 | 800,50 | 131,94 | 4,13 |
| C. herbáceos (1956) | 664,58 | 80,08 | 90,03 | 96,75 | 726,08 | 283,42 | 4,99 |
| C. mixtos (1956) | 628,99 | 16,17 | 26,87 | 60,69 | 513,67 | 79,89 | 4,34 |
| Bosque (1956) | 47,28 | 2,37 | 1,28 | 244,98 | 152,98 | 11,96 | |
| Matorral (1956) | 101,90 | 4,29 | 3,47 | 116,04 | 774,19 | 172,92 | 4,37 |
| Urbano (1956) | 3,62 | | 0,03 | 0,09 | 0,98 | | 14,69 |

Tabla 1. Matriz de cambios 1956-2006. Fuente: Elaboración propia.

4.2 Cambios en la configuración del paisaje

La magnitud de los cambios observados en las diferentes teselas ha supuesto una serie de modificaciones en buena parte de los componentes de la estructura espacial del paisaje.

El análisis de los cambios, tanto a nivel de clase como de paisaje, nos permite realizar una caracterización y cuantificación de ambas configuraciones paisajísticas. A priori, destaca la fragmentación detectada ya que a escala de paisaje (tabla 2), y atendiendo a sus características morfológicas, podemos ver cómo ha aumentado tanto el número (de 1229 a 2481) como la densidad de parches, lo que ha supuesto un incremento de casi un 50% en los valores de ambas métricas. En el periodo analizado el área media del parche se ha reducido aproximadamente en esa misma proporción.

| AÑOS | NP | PD | AREA_MN | SHAPE_MN | SHDI |
|--------------------|------|-------|---------|----------|------|
| NIVEL PAISAJE 1956 | 1229 | 17,15 | 5,82 | 2,02 | 1,51 |
| NIVEL PAISAJE 2006 | 2481 | 34,63 | 2,88 | 1,81 | 1,33 |

Tabla 2. Índices a escala de paisaje. Fuente: Elaboración propia.

Por lo que respecta al análisis de las formas de las teselas y, más concretamente al índice de forma medio, los valores indican una reducción del 10%. En cuanto a los resultados obtenidos en relación a la diversidad, los datos muestran una cierta tendencia a la homogenización, disminuyendo de 1,51 a 1,37 los valores para el índice de Shannon.

En líneas generales, a partir de la información obtenida al aplicar las métricas seleccionadas, en la configuración del paisaje por clases podemos observar la siguiente evolución (tabla 3). Los cultivos han pasado de un total de 579 parches a 732. Este proceso es mucho más significativo en los cultivos herbáceos y mixtos donde se ha pasado de 324 a 279, mientras que los arbóreos han aumentado. Esta pérdida neta de superficie agrícola por abandono se ha transvasado fundamente a la categoría de matorral, pasando de 397 parches a 897 en 2006 e incrementando su superficie. Las teselas de bosque por su parte han crecido levemente. En todas las categorías, el tamaño medio de las parches se reduce, perdiendo entidad, con la excepción del

matorral que incrementa el área media de la tesela en un 10%. En lo que respecta a las características formales, vemos que se reducen los valores del índice de forma medio de manera generalizada, destacando los descensos acaecidos en los cultivos herbáceos y mixtos así como en el bosque.

| CLASES | NP 1956 | NPI 2006 | PLAND 1956 | PLAND 2006 | PD 1956 | PD 2006 | AREA_MN 1956 | AREA_MN 2006 | SHAPE_MN 1956 | SHAPE_MN 2006 |
|-----------------------------------|------------|-------------|---------------|---------------|------------|------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|
| Cultivos arbóreos | 255 | 453 | 31,12 | 36,43 | 3,55 | 6,32 | 8,74 | 5,7 | 1,94 | 1,92 |
| Cultivos herbáceos | 165 | 122 | 27,17 | 1,73 | 2,30 | 1,70 | 11,79 | 1,01 | 2,07 | 1,50 |
| Cultivos mixtos | 159 | 157 | 18,57 | 1,93 | 2,21 | 2,19 | 8,36 | 0,88 | 1,88 | 1,44 |
| Bosquetes de escasa superficie | 239 | 765 | 6,42 | 8,50 | 3,33 | 10,67 | 1,92 | 0,79 | 2,44 | 1,90 |
| Matorral | 393 | 897 | 16,43 | 41,44 | 5,48 | 12,52 | 2,99 | 3,30 | 1,87 | 1,78 |
| Repoblación forestal | - | 44 | - | 9,48 | - | 0,61 | - | 15,44 | - | 2,15 |
| Urbano | 18 | 43 | 0,27 | 0,45 | 0,25 | 0,60 | 1,07 | 0,75 | 1,58 | 1,38 |

Tabla 3. Índices de paisaje por clases. Fuente: Elaboración propia.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el escenario paisajístico de Murtas, el entramado agroforestal tradicional ha constituido un componente esencial en su estructura, sostenibilidad y legibilidad. Este agrosistema, al igual que en el resto de la Sierra de la Contraviesa, estaba constituido fundamentalmente por un variado mosaico de cultivos leñosos y herbáceos en secano (almendros y en menor medida higueras, olivos, vides, cereales, forrajeras, etc.) en alternancia con las coberturas naturales en las escasas áreas que quedaron al margen del aprovechamiento agrícola, que no económico. Hasta mediados del S. XX, y en el marco de una economía marcadamente autárquica, la dedicación agrícola creció hasta alcanzar un aprovechamiento integral del potencial productivo del territorio, como respuesta a la elevada presión demográfica de principios de siglo, sumado esto a otros factores como las roturaciones forestales de finales del XIX, la postguerra, etc.

Desde 1950, la crisis de la agricultura tradicional ha supuesto la progresiva desarticulación territorial de un espacio orientado a una actividad primaria marginal. La reorientación hacia un modelo de gestión territorial más adaptado a la lógica del mercado cuestiona, por su marginalidad económica, la pervivencia de muchos de los aprovechamientos tradicionales, actualmente sujetos a procesos de abandono y/o reorientación productiva.

El análisis de la dinámica paisajística muestra las consecuencias de estos desequilibrios. A modo de sinopsis, las transformaciones quedan recogidas en las siguientes observaciones:

- Contracción del espacio cultivado. Las coberturas agrícolas experimentan una significativa regresión superficial que en términos relativos asciende al 37%, pasándose de las 5506 has. en 1956 a las 2872 has. en 2006. Esta regresión afecta fundamentalmente a las coberturas agrícolas herbáceas y mixtas, constatándose que cerca del 96% de esta superficie abandonada se integraba dentro de estas categorías. En ambos casos, la mayor parte de la superficie transvasada se reconvierte a cultivos arbóreos (herbáceos 45,95%; mixtos: 48,25%) o se abandona (herbáceos: 38,91; mixtos: 40%) iniciándose la consiguiente matorralización (figura 3).



Figura 3. A la derecha, campo de almendros junto a algunas higueras en producción y a la izquierda, campo abandonado. Fuente: Autores.

- Especialización productiva y extensificación de los usos. A nivel paisajístico, la deficiente reconversión al modelo de agricultura de mercado ha supuesto una importante pérdida de diversidad agrícola, con la práctica desaparición de las coberturas herbáceas y mixtas. En este sentido, la creciente presencia del cultivo arbóreo en el paisaje evidencia una progresiva especialización productiva basada en el monocultivo del almendro. Esta cobertura es por tanto la más estable, en términos de reconversión, y la única que ha experimentado un ligero crecimiento (7% del espacio). En 2006 contaba con 2609,81 has. frente a las 124,19 y 138,66 has. dedicadas a cultivos herbáceos y mixtos respectivamente. Con esta estrategia productiva, que ha llegado a concentrar al 90% de los cambios en los cultivos, se pretende reducir la marginalidad económica de las explotaciones a través de una extensificación de sus aprovechamientos que permita compaginar la práctica agraria con otras actividades.
- Incremento sustancial de las teselas naturales arbustivas y de las superficies reforestadas. El abandono agrícola generalizado del ámbito están en la base de la fuerte expansión superficial experimentado por estas coberturas. En líneas generales, en el lento proceso de matorralización predominan las formaciones seriales de escasa envergadura y complejidad florística debido a lo “reciente” del abandono y sobre todo, a los difíciles condicionantes edafoclimáticos de la zona. En el caso de las repoblaciones forestales ligadas a la política hidrológica forestal, su expansión también ha contribuido indirectamente al cese de la actividad agrícola aunque con un claro matiz diferenciador. La repercusión de los incentivos a la reforestación acaba por favorecer de modo indirecto el abandono agrícola en espacios con una débil base productiva de carácter endógeno como el que nos ocupa. Los valores estadísticos obtenidos muestran como más del 70% de la superficie reforestada procedía de parcelas con aprovechamiento agrícola.
- Regeneración y leve crecimiento de las coberturas naturales arboladas. Las coberturas naturales y/o espontáneas arboladas ocupan un porcentaje cercano al 9% de la superficie municipal total. La regeneración de las mismas se está viendo favorecida fundamentalmente por la menor presión antrópica. En este sentido, la práctica desaparición de manejos y aprovechamientos tradicionales del bosque (saca de leña, el carboneo, pastoreo, etc.) está permitiendo una densificación y naturalización de estas formaciones arboladas. El discreto aumento superficial (2,08%) experimentado se debe al lento proceso de recolonización vegetal muy dependiente de la existencia de unas condiciones

edafoclimáticas favorables.

De la aplicación de las diferentes métricas empleadas podemos extraer diversas conclusiones en relación a la estructura y configuración espacial del paisaje durante el periodo 1956-2006. En lo que respecta a los porcentajes superficiales de cada cobertura, la correspondiente al matorral experimenta un mayor crecimiento relativo pasando del 16,43% al 41,44%. Paralelamente se observa el paso de una matriz fundamentalmente agrícola (80% de espacio) a una dominancia natural (60% del espacio). Este drástico abandono de cultivos en favor de las formaciones seriales, bosque y repoblaciones, a nivel morfológico, nos permite identificar un incremento de la fragmentación así como una pérdida de área/compacidad de las teselas. Este hecho se observa en el aumento del número y densidad de las teselas así como en la reducción generalizada del tamaño medio de las mismas a nivel de paisaje. Sin embargo, a nivel de clase podemos ver claras disparidades, de modo que en el caso de los cultivos herbáceos y mixtos baja el número y la densidad de las parches, en contraposición con los crecimientos observados en los cultivos arbóreos, bosque y matorral.

En cuanto a la forma, podemos ver una disminución generalizada de los valores de esta métrica tanto a nivel de paisaje como de clase. El abandono agrícola ha inducido una elevada fragmentación espacial que, a la vista de los resultados obtenidos, probablemente explique la contracción generalizada del área de las teselas, haciendo que estas se aproximen más a la forma de la circunferencia. Finalmente y en lo que respecta a la diversidad del paisaje, los valores obtenidos para el índice de Shannon nos indican una reducción de la diversidad pasando de 1,51 en 1956 a 1,33 en 2006. Estos valores nos hablan de una progresiva homogenización y simplificación paisajística. A este respecto, se puede decir que son los cultivos arbóreos y, más concretamente, el monocultivo del almendro que tiene su causa en la extensificación y relativa rentabilidad del mismo, el que junto a las formaciones seriales de matorral, constituyen las coberturas dominantes en el ámbito.

Como hemos podido ver, en el escenario paisajístico de la Contraviesa, las coberturas tradicionales han dotado de estructura, diversidad y calidad al mismo, constituyendo uno de los elementos identitarios de este macizo. La crisis del sistema tradicional ha supuesto el progresivo empobrecimiento de su composición y riqueza paisajística estando marcado, como en otras montañas, por un incremento de las teselas naturales, en este caso formaciones seriales de matorral, en detrimento del espacio agrario. Además, dentro de los cultivos, se ha tendido hacia prácticas agrícolas monoespecíficas, más extensivas y rentables económicamente, como puedan ser los cultivos arbóreos en detrimento de los cultivos herbáceos y los mixtos. Pese a todo, hay que destacar que esta reorientación productiva no se justifica en términos de rentabilidad económica, estando relacionada sobre todo con factores de resistencia en el mantenimiento de la actividad agrícola.

Esta progresiva homogenización y fragmentación estructural del paisaje no solo supone una degradación territorial del ámbito con pérdidas de diversa índole (ambiental, económica, cultural, etc.). Su conceptualización como elemento del capital territorial, hace necesaria su gestión, conservación y puesta en valor como recurso para el desarrollo sostenible en espacios netamente agrícolas como el que nos ocupa. Las estrechas vinculaciones formales y espaciales existentes entre la multifuncionalidad agrícola y el paisaje legitiman su consideración conjunta.

6. BIBLIOGRAFÍA

Burel, F. y Baudri, J. (2002): *Ecología del paisaje: conceptos, métodos y aplicaciones*. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa Libros.

Camacho, J.; Porcel, L.; Jiménez, Y. y Paniza, A. (2015): "Trees outside forest in the agrarian landscape of Mediterranean mountain regions: the case of Sierra de la Contraviesa (Spain)". *European Journal of Geography* Vol.6, nº 4, pp. 21-34.

Camacho, M.T. (1995): *Cartografía de los paisajes erosivos de la Sierra de la Contraviesa (provincias de Granada y Almería)*. Granada, Universidad de Granada.

- Comisión Europea (1991): *Medio Ambiente en Europa. El Informe Dobrás. Grupo de Trabajo de la Agencia Europea de Medio Ambiente, DG XI & PHARE*. Luxemburgo, Oficina de Publicaciones de las Comunidades Europeas.
- Errea, M.P., Arnáez, J., Ortigosa, L., Oserin, M. Ruiz-Flaño, P. y Lasanta, T. (2007): "Marginación y paisaje en una montaña submediterránea (1956-2001): el ejemplo de Camero Viejo (Sistema Ibérico, La Rioja)". *Nimbus: revista de climatología, meteorología y paisaje*, nº 19-20, pp. 53-60.
- Forman, R.T.T. y Godron, M. (1986): *Landscape Ecology*. Nueva York, Wiley & Sons.
- García, E. (1973): "El viñedo en la costa Alpujarreña". *Estudios geográficos* vol. 34 nº 132-133, pp. 501-538.
- Jiménez; Y., Porcel, L. y Caballero, A. (2015): "Medio siglo en la evolución de los paisajes naturales y agrarios de Sierra Nevada (España)", *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* n.º 68 - 2015, pp. 205-232.
- Instituto Nacional de Estadística (INE) (2014): *Encuesta de Población Activa*. <http://www.ine.es/dynt3/inebase/es/index.html?padre=517&dh=1>, diciembre 2015.
- Lasanta, T., Vicente, S.M. y Cuadrat, J.M. (2005): "Mountain mediterranean landscape evolution caused by the abandonment of traditional primary activities: a study of the Spain Central Pyrenees". *Applied Geography*, 25, pp. 47-65.
- Lasanta, T. y Vicente, S.M. (2001): "Evolución del paisaje en la montaña submediterránea durante la segunda mitad del siglo XX: un caso de estudio en la cuenca del Jubera". *Zubía*, nº extra 13, 2001 (Ejemplar dedicado a: Paisajes de La Rioja), pp. 193-210.
- Lasanta, T. y Vicente, S. M. (2007): "Cambios en la cubierta vegetal en el Pirineo aragonés en los últimos 50 años", *Pirineos* (162), pp. 125-154.
- Gómez, L., Zavala, M.A., Bonet, F.J. y Zamora, R. (2009): "Are pine plantations valid tools for restoring Mediterranean forests? An assessment along abiotic and biotic gradients". *Ecological applications* 19 (8), pp. 2124-2141.
- Heredia, A. Frutos, L.M. y González, J.C. (2013): "Diferencias en la evolución del paisaje entre dos municipios Prepirenaicos: Alquézar y Valle de Lierp, en la segunda mitad del siglo XX". *Pirineos*, vol. 168 (2013), pp. 77-101.
- Lambin E.F. y Geist H.J. (eds.) (2006): *Land use and land cover change: Local processes, global impacts*. Berlín, The IGBP Book Series, Springer-Verlag.
- Lasanta, T. (1990): "Tendencias en el estudio de los cambios de uso del suelo en las montañas españolas". *Pirineos*, vol. 135, pp. 73-106.
- Lasanta, T., Arnáez, J., Ruiz, P. y Lana-Renault, L. (2013): "Los bancales en las montañas españolas: un paisaje abandonado y un recurso potencial". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* n.º 63 - 2013, pp. 301-322.
- Mazzoleni, S., Di Pasquale, G., Mulligan, M., Di Martino, P., Rego, F. (2005): *Recent dynamics of the mediterranean vegetation and landscape*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Poyatos, R., Latron, J. y Llorens, P. (2003): "Land Use and Land Cover Change After Agricultural Abandonment. The Case of a Mediterranean Mountain Area (Catalan Pre-Pyrenees)". *Mountain Research and Development* 23(4), pp. 362-368.
- Regato, P., Castejón, M., Tella, G., Giménez, S., Barrera, I. y Elena, R. (1999): "Cambios recientes en los paisajes de los sistemas forestales mediterráneos de España". *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales*, vol. 1 nº extra 1, pp. 383-398.
- Rodríguez, F. (1979): "La erosión hídrica en la vertiente mediterránea andaluza: el caso de la Sierra de la Contraviesa". *Cuadernos Geográficos de la Universidad de Granada*, nº 9, pp. 151-186.

- Romero, R. y Perry, G.L.W (2004): "The role of land abandonment in landscape dynamics in the SPA 'Encinares del río Alberche y Cofio, Central Spain, 1984–1999". *Landscape and Urban Planning* 66 (2004), pp. 217–232.
- Sancho, A. (2013): "Land abandonment and the dynamics of agricultural landscapes in mediterranean mountain environments: the case of Ribagorça (spanish Pyrenees)", *Erdkunde*, 67(4), pp. 289–308.
- Serra, P., Pons, X. y Saurí, D. (2008): "Land-cover and land-use change in a Mediterranean landscape: A spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors", *Applied Geography*, vol. 28 (2008), pp. 189–209.
- Sotelo, J.A. (1991): "Paisaje, semiología y análisis geográfico". *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, nº 11, pp. 11-23.
- Turner II, B.L., Skole, D., Sanderson, S., Fischer, G., Fresco, L. and Leemans, R. (1995): *Land-Use and Land-Cover Change, Science/Research Plan. Report nº 35. IIASA Policy Report*. Estocolmo, International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP).
- Varga, D. y Vila, J. (2005): "Ecología del paisaje y sistemas de información geográfica ante el cambio socioambiental en las áreas de montaña mediterránea. Una aproximación metodológica al caso de los valles d'Hortmoier y Sant Aniol (Alta Garrotxa. Girona)". *AREAS Revista Internacional de Ciencias Sociales* nº 25 / 2005 La transformación del territorio, antes y después de 1950, pp. 59 – 72.
- Vila, J., Varga, D., Llausàs, A. y Ribas, A. (2006): "Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretación desde la Geografía", *Documents d'anàlisi geogràfica*, nº 48, 2006, pp. 151-166.
- Zoido, F. (2012): "El paisaje un concepto útil para relacionar estética, ética y política", *Scripta Nova Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, vol. XVI, nº. 407. En línea <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-407.htm>>

7. AGRADECIMIENTOS

Parte de los datos utilizados en este texto se desarrollaron en el marco del proyecto internacional "Les paysages de l'arbre hors forêt: Multi-varolisation Dans le cadre d'un développement local durable en Europe du Sud (2007-2010)", financiado por el Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer de Francia a través del programa de investigación Paysage et développement durable, y del que los autores formaron parte.

ESTRATEGIAS DE TRANSFERENCIA ESPACIAL PARA LA EVALUACIÓN DE PELIGROSIDAD MÚLTIPLE EN EL ENTORNO DE INFRAESTRUCTURAS VIARIAS

Sergio Reyes-Corredera¹, María J. Perles-Roselló¹ y Juan F. Sortino-Barrionuevo¹

¹ Departamento de Geografía (Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Málaga, Bulevar Louis Pasteur, 29071. Málaga, España) sergioreyes@uma.es, mjperles@uma.es, francis.sortino@gmail.com

RESUMEN

En las últimas décadas se ha apreciado un mayor grado de afectación de las infraestructuras de comunicación debido a la complejidad de la obra pública para solventar tramos de viales que transcurren por entornos complejos. En esta comunicación se ha generado un procedimiento de trabajo en el que el empleo de algoritmos ad-hoc, basados en aprovechamiento y desarrollo de scripts de Python GRASS, para el cálculo de la transferencia de energía y materia por las diversas casuísticas de peligro natural a las que se ven sometidas las infraestructuras viarias andaluzas ante episodios de activación de riesgos de un modo simultáneo en periodos de lluvias torrenciales. Se expondrán dos ejemplos de dichos algoritmos aplicados a las laderas inmediatas a una carretera en la que se aprecian fenómenos de peligrosidad.

Palabras clave: transferencia espacial; multi riesgo; movimientos gravitacionales; peligrosidad

ABSTRACT

In recent decades it has appreciated a greater degree of involvement of the infrastructure of communication due to the complexity of public work to solve stretches of roads that pass through complex environments, In this communication it has generated a work process what apply ad-hoc algorithms, based in Python GRASS scripts to calculate energy and matter transfer by different natural danger cases what affects to these road infrastructures in Andalusia in torrential rain periods. It shows two examples of these algorithms applied to the immediate to a road slopes where is appreciated hazard phenomena.

Keywords: spatial transference; multi risk; gravitational moving; hazard

1. INTRODUCCIÓN

En el marco del Proyecto de Investigación (G-GI3002/IDIS) "Elaboración de una metodología aplicada para la detección de puntos conflictivos en las infraestructuras viarias de áreas periurbanas andaluzas ante episodios de activación de riesgos sinérgicos asociados a lluvias torrenciales" (8.06/5.26.4120) financiado por Fondos FEDER por la Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía se ha comprobado el papel de las infraestructuras viarias como elementos artificiales del territorio de carácter lineal que a lo largo de su trazado interactúan de forma estrecha con los procesos geomorfológicos de su entorno, produciéndose disfunciones e interacciones de distinto tipo, que en muchos casos se transforman en peligros. Los procesos que generalmente producen una afectación más directa sobre las carreteras se relacionan con las dinámicas gravitatorias (movimientos del terreno) e hídricas, que pueden causar una invasión de la calzada por agua u otros materiales. La propia excavación de taludes y desmontes para la construcción de la carretera actúa como factor activador de deslizamientos y desprendimientos (Corominas, 2013). Son igualmente frecuentes los procesos de subsidencia del firme en las laderas subyacentes a la calzada, que pueden vincularse a terraplenes insuficientemente consolidados, sometidos a procesos cíclicos de inundación, o afectados por cursos hídricos que humedecen y/o erosionan la base de la ladera produciendo su inestabilización. En ocasiones, los problemas se vinculan a la invasión de agua en la carretera, que puede generar balsas y otras formas de inundación, bien por mal funcionamiento de los sistema de drenaje transversal (generalmente un "culvert") (Flanagan et al., 1998), o bien por desbordamiento de cursos de agua que intersectan la carretera. Además, los cambios introducidos en la permeabilidad del entorno alteran los procesos erosión-depósito, y la dinámica del flujo hídrico en las inmediaciones de la carretera (Prasad, 2007).

La función estratégica de estas infraestructuras en normal discurrir de los flujos poblacionales y de mercancías en el territorio otorga una singular importancia a la interrupción de su normal funcionamiento. Por esta razón, la identificación de los puntos del trazado con mayor probabilidad de ser afectados por fenómenos que produzcan bloqueos u otro tipo de afectación permite dar prioridad a las labores preventivas más urgentes en cada carretera, y contribuir así de forma directa a la mejora de las condiciones de seguridad y disminución de costes post-evento.

En este proyecto se ha desarrollado una serie de algoritmos y procedimientos integrados en una interfaz informática que, a partir de una información cartográfica de entrada, aplica una serie de ecuaciones predictivas que permiten identificar y situar en el espacio los puntos de la carretera que tienen mayor probabilidad de recibir el impacto de algunos de los procesos peligrosos identificados. De este modo se ha desarrollado una herramienta predictiva que puede aplicarse a la gestión del riesgo en infraestructuras ya construida o como instrumento de simulación en la fase de proyecto y selección de alternativas del trazado. Este tipo de propuestas metodológicas y herramientas de apoyo de marcada utilidad aplicada adquieren especial interés y actualidad ante la promulgación reciente de documentos normativos que instan a la elaboración de cartografías de riesgos específicas para los entornos especialmente sensibles de las denominadas Infraestructuras Críticas.

Los procesos de peligrosidad tratados poseen un comportamiento particular en lo que se refiere a su dinámica espacial, lo que ha requerido el diseño y programación de algunos procedimientos de análisis espacial complejos cuya reproducción puede ser de interés en casos similares o afines. Por ello se ha desarrollado una metodología de trabajo basada en procedimientos y algoritmos que solventen estas carencias en el análisis de estas casuísticas específicas.

El objetivo de la presente comunicación es, mediante el análisis y descripción de un caso de análisis, mostrar a través de un ejemplo las características de las estrategias espaciales complejas que ha sido necesario implementar en la interfaz informática para poder evaluar procesos de peligrosidad asociados a una infraestructura lineal que manifiestan una marcada transferencia espacial entre las áreas causantes del procesos de peligrosidad, y las áreas receptoras de los efectos del proceso.

2. ÁREA DE ESTUDIO

Los tramos utilizados en el trabajo se sitúan en una zona en el entorno de la ronda de circunvalación Este de la ciudad de Málaga (España) (Autovía A-7 de la Red General de Carreteras del Estado). El entorno por el que discurre este vial se caracteriza por ser una zona de características suburbanas y periurbanas con una alta movilidad de tráfico rodado con valores de intensidad media diaria superiores a los 75.000 vehículos al día (Ministerio de Fomento, 2014) y constituyéndose como un área muy vulnerable socioeconómicamente (Figura 1).

En este sector de carretera se han producido, desde su construcción en el año 1992, frecuentes episodios de movilización en taludes y laderas con importantes consecuencias sobre el funcionamiento del tráfico y elevados costes en labores de restauración

Se trata de un área con pendientes muy elevadas, y desde el punto de vista geológico tiene una complejidad estructural y tectónica que dan variabilidad a la zona, con yuxtaposición y superposición de series de características muy variadas (materiales esquistosos paleozoicos, serie permo-triásica de conglomerados, yesos y arcillas y calizas y dolomías jurásicas, fundamentalmente). Estos materiales presentan un elevado contraste tanto en permeabilidad como en comportamiento mecánico de la roca, lo que aumenta la posible casuística de susceptibilidad a los movimientos gravitacionales.

El carácter periurbano de la infraestructura acrecienta las posibilidades de intervenciones antrópicas en el entorno, y con ello la existencia de factores activadores de los movimientos de ladera que generan peligrosidad. Todas estas características han determinado la selección del área de estudio como caso para la obtención de los datos empíricos en los que se sustenta el modelo predictivo. La variedad de casuísticas

potenciales han permitido experimentar con distintas estrategias de análisis espacial para la obtención de resultados.



Figura 1. Tramo analizado en la Ronda de Circunvalación de Málaga (Autovías MA-20 y A-7). Fuente: Elaboración propia.

3. ANTECEDENTES Y BASES CONCEPTUALES DE LA METODOLOGÍA

El fundamento conceptual en el que se basa la metodología es la idea de funcionamiento en cadena de los peligros asociados que concurren en un espacio (Perles Roselló, 2010; Perles Roselló y Mérida Rodríguez, 2010; Perles Roselló y Cantarero Prados, 2010). Según este enfoque, el espacio y sus relaciones topológicas actúa como vector que unifica e interrelaciona procesos de riesgo de origen diverso que pueden funcionar de forma enlazada cuando las condiciones espacio-temporales de transmisión de materia y energía así lo permitan.

Desde este punto de vista, para analizar con efectividad los espacios afectados por riesgos múltiples, como puede ser el caso de las infraestructuras viarias, es necesario establecer inicialmente un patrón espacial de flujos y comportamientos en cadena, identificando las áreas causantes de la peligrosidad, las vías de transmisión de proceso de peligrosidad, y, por último, las áreas receptoras del impacto. En la definición de este patrón de transmisión de materia y energía es necesario respetar la secuencia topológica que guía los procesos, y la transferencia espacial que se produce entre las zonas causantes y las receptoras. El procedimiento de integración de los peligros, como se explica más adelante, no se ha fundamentado en la presencia de un agente causante común, sino en la vinculación de los peligros a través de un vector común de transferencia de masa y energía (como por ejemplo la dinámica gravitacional y la de fluidos). El documento cartográfico resultante del trabajo debe reflejar la seriación topológica de acciones implicadas en los distintos peligros, los procesos de retroalimentación y sinergia consecuente y la transferencia espacial y temporal entre las causas y las consecuencias.

El área causal de cada tipo de peligro abarca todo el espacio continuo en el cual existe la posibilidad de que una acción determinada tenga consecuencias en otro punto de esa misma área. Este área se define en función del vector de transferencia de masa y energía que actúe en ese tipo de peligro como transmisor de

consecuencias; en la aplicación que nos ocupa se delimita por tanto en razón de la dinámica gravitatoria, de fluidos, y/o atmosférica.

Las metodologías para la cartografía multi-peligros y multi-riesgo han desarrollado en muy escasa medida la cuestión de la acumulación de los peligros en cadena. Como indican Delmonaco, Margottini y Spizzichino (2006), el enfoque se enfrenta a problemas intrínsecos como son la dificultad para predecir exactamente los umbrales críticos que pueden producir cambios en el comportamiento de los procesos de peligro, la intensidad de los efectos dominó y el carácter no lineal de los fenómenos complejos. Las aplicaciones concretas en esta línea de trabajo se centran en experiencias de monitorización de la transferencia de masa y energía a partir de experimentos empíricos a escala muy detallada (Burton y Bathurst, 1998; Pedraza et al., 2004; Bodoque et al., 2005), fundamentalmente conectando los peligros de erosión, incendio, movimientos en masa e inundación. Los trabajos de evaluación de peligros en cadena a una escala útil para su aplicación en la prevención del sigue siendo una asignatura pendiente y las propuestas se plantean a nivel de tentativas. Pueden considerarse trabajos antecedentes los diseñado en la Universidad de Colorado; el Integrated Planning Decision Support System (IPDSS), tiene en cuenta efectos dominó y peligros secundarios, para fenómenos relacionados con la estabilidad de laderas. Trabajos como los de Lari et al. (2008) que se fundamentan en análisis probabilísticos, con escaso desarrollo de los procesos de transferencia espacial. La aportación que desarrolla el concepto de transferencia espacial a una escala más afín a la utilizada en la comunicación es la presentada por la Agencia de Gestión de Desastres de Tayikistán recogido en Kumpulainen (2006). La metodología aplicada, aunque de forma elemental aborda, la cuestión de la diferente tendencia expansiva de la peligrosidad en cada tipo de peligro. Distingue en cada mapa el área fuente o causal, la ruta de expansión y la zona de impacto. Diferencia igualmente entre patrones de expansión del peligro de tendencia radial y direccional.

4. FASES METODOLÓGICAS APLICADAS

4.1.1 *Identificación de procesos geomorfológicos de peligrosidad que afectan a la infraestructura viaria y de sus dinámicas espaciales*

Los principales problemas que pueden producir pérdidas de funcionalidad del tráfico viario se relacionan con procesos geomorfológicos gravitacionales, que pueden producir la irrupción de materiales desplazados desde las laderas adyacentes a la infraestructura o subsidencia del firme si la ladera movilizada es subyacente. Otros procesos de peligrosidad que interrumpen el normal funcionamiento de la infraestructura se relacionan con la presencia de agua en la calzada, tanto en forma de balsas y encharcamientos como de irrupción del caudal de un cauce en la calzada por desbordamiento.

Los procesos de peligrosidad identificados responden en su comportamiento de transferencia de materia y energía a dinámicas gravitacionales y de fluidos; estas dinámicas definen las trayectorias espaciales previsibles, y en ellas se fundamenta la definición de unidades espaciales definidas en el trabajo. En razón de la dinámica de cada proceso de peligrosidad, se han identificados las unidades espaciales necesarias para individualizar áreas causantes y receptoras para cada problema de peligrosidad en concreto.

Los procesos de peligrosidad que se producen en el entorno de las infraestructuras viarias identificados en el trabajo son los siguientes (ver figura 2):

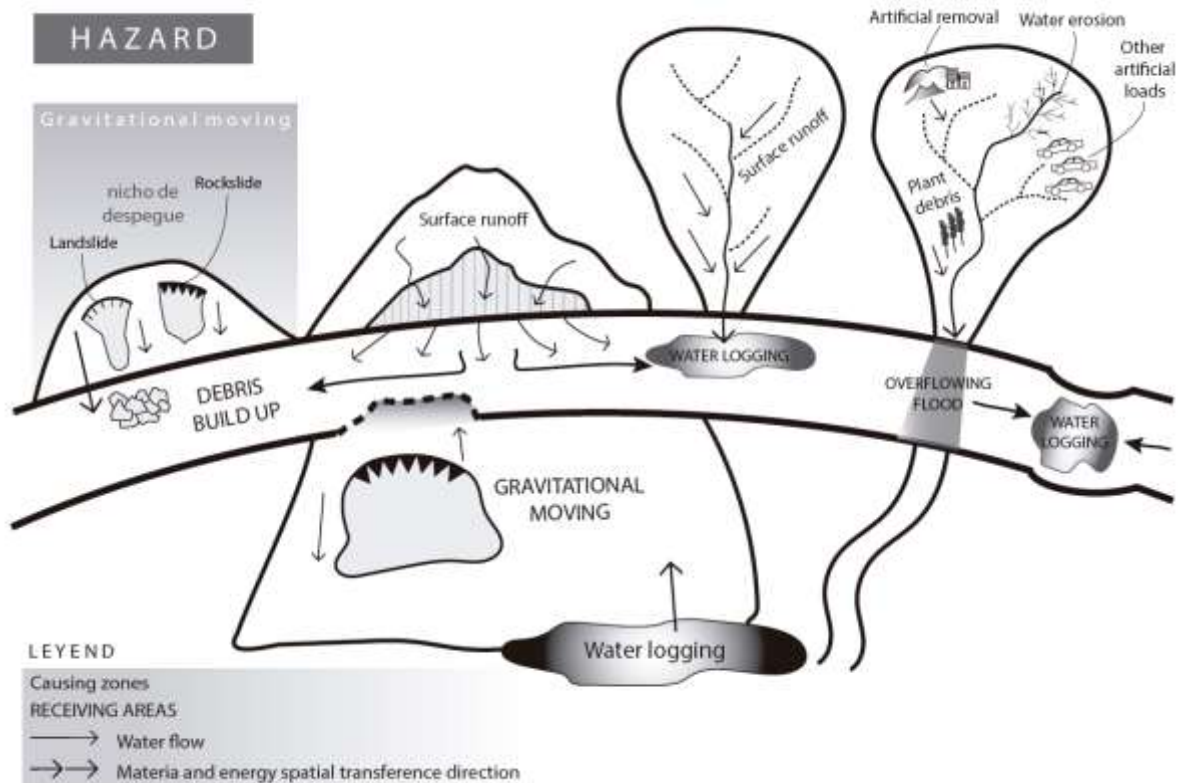


Figura 2. Procesos de peligrosidad que se producen en el entorno de las infraestructuras viarias identificados. Fuente: Elaboración propia.

Procesos relacionados con movimientos en masa:

- Caída de materiales por procesos de deslizamiento o desprendimiento desde las laderas adyacentes a la carretera, y depósito de los mismos en la berma constituida por la propia calzada y el arcén paralelo. Las zonas receptoras del material y del impacto son por tanto doble (arcén o firme de la calzada). La probabilidad de afección del tráfico por bloqueo dependerá del alcance de la masa movilizada según su inercia, y también del tamaño del arcén, que puede llegar a contener en sí mismo los depósitos de la movilización.
- Movilización en masa por deslizamiento o desprendimiento de los materiales de la ladera subyacente y sustentante de la infraestructura viaria. Los factores causantes de la movilización pueden situarse y actuar desde una doble posición. Por una parte, la activación del movimiento depende de la concurrencia de factores predisponentes en la propia ladera; de otro lado la estabilidad de la ladera puede verse afectada por procesos de inestabilización en su sector basal, esencialmente humidificación o zapado. La humidificación, si la litología componente de la ladera lo facilita, genera aumento de peso, volumen y falta de consistencia en los materiales, con la consiguiente pérdida de estabilidad. La humidificación basal de la ladera se relaciona con la presencia de zonas con un aporte extra de humedad en contacto con la parte baja de la misma, normalmente asociada a áreas endorreicas (zonas de mal drenaje y embalsamiento). Por su parte, los zapados en la base de la ladera sustentante pueden responder a acciones artificiales, aunque de forma natural se relacionan con la actividad erosiva de cursos de agua que discurren aledaños a su límite inferior. El zapado puede producir inestabilización por falta de sustentación y en ocasiones genera desplomes.

Las consecuencias de la movilización de las laderas subyacentes a la calzada se perciben tanto en el área receptora de los materiales movilizados (base de la ladera), como en la propia infraestructura viaria, donde se

produce un descalzamiento que puede generar subsidencias y rotura del firme, con el consiguiente bloqueo de la funcionalidad de la carretera

4.1.2 Definición de las unidades espaciales básicas y de los principales procesos de transferencia espacial entre ellas.

Para la simulación de los problemas de peligrosidad que pueden afectar a la infraestructura se han identificado y delimitado una serie de unidades espaciales funcionales causantes y otras receptoras de los impactos, lo que permite contemplar las trayectorias espaciales que regulan los procesos. Las principales unidades espaciales definidas son las siguientes:

- Laderas adyacentes a la infraestructura viarias, individualizando las laderas situadas en una posición relativa superior a la carretera (laderas suprayacentes) y las ubicadas en una posición inferior a la misma (laderas subyacentes).
- Tramos de la carretera adyacentes a cada ladera, y que actúan como receptores de los procesos causados en la misma (recepción de movimientos en masa y de escorrentía). Se ha individualizado como tramos diferenciados los viales de diferente sentido de circulación en la carretera.
- Áreas correspondientes al arcén y a la calzada de la infraestructura viaria.
- Tramos del perfil longitudinal de la carretera en razón de su morfología de tendencia cóncava o convexa.
- Áreas endorreicas situadas en la base de las laderas subyacentes, con propensión a la acumulación y estancamiento del flujo hídrico.
- Cuencas hidrográficas que intersectan la infraestructura y vierten en la misma.
- Cuencas hidrográficas que intersectan o contactan lateralmente con la infraestructura situadas en un nivel topográfico inferior a la misma.

4.1.3 Procedimientos aplicados para la identificación de unidades espaciales y de los principales procesos de transferencia espacial entre áreas causantes y unidades espaciales receptoras.

Atendiendo a los procesos geomorfológicos de peligrosidad que afectan a la infraestructura viaria se han elaborado una serie de algoritmos basados en scripts programados en grass.py (GRASS Development Team, 2016) y que son generadores de una serie de geoprocursos de transferencia espacial y de generación de nueva información geográfica:

El primer ejemplo que exponemos en esta se centra en la elaboración de un algoritmo previo que ayudará a de tramificación de la carretera según confluencia con laderas adyacentes (subyacentes y suprayacentes), esto es, una herramienta de carácter auxiliar que ayudará a precisar el carácter vulnerable de las diferentes fenomenologías del peligro anteriormente expuestas y que generará una unidad de síntesis, el tramo, que servirá como elemento evaluador sintético donde se deberán tomar medidas tras el aporte de la información geográfica de la peligrosidad analizada.

Este algoritmo permite dividir los ejes de la carretera (central y laterales) en función de las laderas adyacentes. Para ello se han proyectado los vectores perpendiculares al eje desde los vértices que separan cada una laderas y que coinciden con el borde de la plataforma de la carretera. La herramienta secciona el eje de la carretera según las laderas a ambos lados bien sean subyacentes (bajo la plataforma) o suprayacentes (sobre la plataforma) y por lo tanto creará la posibilidad de poder volcar la información de los distintos procesos geomorfológicos de transferencia espacial de materia y energía procedentes o derivados de las unidades de ladera. Para que se pueda realizar este proceso es fundamental que el borde de las laderas que coincidan con la plataforma no tenga espacios, algo que deberá desarrollarse previamente en el proceso de digitalización tanto de la ladera como de la propia plataforma.

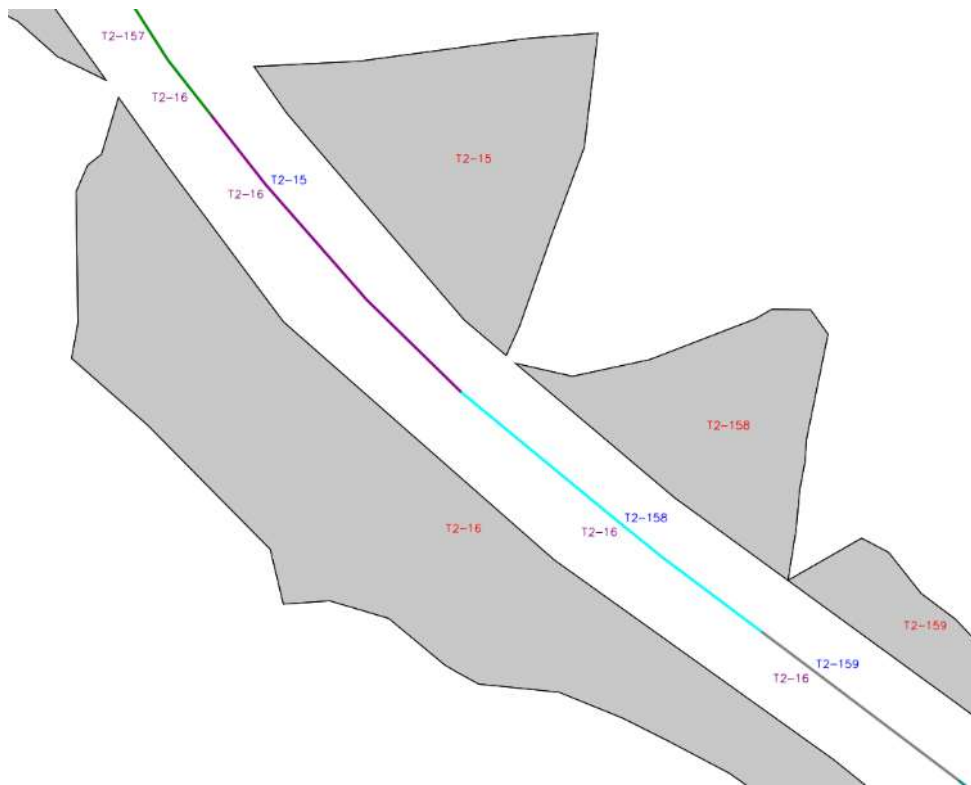


Figura 3. Segmentación del eje central en segmentos según laderas, con tramo mínimo de 10 m. Fuente: Elaboración propia.

El resultado de aplicar este algoritmo mostrará una división del eje central de la carretera coincidente con las laderas que tiene a ambos lados del tramo como se puede apreciar en la figura 3.

El segundo de los algoritmos desarrollados mide la probabilidad alcance del terreno movilizado a la carretera, a diferencia del anterior este algoritmo sí que muestra un carácter predictivo en función de las características físicas de las laderas suprayacentes.

Para solventar las cuestiones relativas al alcance por movimientos gravitacionales de las laderas suprayacentes anexas a la carretera se ha procedido a aplicar el estudio desarrollado por Weme Nielsen (2008). De este trabajo de Weme se ha aplicado la ecuación denominada como “modelo β - Ψ ” la cual deriva de la correlación observada entre el ángulo del talud (Ψ) y el ángulo formado entre la cima de la ladera y el punto que alcanza el material desprendido (β):

$$\beta = 3.926 + 0.768 \Psi$$

El ángulo de Ψ es el correspondiente al de la ladera. Este ángulo se obtiene mediante el empleo del mapa de pendientes, aplicando la siguiente corrección:

$$\text{Pendiente corregida} = \bar{x} + \left[\left(\frac{\sigma}{25} \right) \right] * (\text{MAX} - \bar{x})$$

Donde:

\bar{X} = valor medio de pendiente ladera.

σ = desviación estándar media de ladera.

MAX = valor máximo de pendiente ladera.

Tras la aplicación de esta corrección al Modelo de Elevaciones (IGN) empleado se compara la distancia de avance de los materiales hacia la carretera con la distancia existente desde el borde de la ladera hasta la línea

exterior de la carretera (borde de la calzada) y el eje central de la misma. En función de la relación que exista entre estas distancias el algoritmo clasifica en las siguientes probabilidades de alcance:

- Baja probabilidad: si la distancia de avance de los materiales es inferior a la distancia hasta el borde de la calzada
- Media probabilidad: si la distancia de avance es superior a la distancia hasta el borde de la calzada aunque menor que la distancia desde el eje central de la calzada.
- Alta probabilidad: cuando el avance traspasa el eje central de la carretera invadiendo los dos carriles o calzadas dejando impracticable la circulación del tráfico.

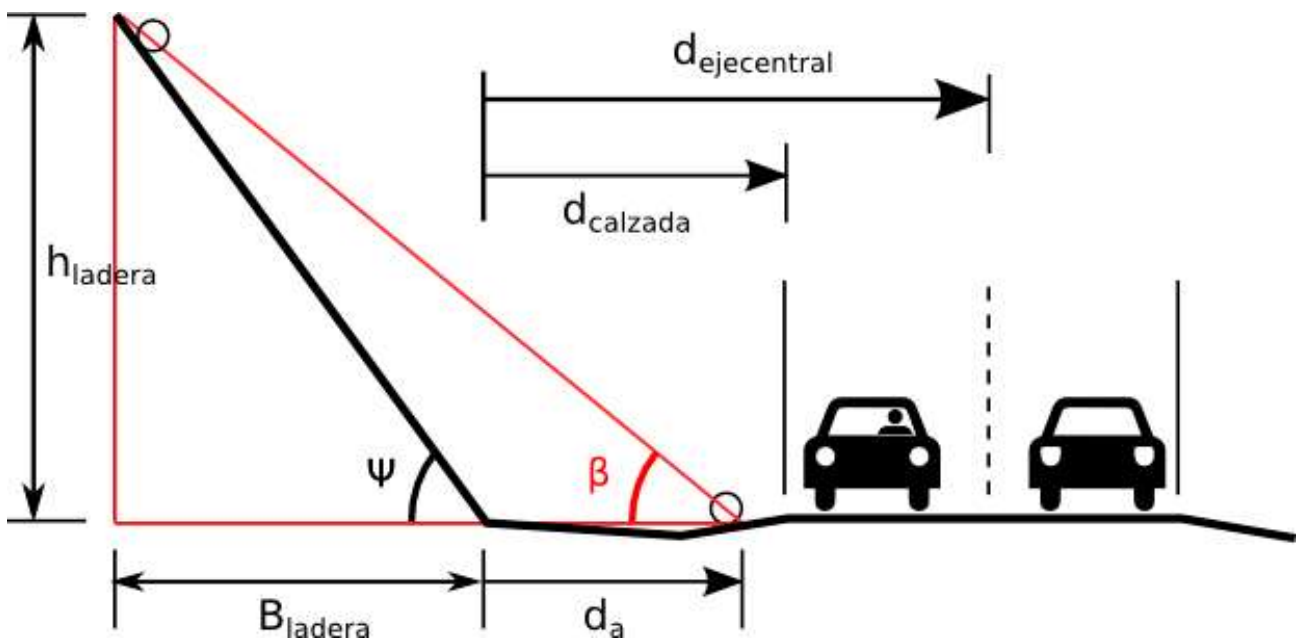


Figura 4. Variables del alcance. Fuente: Elaboración propia.

El resultado de este algoritmo nos arroja la posibilidad de prever medidas mitigadoras para las laderas suprayacentes y, en su defecto, contemplar la influencia que tendrá sobre el tráfico rodado de no tomarse las mismas más aún si nos encontramos en tramos de una intensidad media diaria o intensidad media diaria por horas elevada.

5. CONCLUSIONES

El entorno de una infraestructura viaria se caracteriza por la complejidad de las casuísticas que afectan a las laderas y, en general, al medio inmediato de la infraestructura, caracterizado por constituir un espacio de interfaz entre los desarrollos urbanos y el contacto con el medio físico. Este espacio de contacto ha llevado a que se deban desarrollar mecanismos muy perfilados de cálculo a la hora de proyectar futuras vías de comunicación ya que el espacio de desarrollo de estas vías suele estar caracterizado por grandes movimientos de tierra que, en medios como el Mediterráneo, generan un ambiente muy inestabilizado.

Los procesos geomorfológicos que afectan a la carretera tienen su origen en este espacio inestabilizado, pero, sin embargo, manifiestan sus consecuencias sobre la calzada y su entorno. Como fundamento conceptual se ha utilizado un modelo fundamentado en la idea de patrón espacial de los territorios de riesgo, que compartimenta el espacio en áreas causantes, líneas de transmisión de materia y energía, y áreas receptoras. Para analizar los procesos de transferencia espacial entre las áreas causantes y las receptoras, ha sido necesario habilitar una serie de procedimientos de cálculo y análisis espacial ad hoc. Los procedimientos

aplicados han resultado útiles tanto para la deducción de datos procedentes de las unidades espaciales causantes, como para la transmisión de los resultados de peligrosidad obtenidos en dichas unidades causantes, hacia las unidades receptoras. Los algoritmos y reglas de decisión utilizadas permiten obtener datos de peligrosidad sobre la carretera a partir de información procedente de la propia infraestructura y del entorno.

El problema al que nos enfrentábamos no disponía de una serie de herramientas concretas para solventar estas casuísticas y es por ello que se han desarrollado una serie de algoritmos y procedimientos basados en un entorno GIS de trabajo que sirva para diagnosticar y tomar decisiones por parte de los técnicos y gestores de proyectos de infraestructuras que presenten una caracterización similar.

6. AGRADECIMIENTOS

La presente comunicación se enmarca en el contexto del Proyecto de Investigación *“Elaboración de una metodología aplicada para la detección de puntos conflictivos en las infraestructuras viarias de áreas periurbanas andaluzas ante episodios de activación de riesgos sinérgicos asociados a lluvias torrenciales”*, dirigido por Perles Roselló, M.J. y financiado por la Agencia de Obra Pública y Consejería de Fomento y Vivienda de la Junta de Andalucía.

7. BIBLIOGRAFÍA

Bodoque et al. (2005): “Sheet erosion rates determined by using dendrogeomorphological analysis of exposed tree roots: two examples from Central Spain”, *Catena* 64, 81-102.

Burton, A., Bathurst, J.C. (1998): “Physically based modelling of shallow landslide sediment yield at a catchment scale”, *Environmental Geology* 35, 89-99.

Corominas, J. Ibarbia, I., Luzuriaga, S., Navarro, J.A., Jujo, I., Jurnet, C., Hurlimann, M. (2013): “Rockfall and debris flow hazard assesment of the coastal road of Guipuzkoa (Northern Spain)”, Margottini, C., Canuti, P., Sassa, K. (eds.), *Landslides Science and Practice*, vol. 6, Risk Assesment, Management and Mitigation. Ed. Springer. Germany.

Delmonaco, G.; Margottini, C. Y Spizzino, D. (2006): “Report on new methodology for multi-risk assesment and the harmonisation fo different natural risk maps”, ARMONÍA Proyect. Applied multi-risk mapping of Natural Hazards for Impact Assessment. Del. No 3.1. European Community.

Flanagan, S. A., Furniss, M. J., Ledwith, T. S., Thiesen, S., Love, M., Moore, K. and Ory, J. (1998): “Methods for inventory and environmental risk assessment of road drainage crossings”. US Department of Agriculture, Forest Service. Research Paper, 9877-1809.

GRASS Development Team (2016): “Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 7.0”. Open Source Geospatial Foundation. Disponible en: <http://grass.osgeo.org>

IGN - Instituto Geográfico Nacional [en línea]. Modelo Digital del Terreno con resolución de 5 metros (MDT5). Disponible en: <http://www.ign.es>

Kumpulainen, S. (2006). “Vulnerability concepts in hazard and risk assessment. Natural and technological hazard and risks affecting the spatial development of European regions”, Geological Survey of Finland, Special Paper 42, 65-74.

Lari, S., Crosta, G.B., Frattini, P. y Agliardi, F. (2008): “A probabilistic local-scale multi-risk analysis”, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 10, EGU2008-A-. Milán.

Ministerio de Fomento (2014): “Mapas de tráfico”. Disponible en: <http://goo.gl/sXyTyj>

Perles Roselló, M.J. y Mérida Rodríguez M.F. (2010): “Patrón territorial y conformación del riesgo en espacios periurbanos. El caso de la periferia este de la ciudad de Málaga”, *Revista Scripta Nova*, vol XIV, Barcelona.

Perles Roselló, M.J. y Cantarero Prados, F. (2010): "Problemas y retos en el análisis de los riesgo múltiples del territorio: propuestas metodológicas para la elaboración de cartografías multi-peligros". Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles (BAGE), nº 52, p245-271, Madrid.

Perles Roselló (2010): "Apuntes para la evaluación de la vulnerabilidad social frente al riesgo", Baética nº 32, pags. 67-87, 2010 ISSN: 0212-5099.

Pedraza, J.; Carrasco, R.M.; Bodoque, J.M; Sanz, M.A.; Martín-Duque, J.F.; González, A. y Díez, A. (2004): "The Jubaguerra stream event: analysis of a mass movement connected with a flash flood phenomenon and its application to other areas in the Gredos Mountains (Central Spain)", C.A. Brebbia (ed.), Risk Analysis IV. Wessex Institute of Technology (WIT Press), Southampton, United Kingdom, pp. 45-358 Prasad, A. 2007. A tool to analyze environmental impacts of roads on forest watersheds (Tesis doctoral, Utah State University, USA).

Prasad, A., Tarboton, D. G., Luce, C. H., and Black, T. A. (2005): "A GIS tool to analyze forest road sediment production and stream impacts". ESRI International User Conference Proceedings: July 25-29, 2005, San Diego, Calif. Redlands, CA

Weme Nielsen, M. (2008). Modelling of rockfall runout range. Employing empirical and dynamical methods. Tesis de máster.

MEDICIÓN DE RIESGOS CLIMÁTICOS PARA EL CULTIVO DE LA UVA MOSCATEL EN LA AXARQUÍA (MÁLAGA, ESPAÑA). COMBINACIÓN DE TÉCNICAS AGROCLIMÁTICAS Y SIG PARA EL ESTUDIO DE UN CASO APLICADO DURANTE EL AÑO 2014-2015 EN UNA PARCELA EXPERIMENTAL EN ALMÁCHAR

Jesús Rodrigo-Comino^{1,2}, José M. Senciales-González², Manuel Sánchez-Villalba², Manuel Seeger¹, José D. Ruiz-Sinoga², Johannes B. Ries¹

¹ Departamento de Geografía Física, Universidad de Trier, C.P. Behringstraße, D-54286, Trier, Alemania.
s6jrodr@uni-trier.de

² Departamento de Geografía, Universidad de Málaga, Campus de Teatinos s/n, 29071, Málaga, España.

RESUMEN

El presente trabajo pretende mostrar una metodología capaz de distinguir áreas con posibles riesgos climáticos durante el verano. Para ello se ha seleccionado una parcela cultivada con uva moscatel en la región de la Axarquía (Málaga, España). El área de estudio se caracteriza por elevadas pendientes, una altitud de entre 160 y 620 m.s.n.m. y está enmarcado dentro de un clima marcadamente mediterráneo seco.

En primer lugar, se presenta un breve análisis de las temperaturas y el viento. Dichos datos fueron obtenidos gracias a una estación meteorológica automática situada a 240 m.s.n.m. con datos de carácter horario.

Para calcular los riesgos térmicos, se ha decidido utilizar el índice de Wind chill ideado por el Servicio Meteorológico de Canadá, que se sirve de un modelo matemático que establece correlaciones técnicas estándares de velocidad del viento y precio de transferencia de calor. Esta información fue cartografiada con objeto de ser analizada combinando los niveles de exposición al viento y los cálculos de variación de los gradientes térmicos verticales influidos por el aire en movimiento. Los resultados mostraron que la influencia del viento generó un incremento considerable de la temperatura, que se hizo mayor conforme descendió en altitud. Durante el verano de 2015 en el área de estudio se llegaron a alcanzar promedios que oscilaron alrededor de los 30°C y máximas absolutas superiores a los 45°C. Gracias a la cartografía se pudo observar a qué niveles de temperatura en combinación con el viento estuvieron expuestas las laderas del área de estudio y dónde se vieron más afectadas según la dirección que sopla en el momento.

Palabras clave: temperatura; viento; viñedos; Axarquía; SIG.

ABSTRACT

The present study pretends to show a methodology, which is able to distinguish possible areas with climatic risks in summer. For this purpose, a cultivated area of *Moscatel of Alexandria* grape variety was selected in the region of Axarquía (Málaga, Spain). The study area is characterized by steep slopes, a height between 160 m and 620 m, and a contrasted Mediterranean dry climatic type.

Firstly, a short analysis about temperatures and wind was presented. These data were obtained from an automatic meteorological station, which was situated at 240 m with hourly data.

To calculate the climatic risks, the Wind Chill index developed by the Canadian Meteorological Service was applied. This mathematical model correlates standard techniques of wind velocity and heat transference potential. According to this, this information was analyzed by combining of wind exposition and termic vertical gradient, which are influenced by the air movements.

The results showed that the influence of the wind was able to increase the temperature according with a decrease of the height. During the summer of 2015, a total average about 30°C and maximum values higher than 45°C were obtained. Following the performed cartography, the concrete exposed areas to these climatic risks (high temperatures in combination with wind), depend on the wind direction, could be territorialized.

Keywords: temperature; wind; vineyards; Axarquía; GIS:

1. INTRODUCCIÓN

La producción de uva es una de las actividades económicas más antiguas e importantes en todo el mundo. Tradicionalmente, se ha identificado solo con la región mediterránea; sin embargo, su crecimiento a lo largo de todos los continentes bajo componentes ambientales muy diferentes y, en ocasiones extremos, es todo un hecho en la actualidad (Ashenfelter y Storchmann, 2010; Vaudour *et al.*, 2015). Numerosos autores (Bruggisser *et al.*, 2010; Jones y Davis, 2000; Valdemar Smith y Jan Bentzen, 2011) han comprobado que la productividad y calidad final del vino está influida por contrastados factores: climatología, fenología de la planta, aspectos bióticos y abióticos del suelo, sustrato litológico, técnicas de laboreo... No obstante, es un cultivo donde confluyen actualmente numerosas condiciones que lo convierten en un área de gran vulnerabilidad frente a la degradación (Galati *et al.*, 2015; Novara *et al.*, 2011).

Concretamente en el medio mediterráneo, con una elevada concentración de las precipitaciones potencialmente proclives a generar eventos erosivos (Kosmas *et al.*, 1997; Prosdocimi *et al.*, 2016), altas temperaturas y sequías (Ruiz Sinoga *et al.*, 2012; Senciales González y Ruiz Sinoga, 2013) y un tipo de manejo no conservacionista del suelo cultivado, es quizá dónde más fama cobra este cultivo, pero más problemas ocasiona cada año por la degradación de su sistema eco-geomorfológico. Entre estos problemas, en la última década el aumento de las temperaturas y reducción del volumen pluviométrico se ha confirmado como una de las problemáticas más ansiadas por resolver (Ashenfelter y Storchmann, 2010; Ramos y Martínez-Casasnovas, 2009). La competencia por las mejores tierras para las grandes firmas se ha convertido en una realidad, si entendemos como “mejores”, además de las aptitudes productivas del terreno, la propia cercanía a los mayores centros de producción y consumo (Petit *et al.*, 2012), y, ahora, la expansión hacia los territorios más elevados y no expuestos completamente al sur.

El conocimiento de las series de precipitaciones o temperaturas puede proveer al investigador, viñador o propietario de campos cultivados con vides de una información útil para comprender el comportamiento y repercusiones del clima para que ayude a una toma de decisiones acertada sobre producción agraria o la gestión de los recursos hidrológicos (Jones *et al.*, 2005). Sin embargo, en la mayoría de estudios omiten la importancia del viento como uno de los reguladores principales de la temperatura. Dicha variable es capaz de aumentar o disminuir los valores termométricos en varios grados, lo que puede mermar la productividad de una cosecha o hacer arriesgada la implantación de un nuevo cultivo. Para calcular este ajuste, se ha decidido utilizar el índice de *Wind chill* ideado por el Servicio Meteorológico de Canadá, que se sirve de un modelo matemático que establece correlaciones técnicas estándares de velocidad del viento y precio de transferencia de calor. Tradicionalmente, ha sido utilizado para calcular la sensación térmica sobre las personas cuando se ven afectadas por el viento; no obstante, su aplicación para estimar estándares de temperaturas tanto en espacios urbanizados como cultivados afectados en su exposición al viento, no difiere mucho en su implicación final: cuanto más viento y menor o mayor sea la temperatura, tanto para personas como para cultivos, la sensación térmica disminuirá o aumentará proporcionalmente, acentuando procesos de evaporación (con fuerte calor) o heladas.

Por lo tanto, tras combinar estas distintas variables climáticas con la forma del territorio y sus posibles variaciones sobre los gradientes térmicos (Rodrigo Comino, 2013), en el presente trabajo se muestra una sencilla herramienta para prever cuáles serán las áreas más afectadas por el efecto del viento y las subidas de temperaturas, y sus niveles de afección.

2. ÁREA DE ESTUDIO

La comarca de la Axarquía es un espacio administrativo situado al este de la provincia de Málaga en España y engloba 31 municipios y 67 pedanías en 885 km², de los cuales 5 y 18, respectivamente, corresponden a la zona litoral. Los dos municipios con más extensión de vid son Moclinejo (336 has) y El Borge (467 has) sobre un total de 3177 has. Como ya calcularon Navarro Rodríguez y Larrubia Vargas (2008), la cifra de hectáreas no ha variado mucho desde principios del siglo XX hasta la actualidad, oscilando entre el 41,68% de 1920 al 44,87% del total cultivado de la actualidad. Según Blanco Sepúlveda y Larrubia Vargas (2008), la renta del agricultor por hectárea era de 494,33€ y la del valor de su producción de 901,51€ con resultados de 400 litros de vino/has y 600 kg de pasas/has. Si integramos nuestros resultados entre estos valores, podemos apreciar cómo una mala cosecha es realmente un problema para los propietarios de pequeñas explotaciones.

Se ha optado para este estudio por utilizar la cuenca del río Almáchar (Fig. 1), tributario del Vélez cuya red ha sido ampliamente estudiada recientemente por Rodrigo Comino y Senciales González (2015). Dicha subcuenca ha sido delimitada con un área experimental de 6,64 km², entre los 150 y 700 m.s.n.m. y ha sido seleccionada por la existencia de cartografía, datos y bibliografía completa al respecto. Posee un sentido SW-NE y se enmarca en un área sobre fuertes pendientes (21-47%), con un uso fundamentalmente agrícola (predominantemente vitivinícola: 34% de la superficie), y de forma semi-extensiva de olivar y/o almendro, con matorral xerófilo tras ser abandonado (47%). Recientemente, algunas laderas que habían sido roturadas por su baja rentabilidad han vuelto a ser activas con el emplazamiento de cultivos subtropicales como el aguacate (*Persea americana*) o el mango (*Mangifera indica*). Ligadas a ellas, durante el último siglo se ha generado una red de caminos (sin y con asfalto) indispensable para interconectar tanto el núcleo principal de población (Almáchar), como los numerosos lagares, con sus paseros, albercas y acequias (6% del área de estudio). A través de extrapolaciones con estaciones climáticas periféricas (Colmenar, Olías, Rincón de la Victoria, Moclinejo, Comares, Benamargosa, Benamocarra y Vélez Málaga), se ha obtenido un promedio anual de precipitaciones de 520 mm con una concentración del 78% del total entre octubre y enero, y solo un 4% entre Julio y Agosto. Las temperaturas medias anuales son de 17,2°C, como máximo entre julio y agosto (24,5°C y 24,9°C), y mínimos entre diciembre a febrero (11,3°C y 11,5°C). Para junio se calculó un gradiente térmico de descenso de 0,59°C cada 100 m de altitud. En julio dicha cifra descendió hasta 0,47°C y en agosto volvió a aumentar la diferencia con una bajada de 0,53°C.

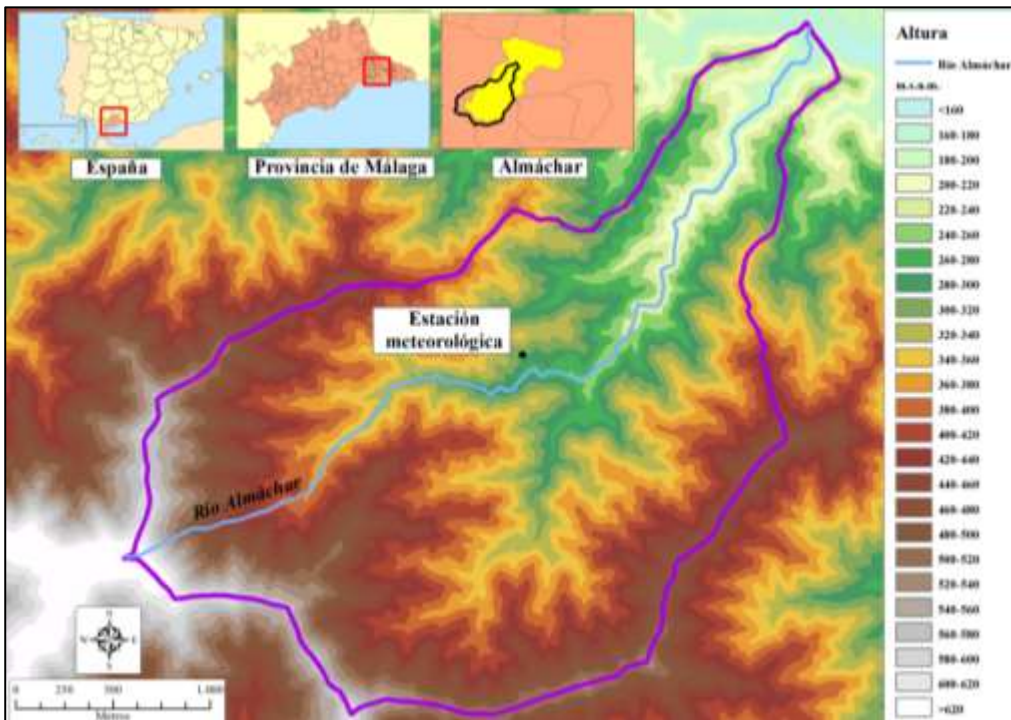


Figura 1. Localización del área de estudio y topografía de la cuenca del Río Almáchar.

3. MÉTODOS

La metodología utilizada fue testada para una parcela experimental cultivada con mangos por Rodrigo Comino *et al.*, (2014) en el Valle del Guadalhorce (Málaga, España). Sin embargo, para esta ocasión, se pretende abarcar mucho más territorio y analizar dicha problemática a nivel de cuenca.

Las variables climáticas que se utilizan son las temperaturas y el viento. Y, por otro lado, como parámetros geomorfológicos la exposición, la topografía (hypsometría) y la dirección del flujo hídrico.

Los valores están extraídos del verano del 2015 en la cuenca del río Almáchar, con los datos obtenidos de una estación meteorológica automática a 240 m.s.n.m. y expuesta al sur. Se combina la información termométrica con los datos de vientos. Para dicho cometido, se ha aplicado el índice de *Wind chill*, definido como aquel cálculo que permite determinar los posibles daños ocurridos por el descenso de las temperaturas junto con el efecto del viento, según la velocidad de este. Como variables, este índice utiliza la velocidad de las masas de aire en movimiento a partir de 5 pies (1,52 metros, que se aproxima a la medida estándar establecida para la altura al hombro de un ser humano medio), incorpora la teoría de transferencia de calor y de pérdida de este entre cuerpos a partir de 3 mph (1 km/h = 0,6214 mph), omitiendo el impacto del sol¹. Las fórmulas oficiales que se han aplicado en este trabajo son las siguientes:

$$(1) \text{ Wind Chill } (^{\circ}\text{F} = T \text{ y mph} = V) = 35,74 + 0,6215T - 35,75(V^{0,16}) + 0,4275 T(V^{0,16})$$

$$(2) \text{ Wind Chill } (^{\circ}\text{C} = T \text{ y km/h} = V) = 13,12 + 0,6215T - 11,37 (V^{0,16}) + 0,3965T(V^{0,16})$$

Por último, a través de las herramientas de análisis espacial del SIG se espacializará la información sobre los niveles de altitud y exposición al viento y se remarcarán los espacios donde su influencia será mayor. La base de datos utilizada será el MDT de la hoja 1.053 a escala 1:10.000. El primer paso será entender el condicionamiento geomorfológico que la cuenca estudiada inflige a las condiciones meteorológicas en el

¹ Fuente: www.nws.noaa.gov

verano de 2015. Con este objetivo, se procede a la realización mediante SIG del mapa de exposiciones y el cálculo de la dirección del flujo de viento. Se ha utilizado el mismo procedimiento que si se pretendiera estimar la dirección de un posible cauce fluvial en cada ladera y hacia dónde se dirigiría condicionado por la fuerza de la gravedad, con la salvedad de que se implementa como base, además del MDT, el mapa de exposiciones en formato *raster*. En primer lugar, se deben eliminar las imperfecciones del MDT (huecos y posibles sumideros) con la herramienta de tratamiento espacial “*Fill*” de ArcMap. A continuación, se debe establecer la dirección del flujo teórico que, con las condiciones geomorfológicas del área de estudio, debería tener el viento «corriente abajo» a través del comando “*Flow direction*”. Por último, se debe determinar la acumulación del flujo de las celdas de la capa *raster* que “fluyen” hacia cada una de las adyacentes, descendiendo sobre la pendiente de la ladera: para esta acción se utiliza la herramienta “*Flow Accumulation*”.

4. RESULTADOS

4.1 Resumen termométrico y de vientos del área de estudio

En primer lugar se presenta una figura (2) que muestra la evolución a lo largo del período comprendido entre septiembre de 2014 a septiembre del 2015. Se puede observar cómo las mayores temperaturas medias se obtienen en los meses de verano, destacando julio con un promedio de 29°C y agosto con 27,3°C. Por el contrario, las más bajas se dan entre diciembre y febrero oscilando entre los 11,1°C y los 10,7°C. Con respecto a las medias máximas, se puede notar cómo el promedio puede llegar a ascender hasta los 37,2°C de julio. Por último, las medias mínimas más bajas se registraron en febrero con 7,2°C.

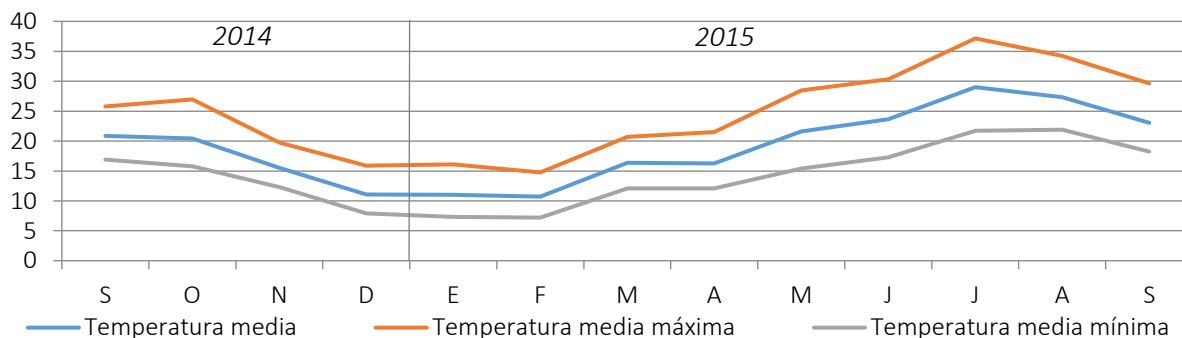


Figura 2. Evolución de las temperaturas medias, medias de las máximas y medias mínimas en el área de estudio

Con respecto a los vientos (Fig. 3), se puede apreciar cómo la mayor predominancia se observa con dirección SE en junio (35,8%), julio (44,4%) y agosto (36,2%). En menor medida, las masas de aire con componente sur no llegan a alcanzar el 15% del total y las del este el 13%. Con respecto a la velocidad (Tabla 1), se puede apreciar un mayor promedio en agosto alcanzando los 7,44 km/h y rachas de hasta 27 km/h.

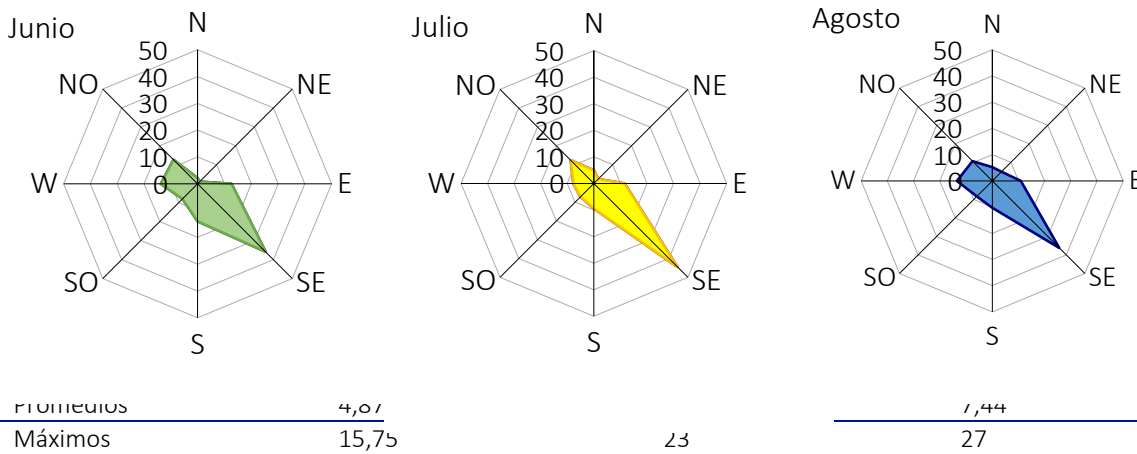


Figura 3 y Tabla 1. Promedios de dirección (%) y velocidad del viento (km/h) en el área de estudio.

4.2 Combinación de vientos y temperaturas: Wind Chill

A continuación se ha aplicado el índice de Wind Chill con objeto de obtener la temperatura final con los valores promedio, máximos y mínimos absolutos del área de estudio en cada mes, a la altura de la estación meteorológica, en la parte más baja y alta de la cuenca. En primer lugar, se puede apreciar que la temperatura media tras calcular el índice aumenta en casi 2°C cuando hay viento. Los promedios con viento en julio y agosto oscilan alrededor de los 30°C. Si nos centramos en los datos absolutos combinando ambas variables, durante el verano de 2015 se superaron en numerosas ocasiones los 40°C, llegando a la alarmante cifra de hasta 48,3°C en el fondo del valle en julio.

| Variables | Junio | Wind Chill | Julio | Wind Chill | Agosto | Wind Chill |
|-------------------------------|-------|------------|-------|------------|--------|------------|
| T° \bar{x} | 23,66 | 25,26 | 29 | 31,31 | 27,34 | 29,38 |
| T° \bar{x} →160 m.s.n.m. | 24,13 | 25,8 | 29,37 | 31,74 | 27,76 | 29,87 |
| T° \bar{x} →620 m.s.n.m. | 21,42 | 22,72 | 27,22 | 29,28 | 25,34 | 27,05 |
| T°max \bar{x} | 30,35 | 32,84 | 37,15 | 40,63 | 34,21 | 37,41 |
| T°max \bar{x} →160 m.s.n.m. | 30,82 | 33,37 | 37,52 | 41,06 | 34,63 | 37,90 |
| T°max \bar{x} →620 m.s.n.m. | 28,11 | 30,3 | 35,37 | 38,60 | 32,21 | 35,07 |
| T°maxabs | 38,83 | 42,43 | 43,5 | 47,89 | 39,7 | 43,82 |
| T°maxabs→160 m.s.n.m. | 39,3 | 42,97 | 43,87 | 48,31 | 40,12 | 44,31 |
| T°maxabs→620 m.s.n.m. | 36,58 | 39,89 | 41,72 | 45,86 | 37,7 | 41,49 |
| T°min \bar{x} | 17,29 | 18,05 | 21,74 | 23,02 | 21,9 | 23,03 |
| T°min \bar{x} →160 m.s.n.m. | 17,76 | 18,59 | 22,12 | 23,44 | 22,32 | 23,52 |
| T°min \bar{x} →620 m.s.n.m. | 15,05 | 15,51 | 19,97 | 20,99 | 19,9 | 20,69 |
| T°minabs | 14,53 | 14,92 | 19,5 | 20,45 | 18,7 | 19,29 |
| T°minabs→160 m.s.n.m. | 15 | 15,45 | 19,87 | 20,88 | 19,12 | 19,78 |
| T°minabs→620 m.s.n.m. | 12,28 | 12,38 | 17,72 | 18,42 | 16,7 | 16,95 |

Tabla 2. Combinación de temperaturas y vientos. $T^{\circ}\bar{x}$: temperatura media; $T^{\circ}\max \bar{x}$: temperatura media máxima; $T^{\circ}\maxabs$: Temperatura máxima absoluta; $T^{\circ}\min \bar{x}$: Temperatura media mínima; $T^{\circ}\minabs$: Temperatura mínima absoluta. *En azul resultados superiores a 40°C.

En un segundo lugar, aplicando los gradientes calculados para cada mes se han combinado los mapas de temperaturas y las modificaciones generadas por el índice de Wind Chill con el mapa de curvas de nivel de 20 en 20 metros. De esta forma, la información obtenida en la tabla anterior queda espacializada en las figuras 4, 5 y 6, donde se pueden observar las variaciones intermensuales a lo largo del área de estudio con y sin el efecto del viento.

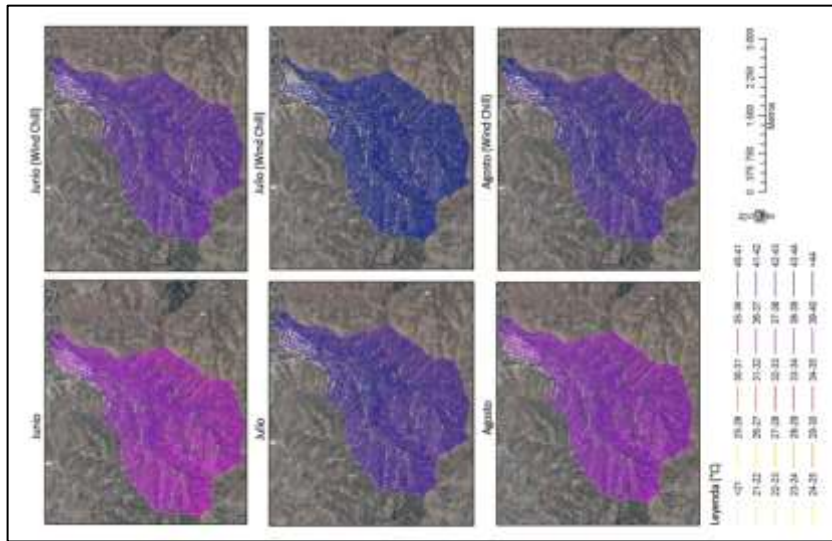


Figura 4. Mapa de temperaturas máximas absolutas con y sin el efecto del viento.

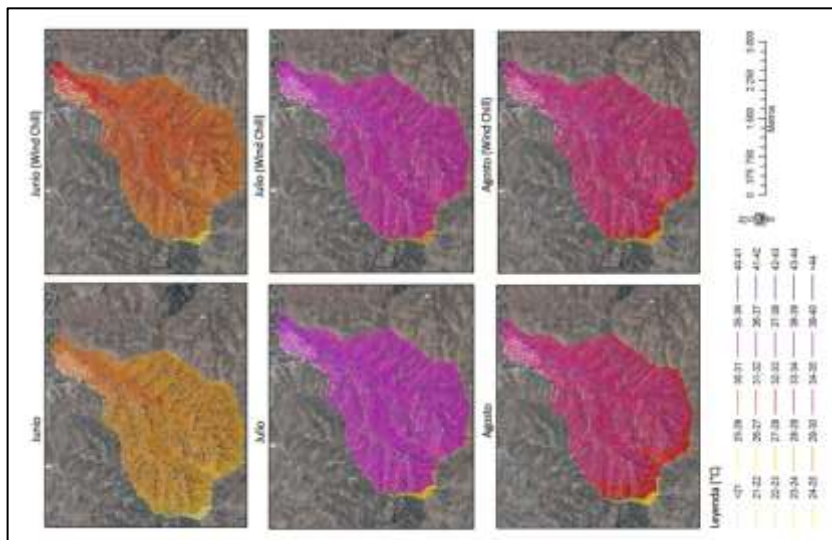


Figura 5. Mapa de temperaturas medias máximas con y sin el efecto del viento.

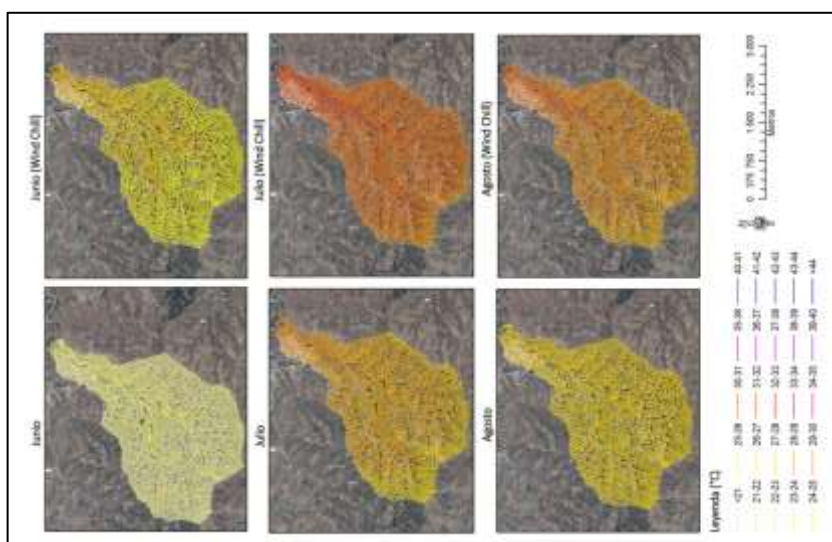


Figura 6. Mapa de temperaturas medias con y sin el efecto del viento.

Por último, se presenta en la Figura 7 las direcciones que potencialmente afectarían a cada ladera los flujos de vientos y elevadas temperaturas que tuvieron lugar a lo largo del verano en el área de estudio. De esta forma, se pueden apreciar qué áreas serían afectadas en caso de soplar una dirección predominante del viento y en qué grado aumentaría o descendería la temperatura.

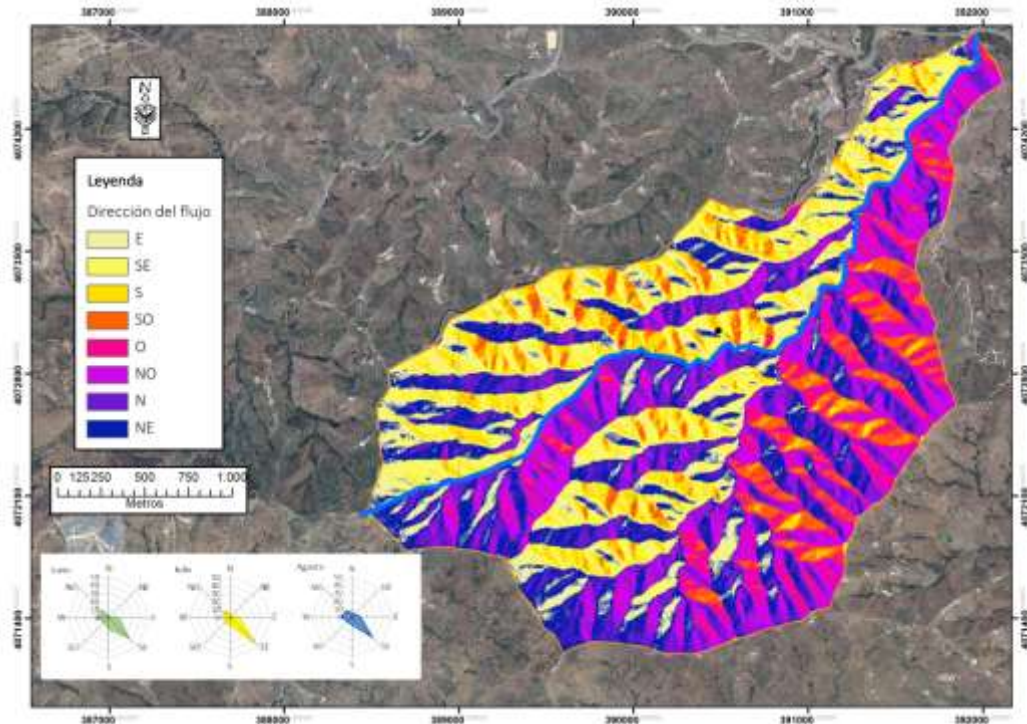


Figura 7. Cálculo de la dirección del flujo y áreas expuestas al SE:

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Para esta comunicación se ha presentado una sencilla metodología combinando los SIG con variables climáticas útil para discriminar qué áreas estarían expuestas a posibles riesgos térmicos debido a la conjunción de elevadas temperaturas, dirección y velocidad del viento, y topografía. El territorio seleccionado fue una cuenca mediterránea de pequeñas dimensiones de la provincia de Málaga con una importante producción de uva Moscatel en laderas con elevadas pendientes, la cual es altamente vulnerable a cualquier tipo de alteración de sus requisitos climáticos mínimos.

Durante el verano de 2015, se registraron elevadas temperaturas (sobre todo en julio) y fuertes rachas de viento, que tras ser combinados con el índice de Wind Chill se observó que aumentaban considerablemente los valores térmicos iniciales. Considerando que el viento predominante fue el de componente SE, cabría esperar que las laderas expuestas en esa dirección padecieran potencialmente ese incremento térmico que podría dañar la cosecha, más que las situadas en los lugares contrarios.

Si bien este trabajo pudo mostrar en general las áreas más expuestas a los posibles efectos de la combinación de la temperatura y el viento, en el futuro sería interesante generar algún tipo de índice aplicado con más variables y con una mayor escala de detalle. Sin duda, el siguiente paso sería tratar de conectar los aspectos biológicos y fenológicos de las parras directamente con los efectos de solana-umbría de cada ladera, la cobertura arbórea (olivos, almendros...), la inclinación de la pendiente y los componentes superficiales del suelo (tipo de material parental, pedregosidad...). Todo esto, permitiría obtener a los agricultores y gestores del territorio implementado en un SIG, qué áreas serían más potenciales a sufrir pérdidas de productividad o degradación ambiental por los efectos de un posible calentamiento global en el futuro.

6. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, nos gustaría agradecer al sindicato pequeños de agricultores (UPA) y al viñador Don José Gámez por facilitar el acceso al área de estudio. En segundo lugar, agradecemos a Caixa-Bank y DAAD (Servicio Alemán de Intercambio Académico) por la beca concedida a Jesús Rodrigo Comino.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Ashenfelter, O., Storchmann, K. (2010): "Measuring the Economic Effect of Global Warming on Viticulture Using Auction, Retail, and Wholesale Prices". *Rev. Ind. Organ.* 37, pp. 51–64. doi:10.1007/s11151-010-9256-6
- Blanco Sepúlveda, R., Larrubia Vargas, R. (2008): "Usos agrarios y sostenibilidad medioambiental. Evaluación de la capacidad agrológica y socioeconómica de la Axarquía (Málaga)". *Cuad. Geográficos Univ. Granada*, 42, pp. 83–108.
- Bruggisser, O.T., Schmidt-Entling, M.H., Bacher, S. (2010): "Effects of vineyard management on biodiversity at three trophic levels". *Biol. Conserv.* 143, pp. 1521–1528. doi:10.1016/j.biocon.2010.03.034
- Galati, A., Gristina, L., Crescimanno, M., Barone, E., Novara, A. (2015): "Towards More Efficient Incentives for Agri-environment Measures in Degraded and Eroded Vineyards". *Land Degrad. Dev.* 26, pp. 557–564. doi:10.1002/ldr.2389
- Jones, G.V., Davis, R.E. (2000): "Climate Influences on Grapevine Phenology, Grape Composition, and Wine Production and Quality for Bordeaux, France". *Am. J. Enol. Vitic.* 51, pp. 249–261.
- Jones, G.V., White, M.A., Cooper, O.R., Storchmann, K. (2005): "Climate Change and Global Wine Quality". *Clim. Change* 73, pp. 319–343. doi:10.1007/s10584-005-4704-2
- Kosmas, C., Danalatos, N., Cammeraat, L.H., Chabart, M., Diamantopoulos, J., Farand, R., Gutierrez, L., Jacob, A., Marques, H., Martinez-Fernandez, J., Mizara, A., Moustakas, N., Nicolau, J.M., Oliveros, C., Pinna, G., Puddu, R., Puigdefabregas, J., Roxo, M., Simao, A., Stamou, G., Tomasi, N., Usai, D., Vacca, A. (1997): "The effect of land use on runoff and soil erosion rates under Mediterranean conditions". *Catena* 29, pp. 45–59. doi:10.1016/S0341-8162(96)00062-8
- Navarro Rodríguez, S.R., Larrubia Vargas, R. (2008): "La organización del espacio agrario en la comarca malagueña de la Axarquía". *Baética Estud. Arte Geogr. E Hist.* 30, pp. 91–113.
- Novara, A., Gristina, L., Saladino, S.S., Santoro, A., Cerdà, A. (2011): "Soil erosion assessment on tillage and alternative soil managements in a Sicilian vineyard". *Soil Tillage Res.* 117, pp. 140–147. doi:10.1016/j.still.2011.09.007
- Petit, C., Konold, W., Höchtl, F. (2012): "Historic terraced vineyards: impressive witnesses of vernacular architecture". *Landsc. Hist.* 33, pp. 5–28. doi:10.1080/01433768.2012.671029
- Prosdocimi, M., Cerdà, A., Tarolli, P. (2016). "Soil water erosion on Mediterranean vineyards: A review". *Catena* 141, 1–21. doi:10.1016/j.catena.2016.02.010
- Ramos, M.C., Martínez-Casasnovas, J.A. (2009): "Impacts of annual precipitation extremes on soil and nutrient losses in vineyards of NE Spain". *Hydrol. Process.* 23, pp. 224–235. doi:10.1002/hyp.7130
- Rodrigo Comino, J. (2013): "Cuantificación de los gradientes térmicos a nivel superficial a lo largo del Rheinland-Pfalz (Renania-Palatinado, Alemania)". *Baética Estud. Arte Geogr. e Hist.* 35, pp. 75–98.
- Rodrigo Comino, J., Senciales González, J.M. (2015): "Ratio LE para el ajuste de perfiles longitudinales en cursos fluviales de montaña. Aplicación a la cuenca del río Almáchar (Málaga, España)". *Cuaternalario Geomorfol.* 29, pp. 31–56.
- Rodrigo Comino, J., Senciales González, J.M., González Moreno, J.M. (2014): "La necesidad de considerar los riesgos climáticos en la introducción de cultivos tropicales en latitudes medias. El mango en el valle del Guadalhorce (Málaga)". *Investig. Geográficas* 62, pp. 127–141. doi:10.14198/INGEO2014.62.09
- Ruiz-Sinoga, J.D., Garcia-Marin, R., Gabarron-Galeote, M.A., Martinez-Murillo, J.F. (2012): "Analysis of dry periods along a pluviometric gradient in Mediterranean southern Spain". *Int. J. Climatol.* 32, pp. 1558–1571. doi:10.1002/joc.2376

Senciales González, J.M., Ruiz Sinoga, J.D.(2013):"Análisis espacio-temporal de las lluvias torrenciales en la ciudad de Málaga". *Bol. Asoc. Geógrafos Esp.* 61, pp. 7–24.

Valdemar Smith, Jan Bentzen(2011):"Which factors influence the quality of wine produced in new cool climate regions?"*Int. J. Wine Bus. Res.* 23, pp. 355–373. doi:10.1108/17511061111186514

Vaudour, E., Costantini, E., Jones, G.V., Mocali, S.(2015):"An overview of the recent approaches to terroir functional modelling, footprinting and zoning". *SOIL* 1, pp. 287–312. doi:10.5194/soil-1-287-2015

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA DISTRIBUCIÓN DE USOS DEL SUELO EN ANDALUCÍA Y SU PERCEPCIÓN VISUAL. REDIAM

Daniel Romero-Romero¹, Andrés L. Romero-Morato¹, Juan J. Guerrero-Álvarez², Francisco Cáceres-Clavero³, Fernando Giménez-de-Azcárate², José M. Moreira-Madueño³

¹RqueR tecnología y sistemas SL – REDIAM, Cristo del Buen Fin 7, 41002, Sevilla, España. dromero@rquertys.es

²Agencia de Medio Ambiente y Agua de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía – REDIAM, Johan G. Gutenberg 1, 41092, Sevilla, España.

³Viceconsejería de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía – REDIAM, Avenida de la Guardia Civil 1-Casa Rosa, 41071, Sevilla, España.

RESUMEN

La Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM) dispone de cartografía multitemporal y a distinto nivel de detalle sobre usos y coberturas del suelo, así como de otros aspectos físicos que conforman la piel visible del territorio. Del mismo modo cuenta con capas producidas a través del Sistema de Visibilidad de Andalucía (SVA), relativas a la accesibilidad visual, es decir, que estiman el impacto sobre la percepción de los observadores de cualquier cambio sobre el territorio, mediante la modelización de la visibilidad y la obtención, para cada punto del territorio, de un valor que pondera cuál es el peso del mismo en el imaginario que los ciudadanos tienen de su entorno.

El objeto del trabajo que aquí se presenta es un primer acercamiento estadístico entre usos y coberturas del suelo y accesibilidad visual, con el fin de obtener una comparativa -multiescalar y a distintos niveles de definición- entre los contenidos sustantivos del territorio (porcentaje de cada cobertura o uso del suelo) y el efecto que la situación de estos contenidos produce en el observador genérico.

Se diseña también un visor para estos datos, disponible en el apartado de 'herramientas de difusión', en la web del Laboratorio REDIAM (<http://laboratoriorediam.cica.es/estusossuelo/index.html>)

Palabras clave: Visibilidad, SIOSE, usos del suelo, visor web, geoestadística.

ABSTRACT

The Environmental Information Network of Andalusia (REDIAM on its Spanish acronym) has multitemporal mapping and differentiated levels of detail on uses and land cover, as well as other physical aspects that form the visible skin of the territory. Similarly, this network includes layers produced through the Visibility System of Andalusia (SVA), related to the visual accessibility, meaning that they estimate the impact on the observer perception regarding any change on the territory, by modeling the field of visibility and obtaining, for any given point of the territory, a value that ponders its weight on the citizens imaginary of their own environment.

The purpose of the work presented here is a first statistical approach between use and land covers and visual accessibility, in order to obtain a comparative analysis—multiescalar, and at different levels of definition - between the substantial contents of the territory (percentage of each coverage or land use) and the effect that the situation of these contents produces on the generic observer.

A viewer app for these data is also designed, available in the section 'dissemination tools' web REDIAM Laboratory (<http://laboratoriorediam.cica.es/estusossuelo/index.html>).

Keywords: Visibility, SIOSE, land use, web viewer app, geo-statistics.

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de integrar la información relativa al medio ambiente acometido desde la REDIAM ha venido derivando en la necesidad de diseñar productos que sirvan para difundir este conocimiento. A partir de la información bruta se han desarrollado multitud de aplicaciones que tienen como último fin la difusión y la transmisión de los datos a través de elaboraciones que los hagan comprensibles para un público amplio.

El resultado se viene traduciendo en una gran cantidad de elementos de información a través de múltiples formatos; cartografía temática, ortofotos y bancos de imágenes, visores que nos permiten operar con la información geográfica, servicios OGC, etc. Tras esta actividad productiva subyace un complejo conjunto de líneas de trabajo cuya convergencia y miscibilidad en casos como el que aquí traemos, se propone no ya sólo como paradigma en la generación y tratamiento de la información geográfica, sino como punto de partida para el desarrollo de instrumentos que ayuden a entenderla y aplicarla; en definitiva a calibrar el peso y la importancia que la misma tiene.

Este trabajo supone una puesta en valor, a través de la combinación estadística, de dos líneas de generación de contenidos de gran importancia dentro de la REDIAM:

1. Línea de desarrollo del Subsistema de Información del Paisaje, con el Sistema Compartido de Información sobre el Paisaje de Andalucía (SCIPA) y el Sistema de Visibilidad de Andalucía (SVA) como herramienta que modeliza la percepción visual a través de sus parámetros y aplicaciones, una de las cuales (accesibilidad visual) nos proporciona un valor para cada tesela (20x20m) del territorio andaluz, indicador de cómo el mismo es percibido por la globalidad de observadores.

2. Línea de reconocimiento biofísico y cartografía ambiental, con el Sistema Información sobre la Ocupación de Suelos de España (SIOSE) y el Sistema de Información sobre el Patrimonio Natural de Andalucía (SIPNA) como proyectos de cabecera cuyo desarrollo ha permitido la generación de una base de referencia óptima (a escala autonómica, pero fácilmente exportable a la escala nacional), para reunir en un único sistema de información los datos precisos para el conocimiento integral de la cobertura y uso del suelo, tanto en Andalucía como en España, con el propósito de 'recoger la información una vez' y 'utilizarla por todos', de acuerdo a los principios de la iniciativa INSPIRE de la Unión Europea (Gil et al, 2010).

La difusión de los datos estadísticos almacenados se realiza mediante un servicio web que permite la navegación para diversos ámbitos geográficos a través del cambio entre varios niveles de desagregación y simultáneamente sobre la comparativa de las estadísticas resultantes, permitiendo distintos niveles de precisión temática. Todo ello con criterio de máxima simplicidad y claridad, y dotándola de la máxima interactividad.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Con los datos ofrecidos por el SVA, y a través de su combinación con otros derivados de la interpretación realizada sobre distintas bases de referencia relativas a usos y ocupación de suelos como SIOSE, y para inferir una distribución de observadores tentativa y consensuada, ha sido ya posible obtener una aproximación objetiva y replicable a la **accesibilidad visual del territorio**, entendida como *"la afección que produciría una intervención genérica, en la visión de la totalidad de los observadores potenciales, de forma que conociendo su localización y altura previstas se obtenga un valor sintético mediante el cual comparar diferentes alternativas"*.

Se realizó una versión teniendo en cuenta los efectos que distancia y proyección visual tienen en la alteración de la imagen, a la que se llamó psicofísica ('psi'), y otra en la que no se tienen en cuenta estos efectos ('sim'), útil para poder establecer comparativas y para intervenciones territoriales, cuyo efecto visual se pueda entender que no pierde importancia con la distancia. Esta comparativa nos sirvió para demostrar con facilidad el efecto amortiguador de la distancia sobre el potencial impacto que éstas producen.

Una primera solución en esta explotación suponía una distribución homogénea de observadores. A esta solución se le llamó Intervisibilidad (IVS). A través de los resultados de IVS, se pudieron elaborar estadísticas como la media (en porcentaje) de visibilidad real sobre el total posible para cada punto (70.686 has, área de un círculo de 15 km de radio, distancia máxima de visibilidad establecida en el SVA). Estas medias se reflejaron por provincias y media regional, así como para diferentes alturas de intervención (0, 10, 20, 30,60 y 120 metros).

Este acercamiento se entiende apropiado para estudios en los que el factor de distribución humana no parece importante, como podía ser el análisis de la influencia del relieve en la accesibilidad visual del territorio (Romero et al, 2014), o estudios en el ámbito de la arqueología.

En una segunda hipótesis sin embargo, se dieron valores variables a la probabilidad de encontrar observadores en cada categoría de accesibilidad local, relacionando la distribución de los mismos con el uso del suelo, y determinando para una intervención situada en un lugar arbitrario, a cuántos observadores afecta, y cuánto afectará a cada uno de ellos, para las distintas alturas previstas. A la suma de estas afecciones, aplicada al punto (tesela) donde se sitúa la intervención, se denominó Accesibilidad Visual Ponderada (AVP). Desde aquí ha sido posible derivar los valores obtenidos (mediante una suma algebraica de los valores referidos a cada píxel) para cada una de las provincias, del mismo modo que se hizo con la IVS. En este sentido se pudo apuntar la aproximación del valor de la AVP, teniendo en cuenta altura de intervención $h=0$, a la percepción que del territorio tiene el conjunto de la población (considerando la afección psicofísica producida por la distancia y la proyección visual).

Sin embargo, y tras esto resulta obvia la necesidad de cruzar los datos que se refieren a la percepción visual de nuestro entorno físico y los que se refieren a la realidad territorial. Así la piel del territorio podía quedar representada con la ayuda de algunos de los sistemas sobre ocupación y usos de suelo (SIOSE o SIPNA), mediante los cuales podemos conocer un valor referido a la superficie ocupada por cada una de las clases establecidas; además y yendo más allá se podría relacionar porcentualmente la realidad existente y lo que podíamos entender como percepción visual (AVP, $h=0$); es decir proporcionar valores de AVP para cada una de las clases de suelo en los que el territorio queda seccionado. A partir de aquí parece oportuno buscar un mismo espacio de relación que nos permita asociar los datos de visibilidad a los de ocupación de suelo.

3. ÁMBITO DE APLICACIÓN

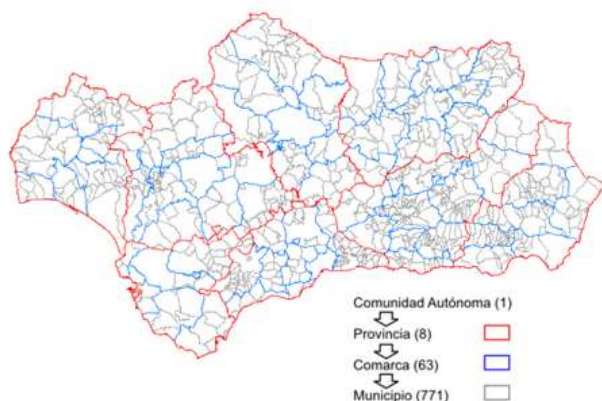


Figura 1. Límites administrativos en Andalucía. Fuente elaboración: REDIAM sobre datos del DERA

Para la realización de estas estadísticas zonales la delimitación de ámbitos espaciales a los que las mismas se deben referir, se ha realizado en base a unidades administrativas (Comunidad Autónoma, Provincias, Comarcas y Municipios), representadas en distintas escalas territoriales y presentes en el compendio Datos Espaciales de Referencia de Andalucía para escalas intermedias -DERA, donde en el Grupo 17 "Divisiones administrativas" podemos encontrar la capa "límites de términos municipales" (da02_term_munic), y a partir de la cual se determinan las comarcas según la agrupación que con criterio turístico se da en la "ORDEN de 14 de marzo de 2003, por la que se aprueba el mapa de comarcas de Andalucía a efectos de la planificación de la

oferta turística y deportiva". Finalmente, se realiza la agrupación por Provincias, acabando en la obtención por agregación del límite de la Comunidad Autónoma (figura 1).

4. METODOLOGÍA

4.1 Objetivo general

Se trata de obtener, para distintos niveles autocontenidos y jerarquizados, relacionados con la gestión y que cubren la totalidad de la Comunidad Autónoma de Andalucía, estadísticas por un lado sobre la ocupación y uso del suelo basadas en clases generadas a partir de modelos de datos como los de SIPNA y SIOSE, también jerarquizadas y autocontenidas. Esto permitirá que a partir del nivel de desagregación máximo se pueda llegar a consolidar de forma sencilla estadísticas básicas en niveles de agregación mayores (tanto en el sentido geográfico del término –de municipios a comarcas- como en el temático –de matorral a forestal). Por otra parte, es posible referir al mismo marco espacial, constituido por los niveles anteriormente expuestos, las estadísticas relativas a la accesibilidad visual del territorio. De esta manera será posible siempre comparar la importancia territorial (en términos de porcentaje sobre la superficie de la unidad de gestión que sea) de un uso o cobertura con su importancia perceptual (es decir, qué importancia adquiere en la visión del ciudadano).

4.2 Fuentes utilizadas

Planteado este escenario, podemos apuntar hacia la preparación de un espacio de trabajo común en el que podamos cotejar y comparar:

Por un lado los datos sobre visibilidad referidos anteriormente, es decir los asociados al valor de la Accesibilidad Visual Ponderada (AVP), tomando $h=0$ como altura de intervención y teniendo en cuenta la afección psicofísica (distancia y proyección visual), según el trabajo de Higashiyama y Shimono (1984). El SVA, nos proporciona un valor para cada tesela (20x20m) del territorio andaluz, indicador de cómo dicho territorio es percibido por la globalidad de observadores teniendo en cuenta cuestiones como la distancia de observación y la proyección visual, la altura de observación, la morfología del territorio, la facilidad de acceso a cada una de las localizaciones de observación, la actitud del observador que se encuentra en esa situación, o la aptitud del terreno desde el que se observa (figura 2).

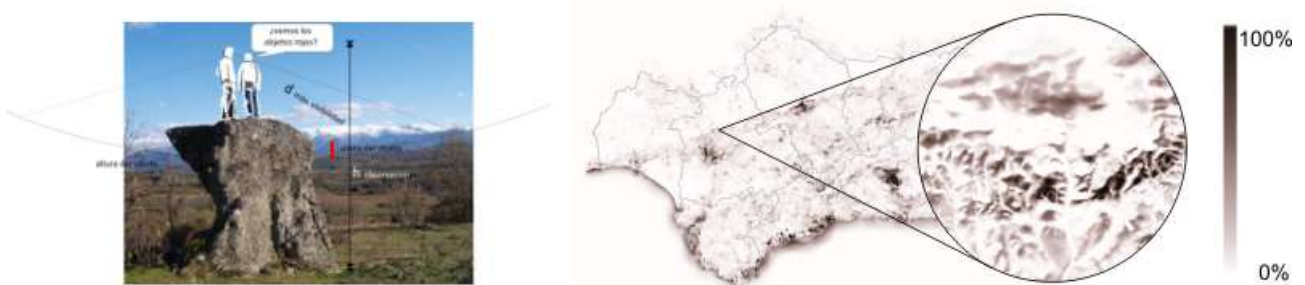


Figura 2. SVA trata de modelizar la percepción humana sobre el territorio. A la derecha, raster de Accesibilidad Visual Ponderada para intervenciones de 0 m de altura, que puede interpretarse como cuál es la influencia de cada tesela de territorio en la imagen percibida por la población. Fuente elaboración: REDIAM

Por otra parte los datos sobre la cobertura del suelo, los que conforman su piel externa, se encuentran vinculados a modelos de datos vectoriales. Su entidad de trabajo es el polígono, que es la unidad espacial que presenta una ocupación de suelo con cobertura homogénea. Será fundamental, de cara a reflejar cómo se distribuye el suelo de nuestra comunidad autónoma a efectos de uso y coberturas, concretándose en un mapa continuo, y con gran nivel de detalle.

4.3 Rasterización de la capa SIOSE-OS

Si un ráster es, en esencia, cualquier tipo de imagen digital representada en mallas, su modelo asociado se centra en las propiedades del espacio más que en la precisión de la localización. Divide el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor. Así, se trata de un modelo de datos muy adecuado para la representación de variables continuas en el espacio. Entendemos a partir de este momento que la solución al problema planteado podría pasar por usar como base un modelo ráster de la misma resolución que el usado para las explotaciones de accesibilidad visual del SVA, 20 metros de resolución, que quiere decir que el tamaño del píxel que adopta los distintos valores determinados es de 20mx20m.

La opción metodológica más directa se basó en un principio, en rasterizar directamente la capa vectorial SIOSE OS (SIOSE 2009 simplificado), tomando como valor de referencia el que refleja el campo correspondiente. No obstante este método provoca problemas a la hora de obtener valores de suma para localizaciones concretas, puesto que cada rasterización se hacía por separado, provocando desajustes (por exceso o defecto) en localizaciones de límite de entidad vectorial.

Para evitar este efecto, que en una cartografía de alto nivel de detalle como SIOSE y para un tamaño de píxel que no suponía archivos demasiado grandes (20m x 20m), se optó por una metodología que pasó, en primer lugar, por hacer un análisis estadístico zonal para el área que cubre cada píxel del ráster, para después determinar cuál es el valor que toma el píxel en cada uno de esos rasters:

Se obtuvieron así 17 rasters con cobertura para toda Andalucía, de tamaño de píxel 20x20 m. Estos 17 rasters son los siguientes (figura 3, Tabla 1):

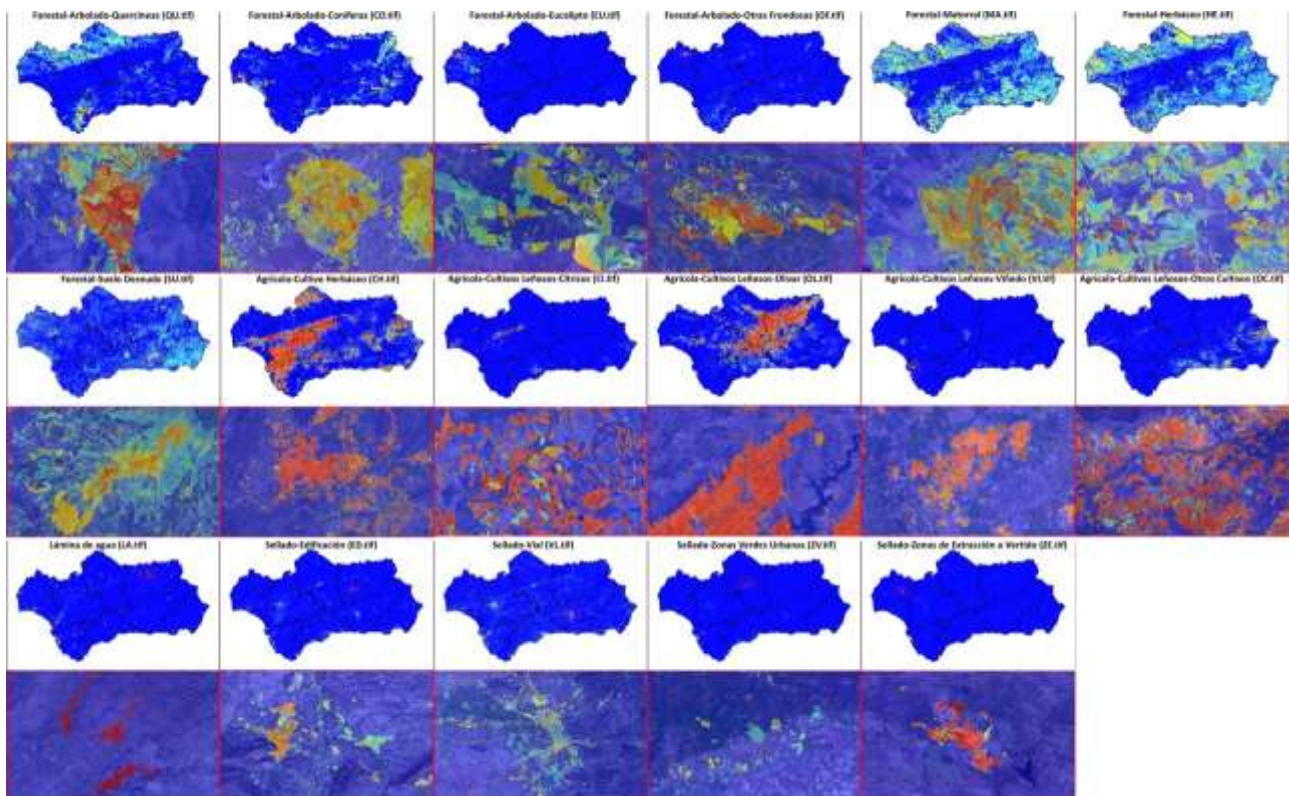


Figura 3. 17 rasters de coberturas SIOSE simplificadas. Fuente elaboración: REDIAM.

| COBERTURA | ARCHIVO |
|------------|---------|
| Quercíneas | QU.TIF |
| Coníferas | CO.TIF |
| Eucalipto | EU.TIF |

| | |
|-------------------------------|---------------|
| Otras Frondosas | OF.TIF |
| Matorral | MA.TIF |
| Herbáceo | HE.TIF |
| Suelo | SU.TIF |
| Herbáceo | CH.TIF |
| Cítricos | CI.TIF |
| Olivar | OL.TIF |
| Viñedo | VI.TIF |
| Otros C. Leñosos | OC.TIF |
| Lámina agua | LA.TIF |
| Edificación | ED.TIF |
| Vial | VL.TIF |
| Zonas verdes urbanas | ZV.TIF |
| Zonas de extracción y vertido | ZE.TIF |

Tabla 1. 17 rasters de coberturas SIOSE simplificadas. Fuente elaboración: REDIAM.

Del mismo modo que hemos explicado con anterioridad, y una vez rasterizadas las coberturas SIOSE simplificadas y ajustadas a un mapa ráster de 20m de resolución, podemos deducir el valor del área en m2 de cada una de las coberturas definidas dentro de cada uno de los ámbitos de gestión, es decir podemos saber qué superficie de coníferas hay en determinado término municipal, comarca o provincia, o qué cantidad de suelo destinado a cultivos de olivar hay en un determinado municipio, comarca o provincia, así con las 17 coberturas simplificadas.

Partimos pues de una versión del SIOSE con fecha de referencia 2009 que se simplifica a 17 clases básicas (SIOSE ocupación del suelo OS), y desde el que obtenemos, para cada píxel de la extensión de Andalucía, 17 valores porcentuales relativos a estas clases, resultando en 17 rasters con valor porcentual, uno por cada una de las clases de suelo de nivel finalista (figura 5). En definitiva, una cartografía con alto nivel de detalle geométrico para un tamaño de píxel de 20x20m y que permite la comparabilidad con los datos relativos a accesibilidad visual (Figura 4).

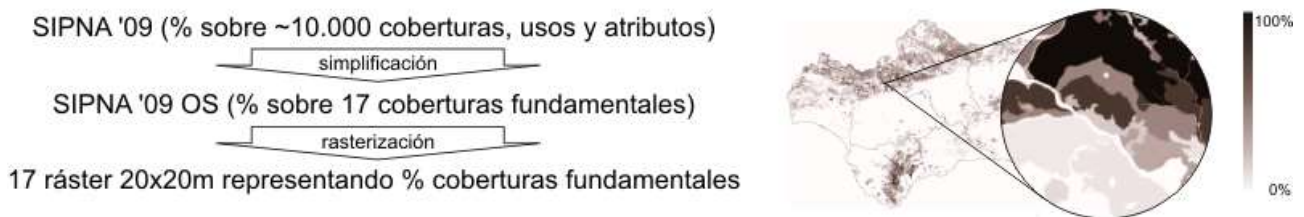


Figura 4. Proceso de simplificación y rasterización de la base de referencia SIOSE '09. A la derecha, el ráster porcentual correspondiente a la clase 'quercíneas' que define el porcentaje de quercíneas presente en cada píxel de 20x20 m para la extensión de Andalucía. Fuente elaboración: REDIAM.

Pero ¿Cómo asociamos los resultados obtenidos de Accesibilidad Visual Ponderada (AVP, h=0, psi) y las 17 coberturas SIOSE simplificadas obtenidas? Usando herramientas sencillas de geoprocésamiento, es posible comparar cada una de las celdas de ambos ráster obtenidos; ello facilitará la elaboración de estadísticas sobre el valor de cada tesela; esto es el valor porcentual que se obtiene de cada raster de cobertura SIOSE-OS simplificada y la Accesibilidad Visual Ponderada (figura 5).

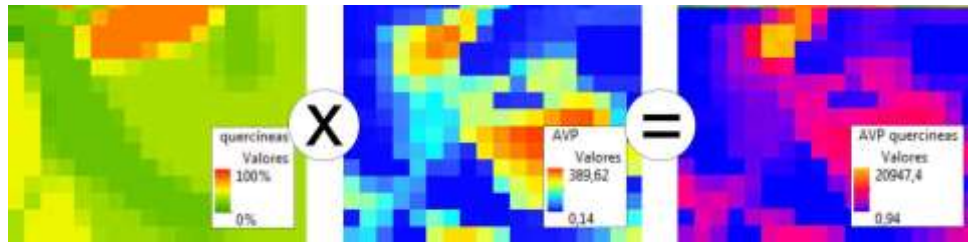


Figura 5. Ejemplo polígono rasterizado y superpuesto con Accesibilidad Visual Ponderada (AVP). Fuente elaboración: REDIAM.

Para cualquier ámbito del territorio andaluz, es posible asociar a cada polígono SIOSE rasterizado un valor de accesibilidad visual ponderada. El geoprocésamiento admite la automatización de los mismos al proporcionar un amplio 'set' de herramientas, y los mecanismos para combinarlas en un conjunto de operaciones, mediante modelos y secuencias de comandos.

5. RESULTADOS

5.1 Descripción de los resultados

PORCENTAJE VISIBILIDAD

| entidad | forestal | | | | | | | agrícola | | | | | sellado | | | | |
|-----------|----------|------|------|------|-------|-------|-------|----------|------|-------|------|-------|---------|------|-------|------|-------|
| | arbolado | | | | | | | leñoso | | | | | la | ed | vl | zv | ze |
| | qu | co | eu | of | ma | he | su | ch | ci | ol | vi | oc | | | | | |
| Almería | 1,52 | 4,58 | 0,19 | 0,34 | 25,15 | 22,04 | 20,63 | 11,74 | 0,81 | 1,11 | 0,19 | 3,70 | 0,48 | 3,21 | 3,64 | 0,39 | 0,30 |
| Cádiz | 5,08 | 3,17 | 0,56 | 2,19 | 15,78 | 16,67 | 6,82 | 23,79 | 0,21 | 2,27 | 1,90 | 0,46 | 2,39 | 5,85 | 9,78 | 2,84 | 0,25 |
| Córdoba | 4,48 | 1,22 | 0,05 | 1,38 | 10,29 | 9,84 | 5,90 | 26,13 | 1,05 | 27,11 | 0,92 | 0,58 | 0,63 | 4,56 | 4,53 | 0,94 | 0,39 |
| Granada | 1,99 | 6,87 | 0,01 | 0,93 | 16,69 | 14,88 | 11,62 | 15,09 | 0,08 | 11,98 | 0,33 | 7,99 | 0,36 | 4,86 | 5,07 | 0,78 | 0,47 |
| Huelva | 6,30 | 5,18 | 1,92 | 0,73 | 16,25 | 15,65 | 10,81 | 15,96 | 2,23 | 5,32 | 0,90 | 2,08 | 3,68 | 5,61 | 5,08 | 1,32 | 0,99 |
| Jaén | 3,77 | 6,82 | 0,01 | 0,46 | 11,88 | 12,01 | 8,96 | 4,78 | 0,00 | 44,12 | 0,05 | 0,70 | 0,53 | 2,71 | 2,73 | 0,24 | 0,23 |
| Málaga | 2,27 | 5,22 | 0,08 | 0,99 | 19,99 | 19,77 | 9,01 | 8,15 | 1,45 | 11,01 | 0,38 | 3,96 | 0,52 | 6,64 | 7,46 | 2,72 | 0,37 |
| Sevilla | 2,10 | 0,48 | 0,24 | 0,60 | 4,84 | 6,45 | 6,19 | 38,83 | 2,74 | 17,21 | 0,14 | 1,14 | 0,63 | 6,46 | 10,00 | 1,23 | 0,72 |
| ANDALUCIA | 3,07 | 4,38 | 0,24 | 0,97 | 15,52 | 14,97 | 10,17 | 17,49 | 0,93 | 14,89 | 0,55 | 3,08 | 0,90 | 4,99 | 6,10 | 1,33 | 0,42 |
| | | | | | | | 49,31 | | | | | 36,94 | 0,90 | | | | 12,84 |

PORCENTAJE TERRITORIO

| entidad | forestal | | | | | | | agrícola | | | | | sellado | | | | |
|-----------|----------|------|------|------|-------|-------|-------|----------|------|-------|------|-------|---------|------|------|------|------|
| | arbolado | | | | | | | leñoso | | | | | la | ed | vl | zv | ze |
| | qu | co | eu | of | ma | he | su | ch | ci | ol | vi | oc | | | | | |
| Almería | 1,63 | 6,03 | 0,14 | 0,36 | 24,27 | 21,84 | 18,78 | 11,81 | 1,07 | 1,88 | 0,20 | 7,74 | 0,30 | 1,13 | 2,41 | 0,13 | 0,28 |
| Cádiz | 8,73 | 1,54 | 0,39 | 3,23 | 14,97 | 18,08 | 4,31 | 34,90 | 0,31 | 2,80 | 1,48 | 0,34 | 2,40 | 1,74 | 3,84 | 0,72 | 0,22 |
| Córdoba | 10,09 | 2,59 | 0,07 | 0,54 | 12,44 | 16,66 | 5,73 | 23,16 | 0,69 | 22,90 | 0,52 | 0,36 | 1,00 | 0,92 | 1,95 | 0,16 | 0,23 |
| Granada | 2,83 | 6,07 | 0,01 | 0,82 | 17,48 | 15,83 | 11,81 | 19,23 | 0,06 | 14,01 | 0,27 | 7,76 | 0,46 | 0,96 | 2,05 | 0,11 | 0,24 |
| Huelva | 8,57 | 5,86 | 4,02 | 0,75 | 23,64 | 24,58 | 11,74 | 8,95 | 1,68 | 3,22 | 0,54 | 1,02 | 1,94 | 0,87 | 1,85 | 0,23 | 0,53 |
| Jaén | 4,70 | 7,04 | 0,02 | 0,59 | 15,21 | 14,53 | 8,51 | 5,38 | 0,00 | 39,87 | 0,03 | 0,66 | 0,95 | 0,70 | 1,58 | 0,07 | 0,14 |
| Málaga | 4,51 | 4,45 | 0,11 | 1,21 | 18,83 | 17,34 | 6,89 | 14,06 | 1,68 | 17,25 | 0,56 | 5,20 | 0,73 | 2,38 | 3,68 | 0,81 | 0,31 |
| Sevilla | 6,03 | 0,67 | 0,40 | 0,58 | 9,81 | 12,25 | 5,26 | 40,91 | 1,74 | 14,35 | 0,11 | 0,81 | 1,66 | 1,78 | 3,06 | 0,27 | 0,33 |
| ANDALUCIA | 5,96 | 4,26 | 0,60 | 0,88 | 16,40 | 17,12 | 8,94 | 20,16 | 0,86 | 16,30 | 0,40 | 2,76 | 1,15 | 1,24 | 2,43 | 0,26 | 0,28 |
| | | | | | | | 54,16 | | | | | 40,49 | 1,15 | | | | 4,20 |

PORCENTAJE VISIBILIDAD/ PORCENTAJE TERRITORIO

| entidad | forestal | | | | | | | agrícola | | | | | sellado | | | | |
|-----------|----------|------|------|------|------|------|------|----------|------|------|------|------|---------|------|------|------|------|
| | arbolado | | | | | | | leñoso | | | | | la | ed | vl | zv | ze |
| | qu | co | eu | of | ma | he | su | ch | ci | ol | vi | oc | | | | | |
| Almería | 0,93 | 0,76 | 1,36 | 0,95 | 1,04 | 1,01 | 1,10 | 0,99 | 0,76 | 0,59 | 0,92 | 0,48 | 1,61 | 2,83 | 1,51 | 3,14 | 1,08 |
| Cádiz | 0,58 | 2,06 | 1,44 | 0,68 | 1,05 | 0,92 | 1,58 | 0,68 | 0,70 | 0,81 | 1,28 | 1,35 | 1,00 | 3,36 | 2,55 | 3,94 | 1,15 |
| Córdoba | 0,44 | 0,47 | 0,84 | 2,57 | 0,83 | 0,59 | 1,03 | 1,13 | 1,51 | 1,18 | 1,79 | 1,59 | 0,63 | 4,97 | 2,32 | 5,86 | 1,70 |
| Granada | 0,70 | 1,13 | 1,44 | 1,14 | 0,95 | 0,94 | 0,98 | 0,78 | 1,32 | 0,85 | 1,23 | 1,03 | 0,77 | 5,05 | 2,47 | 6,97 | 1,99 |
| Huelva | 0,74 | 0,88 | 0,48 | 0,97 | 0,69 | 0,64 | 0,92 | 1,78 | 1,32 | 1,65 | 1,65 | 2,05 | 1,90 | 6,44 | 2,75 | 5,85 | 1,86 |
| Jaén | 0,80 | 0,97 | 0,70 | 0,77 | 0,78 | 0,83 | 1,05 | 0,89 | 1,18 | 1,11 | 1,65 | 1,05 | 0,56 | 3,84 | 1,73 | 3,44 | 1,60 |
| Málaga | 0,50 | 1,17 | 0,72 | 0,83 | 1,06 | 1,14 | 1,31 | 0,58 | 0,87 | 0,64 | 0,68 | 0,76 | 0,72 | 2,79 | 2,03 | 3,36 | 1,20 |
| Sevilla | 0,35 | 0,72 | 0,59 | 1,04 | 0,49 | 0,53 | 1,18 | 0,95 | 1,58 | 1,20 | 1,29 | 1,41 | 0,38 | 3,63 | 3,27 | 4,58 | 2,18 |
| ANDALUCIA | 0,51 | 1,03 | 0,40 | 1,09 | 0,95 | 0,87 | 1,14 | 0,87 | 1,08 | 0,91 | 1,39 | 1,11 | 0,78 | 4,04 | 2,51 | 5,06 | 1,52 |

Figura 6. Datos estadísticos sobre percepción visual y ocupación del suelo. Fuente elaboración: REDIAM

Las estadísticas resultantes obtenidas a través de operaciones de geoprocésamiento compatibilizan la distinta naturaleza de las capas que se pretenden combinar de la forma más precisa posible, garantizando la comparabilidad de las series estadísticas que se obtienen para la descripción del territorio en cuanto a su proporción superficial con las obtenidas teniendo en cuenta la distribución heterogénea de la accesibilidad visual del territorio. El estudio de las tablas estadísticas por sí mismo puede ser muy revelador, pero resulta un documento un tanto complicado desde el punto de vista de la difusión a no expertos.

Los resultados han sido agrupados por unidades visuales y superficiales, pudiendo con ello inferir porcentajes sobre los valores absolutos de ambas magnitudes. Esto se ha hecho con la intención de comparar ambos. En

la figura 6 se presentan las estadísticas asociadas al nivel de agregación de provincias y comunidad autónoma por porcentajes y la relación entre ambos, con un formato que nos avisa por una parte sobre la presencia visual (cuanto es percibida según el parámetro de Accesibilidad Visual Ponderada, AVP, $h=0$, ψ) de cada clase o cobertura de suelo estudiada respecto a las demás en ese nivel de agregación (si sumamos los elementos de cada fila obtenemos el 100% de la cobertura); por otra parte nos informa de su presencia superficial (la de cada clase respecto al total de la superficie). Por último se presenta en la parte inferior de la figura 6 la relación entre ambos porcentajes, con un código de colores igualmente relacionado con su valor que avisa de la preponderancia visual de una cobertura respecto a su superficie. Valores más cálidos (desde el amarillo hasta el rojo) nos avisan que una clase es poco percibida visualmente, o tiene poca presencia visual respecto a la superficie que ocupa. Valores más fríos (desde el amarillo al verde), nos avisan de coberturas o clases de suelo muy visibles respecto a su superficie (normalmente están ligadas a determinadas categorías de suelo sellado).

5.2 El visor de comparación de estadísticas

Los resultados pueden ser visualizados conjuntamente y de forma comparada gracias al diseño y programación de una página web para la difusión de los datos estadísticos almacenados. La navegación interactiva entre los distintos ámbitos geográficos a través del cambio entre distintos niveles de zoom y simultáneamente sobre la comparativa de estadísticas, permite responder a distintos niveles de precisión temática. Todo ello con criterio de máxima simplicidad y claridad.

En la aplicación web que se ha desarrollado en el seno de este trabajo, la navegación geográfica se ciñe a los 3 niveles de desagregación territorial, correspondientes con cada uno de los ámbitos de gestión definidos. Es posible activar cualquier delimitación y obtener un mapa más detallado con sus subdivisiones (figura 7).

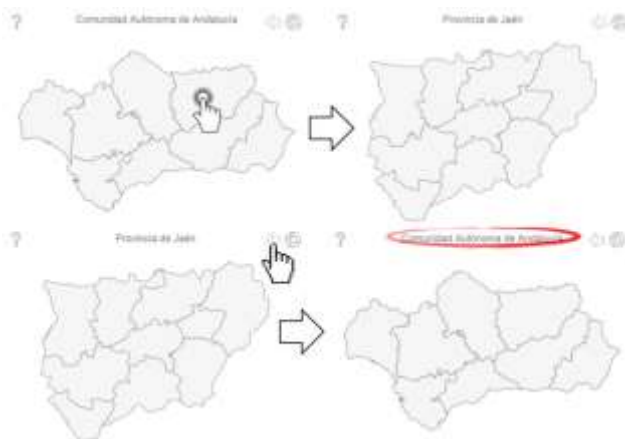


Figura 7. Ejemplo de navegación entre distintos ámbitos geográficos en el visor de estadísticas comparadas. Fuente elaboración: REDIAM.

Los datos geográficos referidos a cada nivel de zoom, para la entidad seleccionada en cuestión, quedan disponibles, no siendo accesibles los datos relativos a otros niveles de zoom o entidades geográficas no representadas. Pulsando sobre el icono de gráfica se pueden obtener los datos y la gráfica comparativa para la división administrativa activa en cada momento (figura 8).

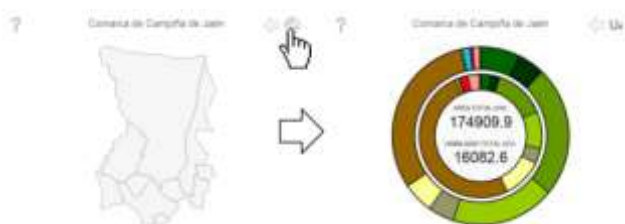


Figura 8. Activación de gráficas en visor de estadísticas comparadas. Fuente elaboración: REDIAM.



Figura 9. Presentación resultados en visor de estadísticas comparadas. Fuente elaboración: REDIAM.

Por otro lado, y para cualquier entidad seleccionada además de lo anteriormente descrito, dispondremos de dos cifras globales, la accesibilidad visual ponderada en UV (unidades de visibilidad) total para la entidad seleccionada y la superficie total en hectáreas de dicha entidad. Por otra parte y con la gráfica activa, se puede

pasar de unidades absolutas a porcentajes pulsando sobre el icono de 'cambiar unidad'. Esto cambiará también el contenido de las etiquetas emergentes (figura 9)

Los datos temáticos quedan cargados para cada entidad geográfica seleccionada, que sólo podrá ser una, y quedarán presentados mediante una gráfica sencilla, en la que se reflejarán dos datos. En la gráfica, la corona exterior representa la proporción real de cada cobertura, mientras que la interior representa la incidencia visual de las mismas. Las 17 coberturas básicas evaluadas se visualizan siempre en el mismo orden, y pueden ser agrupadas fácilmente (figura 10).

Este visor, elaborado por el equipo de paisaje de la REDIAM, está disponible en el apartado de 'herramientas de difusión', en la web del Laboratorio REDIAM (<http://laboratorioreriam.cica.es/estusossuelo/index.html>)

5.3 Análisis de los resultados

Un somero análisis de los resultados a nivel provincial y autonómico sobre los resultados arrojados y viendo las tablas de la figura 6 nos permite verificar algunas cuestiones que a priori nos parecen claras, o que damos por sentadas como es la presencia del olivar en la provincia de Jaén, y en menor medida en Córdoba y Sevilla; así como las grandes extensiones de cultivos herbáceos en la provincia de Sevilla y Cádiz y en menor medida Córdoba y Granada, asociadas a sus vegas y campiñas ; pero podemos comprobar que en algunos casos estas extensiones de cultivo pueden ser muy visibles (caso de olivar de Jaén). Podemos detectar por el código de colores referido, que existe en todas las provincias (quizá a excepción de Sevilla) una gran superficie forestal de matorral, herbáceo y suelo desnudo

Del mismo modo y a nivel autonómico, es fácil deducir que la edificación es altamente percibida visualmente respecto a la superficie que ocupa. Ello es debido a que los núcleos urbanos son conspicuos y visibles desde categorías de suelo en las que es altamente probable encontrar observadores. También arroja valores que nos permiten realizar lecturas sobre formaciones como las dehesas, en las que las quercíneas –forestal (Sup=6%, Vis=3,1%), son poco visibles respecto a la superficie que ocupan, seguramente debido a la estructura de la propiedad (conformada por grandes extensiones lejanas a núcleos poblados y vías de comunicación, en las que es poco probable encontrar observadores).

A nivel comarcal, entidades que abarcan realidades territoriales diversas como el Valle Medio del Guadalquivir (pedemonte de Sierra Morena, vega alta del Guadalquivir y campiña) ofrecen lecturas como las asociadas a la visibilidad de los cultivos herbáceos (muy por encima de su superficie real). Esto es explicable por el paso de las vías de comunicación paralelas al Guadalquivir y a la visibilidad que proporciona de estos cultivos las localizaciones más elevadas (Sierra Morena). Comprobamos también que todas las categorías asociadas a suelos forestales tienen poca visibilidad respecto al porcentaje de superficie que ocupan (cosa lógica si comprobamos la proporción que en la misma comarca ocupa el Parque Natural de la Sierra de Hornachuelos).

Este análisis, cuando se va haciendo más local nos habla de particularidades del ámbito territorial seleccionado. Así a nivel provincial, y tomando como ejemplo Huelva deducimos de la presencia (singular respecto a otras provincias) de eucaliptos en zonas poco visibles, la presencia ENCE y su relación con la gestión de espacios forestales.

A nivel de término municipal, existen casos como el de Andújar, en el que la percepción visual de las coberturas correspondientes a Olivar supera con creces la realidad existente, es decir que debido a la situación geográfica de determinadas categorías de suelo, podemos tener una percepción equivocada de la realidad, o que no se corresponde con la extensión superficial de dichos cultivos. En el caso que nos ocupa seguramente sea debido a que dichos cultivos se encuentran en entornos de vías principales que atraviesan el término, como la A-92.

Las gráficas representadas nos muestran para todos los ámbitos de gestión y de una sola mirada los 'desequilibrios' o 'equilibrios' más significativos entre la superficie que ocupan las distintas coberturas de suelo SIOSE (la piel del territorio) y como son percibidas visualmente. Es posible en este sentido realizar análisis en las 4 escalas definidas.



Figura 10. Descripción de las coronas gráficas de visualización de resultados. Fuente elaboración: REDIAM

6. CONCLUSIONES

6.1 Sobre la metodología

Los 17 rasters obtenidos han sido utilizados al objeto de ser combinados con los rasters de accesibilidad visual para obtener los datos estadísticos sobre cuáles son los usos del suelo que caracterizan visualmente al territorio, pero además:

- El procedimiento de generación de los rasters pone de manifiesto de una forma muy sencilla errores semánticos y geométricos en la capa de origen SIOSE OS. Por ejemplo, se han detectado 'overlaps' de polígonos o contenidos que no suponen el 100% de la cobertura. Además, permite la visualización ágil de la capa al completo, incluso con transparencia y orto debajo, gracias a las pirámides, con lo que la detección visual de errores puede resultar más sencilla.
- Podrían ser aplicados a la obtención sencilla de combinaciones entre cobertura del suelo y cualquier set de datos ráster, como pueden ser los datos sobre clima (por ejemplo, para estudiar cuáles son los ámbitos climáticos donde se dan determinadas coberturas).

6.2 Sobre los resultados

La percepción visual de un territorio no se corresponde en muchos casos con la realidad. Podemos tener la consideración de que en un determinado municipio existe mucha superficie dedicada a un uso concreto, cuando en realidad ésta es escasa. Ello depende en gran medida de los lugares desde los cuales se observa y como son de accesibles.

Así, lugares con más posibilidad de ser frecuentados pueden originar mayor influencia en la percepción global; es decir los terrenos visibles desde carreteras se hacen observables por mucha gente, a pesar de que ocupen poca extensión, dado que son lugares muy transitados. Opuestamente lugares poco transitados pueden contener vistas singulares, pero éstas no influyen tanto en la conciencia colectiva porque poca gente los frecuenta.

Por otra parte, para cualquier lugar desde el que observemos, dado que el territorio tiene relieve (y por encima de éste, árboles, edificaciones etc.), podemos decir que hay mucho o poco 'territorio visible'. Ambas cuestiones influyen en la configuración del imaginario de nuestro entorno: la generalizada imagen de Andalucía como territorio calmo y seco está en parte provocada por que las vías de comunicación principales transcurren por los distintos valles, dejando en un lejano segundo plano los territorios más húmedos y montañosos. La construcción del paso del AVE ha cambiado parcialmente este concepto, puesto que atravesando los Pedroches se observa un paisaje más verde y abrupto.

Si bien con la aplicación propuesta es posible comparar datos asociados a como es percibido el territorio, según diversas unidades administrativas, en la misma aún se echa de menos visualizar la conformación de esas unidades en cuanto a su relieve; o incluso la traslación del diagrama referente a su piel, al mapa representado. Pero los fines para los que se ha diseñado (de comparación estadística pura), y sobre todo la rapidez en la salida gráfica ha condicionado la decisión hacia el resultado propuesto.

7. BIBLIOGRAFÍA

Gil, Y., Romero, D., Ortega, E., Domínguez, M.C., Navas, P., Patiño, M., Vicent, C., Santos, M., Quijada, J., Giménez de Azcárate, F., Cáceres, F. y Moreira, J.M. (2010): "SIOSE Andalucía, experiencia de integración y actualización de bases cartográficas multiescala". En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Sevilla, Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, pp. 116-134. Septiembre 2010, Sevilla. XIV Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica.

Romero, D., Guerrero, J.J., Ghislanzoni, M., Romero, A., Sillero Almazán, J.M., Giménez de Azcárate, F., Cáceres, F., Moreira, J.M. (2014): "Evaluación de la accesibilidad visual del territorio ante distintas intervenciones a través de la explotación del sistema de visibilidad de Andalucía. REDIAM", en *Actas del XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica*. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>, pp. 226-239. Junio 2014, Alicante. XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica.

Higashiyama, A., Shimono, K. (1984): "How accurate is size and distance perception for very far terrestrial objects", *Perception & Psychophysics* 55, pp. 429-442.

INJERENCIA VISUAL Y PROTECCIÓN DEL PATRIMONIO PAISAJÍSTICO EN LA ORDENACIÓN DEL TERRITORIO. REDIAM

Daniel Romero-Romero¹, Andrés L Romero-Morato², Juan J Guerrero-Álvarez³, Fernando Giménez de Azcárate-Fernández⁴, Francisco Cáceres-Clavero⁵, José M Moreira-Madueño⁶

¹ RqueR tecnología y sistemas SL – REDIAM, Cristo del Buen Fin 7, 41002, Sevilla, España. dromero@rquertys.es

² RqueR tecnología y sistemas SL – REDIAM, Cristo del Buen Fin 7, 41002, Sevilla, España. aromero@rquertys.es

³ Agencia de Medio Ambiente y Agua de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía – REDIAM, Johan G. Gutenberg 1, 41092, Sevilla, España. jjguerrero@agenciamedioambienteyagua.es

⁴ Agencia de Medio Ambiente y Agua de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía – REDIAM, Johan G. Gutenberg 1, 41092, Sevilla, España.

fgimenezdeazcarate@agenciamedioambienteyagua.es

⁵ Viceconsejería de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía – REDIAM, Avenida de la Guardia Civil 1-Casa Rosa, 41071, Sevilla, España. francisco.caceres@juntadeandalucia.es

⁶ Viceconsejería de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía – REDIAM, Avenida de la Guardia Civil 1-Casa Rosa, 41071, Sevilla, España. josem.moreira@juntadeandalucia.es

RESUMEN

El Sistema de Visibilidad de Andalucía (SVA) permite la modelización de la percepción visual en la generalidad del territorio andaluz. Valiéndonos de ello podemos enfocar nuestro análisis sobre un conjunto de localizaciones de observación, y evaluar la contaminación visual que puede provocar la aparición de elementos intrusos respecto a entornos y enclaves que consideramos de interés paisajístico, aunque no estén en sus inmediaciones.

Alineado con el estudio de la accesibilidad visual del territorio, el análisis de la injerencia visual supone un paso adelante respecto a la evaluación de situaciones de vulnerabilidad planteadas desde el SVA, como en el estudio del apantallamiento visual. Si en éste se estudiaban situaciones de interposición de elementos intrusos, que impedían o privaban al ciudadano del hito o enclave paisajístico, con la metodología propuesta se valora la situación de coexistencia de la imagen a preservar y su entorno.

Con este trabajo se desarrolla un indicador cuyo valor no depende de una posición de observación concreta sino que tiene en cuenta todas las posibles, y que puede servir de herramienta o guía en el trazado de ámbitos de cautela para la protección del patrimonio visual en la Ordenación del Territorio.

Palabras clave: paisaje; apantallamiento; visibilidad; ordenación del territorio; contaminación visual; patrimonio

ABSTRACT

The Visibility System of Andalusia (SVA) allows modeling of visual perception in most of the Andalusia's territory. By using this system, we can focus our analysis on specific locations for observation, and evaluate the visual pollution that could be caused due to the appearance of intrusive elements in relation to settlements or, in general environments, of interest for the landscape, even though these elements were not nearby.

In line with the study of the visual accessibility of the territory, the analysis of visual interference is a step forward regarding the assessment of vulnerability situations raised from the SVA, as well as the study of visual screening. While this system allows the study of the situations where interposition of intrusive elements prevent or deprive citizens of access, both physical and visual, to landmarks and landscape enclaves; the proposed methodology gives value to the situation of coexistence of the image to preserve and its environment. With this work, we produce an indicator whose value does not depend on a concrete observation position but from all possible ones; and that could become a tool or guide in mapping areas of caution to protect the visual heritage in the Planning Development.

Keywords: Landscape, screening, visibility, Planning Development, visual pollution, heritage.

1. INTRODUCCIÓN

El bienestar psicológico de la población está íntimamente ligado con el concepto 'paisaje' (Mérida, 1996), y adquiere una especial connotación visual cuando queremos aplicar el estudio del paisaje a la Ordenación del Territorio: el desarrollo de esta última ha puesto de manifiesto en múltiples ocasiones las carencias metodológicas existentes para el análisis del paisaje desde su acepción más inmediata, la visual, siempre presente y que en muchas ocasiones es la única permanente, al carecer el territorio de valores sistémicos (ecológicos o culturales) que preservar.

La metodología propuesta persigue, relacionando de una forma práctica los trabajos existentes en el ámbito del estudio de la visión humana y los desarrollados sobre el análisis de la visibilidad en el seno del SVA, conocer una aproximación a la incidencia que pueda tener un elemento situado en cualquier posición de 'covisibilidad' con un hito visual del territorio. Esto supone un avance respecto a otras explotaciones del SVA en las que la valoración de la percepción visual es booleana (es decir, se ve o no se ve) como en la aplicación para el cálculo del apantallamiento visual. Con la injerencia visual se relaciona una imagen que se pretende preservar y todas las posiciones de observación desde la que es reconocible. Se estudia en todas y cada una de estas posiciones la afección que provocaría la aparición de un elemento de altura determinada en las inmediaciones visuales del enclave considerado. Su aplicación puede ser de gran ayuda en la Ordenación del Territorio, concretamente en el trazado de ámbitos de cautela para la protección de vistas. Con la valoración de la injerencia visual, se establece, para un entorno concreto, una magnitud independiente de la posición del observador, que evalúa el grado de afección en la imagen genérica del objeto referente -precisamente porque se evalúan tantas imágenes como posibles posiciones de observación existan- ante la aparición de cualquier intervención o elemento que, con una altura determinada, se sitúe en las inmediaciones visuales de la localización estudiada, por lo que puede resultar una herramienta de gran ayuda en la Ordenación del Territorio, concretamente en el trazado de ámbitos de cautela para la protección de vistas.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Recientemente, basándonos en la parametrización del fenómeno visual que se establece en el Sistema de Visibilidad de Andalucía, se han venido desarrollando desde la Red de información ambiental de Andalucía (REDIAM) herramientas para el análisis sintético de fenómenos como el apantallamiento visual, entendido como la privación de vistas existentes de un determinado hito visual, debido a la interposición de un nuevo elemento como vegetación, construcciones, etc. (Romero et al, 2014).

Este análisis nos permitía evaluar la afección en la visibilidad de un hito puntual, debida a la interposición de elementos de determinada altura. En este sentido y tras aplicar distintos modelos de distribución de observadores, podíamos aproximar cuántas personas resultarían afectadas por dicho fenómeno. El punto fuerte de este análisis resultaba ser la inmediatez en la aplicación: una vez determinado el elemento del que se pretende proteger su imagen (hito visual), podíamos conocer tras un sencillo cálculo cuáles eran las situaciones geográficas en las que la imposición de un nuevo elemento de determinada altura apantallaba a más o menos porción del territorio desde la que el hito visual era visible en origen, o aproximar cuántas personas resultarían afectadas por la privación, con lo que podíamos inferir situaciones de fragilidad de distinta severidad.

Pero resulta también cierto que esta primera aproximación conlleva limitaciones que a cierto nivel de detalle no pueden ser obviadas:

1. En primer lugar, la metodología propuesta requiere que el hito visual admita ser representado como un punto o conjunto de puntos inconexo. Este no siempre es el caso, sobre todo cuando a la escala del estudio (más de detalle) ya no se admite una simplificación tan burda, o bien cuando el hito visual es de naturaleza extensa, como es el caso del océano.

2. En segundo lugar, y derivada de alguna manera de la anterior, la metodología no admite interrelaciones entre distintos elementos indisolublemente unidos: puede ser estudiado el apantallamiento de una ermita, o el del escarpe sobre el que se sitúa, pero no ambos como un elemento paisajístico identitario único.
3. Por último, pero quizá como debilidad más importante, debemos subrayar que el método tan sólo detecta situaciones en las que se produce privación de la visión del hito (lo que quizá conforme la agresión más grave al patrimonio visual), quedando exentas aquellas en las que la relación visual entre observador e hito pueda resultar contaminada. En la Figura 1 se ilustra convenientemente este hecho.



Figura 1. Efecto de la contaminación visual no contemplada en el estudio de apantallamiento. Fuente: Elaboración propia

3. ÁMBITO DE ESTUDIO

La metodología que se presenta tiene la intención de ilustrar convenientemente los procedimientos aplicados a distintos estudios de caso en el seno del trabajo del Sistema Compartido de Información sobre el Paisaje de Andalucía (SCIPA) en el ámbito litoral. En este sentido se eligieron enclaves con un carácter paisajístico y escénico reconocido, más o menos conservado y en los que se identificase una fuerte presión urbanística (Salobreña en Granada y Vejer de la Frontera en Cádiz). Los ámbitos seleccionados al propósito no sólo responden a un tipo de localización, sino que se consideran situaciones diversas, por ejemplo aquellas en las que el territorio percibido se caracteriza por su escasa proyección visual (paisajes extensos y llanos), y los valores visuales del mismo por la relación entre elementos como el mar y grandes extensiones de cultivo. Se estudian también enclaves paradigmáticos de carácter conspicuo o prominente

4. METODOLOGÍA

4.1 Delimitación de la 'imagen a proteger'

La primera de las tareas ejecutadas ha sido trazar convenientemente el área del territorio cuyas vistas nos parecen dignas de protección; es decir el área que contendrá los puntos que conforman el enclave objeto del estudio. Como todos los ámbitos son diferentes entre sí, el establecimiento de un proceder unívoco para la delimitación se antojaría demasiado simplificador de la realidad territorial que se quiere modelizar. La sistemática responde a la particularidad de los lugares, a sus características fisiográficas, a su historia y a la construcción de su imaginario iconográfico, que han derivado, en cada caso, en unas reglas sencillas para la delimitación de un entorno espacial identificable con la imagen a proteger.

Apoyándonos en figuras de planeamiento (de desarrollo o general) y en las delimitaciones que las mismas nos proporcionan, acotamos el ámbito espacial cuyas vistas queremos proteger según los distintos casos. El objetivo de esta fase era proporcionar una primera aproximación a la imagen del conjunto a preservar.

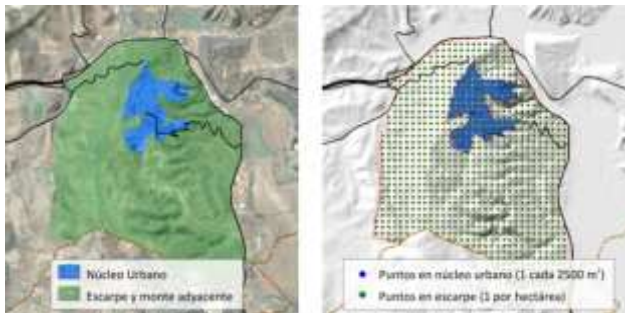


Figura 2. Delimitación de los ámbitos de estudio y apertura de malla de situaciones de observación. Caso de estudio Vejer de la Fra. Fuente: Elaboración propia

En Salobreña resolvimos el ámbito cuyas visiones queremos cautelar a la primera línea del casco histórico, mas el acusado (y probablemente por ello poco contaminado) escarpe que la realza. Para Vejer, determinamos dos entornos diferenciados: el núcleo principal del pueblo y el monte sobre el que se asienta, apoyándonos en las clases de suelo que se determinan en las Normas Subsidiarias (NNSS) (Figura 2).

A partir de un primer trazado del ámbito de interés y con la intención de apoyarnos en la reciprocidad del fenómeno visual se establecieron diferentes niveles de resolución de la malla que define la densidad de situaciones de observación, dentro de los ámbitos diferenciados: así, en el caso de Salobreña, se utilizó una apertura de 10mx10m en núcleo y escarpe, ya que se estimó que el ámbito espacial que soportaba la imagen a proteger era mucho más compacto. Por otra parte en Vejer, se establece una apertura de malla de 50mx50m para el núcleo urbano, y otra de 100mx100m, para el territorio de monte que circundaba al mismo (definido en sus Normas Subsidiarias como Suelo No Urbanizable Protegido) y que se consideró parte de la imagen a proteger.

Con esto último, tan sólo es importante referir que con mallas más abiertas, el factor de error que admitimos es mayor. La magnitud que mediremos en estos primeros mapas es ‘número de puntos visibles’, significando una superficie diferente, si las aperturas de malla son variables.

Además y en pos de afinar los resultados derivados de la modelización, convenimos en modificar el modelo digital del terreno (MDT) con las alturas construidas, apoyándonos en la cartografía de volúmenes construidos de catastro, asignando altura suplementaria a los códigos de campo que reflejan el número de plantas (Figura 3).

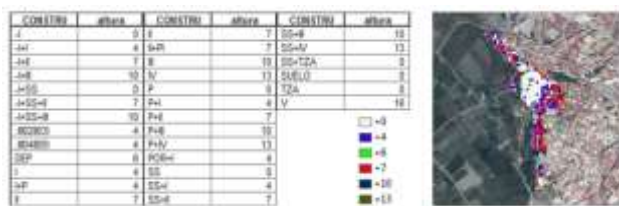


Figura 3. Modificación de las alturas, usando la base de datos de Catastro, para las teselas consideradas en uno de los enclaves objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia.

4.2 Visibilidad conjunta de la ‘imagen a proteger’

Calculando la intervisibilidad desde cada uno de los puntos o situaciones de observación previamente establecidos, y realizando la suma geográfica, podemos obtener la visibilidad cumulativa. La magnitud que se mide en estos mapas es ‘número de puntos visibles’ del entorno cuya imagen se desea proteger, significando para cada clase dentro del ámbito una superficie diferente si las aperturas de malla son variables.

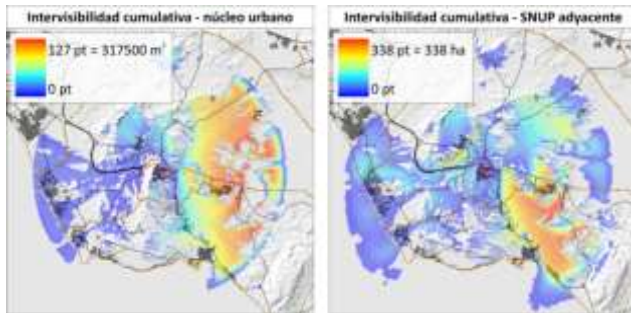


Figura 4. Cálculo de la visibilidad cumulativa (intervisibilidad) para los ámbitos delimitados. Caso Vejer. Fuente: Elaboración propia

Mediante este cálculo podemos apreciar situaciones privilegiadas para la observación del ámbito a proteger, así como los lugares desde los que éste no se ve en absoluto. En el caso de Salobreña las vistas desde el mar son privilegiadas, mientras que en el de Vejer comprobamos la estrecha relación visual del conjunto urbano y el monte sobre el que se asienta con la zona de la marisma del río Barbate próximo a su desembocadura (Figura 4).

4.3 Condiciones de visibilidad para determinar los puntos de estudio de injerencia

El objetivo de esta fase es definir el lugar geométrico de las localizaciones para las cuales realizaremos el posterior cálculo de injerencia visual. Para ello nos apoyamos en el cálculo de la visibilidad cumulativa antes descritos, recordando que estos mapas nos indican el número de veces que cada tesela de territorio es vista desde las situaciones de observación estudiadas, y recíprocamente, la cantidad de territorio cuya imagen deseamos proteger que es visto desde aquellas teselas.

Podemos ahora imponer unos valores mínimos, por debajo de los cuales entenderemos que las vistas a proteger no existen a priori en estas teselas, y por tanto podrán ser obviadas como lugares desde los que calcular la injerencia. El objetivo aquí es acotar el estudio a aquella porción del territorio que cumpla una condición de visibilidad mínima. Ésta deberá sugerir una percepción del objeto cuya imagen queremos proteger suficientemente reconocible. Para Salobreña el ámbito de estudio de injerencia se redujo a aquellas teselas desde las que era visible 1 de las 7,6 hectáreas del escarpe y un 12,5% del Casco (5000 m² sobre 40000 m²). Para el caso de Vejer se estimó que era posible formar una imagen del conjunto núcleo-escarpe a partir de que nos sea visible un mínimo de 20 pt (5 ha) de núcleo urbano y otros 20 pt (20 ha) de SUNP adyacente. La imposición de ambas condiciones queda explícita en la Figura 5:

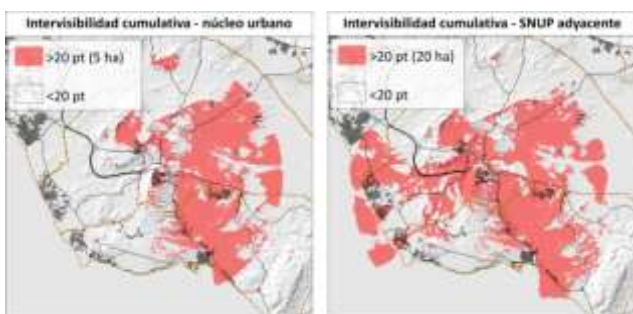


Figura 5. Lugar geométrico de los puntos que cumplen condiciones de visibilidad explicitadas. Caso Vejer. Fuente: Elaboración propia

Sobre aquellas situaciones que cumplan ambas condiciones (desde las que es naturalmente visible una porción significativa de núcleo y cierta parte de escarpe o monte adyacente), se estableció un nuevo mallado del territorio, de 100x100m. El cálculo de injerencia se realizó para cada una de las teselas que se interseca con el ámbito resultado de la imposición de las condiciones anteriormente referida.

4.4 Determinación de la injerencia visual

Existirá injerencia siempre que la imagen protegible sea visible desde la situación de observación (condición ya expuesta), y simultáneamente, dentro de alguno de los conos de visión posible, lo sea un hipotético objeto de altura h cualquiera en una situación genérica.

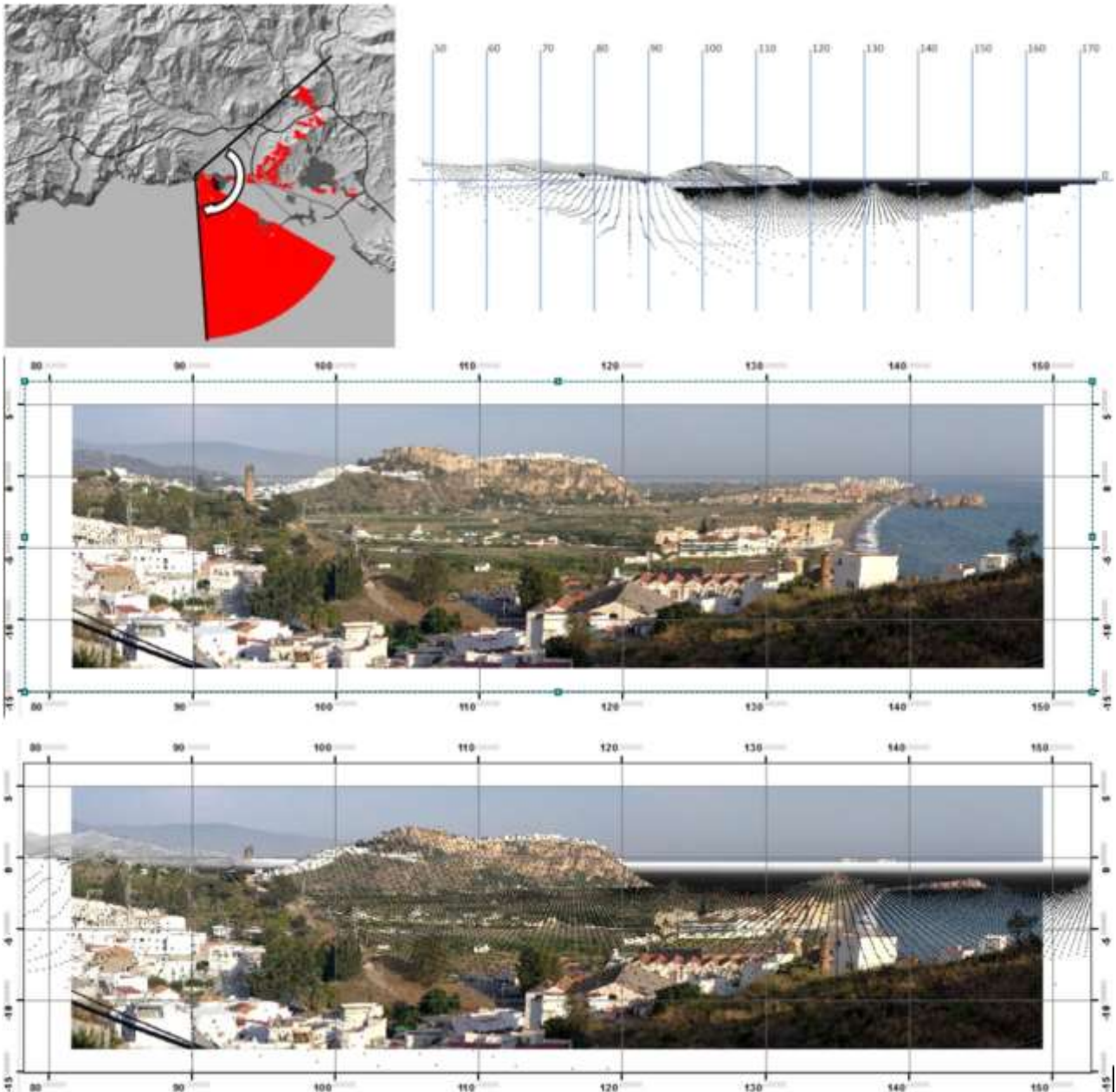


Figura 6. Traslación altazimutal de una situación de observación y correspondencia fotográfica. Fuente: Elaboración propia

A través de la conversión cenital - altazimutal que nos permite el SVA, podemos conocer (y visualizar si así lo deseamos) la ventana visual en la que aparece el área cuyas vistas queremos preservar, en todos los puntos para los que calculemos la injerencia. Es ahora posible trasladar eventos del mapa a la panorámica (y viceversa), permitiéndose (dentro de una tolerancia adecuada, al no haber sido tomada la fotografía ni compuesta la panorámica con las debidas precauciones) la comprobación visual con la imagen (Figura 6).

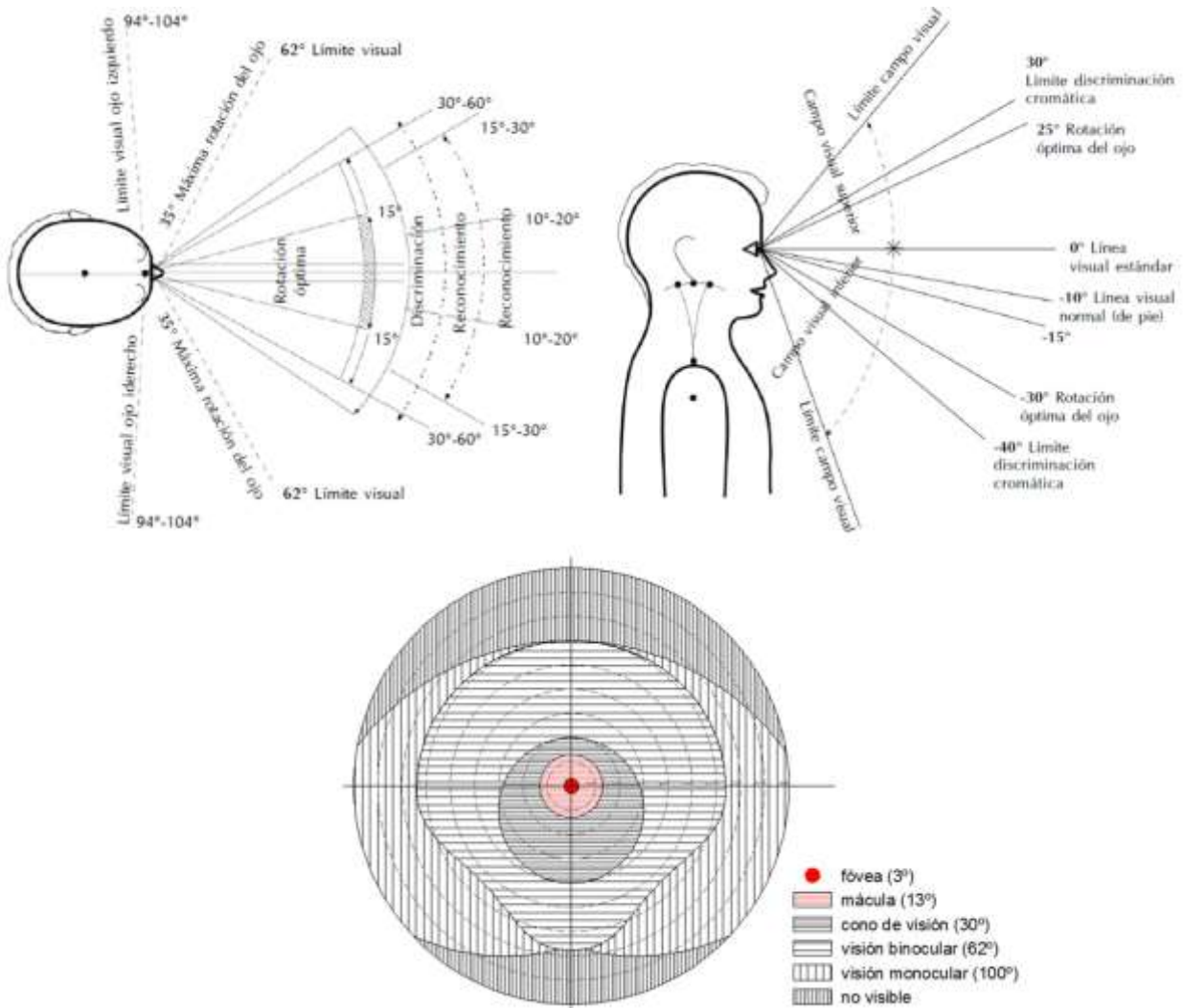


Figura 7. Construcción de ámbitos visuales de una campimetría. Fuente: Elaboración propia en base a datos de “Los campos visuales: texto y atlas de perimetría clínica”.

A partir de aquí, se ha revisado documentación científica en el ámbito del estudio de la visión humana para conocer una aproximación a la incidencia que pueden tener elementos situados no ya dentro del cuadro sino en sus inmediaciones (Harrington, 1993; Hecht, 1987). En este sentido, es interesante observar que desde la perspectiva puramente fisiológica, se pueden distinguir una serie de ámbitos espaciales expresados de forma angular (altazimutal) como aparece en la figura 7, que en terminología médica se denominan campimétricos.

Este esquema se ha trasladado al método de evaluación, de manera que podemos entender que la injerencia visual será función de la relación visual que guardan ambos elementos (la imagen a preservar y el elemento ‘intruso’), en función del ámbito campimétrico simplificado en el que se encuadra este último elemento, centrandó la visión en la imagen a preservar (Figuras 8 y 9).

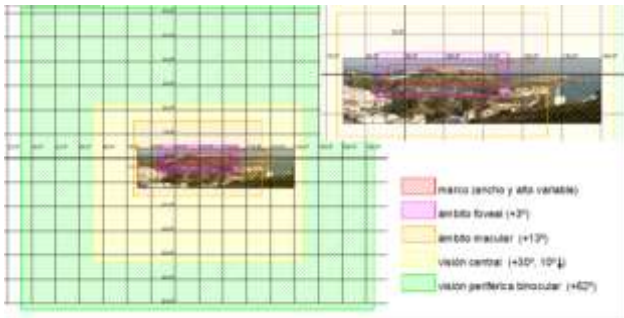


Figura 8. Reconstrucción de los ámbitos campimétricos para una situación de observación. Fuente: Elaboración propia

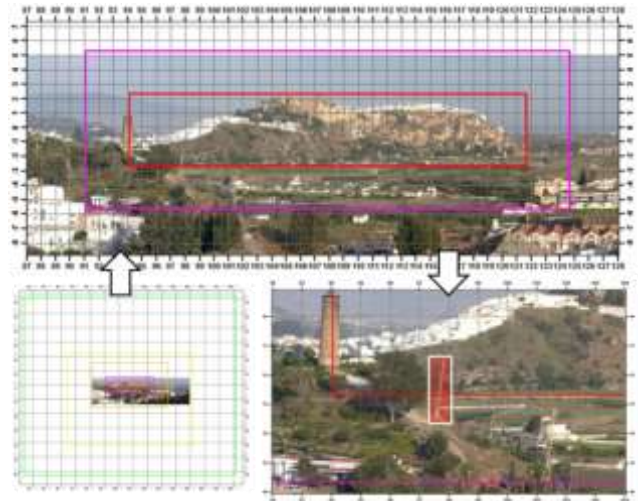


Figura 9. Situación de elementos injerentes en ámbitos campimétricos. Fuente: Elaboración propia

En la práctica, la injerencia visual de un elemento o actuación sobre la imagen a proteger se determina para cada situación de observación contemplada, calculando el área de intersección del marco visual para el píxel construido a la altura propuesta para la intervención y los distintos campos visuales (ámbitos campimétricos simplificados). Se proporciona en función de la fracción de área de cada campo que quedaría ocupada por el objeto injerente, sumando estas proporciones.

En primer lugar necesitamos conocer la extensión del marco visual a proteger. A partir de este marco, se construyen los demás ámbitos simplificados -foveal, macular, central y periférico- añadiendo la extensión angular necesaria (Figura 9).

Posteriormente, se calcula la extensión (el rectángulo capaz) angular visual que supondrá la irrupción del elemento proyectado en la escena (Figura 9); para ello, primeramente determinaremos, a través del parámetro de cota complementaria, que determina la altura a la que un objeto comienza a ser visible desde una localización determinada, si el elemento proyectado con su altura será visible desde el punto de observación o si por el contrario no lo será, en cuyo caso no podrá suponer injerencia visual alguna.

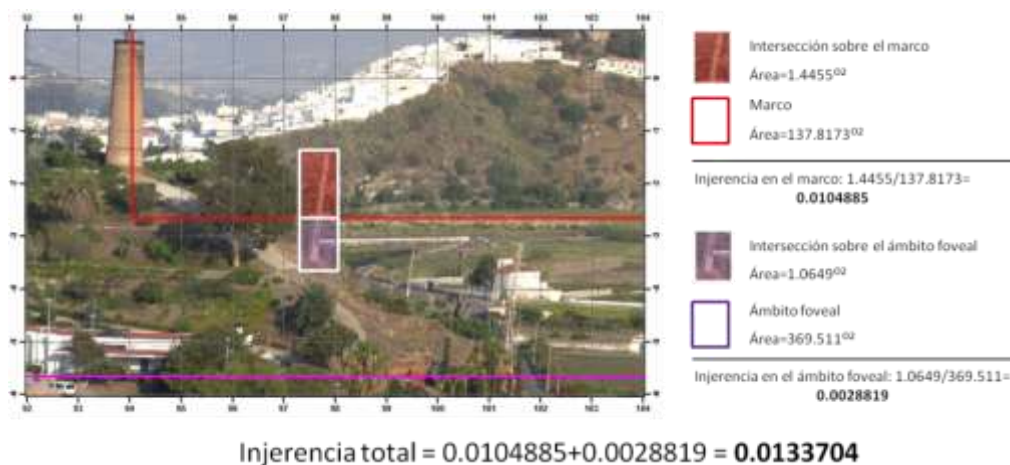


Figura 10. Calculo de las áreas de intersección del objeto injerente con cada ámbito campimétrico. Fuente: Elaboración propia.

Una vez calculados los ámbitos campimétricos simplificados y la extensión visual de la intervención proyectada, se procede a calcular las áreas de intersección de la segunda sobre cada uno de los primeros, proporcionándola sobre la superficie de los propios campos, y sumándolas finalmente para la obtención de la

injerencia visual de una intervención concreta sobre la imagen a proteger, desde un punto de observación dado (Figura 10).

Los valores de altura de intervención que han sido tenidos en cuenta para esta experiencia, y que nos han servido para trasladar los valores de altura complementaria a visibilidad potencial, y su relación con intervenciones comunes son los siguientes:

| Altura | Intervención asociable |
|--------|--|
| 0 m | urbanización, carreteras, incendios... |
| 6 m | edificación extensiva, ajardinamiento |
| 12 m | edificación media-baja, arbolado de cierto porte |
| 18 m | edificación media-alta |
| 25 m | edificación intensiva, instalaciones |
| 50 m | instalaciones (torres altas, aerogeneradores pequeños) |
| 100 m | instalaciones (aerogeneradores grandes) |

Tabla 1. Alturas de intervención contempladas para cálculo de injerencia visual. Fuente: Elaboración propia

El método de valoración propuesto asume que la incidencia visual de un elemento sobre otro es función por un lado de la relación de tamaños visuales desde la posición de observación: esto tiene una lectura evidente en que un objeto injerente cuya imagen ocupe menos (por ser más pequeño o estar más lejos del observador) tendrá una menor injerencia final sobre la imagen. Pero además ocurre que si la imagen aparente del ámbito a proteger es mayor desde un punto de observación concreto, los valores de injerencia para una intervención concreta serán menores, lo que encaja con la noción de resiliencia de la imagen. Por otro lado, la injerencia depende de la distancia angular hasta la imagen a preservar, marcándose a partir de ésta una serie de ámbitos (foveal, macular, central y periférico) para los que se supone una incidencia inversamente proporcional al área angular del propio ámbito. Esta relación de proporcionalidad inversa ha sido asumida como primera aproximación, por lo que ha de ser tomada con cautela.

5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

5.1 Resultados para un punto de observación

La obtención de la injerencia visual de cada punto y para cada altura de intervención es el estado de máxima desagregación de datos; trabajamos ahora sobre un número variable de rasters, según los estudios de caso:

$$n * 7 = \text{Número de rasters de Injerencia}$$

Donde n es el número de puntos (variable según el caso de estudio) que cumplan las condiciones de visibilidad dadas y que contienen la 'imagen a proteger', y 7 es el número de alturas de intervención consideradas

Como puede observarse en la figura 11, en las que se muestra la injerencia para un punto de los calculados en el caso Salobreña, las situaciones en las que una intervención supondrá injerencia visual no se limitan a aquellas situadas entre el objeto cuya imagen queremos preservar y el observador (aunque es en este ámbito en el que los valores son mayores), sino que lo sobrepasan con mucho. Asimismo queda patente en la representación cenital la discontinuidad que se presenta en los límites entre los distintos ámbitos campimétricos. Esto es consecuencia del criterio que hemos tomado de utilizar valores dependientes de una magnitud constante (el área del ámbito campimétrico) en lugar de una función de la distancia al marco.

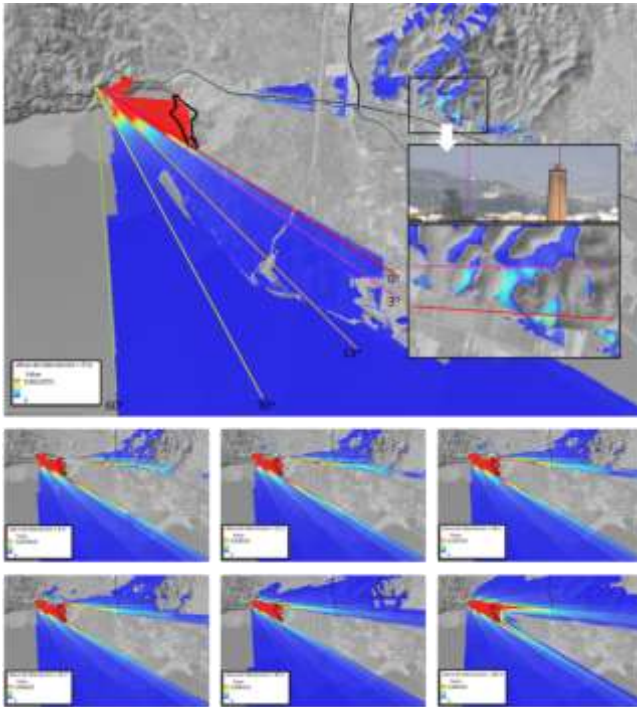


Figura 11. Para uno de los puntos de observación del caso Salobreña, situado al noroeste de la imagen (en el vértice de los conos señalados), podemos obtener los siguientes mapas de injerencia, para intervenciones a 0 m (arriba) y para otras 6 alturas. Obsérvese cómo el valor de injerencia no es nulo en ámbitos que están situados *detrás* del objeto destino: en las viñetas pequeñas incluidas en el mapa de arriba puede verse con más detalle qué zona en la fotografía representa la señalada en el plano, y cómo construcciones situadas en esta ladera, bastante trasera al núcleo, provocan actualmente polución o impacto en la imagen observada del mismo. Nótese por otra parte en los planos la discontinuidad que se introduce en el trazado de buffers altacimutales, cuyos límites se han marcado en colores. Fuente: Elaboración propia.

También puede observarse cómo conforme vamos elevando la altura de intervención, las áreas de sombra (donde el objeto construido no tendrá injerencia) son menores, como cabría esperar, puesto que si el objeto es visible con su altura desde la posición de observación y se encuentra a una distancia angular menor de 60° , será -más o menos- injerente.

El valor de cada píxel en estos mapas representa el valor de injerencia visual de un objeto de altura h situado en la localización del píxel, para un observador situado en el punto de observación. Pero ¿cuántos observadores podemos esperar que pasen realmente por ese punto?

5.2 Resultados con ponderación por accesibilidad local, e injerencia cumulativa ponderada.

La respuesta a la anterior pregunta se puede aproximar a través del análisis de los usos del suelo de la tesela para el que se calcula la injerencia, que en nuestro caso ocupa una hectárea, y dentro de la cual suponemos invariante la imagen del territorio: sobre una hectárea determinada del territorio podemos esperar encontrar una afluencia de observadores del paisaje dependiente de la proporción que ocupe cada uno de los usos del suelo, categorizados estos en orden a modelizar la accesibilidad local (Romero et al, 2014).

Efectuando la suma geográfica de los resultados obtenidos de esta manera sobre los 'n' puntos de vista que disfrutaban de vistas completas sobre la imagen a proteger determinada, para cada una de las categorías de accesibilidad local, y también para cada una las distintas alturas, se genera cartografía cumulativa que puede interpretarse como cuál es la afección de la irrupción de un nuevo elemento de determinada altura en cualquier localización y para los observadores situados en una categoría de accesibilidad local concreta. Obtenemos tras esta operación un conjunto de n (n° de categorías) \times m (n° de alturas de intervención calculadas) rasters.

La categorización del suelo en relación con su accesibilidad local se ha realizado con la idea de reconocer y modelizar la desigual distribución de observadores en el territorio. Es ahora el momento de dar valores a esta distribución. Sólo tendremos que aplicar sobre los conjuntos de rasters correspondientes a cada una de las alturas probables de intervención una media ponderada en la forma:

$$I = \sum_0^n f_n * I_n$$

Donde I representa la injerencia cumulativa (teniendo en cuenta a todos los observadores, en un modelo de distribución razonable) sobre la imagen a proteger de un objeto de altura h situado en una localización genérica, n es el índice de la categoría de accesibilidad local, f_n es la densidad relativa de observadores que queramos asignar a la categoría n, e I_n es la injerencia cumulativa para observadores situados sólo en la categoría n. El resultado es una cartografía de injerencia visual ponderada, compuesta por un mapa de injerencia visual ponderada para cada altura de intervención (Figura 12).

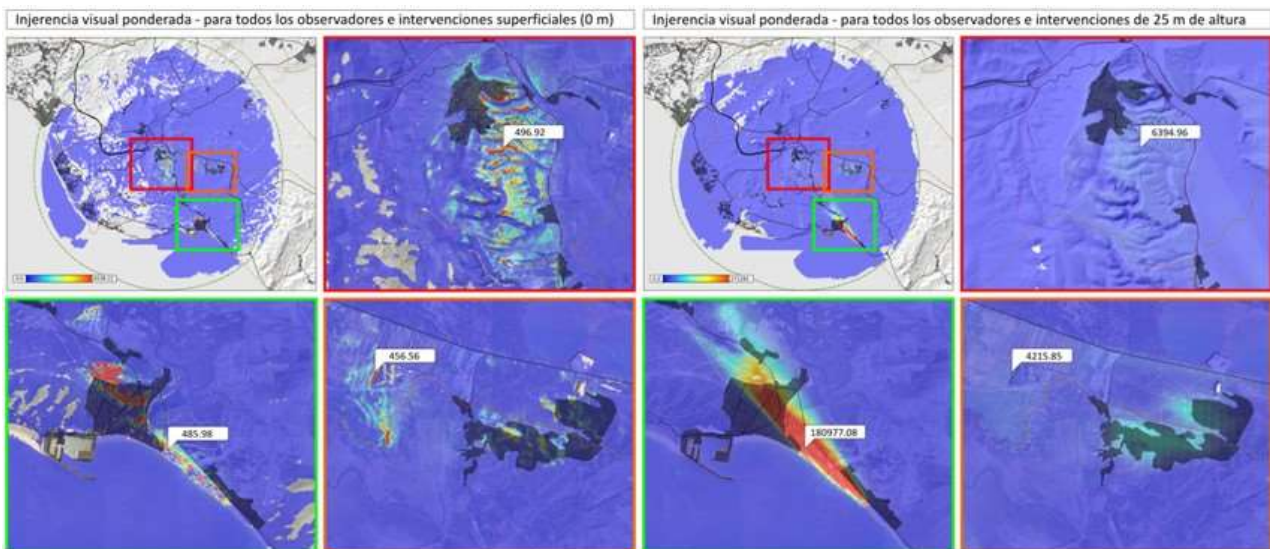


Figura 12. Mapas de injerencia visual ponderada para 2 alturas de intervención en el caso de Vejer de la Fra. Fuente: elaboración propia.

Debemos destacar que el método permite con gran facilidad comprobar distintos modelos que apliquen diferentes densidades relativas a las clases del suelo -estas sí determinadas de forma más rígida- puesto que el cálculo más complejo se realiza anteriormente, con la obtención de las injerencias particulares para los distintos puntos de observación.

Un análisis genérico de los resultados arrojados por el método para los casos de estudio considerados, desprendió ciertas características comunes, que conviene tener en cuenta e interpretar de forma adecuada:

1. Como marca la lógica, los valores de injerencia para una actuación de mayor altura son siempre mayores o iguales que los que obtenemos al evaluar una actuación de menor altura, cumpliéndose esto tanto si se trata una situación de observación como la totalidad de las mismas. Especialmente suele darse un salto importante entre los valores de actuaciones superficiales y las de cualquier altura, por el efecto que produce la ponderación mediante el parámetro de proyección visual. Esto es indicativo del fuerte impacto que produce erigir un elemento vertical sobre el territorio (especialmente si el último no tiene una componente vertical demasiado acusada), y apoya la tesis de que a igualdad de volumen, resulta preferible un impacto disperso que uno concentrado. Por otra parte, desde el punto de vista de la implementación de actuaciones de atenuación del impacto, parece apoyarse la tesis contraria, lo que no nos permite dar una solución unívoca al problema.
2. La injerencia (local o cumulativa) de una intervención superficial está mucho más localizada que la de intervenciones en altura, en la que los valores aparecen difuminados. La gradación que se produce en el valor es dependiente de la orografía del lugar a estudiar, puesto que se ve fuertemente influido por el parámetro booleano de visibilidad.

3. Es conveniente señalar que el objeto geográfico que genera la imagen a proteger no es unívoco. Si bien el caso de los conjuntos de Vejer y Salobreña generan unas ventanas proporcionadas a la compacidad de los enclaves, otros casos nos apuntan hacia un encuadre tremendamente extensivo (el océano). Esto demuestra que pueden ser necesarias modificaciones en la metodología presentada para adecuarse a los parámetros del estudio concreto, o a la realidad territorial que quiere modelizarse.

6. CONCLUSIONES

Si bien la definición del parámetro de injerencia visual de una localización, respecto a un punto de vista y una imagen-objetivo, en referencia a una alteración de cierta altura, no es más que una traslación a parámetros físicos o numéricos de un efecto que podemos imaginar o quizá modelizar con otros medios como la infografía, es importante reseñar que el método que se propone permite calcular la injerencia cumulativa, esto es, el impacto que tendrá la alteración en la imagen-objetivo *desde todos los puntos de vista simultáneamente* (de igual forma que se proponía en el cálculo de la Accesibilidad Visual). Algunas conclusiones derivadas del estudio muestran que la metodología no está exenta de problemas e incertidumbres, tanto en los datos de partida como en los algoritmos empleados: la precisión y la naturaleza del modelo digital de superficies empleado es un factor clave para alcanzar resultados fidedignos, al menos para puntos concretos, puesto que generalmente los valores cumulativos tienden a compensar estar imprecisiones. Por otra parte es destacable la importancia que podría llegar a cobrar elementos no estables del territorio, como la vegetación o las delimitaciones de propiedad, que con una mínima masa eliminan de forma efectiva las relaciones visuales, apantallando los elementos de referencia.

En general, y con un carácter aproximativo válido para el trazado de áreas de protección relacionadas con las actividades permisibles, el estudio de la injerencia visual puede ser aplicado en Ordenación del Territorio siempre que se encuentre un elemento paisajístico identitario concreto, un objeto cuya imagen -en sentido general y no desde un punto concreto- resulte icónica por su valor estético, histórico o etnológico. Es en muchas ocasiones un bien que resulta difícil de aprehender, pero del que nadie quiere desprenderse; consideramos que conviene preservar esta herencia, no necesariamente evitando cualquier desarrollo, sino haciendo ambos compatibles entre sí: un desarrollo que potencia el patrimonio y los valores propios del territorio que, a su vez, impulsan y son razón del desarrollo futuro, en un círculo virtuoso muy diferente al que estamos acostumbrados a relacionar con la actividad humana sobre el medio.

7. BIBLIOGRAFÍA

Mérida, M. (1996): "El paisaje visual", *Baetica* 18, pp. 205-222.

Romero, A., Guerrero, J.J., Ghislanzoni, M., Romero, D., Giménez de Azcárate, F., Cáceres, F., Moreira, J.M. (2014): "Vulnerabilidad del patrimonio paisajístico ante el apantallamiento visual. Una solución basada en los parámetros del Sistema de Visibilidad de Andalucía. REDIAM", en *Actas del XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica*. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>, pp. 390-400. Junio 2014, Alicante. XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica.

Harrington, D.O., Drake, M.V., (1993): *Los campos visuales: texto y atlas de perimetría clínica*. Barcelona, Ediciones Científicas y Técnicas.

Hecht, E. (1987): *Optics. 2nd Edition*. Reading, Addison-Wesley.

Romero, D., Guerrero, J.J., Ghislanzoni, M., Romero, A., Sillero Almazán, J.M., Giménez de Azcárate, F., Cáceres, F., Moreira, J.M. (2014): "Evaluación de la accesibilidad visual del territorio ante distintas intervenciones a través de la explotación del sistema de visibilidad de Andalucía. REDIAM", en *Actas del XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica*. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>, pp. 226-239. Junio 2014, Alicante. XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica.

REALIDAD ESQUEMATIZADA. INTERPRETACIÓN DEL PAISAJE A TRAVÉS DE LOS HORIZONTES VISUALES. REDIAM

Daniel Romero-Romero¹, Andrés L Romero-Morato², Juan J Guerrero-Álvarez³, Luis Cuenca Montes⁴, Fernando Giménez de Azcárate-Fernández⁵, Francisco Cáceres-Clavero⁶, José M. Moreira-Madueño⁷.

¹ RqueR tecnología y sistemas SL – REDIAM, Cristo del Buen Fin 7, 41002, Sevilla, España. dromero@rquertys.es

² RqueR tecnología y sistemas SL – REDIAM, Cristo del Buen Fin 7, 41002, Sevilla, España. aromero@rquertys.es

³ Agencia de Medio Ambiente y Agua de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía – REDIAM, Johan G. Gutenberg 1, 41092, Sevilla, España. jjguerrero@agenciamedioambienteyagua.es

⁴ Outboxcode SL - Avda. de Granada 39, Bloque 7, 23009, Jaén, España. luiscuenca@outboxcode.com

⁵ Agencia de Medio Ambiente y Agua de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía – REDIAM, Johan G. Gutenberg 1, 41092, Sevilla, España.
fgimenezdeazcarate@agenciamedioambienteyagua.es

⁶ Viceconsejería de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía – REDIAM, Avenida de la Guardia Civil 1-Casa Rosa, 41071, Sevilla, España. francisco.caceres@juntadeandalucia.es

⁷ Viceconsejería de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía – REDIAM, Avenida de la Guardia Civil 1-Casa Rosa, 41071, Sevilla, España. josem.moreira@juntadeandalucia.es

RESUMEN

Saber dónde nos encontramos, lo que nos rodea, un conocimiento que se relaciona con la pertenencia a un territorio dado, algo que en nuestra época de globalización no está siempre al alcance de todos.

En las últimas décadas el desarrollo de las Tecnologías de Información Geográfica (TIG) ha permitido no sólo representar la realidad según reglas que nos son comunes a todos, sino establecer propiedades y relaciones entre los elementos a través de los cuales se modeliza el territorio para generar sistemas que simulan los fenómenos más diversos: predicciones meteorológicas, inundaciones, migraciones de aves, etc.

El Sistema de Visibilidad de Andalucía (SVA) complementa esa faceta al reproducir lo que vemos, tal y como lo vemos, en lo que podemos denominar “mapas con los pies en el suelo”. La conversión ágil entre distintos sistemas de representación, uno altacimutal o subjetivo, que depende en enorme medida de la posición de observación, y otro cenital, u objetivo, común para un ámbito espacial amplio, se realiza a través de los procedimientos que proporciona este sistema.

Los ‘horizontes visuales’, parámetro definido en el SVA, serán puntos de alto valor para el trabajo que nos ocupa, puesto que trasladados -a través del parámetro de ‘altura angular’- a una proyección subjetiva, definen la geometría básica del territorio -su ‘esqueleto’- sobre la que se destacan los elementos del territorio mediante etiquetas textuales de forma que el usuario pueda confrontar de forma intuitiva, desde una situación cualquiera, su realidad visual con un esquema sintético divulgativo realizado ex profeso.

El objetivo es, pues, potenciar la experiencia paisajística del usuario, que reconocerá y podrá identificar cumbres, poblaciones y otros elementos de su interés, desde su situación en campo o cómodamente sentado en su sillón, accediendo al servicio a través del portal web (<http://laboratoriorediam.cica.es/drawscaping>) o de la app móvil.

Palabras clave: paisaje; mirador; relieve; interpretación; difusión; hitos.

ABSTRACT

Knowing where we are, what surrounds us, a knowledge that is related to belonging to a given territory, something that in the age of globalization is not always available to everyone.

In recent decades the development of Geographic Information Technology (TIG) has not only allowed to represent reality according to rules common to all of us, but to establish properties and relationships between the elements through which the territory is modeled, in order to generate systems that simulate the most diverse phenomena: weather forecasts, floods, bird migrations, etc.

The Visibility System of Andalusia (SVA) complements this facet to reproduce what we see, as we see it, what can be called "maps with their feet on the ground." The smooth conversion between different systems of representation, one altazimuth or subjective relaying on enormous extent on the viewing position, and other aerial or objective common to a wide spatial area, is achieved through procedures provided by this system.

The 'visual horizons', parameter defined in the SVA, will be points of high value to the work at hand, since these points are transferred through the parameter 'angular altitude' to a subjective projection, they define the basic geometry of the territory its 'skeleton', over which the elements of the territory are outlined by textual tags so the user will confront, intuitively and from any given position, its visual reality with a synthetic informational scheme done *ad hoc*.

The goal is therefore to enhance the landscape experience of the user, who will recognize and identify peaks, settlements and other elements of interest, from his position in the field or by sitting comfortably in his chair, accessing the service through the web portal (<http://laboratoriodiam.cica.es/drawscaping>) or the mobile app.

Keywords: landscape, viewpoint, topography, interpretation, dissemination, landmark.

1. INTRODUCCIÓN

Conocer lo que nos rodea ha sido siempre uno de los intereses del ser humano, por la ventaja que brinda el conocimiento del terreno que se pisa. Se relaciona generalmente con la pertenencia a un territorio dado: sólo los más viejos del lugar saben los nombres de cada arroyo, loma o paraje. Pero nuestro modo de vida actual no nos permite tener este contacto íntimo y cotidiano con la geografía. El ritmo acelerado, la hipermovilidad, en definitiva la -generalmente positiva- globalización en la que nos encontramos sumidos nos impide desarrollar la identidad territorial que es inherente a la especie.

La ciencia y la tecnología vienen ayudándonos a suplir esta deficiencia: en primer lugar, el desarrollo de las ciencias cartográficas, que ordenan y jerarquizan el conocimiento de los territorios. Posteriormente, la puesta a disposición del público general de este conocimiento con herramientas cada vez más sofisticadas y accesibles; últimamente la cartografía digital, apoyada en la tecnología GPS y que puede ser consultada desde dispositivos móviles, ha experimentado un auge considerable, viniendo a paliar -quizá parcialmente- la necesidad antes planteada.

Pero las técnicas de la representación cartográfica no son accesibles para todos los usuarios. Se requiere cierto entrenamiento para la correcta interpretación de los mapas clásicos y, por mucho que cada vez estemos más acostumbrados a la representación cenital del territorio, su relación con la realidad circundante (que percibimos en perspectiva) no es siempre inmediata, especialmente en entornos en los que las referencias espaciales no nos son accesibles, como en campo abierto.

El Sistema de Visibilidad de Andalucía (SVA), desarrollado recientemente en el seno de la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM), contiene conjuntos de datos que determinan cuantitativamente las relaciones visuales existentes o potenciales entre los distintos puntos del territorio andaluz. Entre estos datos se encuentran los llamados 'horizontes visuales', a través de los cuales se define la geometría básica del territorio. Además, define un conjunto de algoritmos que permiten trasladar de forma muy ágil eventos desde una proyección geográfica cenital a una proyección panorámica y viceversa, de forma que, fijando una localización y una altura de observación, puede representarse una imagen panorámica esquemática de tal y como sería percibida visualmente por un observador situado en el punto determinado.

Sobre esta imagen, y a través de los mismos algoritmos de reproyección, es posible situar etiquetas textuales divulgativas que nos indican los hitos del paisaje que nos son accesibles visualmente, desde una base de datos geográfica al uso.

Todo ello se pone a disposición del público a través de un servicio web, diseñándose un portal web y una aplicación móvil en un entorno que hemos venido en denominar de 'realidad esquematizada' (dada su capacidad de presentarnos el territorio de forma simplificada y con información asociada, y en oposición al

concepto de 'realidad aumentada'), que permite al usuario confrontar de forma fácil e intuitiva lo que percibe en una situación cualquiera con una imagen sintética, de forma que resulta sencillo trazar paralelismos con la realidad y reconocer estos elementos en campo, potenciándose la experiencia paisajística del usuario, que reconocerá y podrá identificar en campo cumbres, poblaciones y otros elementos de su interés, o quizá realizar un viaje virtual desde la comodidad de su sillón.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

La materia de la cuestión estudiada en este artículo tiene en la aplicación *PeakFinder* un referente de gran difusión pública. Su idea nace, como refleja su web, de la curiosidad de los amantes de la montaña en conocer e interpretar el territorio visible desde las cumbres. Usando diferentes Modelos Digitales del Terreno (SRTM-*Shuttle Radar Topography Mission* o el provisto desde el proyecto *View Finder Panoramas*- Jonhatan de Ferranti) y diversas bases de datos (*OSM-Open Street Maps*, *GeoBase*, *Bivouac* o *Geospatial Information Authority of Japan*) y a través de una aplicación Web y una APP móvil multiplataforma es capaz de 'dibujarnos' esquemáticamente imágenes altacimutales de 360° con diversas funcionalidades, que van desde la posibilidad de obtener los datos geográficos del lugar de la perspectiva a un buscador de picos, o establecer la apertura de nuestra ventana altacimutal. Sin embargo, la información puede ser confusa al no considerarse determinados efectos y fenómenos que impiden poder visualizar elementos a partir de cierta distancia.

Por otra parte, se encuentran los desarrollos realizados para el Sistema de Visibilidad de Andalucía (SVA); en particular el establecimientos de algoritmos ágiles para relacionar los puntos de una imagen altacimutal panorámica con los correspondientes en una proyección cenital (Gimenez de Azcarate *et al*, 2014), pudiendo con ello disponer de información digital georreferenciada en una proyección oblicua, sin necesidad de introducirla manualmente, con una precisión muy elevada.

También como parte del SVA se han desarrollado procedimientos para el cálculo de los horizontes visuales que, basados en la frecuencia con la que estos se repiten en un conjunto de puntos de muestreo, nos permiten la delimitación objetiva de unidades visuales autocontenidas, unas entidades cuya definición es difusa y que pueden definirse como ámbitos para los que el territorio visible es común: verdaderas cuencas visuales objetivas, puesto que no dependen de ningún punto de vista sino de la morfología del territorio. Estas unidades visuales pueden ser después caracterizadas por su contenido, pasando a ser unidades de paisaje homogéneas (Alcántara *et al*, 2014).

Utilizando procedimientos distintos, que se basan en la conversión de proyecciones esféricas (obtenidas a partir de un Modelo Digital de Elevaciones, DEM) en cilíndricas (reproyección) y en el desarrollo de algoritmos que permiten, por un lado, el alineamiento automático de fotografías georreferenciadas existentes con las imágenes procesadas desde un DEM (Batz *et al*, 2012) y por otro, el posterior etiquetado semántico de imágenes, existen trabajos desarrollados para ámbitos montañosos (Chippendale *et al*, 2008; Baboud *et al*, 2011), con resultados exitosos. En este sentido, otros desarrollos que se basan en la identificación de horizontes a través del análisis de la imagen y su comparación con bancos de imágenes existentes (Liu y Su, 2013; Fedorov *et al*, 2013), ofrecen resultados similares: imágenes etiquetadas, generalmente contenidas en entornos alpinos, cuya aplicación principal reside en la difusión de contenidos digitales publicados.

3. ÁMBITO DE ESTUDIO O DE APLICACIÓN

El trabajo que aquí exponemos se enmarca en el conjunto de explotaciones asociadas al SVA, que se desarrolla en el seno de la REDIAM, estando por lo tanto su extensión limitada a la de la comunidad autónoma andaluza, siendo perfectamente factible su extensibilidad a cualquier ámbito para el que exista una cobertura de Modelo Digital de Elevaciones (DEM) de calidad y resolución suficiente.

Como en otras aplicaciones del SVA, es necesario contar con una distancia tampón asociada a la distancia máxima de visibilidad que, para la presente aplicación, se ha estimado en 50 km. Esto significa que para dar correcto servicio a cualquier punto de la comunidad autónoma hay que contar con datos altitudinales para el territorio que se extiendan en esta distancia sobre su límite. En este ámbito encontramos zonas del sur de

Portugal, del norte de Marruecos, y parte de las comunidades autónomas de Extremadura, Castilla-La Mancha y Murcia (Figura 1).

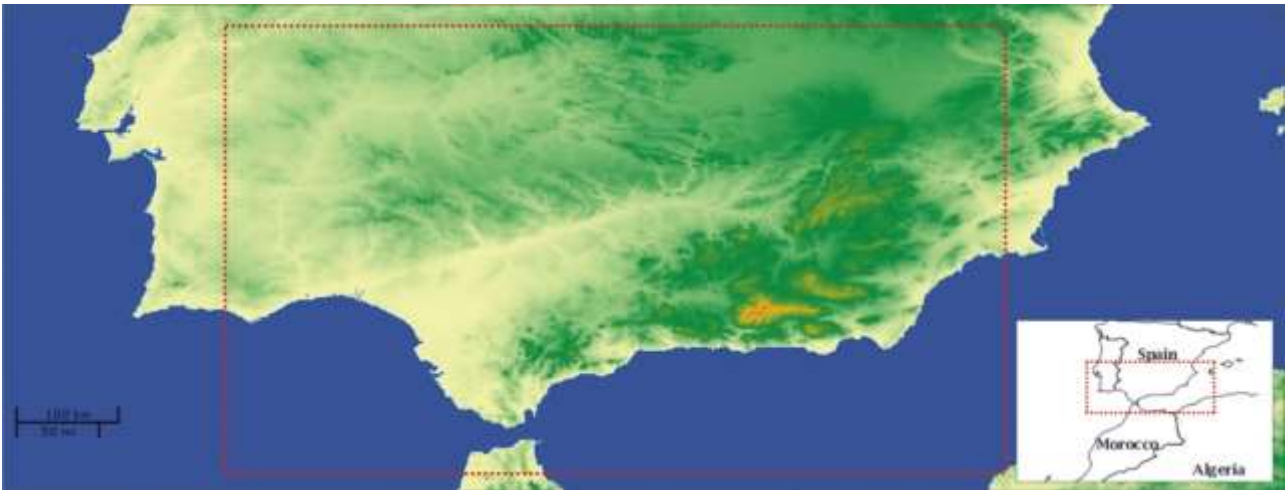


Figura 1. Modelo Digital de Elevaciones compuesto para este proyecto. Elaboración propia en base a datos de REDIAM.

Este DEM se obtiene, para la parte de la extensión que corresponde a territorio español, a partir del producto MDT05, subproducto del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA), de la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional, del Ministerio de Fomento. Para el territorio emergido no nacional, se ha recurrido al *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model Version 2 (GDEM V2)* accesible desde este portal de la NASA. Todo ello se ha compuesto armonizando las superficies de solape, sobre una base oceánica calculada a valor 0.

4. METODOLOGÍA

4.1 El SVA y los horizontes visuales

En un modelo de dos dimensiones, como el representado en la imagen de la izquierda de la figura 2, dadas una situación y una altura de observación, los puntos de horizonte son aquellos en los que se produce un cambio de 'visible' a 'no visible'. Esto se extiende a las tres dimensiones definiendo los horizontes visuales como los últimos -más distantes al observador- puntos visibles de cada grupo compacto de puntos visibles.

Los horizontes serán puntos de alto valor para el trabajo que se presenta, puesto que son elementos que, combinados con el parámetro de altitud y trasladados a una proyección subjetiva, definen la geometría básica del territorio. Además, son diferenciadores y delimitadores de planos de visión, por lo que jugarán un papel fundamental en la determinación de la precisión del dato del que antes se ha hablado (Figura 2).

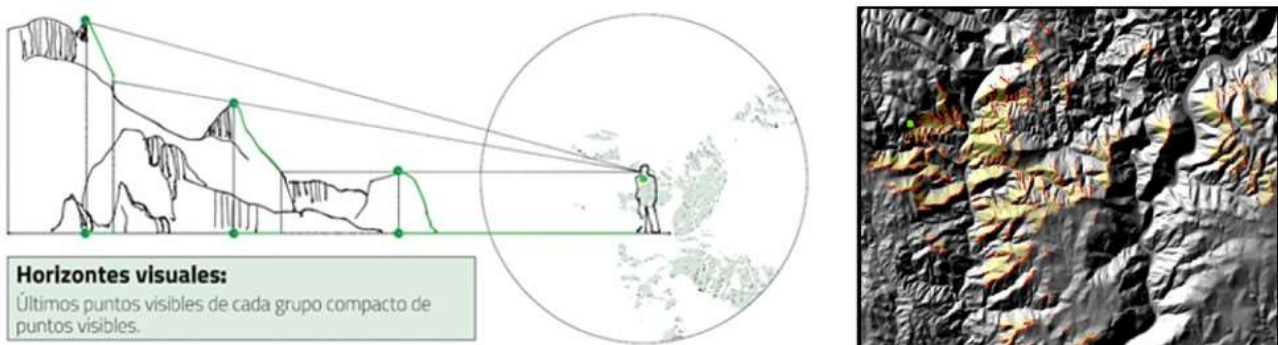


Figura 2. Parámetro de horizontes visuales. Fuente: Elaboración propia en base a datos de REDIAM.

El SVA guarda un ráster para cada punto de la malla de observación de 100m x 100m, con la que cubre el territorio andaluz, la representación de cuáles son sus puntos de horizonte, es decir, qué puntos del territorio

cercano (hasta la distancia máxima de visibilidad) conforman horizonte en la imagen percibida por el observador. Para su composición se parte del cálculo de altura complementaria, a partir del cual se pueden derivar tantos rasters de visibilidad potencial como alturas de intervención queramos determinar, y una única solución efectiva que define qué localizaciones del territorio se ven y cuáles no, detectándose a través de un algoritmo cuáles son, desde el punto de vista del observador, los puntos visibles más lejanos de cada región visible. Estos serán los puntos que conforman los distintos horizontes visibles para cada posición de observación. Las que se muestran en las dos primeras ventanas de la figura 3 son visualizaciones ráster del modelo de eventos con el que trabajamos. Este modelo de eventos es también exportable a puntos en el plano XY, que podemos colorear, por ejemplo según su distancia al punto de observación.

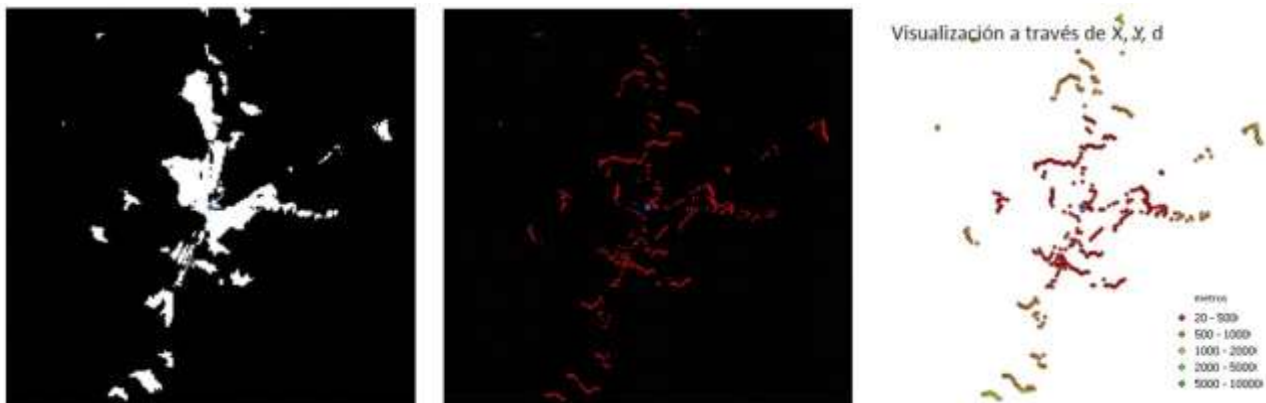


Figura 3. Comparativa de raster de áreas visibles, puntos de horizonte y clasificación de los mismos en función de la proximidad al observador. Fuente: Elaboración propia en base a datos de REDIAM.

En el SVA cualquier punto visible -y los de horizonte los son- es representable, en vez de por sus valores XY, a través de sus valores de azimut y altitud, obteniendo esquemas o vistas altacimutales, en las que para cada punto contamos con unas coordenadas en un sistema de referencia cenital, que podemos utilizar para conseguir información adicional del mismo.

Es por ello que el SVA permite relacionar cada punto a través de su localización con su contenido temático, obteniéndose entonces información completa sobre cómo y qué se observa en cada lugar del ámbito territorial definido. La posibilidad de ofrecer esta representación, así como la funcionalidad de relacionar de forma inmediata y precisa localización con contenido, son características extra de un modelo de eventos, que el modelo puramente ráster no puede ofrecer (figura 4).

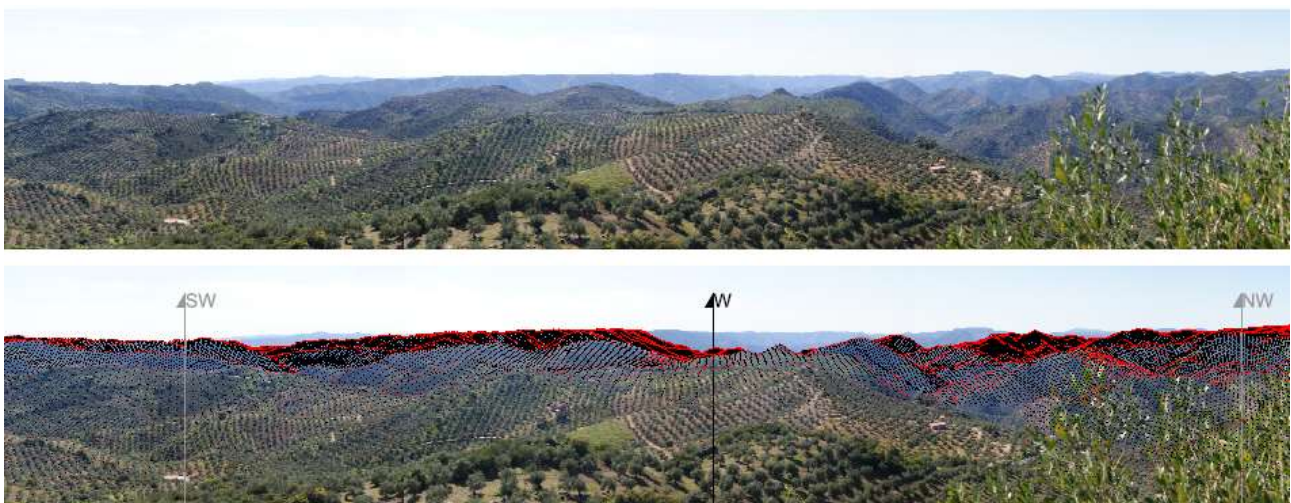


Figura 4. Los puntos visibles -como los de horizonte- se pueden trasladar a perspectiva subjetiva. Fuente: Elaboración propia en base a datos de REDIAM.

4.2 El servicio de 'realidad esquematizada'

Como se avanzó en el apartado introductorio, los procedimientos que integran el SVA están diseñados para soportar una carga de cálculo muy superior a la implementada en el desarrollo de sus parámetros. Para esta aplicación, ello se ha traducido en la posibilidad de modificar sus bases de partida; podemos aumentar considerablemente la distancia máxima de visibilidad (hasta 50km), y realizar los cálculos al vuelo para cualquier punto de observación, sin tener que ceñirnos a la malla de 100 x 100 m, empleando un DEM adecuado a nuestros fines.

Dado que en una vista altacimutal los puntos visibles de una malla isótropa, como un DEM, que se encuentran situados en planos más lejanos se ven o perciben más juntos, y de cara a optimizar el tiempo de cálculo, se ha implementado un sistema de anillos, basado en que cada DEM en realidad está formado por cuatro 'parches' de distinta resolución o escalas diferentes, que encajan uno en el otro (figura 5). Así, y como se muestra en la figura, si la primera tiene un tamaño de píxel de 5 m y se corresponde con una extensión circular de 5km de radio con centro en el punto de observación, la segunda ha de tenerlo de 10 m, siendo una corona circular cuyo radio menor viene dado por el contiguo anterior (5km, que por tanto encaja en su agujero central) y 10 km de radio mayor, la tercera de 20 m de resolución de píxel y 20 km de radio mayor y 10 km de radio menor (para poder rellenar el centro de la arandela con las anteriores imágenes), y por último la cuarta de las imágenes, con una resolución de 50 m y un radio mayor de 50 km y 20 km de radio menor. Nótese que el tamaño en píxeles de cada uno de los cuatro DEMs se mantiene idéntico, facilitándose con ello la programación de las operaciones matriciales.

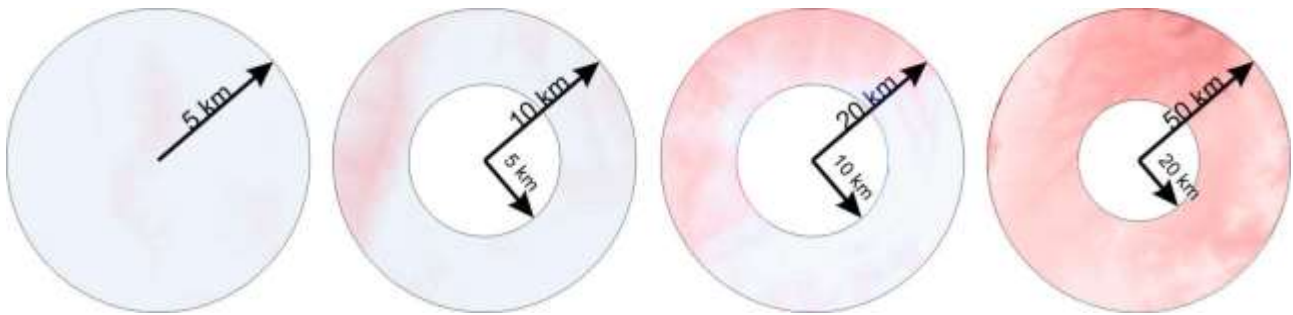


Figura 5. Construcción del DEM con distintas resoluciones asociado a un punto genérico. Fuente: Elaboración propia en base a datos de REDIAM.

Para componer estos anillos se parte de un modelo binario del mismo DEM resampleado a distintas resoluciones, que se almacena en el servidor, siendo posible el acceso aleatorio a cada una de las posiciones del archivo, mejorándose tremendamente el desempeño.

Es posible ahora determinar, para cada uno de estos DEM, la visibilidad efectiva y, a partir de ésta, los puntos de horizonte, así como los raster de altitud angular que nos permiten la traslación ágil a un sistema altacimutal. Pero siguiendo esta sistemática sólo obtendremos una serie de puntos salpicados en nuestra panorámica; es necesario relacionarlos convenientemente a través de líneas que conformarán nuestras líneas de horizonte.

Para ello se realiza un análisis integral de los rasters de horizontes visuales, en el que cada píxel es estudiado respecto a sus vecinos interponiendo una ventana o kernel, a la manera que se suele hacer en ciertas operaciones de filtrado espacial o de convolución de imagen (Mehl y Peinado, 1997), que modifican cada píxel en función del valor de los cercanos. Si en estas el objetivo es reforzar o suavizar los contrastes espaciales existentes entre los valores de los píxeles, transformando estos para que se asemejen o se diferencien más a los píxeles vecinos, en nuestro caso lo que se hace es analizar y determinar, mediante un barrido completo de la imagen con un kernel de 5x5 píxeles, la distancia entre los píxeles del kernel que resultan ser de horizonte, dibujando en el espacio altacimutal de eventos, un conjunto de líneas de unión de puntos de horizonte siguiendo una proporcionalidad inversa entre la distancia medida en el kernel plano y la intensidad con la que se dibuja la línea.

Según lo anterior, la relación de proximidad geométrica de los píxeles calificados 'de horizonte' de cada kernel es traducida a líneas dibujadas en el espacio altacimutal de salida, cualificándose según una escala de grises

que permite aportar un matiz 'casi artístico, como hechas a lápiz' (figura 6). Estas tonalidades son finalmente modificadas según la distancia entre el observador y la línea, de forma que las líneas más lejanas se aclaran un poco, permitiendo diferenciar los distintos planos.

Finalmente, se componen los diferentes planos de visión, correspondientes a cada uno de los DEM anulares. Generalmente el encuentro entre ellos es satisfactorio, si bien en ciertas ocasiones, normalmente relacionadas con situaciones en las que un primer plano muy cercano ocluye otro muy lejano, pueden existir imprecisiones por exceso (solape) o defecto (ámbito en blanco).

De esta manera se obtienen vistas panorámicas construidas y calculadas a partir de los puntos de horizonte (horizontes visuales) y a solicitud de cualquier coordenada (x,y,z, siendo z la altura de observación sobre el terreno, no la geodésica), dentro del ámbito establecido.

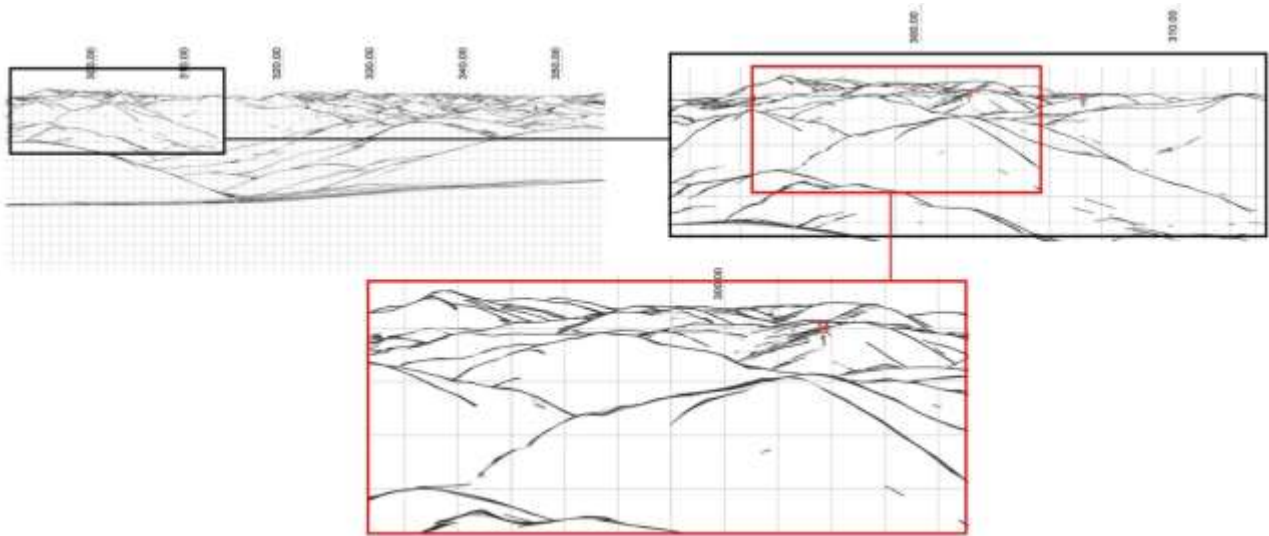


Figura 6. Ventana panorámica en distintos niveles de zoom que permiten ver como se dibujan las líneas entre los puntos de horizonte. Elaboración propia en base a datos de REDIAM.

Estas imágenes, al estar georreferenciadas y calibradas, es decir, siendo posible conocer la situación de cada punto en ellas, nos permiten añadir información adicional asociada a la posición altacimutal de cualquiera de sus puntos. Así, ha sido posible aumentar la 'realidad esquematizada' con información relacionada con el territorio y traducida en un conjunto de hitos visuales representados y la toponimia asociada en la que se incluyen: un conjunto de datos de diversas fuentes, desde los provenientes de la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional, del Ministerio de Fomento, hasta datos del Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía y de la base de datos de *Open Street Maps*.

Superpuestas a la imagen de horizontes podremos encontrar las etiquetas que señalan los 'hitos visuales' que pueden verse desde la situación de observación (figura 7). Estos son definidos mediante una localización puntual y trasladados al espacio altacimutal aplicando los mismos procedimientos del SVA.

Por último, y como un acercamiento a la representación de datos de carácter extensivo o difuso, se ha realizado un 'mapa de ámbitos toponímicos' a partir de la información del MTN50 de la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional, del Ministerio de Fomento, trazando ámbitos para los topónimos más importantes, e incluyendo los 'hitos visuales' en aquellos ámbitos a los que pertenece, para después poder representar estos ámbitos difusos como agrupaciones de puntos. Los ámbitos toponímicos pueden superponerse o contenerse unos a otros.

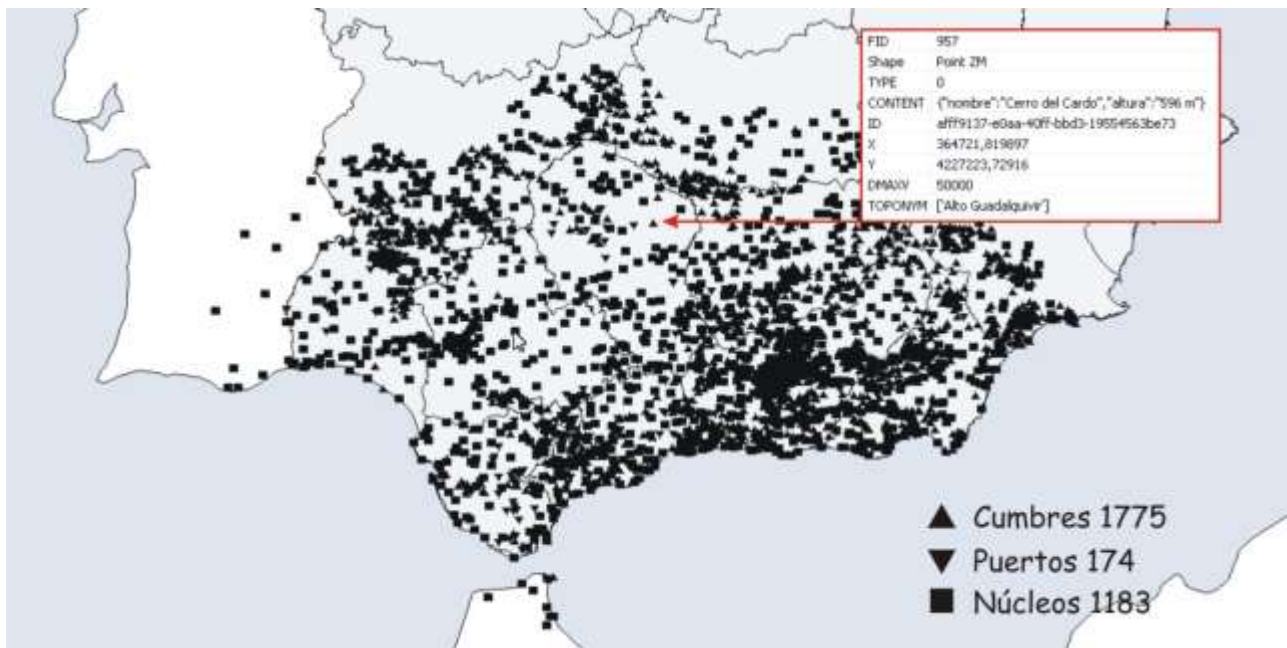


Figura 7. -Más de 3000 elementos son considerados 'hitos visuales' en el ámbito de nuestro interés. Elaboración propia en base a datos de REDIAM.

4.3 Clientes de la 'Realidad esquematizada': portal web y app móvil

Con la implementación final del servicio en un lenguaje de programación de bajo nivel (C++) las operaciones de cálculo se reducen hasta 300 veces respecto a tentativas realizadas en Python, consiguiendo dibujar la imagen solicitada en aproximadamente tres segundos, lo cual nos ha permitido generar un sencillo entorno de visualización de los resultados metodológicos.

El esquema de peticiones es el que puede verse en la figura 8: el cliente realiza en primer lugar una petición a la base de datos, enviándole una localización espacial, a lo que la base de datos responde devolviendo todos los elementos situados a una distancia inferior a la máxima de visibilidad. Es entonces cuando se realiza una petición al servicio de 'realidad esquematizada', enviándole la situación y la información relevante sobre los hitos visuales, y como respuesta se recibe la imagen de líneas de horizontes y la información necesaria sobre la localización altacimutal de los hitos y su visibilidad potencial. Esta información es filtrada por el cliente, ordenada convenientemente y presentada en la interfaz.



Figura 8. -Esquema de comunicaciones entre cliente y servidor. Elaboración propia en base a datos de REDIAM.

Partiendo de este esquema de servicio y de la base de datos de hitos visuales se desarrollan dos clientes con la idea de realizar una explotación óptima del recurso. El primero de ellos es un portal web (<http://laboratoriodiam.cica.es/drawscaping>) que, apoyándose en el API de Google Maps, ayuda a realizar las peticiones a la base de datos de hitos visuales y al propio servicio de Realidad Esquematizada. El segundo, una aplicación para dispositivos móviles Android, permite disfrutar de los contenidos con funcionalidades

propias de los dispositivos móviles. En este sentido es posible hacer peticiones del lugar donde nos encontramos gracias al posicionamiento GPS. Haciendo uso de otros sensores como el acelerómetro y la brújula podemos encuadrar la ventana percibida a través de la vista, facilitando la confrontación de la imagen con la realidad (figura. 9).



Figura 9. Recreación de APP móvil de 'realidad esquematizada'. Fuente: Elaboración propia en base a datos de REDIAM.

En ambos clientes, a la imagen esquemática del paisaje se le superponen iconos representando los hitos visuales visibles, etiquetados de tal forma que se evite el solape o superposición, y con la posibilidad de realizar una agrupación según los ámbitos toponímicos difusos a los que cada punto pertenece.

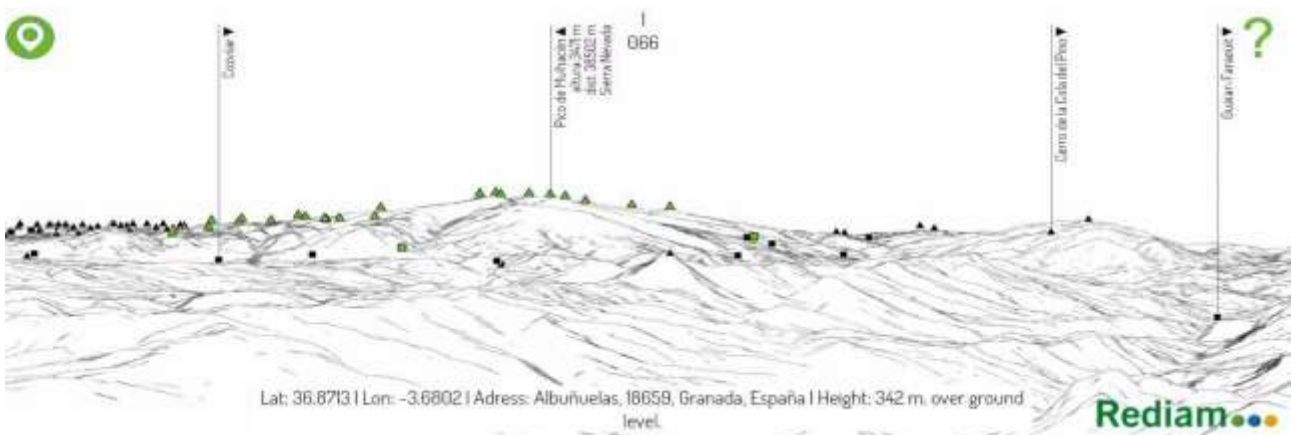


Figura 10. Visor web de la 'realidad esquematizada'. Obsérvese la gran cantidad de hitos visuales que se representan para este entorno concreto, y cómo pueden destacarse las agrupaciones que pertenezcan a un ámbito toponímico difuso (en el ejemplo, Sierra Nevada). Elaboración propia en base a datos de REDIAM.

5. RESULTADOS

Como puede verse en la figura 11, lo que se genera es una imagen de la realidad que, a la manera de los paneles informativos que solemos encontrar en los miradores, nos sirva de guía o apoyo a la interpretación de los paisajes, pero haciéndolo extensivo a la totalidad del territorio, y dotándolo de cierto nivel de interactividad a través de las acciones permitidas en las etiquetas.

6. CONCLUSIONES

La 'realidad esquematizada' puede ser aumentada con cualquier tipo de información; en este sentido se acerca más al público general que las precedentes experiencias: podemos disponer de cualquier información en esta nueva interfaz, proporcionándole una orientación específica. Es interesante pensar que podemos introducir, por ejemplo, la relativa a la localización de arquitectura defensiva, o la relacionada con la situación de yacimientos arqueológicos, acercándonos a los intereses de potenciales clientes consumidores de paisaje.

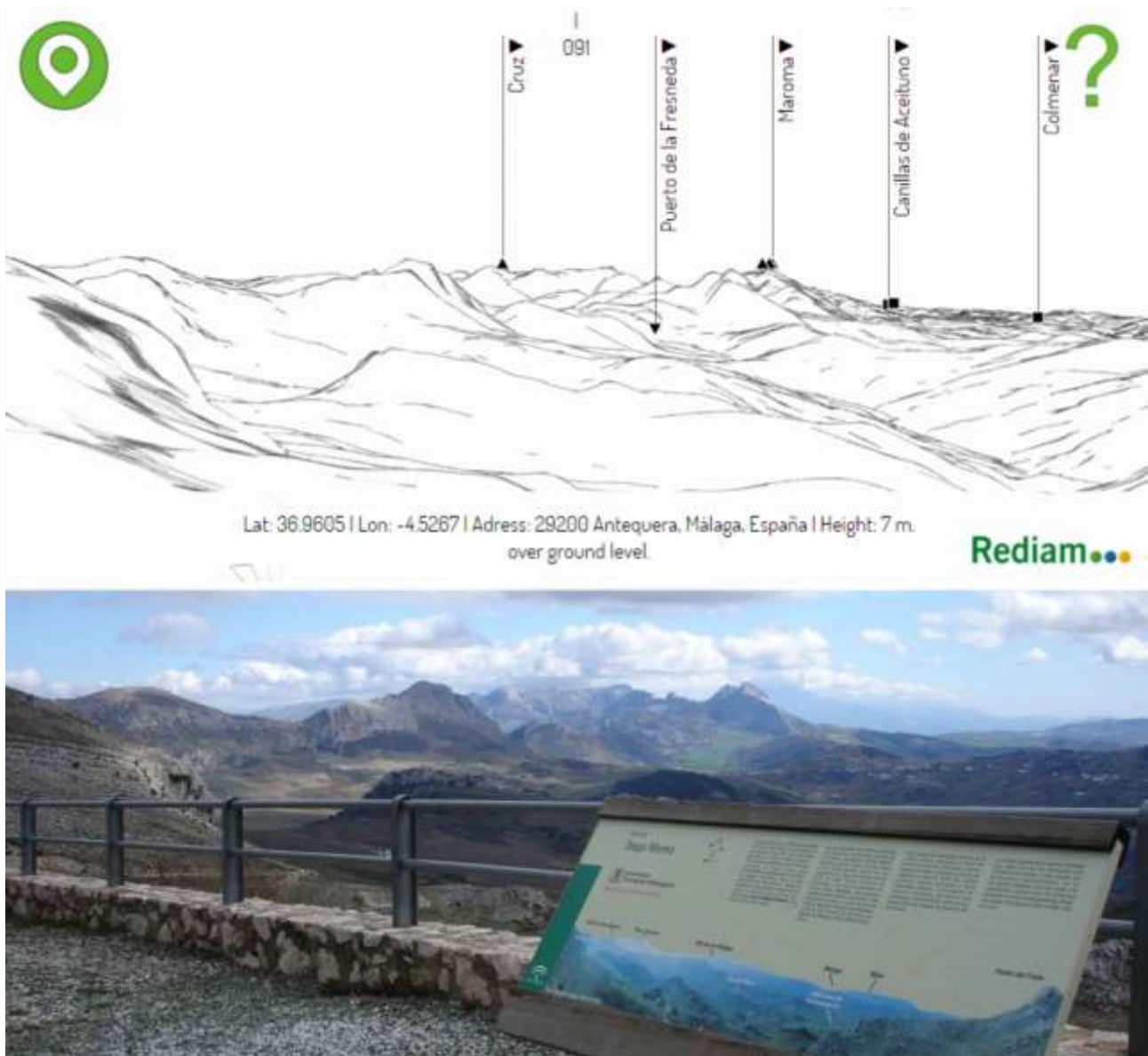


Figura 11.—Comparativa entre imagen esquematizada y realidad fotografiada. Elaboración propia en base a datos de REDIAM.

Por otro lado, algunas limitaciones de la misma vienen dadas por el encaje entre los DEM con diferentes resoluciones que, en contadas vistas, provocan efectos extraños de la imagen, traducidos en ausencia de líneas. Otras provienen de la distancia de visibilidad determinada: hemos entendido que 50 km es suficiente para la gran mayoría de los casos, pero nos encontramos situaciones en las que la regla se ve alterada por la prominencia de lo que se ve y las condiciones del territorio: Sierra Nevada es visible desde la Campiña de Córdoba, y la Sierra de Cádiz desde la Vega de Sevilla, pero este efecto no queda patente en el entorno desarrollado, al situarse más allá de la distancia máxima de visibilidad. También es necesario realizar mejoras como la introducción de líneas de costa o láminas de agua, que seguramente ayudarán en la interpretación desde determinados enclaves, como, por ejemplo, desde el océano.

Del mismo modo, algunas funcionalidades todavía quedan latentes, precisando cierto desarrollo para acabar de implementarse: por ejemplo, dada la resolución que ofrecen las imágenes, existe la posibilidad de realizar zoom sobre las mismas; también está por explotar convenientemente el modelo de datos desarrollado para los hitos visuales, que permitiría un filtrado más inteligente, basado en las preferencias del usuario, o un nivel de interactividad con las etiquetas mucho mayor.

7. BIBLIOGRAFÍA

Giménez de Azcárate, F., Romero, D., Guerrero, J.J., Ghislanzoni, M., Cuenca, L., Cáceres, F., Moreira, J.M. (2014): "Transformación de una representación cartográfica convencional en una imagen oblicua semejante a la percepción visual humana sobre el terreno: desarrollo de un visor de doble ventana mapa-panorama. REDIAM", en *Actas del XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica*. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>, pp. 504-515. Junio 2014, Alicante. XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica.

Alcántara, J., Romero, D., Romero, A., Ghislanzoni, M., Guerrero, J.J., Giménez de Azcárate, F., Cáceres, F., Moreira, J.M. (2014): "Obtención de horizontes visuales a partir del Sistema de Visibilidad de Andalucía (REDIAM) y su aplicación en la identificación de unidades de paisaje", en *Actas del XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica*. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>, pp. 302-312. Junio 2014, Alicante. XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica.

Baatz, G., Saurer, O., Köser, K., Pollefeys, M. (2012): "Large Scale Visual Geo-Localization of Images in Mountainous Terrain", en *ECCV 2, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 7573. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, pp. 517-530.

Chippendale, P. Zanin, M., and Andreatta C., (2008): "Spatial and temporal attractiveness analysis through geo-referenced photo alignment", en *Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, vol. 2, pp. II-1116 –II-1119. Julio 2008, Boston (MA). IGARSS 2008.

Baboud, L., Cadik, M., Eisemann, E., Seidel, H.P. (2011): "Automatic Photo-to-terrain Alignment for the Annotation of Mountain Pictures", en *Proceedings of the 2011 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, (CVPR)*, pp. 41-48. Julio 2011, Richmond (VA). 2011 IEEE CVPR.

Liu, W.H. y Su, C.W. (2014): "Automatic peak recognition for mountain images", en Huang, Y.M., Chao, H.C., Deng, D.J. y Park, J. (Eds.): *Advanced Technologies, Embedded and Multimedia for Human-centric Computing*, vol. 260. Lecture Notes in Electrical Engineering. Dordrecht, Springer, pp. 1115-1121.

Fedorov, R., Fraternali, P. y Tagliasacchi, M. (2014): "Mountain Peak Identification in Visual Content Based on Coarse Digital Elevation Models", en *Proceedings of the 3rd ACM International Workshop on Multimedia Analysis for Ecological Data (MAED '14)*. New York (NY), ACM. Noviembre 2014, Orlando (FA). MAED '14.

Mehl, H y Peinado, O. (1997): "Fundamentos del procesamiento digital de imágenes", en Mehl H. y Mies E. (Eds.): *Aplicación de la teledetección y de los sistemas de información geográfica en la gestión de recursos naturales*. Zschortau (Alemania), Deutsche Stiftung für Internationale Entwicklung (DSE), pp. 63-101.

VALIDACIÓN Y PROPUESTA PARA LA MEJORA DE LA CAPA DE ALTA RESOLUCIÓN DE HUMEDALES DEL PROYECTO COPÉRNICO

Rebeca Ruíz-Martínez¹, Ana Isabel Marín-Guerrero^{1,2}, Dania Abdul Malak²

¹ Grupo de Hidrogeología de la Universidad de Málaga, Departamento de Ecología y Geología, Bulevar Louis Pasteur, Campus Universitario de Teatinos, 29071, Málaga, España. rebecageo@uma.es.

² Centro Temático Europeo de la Universidad de Málaga (ETC-UMA), C\Francisco Peñalosa, Edificio Ada Byron, 29010, Málaga, España). aimarin@uma.es, daniaabdulmalak@uma.es.

RESUMEN

El presente trabajo presenta una validación de la capa de Alta Resolución de Humedales del Programa Copérnico a escala regional sobre la Comunidad Autónoma de Andalucía. La Capa de Alta Resolución de Humedales (HRL humedales) a escala europea, ha sido desarrollada por la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), junto con la Agencia Espacial Europea (ESA) a partir de imágenes satélite y técnicas de teledetección con el objetivo de aportar información accesible y precisa sobre aspectos ambientales para el cumplimiento de las obligaciones de los Estados miembros. Actualmente, esta capa se encuentra en fase de redefinición y mejora metodológica.

La metodología de validación utilizada se ha basado en el análisis comparativo de la superficie total de humedales detectada (validación no espacial) y en la obtención de matrices de confusión e índices de precisión derivados (validación espacial). Los resultados obtenidos muestran que la exactitud temática de la capa de HR de humedales no es suficiente para que sea de utilidad en las tareas de gestión de humedales y en desarrollo de políticas locales, regionales, o nacionales. La inconsistencia entre información de la capa de HR de humedales y las capas de referencia se debe principalmente a la carencia de una definición hidrológica - ecológica en la metodología de producción de la capa de HR.

Con el objetivo de mejorar la capa de HR de humedales del Programa Copérnico se han incluido algunos aspectos básicos que supondrían una mejora sustancial del producto ofrecido por la ESA y la AEMA.

Palabras clave: Alta resolución; Programa Copérnico; teledetección; validación; imágenes satélite; matriz de confusión.

ABSTRACT

This paper focuses on the validation of Pan-European High Resolution Layer of wetland (HRL of wetlands) from Copernicus programme at regional scale - Autonomous Community of Andalusia-. The HRL of wetlands has been created by European Environment Agency (EEA) and the European Space Agency (ESA) from satellites images and remote sensing in order provide accurate, timely and easily accessible information related to the environmental obligations of the Members States.

The validation methodology was based on a comparative analysis of the wetlands area (statistical validation) and on a spatial validation through confusion matrix and accuracy metric derivatives. The results obtained at regional scales showed that accuracy of results is insufficient to be used a national and regional scales; the two types of validation have given high error rates. The inconsistency between the HRL wetland and the reference layers is mainly due to the lack of definition of the wetland's ecological character.

In order to improve the HRL of wetland, several suggestions about this layer have been included aiming to lead a substantial improvement of the product offered by ESA and the EEA.

Keywords: High Resolution; Copernicus Programme; remote sensing; validation; satellites images; confusion matrix.

1. INTRODUCCIÓN

La gestión de los humedales dentro de los compromisos adquiridos en la Convención de Ramsar implica la elaboración de inventarios nacionales de humedales, así como realizar una evaluación y monitoreo del estado y de las presiones que podrían producir cambios en las características ecológicas de los mismos.

Con el objetivo de ayudar a los Estados miembros a cumplir con sus obligaciones políticas, la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) y la Agencia Espacial Europea (ESA), están desarrollando, dentro del Programa Copérnico, la Capa de Alta Resolución de Humedales (en adelante HRL de humedales) a escala europea. Copérnico es un sistema europeo de vigilancia de la Tierra, basado en teledetección y sensores in-situ que proporciona información precisa, fiable y actualizada sobre la superficie terrestre. Sin embargo, la HRL de humedales es uno de los productos de Copérnico que más controversia ha generado por la falta de consenso conceptual del producto y por la deficiencia en la identificación de los elementos cartografiados con respecto a los productos nacionales. Actualmente esta capa se encuentra en una fase de análisis y validación por los Estados y por la propia AEMA.

En este contexto se ha desarrollado el presente trabajo que pretende, en términos generales, aplicar diferentes técnicas de validación para evaluar el nivel de detección de humedales de esta capa, con el fin de estimar la validez de la misma para ser utilizada en programas de conservación, gestión y manejo de humedales.

El proceso de validación se ha realizado mediante la comparación de la HRL con mapas de referencia existentes, fotografías aéreas o datos recolectados en campo. Las capas de referencia utilizadas para la validación de la HRL de humedales son: mapa de usos y coberturas del suelo -CLC-, el Inventario de humedales de Andalucía -IHA-, la base Cartográfica Nacional a escala 1:25.000 -BCN25-, y fotografías satelitales de Google Earth.

La alta diversidad en la concepción y definición de los humedales existente en la literatura científica supone un hándicap para la realización de los análisis comparativos y consecuentemente para la validación de la HRL de humedales. Actualmente no existe una definición de humedal consensuada a nivel global y las que existen suelen mezclar conceptos muy dispares desde el punto de vista ecológico. En lo referente a la identificación, inventario y delimitación de humedales, es indispensable poseer una definición científica que refleje el concepto ecológico de humedal con el fin de disponer de criterios objetivos para identificar si un determinado espacio, es o ha sido, hidrológica y ecológicamente, un humedal. En esa línea la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio desarrolló en el Plan Andaluz de Humedales (PAH) una definición, de carácter científico, adaptada a las características propias del rico y variado patrimonio de humedales que posee Andalucía.

En este trabajo, debido a que (1): la principal finalidad de la capa de HR es que puedan ser utilizadas en programas de conservación, gestión y manejo de humedales; (2): que cualquier estrategia sólida y efectiva de conservación de los humedales de un territorio, debe partir de una definición científica de humedal (CMAJA, 2002), se utiliza como definición de referencia la adoptada por el PAH.

2. ÁMBITO DE ESTUDIO

La Comunidad autónoma andaluza posee el patrimonio natural de humedales litorales e interiores más ricos y mejor conservados de España y de la Unión Europea, albergando el 17% del total de las zonas húmedas españolas, que en superficie supone el 56% de la extensión total de las áreas inundables españolas. Estos enclaves cuentan con una alta diversidad de tipos ecológicos, algunos como los de las lagunas endorreicas hipersalinas, únicos en el ámbito de la Unión Europea.

La creación del Inventario de Humedales de Andalucía (IHA) pretende recoger catalogada y sistemáticamente todos los humedales existentes que tengan un especial valor natural. Se constituye como instrumento al servicio de las funciones de planificación y programación de la Consejería en materia de espacios naturales. El

IHA cuenta en la actualidad con 189 humedales, de los cuales 25 están incluidos en la Lista Ramsar. Estas áreas suponen además el 44,7% de los enclaves incluidos en la Red de Espacio Naturales Protegidos de Andalucía.

3. METODOLOGÍA

La validación de las capas de información geográfica se ha realizado por varios procedimientos. El más sencillo es el **proceso de validación no espacial**, que consiste en el análisis comparativo de la superficie total definida como humedal en la capa a validar y las capas de referencia. En este tipo de validación se utilizan como capas de referencia el IHA y la BCN25. Este método proporciona el grado de ajuste entre dos fuentes, pero no informa sobre dónde se presentan los errores. Se realizan dos tipos de análisis comparativos:

1) Análisis comparativo simple de la superficie total definida como humedal en la capa objeto de estudio y en las capas de referencia. El objetivo principal de este primer análisis es conocer, a priori, las diferencias más significativas de la superficie total de humedales detectada entre ambas capas.

2) Análisis comparativo detallado de superficie total de humedales pixel a pixel, cuyo objetivo es calcular los errores y el porcentaje de coincidencia entre ambas capas:

- Error A: porcentaje de área de humedal detectado en la capa de HR de humedales que no se encuentra en la capa de referencia.
- Error B: porcentaje de área definido como humedal en las capas de referencia que no han sido detectadas en la capa de HR de humedales.
- Coincidencia: porcentaje de área definido como humedal tanto en las capas de referencia como en la capa de HR de humedales.

El segundo método consiste en seleccionar una muestra de lugares y determinar las relaciones entre la capa objeto de estudio y la de referencia a partir de una matriz de confusión (Strahler, et al., 2006). Estas validaciones se denominan **validaciones espaciales**, porque ofrecen una imagen del patrón espacial del error. La matriz de confusión indica, de forma tabular, las correspondencias entre las clases del producto a evaluar y el de referencia (Moreno y Chuvieco, 2009). La diagonal de la matriz expresa el número de puntos de muestreo donde se produce un acuerdo entre las dos capas, mientras que los elementos situados fuera de la diagonal son errores de clasificación. La matriz de confusión permite estimar la precisión global y los errores de clasificación de la capa objeto de estudio, mediante:

- Precisión global (**F**): relación del número de píxeles correctamente clasificados y el total de píxeles muestreados.

$$F = \frac{\sum_{i=1,n} X_{ii}}{\sum_{i=1,n} \sum_{j=1,n} X_{ij}}$$

Donde X_{ii} son los píxeles correctamente asignados y n es el tamaño de la muestra.

- Error de comisión (**Ec**): píxeles clasificados como humedales en la capa objeto de estudio pero la validación demuestra que en realidad no lo son.
- Error de omisión (**EO**): píxeles que no están clasificados como humedales en la capa objeto de estudio, pero la validación demuestra que en realidad son humedales.

$$E_{c,i} = \frac{X_{i+} - X_{ii}}{X_{i+}} \quad E_{o,i} = \frac{X_{+i} - X_{ii}}{X_{+i}}$$

Donde X_{i+} indica el marginal de la fila i , X_{ii} la diagonal de dicha fila, X_{+i} indica el marginal de la columna i y X_{ii} la diagonal de dicha columna.

A partir de los errores de comisión y omisión se calculan la precisión del usuario (F_u) y del productor (F_p), siendo la precisión del usuario la inversa del error de comisión y la precisión del productor la inversa de del error de omisión:

$$F_{p,i} = \frac{X_{ii}}{X_{+i}} \quad F_{u,i} = \frac{X_{ii}}{X_{i+}}$$

Otra medida de exactitud es el estadístico Kappa (K) (Cohen, 1960), que mide la diferencia entre el acuerdo mapa-realidad observado y el que cabría esperar aleatoriamente. Este valor intenta delimitar el grado de ajuste debido sólo a la exactitud de la clasificación, prescindiendo del causado por factores aleatorios (Congalton, 1991). Se estima mediante la siguiente fórmula

$$K = \frac{n \sum_{i=1,n} X_{ii} - \sum_{i=1,n} X_{i+} X_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1,n} X_{i+} X_{+i}}$$

Donde n es el tamaño de la muestra, X_{ii} el acuerdo observado y el producto de los marginales ($X_{i+} X_{+i}$) el acuerdo esperado en cada categoría. El valor K varía entre -1 y 1

Landis y Kock (1977), propusieron una gradación del nivel de concordancia entre las capas analizadas de acuerdo con el valor del coeficiente K (Tabla 1) y, desde entonces, ha sido ampliamente usada:

| Valor de K | Grado de acuerdo |
|--------------|------------------|
| < 0 | Sin acuerdo |
| 0 - 0,2 | Insignificante |
| 0,2 - 0,4 | Bajo |
| 0,4 - 0,6 | Moderado |

Tabla 1. Escala de valoración del coeficiente Kappa

Para realizar la validación espacial se han abordado dos tipos de análisis que se complementan entre sí: la validación espacial basada en píxeles y la basada en la entidad espacial "humedal". En ambos casos, se parte de una muestra de puntos de análisis y validación que son contrastados a estas dos escalas. El método de muestreo consiste en seleccionar la muestra dividiendo la población en regiones o estratos, para posteriormente seleccionar puntos de muestreo de forma aleatoria de ambos estratos (Chuvieco, 1995). Se crean dos estratos:

- Estrato 1: superficie correspondiente al error A (área definida como humedal en la capa de objeto de estudio que no ha sido detectada en las capas de referencia) calculado en el proceso de validación no espacial. Se utiliza para la estimación de los errores de comisión.
- Estrato 2: superficie correspondiente al error B (área definida como humedal en las capas de referencia pero que no han sido detectada en las capa objeto de estudio) calculado en el proceso de validación no espacial. Se utiliza para la estimación de los errores de omisión.

En el **proceso de validación espacial basada en píxeles** los puntos de muestreo se asocian a un píxel de la capa de manera que a cada punto le corresponde el valor del píxel espacialmente coincidente tanto en la capa a validar como en la capa de referencia, con el fin de comparar la información contenida en ellos. En este proceso de validación se utiliza el CLC como producto de referencia.

El **proceso de validación espacial basada en humedales** se compara el humedal asociado a cada punto de muestreo con la realidad del terreno mediante fotointerpretación (imágenes satelitales de Google Earth). Se ha utilizado adicionalmente en los casos en los que podía haber dudas el IHA (configurado según las directrices del PHA) con el fin de identificar que unidad geográfica es o no realmente un humedal. Esta técnica de análisis

permite obtener una mejor visión de la información representada en la capa a validar ya que al trabajar a nivel de “entidad espacial” evita contabilizar como error aquellos casos en los que, por ejemplo, la capa analizada tiene identificado el humedal aunque con un área y/o delimitación diferente lo que llevaría a que los puntos de muestreos localizados en los bordes (por el propio proceso de aleatoriedad) pudiesen ser detectados como error. De acuerdo con las especificaciones de la AEMA, se considera error de omisión cuando la cobertura del humedal detectada por la capa de HR es inferior al 30 % de la cobertura real.

4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el **proceso de validación no espacial**, los resultados del análisis comparativo simple muestran que la superficie de humedal cartografiada en las capas de referencia (134.990 Ha el IHA y 50.440 Ha la BCN25) es muy superior a la superficie de humedal detectada en la capa de HR de humedales (21.233 Ha). Los resultados del análisis comparativo detallado pixel a pixel de las diferentes clases existentes (tabla 2) muestran como tanto el error A como el error B son muy elevados y el nivel de coincidencia entre ambas capas es muy bajo.

| Errores y grado de coincidencia (%) | Comparativa HRL humedales y IAH | Comparativa HRL humedales y la BCN25 |
|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| Error A | 80,6 | 80,95 |
| Error B | 96,9 | 91,81 |
| Coincidencia | 19,3 | 19,03 |

Tabla 2. Resultados obtenidos en el análisis comparativo de superficie de humedales pixel a pixel

La matriz de confusión generada en el **proceso de validación basado en pixeles** muestra errores de comisión y omisión altos (Tabla 3). La precisión global del proceso es del 58%, sólo el 58% de los pixeles muestreados pertenecen a la misma clase en las capas comparadas. El estadístico *K* ofrece un valor de 0,16 lo que indica, según la clasificación del estadístico Kappa (tabla 1), que el grado de ajuste entre ambas capas es insignificante. Estos resultados indican que el éxito global de la clasificación es bajo, ya que la precisión global no alcanza el valor mínimo estandarizado y aceptado en un 80% para poder decir que la clasificación ha sido exitosa.

| | Capa de Referencia CLC | | | | | |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------|-----------------------|-------------------|
| | | Clase 1 (Sí Humedal) | Clase 2 (No Humedal) | Total | Precisión del usuario | Error de Comisión |
| Capa de HR de humedales | Clase 1 (Sí Humedal) | 323 | 477 | 800 | 40,38% | 59,63% |
| | Clase 2 (No Humedal) | 194 | 606 | 800 | 75,75% | 24,25% |
| | Total | 517 | 1083 | 1600 | | |
| | Precisión del productor | 62,48% | 55,96% | | | |
| | Error de Omisión | 37,52% | 44,04% | | | |

Tabla 3. Matriz de confusión generada en el proceso de validación espacial basado en pixeles

En la matriz de confusión generada en el **proceso de validación espacial basado en humedales** (Tabla 4) se observa que para la clase 1 (presencia de humedales), tanto la precisión del usuario como la del productor son muy bajas, un 8 % y un 9,64 % respectivamente, lo que consecuentemente se traduce en un alto valor de los errores de comisión y omisión.

| <i>Capa de Referencia. Ortofotografías de Google Earth</i> | | | | | | |
|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------|-----------------------|-------------------|
| <i>Capa de HR de humedales</i> | | Clase 1 (Sí Humedal) | Clase 2 (No Humedal) | Total | Precisión del usuario | Error de Comisión |
| | Clase 1 (Sí Humedal) | 8 | 92 | 100 | 8,00% | 92% |
| | Clase 2 (No Humedal) | 75 | 25 | 100 | 75,75% | 75% |
| | Total | 83 | 52 | 200 | | |
| | Precisión del productor | 9,64% | 21,37% | | | |
| | Error de Omisión | 90,36% | 78,63% | | | |

Tabla 4. Matriz de confusión generada en el proceso de validación espacial basado en humedales

La foteointerpretación (Figura 1) muestra los principales errores de comisión en las zonas temporalmente secas dentro de los límites de las cuencas de los embalses y en superficies de agua permanentes, tanto naturales (ríos, lagos) como artificiales (balsas de riego, balsas para ganado, lagunas artificiales de campos de golf, piscinas etc.). Otros errores de comisión importantes se localizan en grandes áreas de cultivo de arroz y en terrenos agrícolas de regadío. Además, existen errores de comisión aislados en zonas de construcción como vías de comunicación y parkings.

En cuanto a los errores de omisión, los errores más importantes se detectan en humedales costeros (marismas, zonas llanas intermareales, albuferas, estuarios y salinas). Tanto es así que uno de los humedales más importantes de España, como es el caso de las Marismas de Doñana, es omitido completamente en la HRL de humedales. Los humedales interiores tampoco son detectados en su totalidad, existen muchos casos en los que la capa de HR sólo detecta una mínima parte de la extensión del humedal e incluso en algunas ocasiones, quedan completamente omitidos.

Figura 1. Errores de clasificación detectados en el proceso de validación espacial basada en humedales. Las imágenes muestran en magenta la capa de HR de humedales



Figura 1. A Error de Comisión: Embalse de la Breña localizado en Almodóvar del Río (Córdoba).



Figura 1. B Error de Comisión: ribera del río Guadalquivir incorrectamente clasificado como humedal



Figura 1. C Error de Comisión: Lagunas artificiales del campo de golf de El Ejido (Almería).



Figura 1. D Error de Comisión: zona de extracción minera localizada en Bailén (Jaén).



Figura 1. E Error de omisión: Marisma de Doñana (Huelva).



Figura 1. F Error de omisión: Laguna del Taraje localizada en Puerto Real (Cádiz) parcialmente omitida.

Los resultados obtenidos en los procedimientos de validación aplicados a la capa de HR de humedales muestran que la exactitud temática no es suficiente para apoyar a los Estados Miembros en sus actividades nacionales de inventariado y monitoreo para la gestión de los humedales. La información de la HRL de humedales no es consistente con las fuentes de información de humedales existentes en nuestro país, debido principalmente a la propia definición de humedal desarrollada en la metodología de detección de la capa de HR humedales en la que se muestra como esta capa excluye las superficie de aguas permanente, llegando incluso a incluir únicamente los márgenes de humedales.

Con el fin de superar estos inconvenientes, se ha procedido a realizar una propuesta de mejora mediante la creación de una capa de humedales basada a la definición científica de humedal del PAH. (Figura 2). El enfoque estándar consiste en combinar espacialmente la capa de HR de aguas permanentes (otra capa de alta resolución perteneciente al proyecto Copérnico) con la capa de HR de humedales para posteriormente derivar a partir de ésta una nueva capa que contenga únicamente los humedales cartografiados en el IHA. Para solventar los errores de omisión del IHA detectados en el proceso de validación basado en humedales de la capa de HR de humedales (humedales detectados tanto en la capa de HR como en el CLC que no se encuentran cartografiados en el IHA), como paso final del proceso, se realiza la superposición de la capa generada con estos errores. El objetivo principal de esta propuesta de mejora es determinar el grado de detección de humedales de las capas de HR en base a una definición científica de humedal para poder conocer cómo influiría en la calidad de las capas de HR el aporte por parte de los Estados de toda la información existente en ellos.

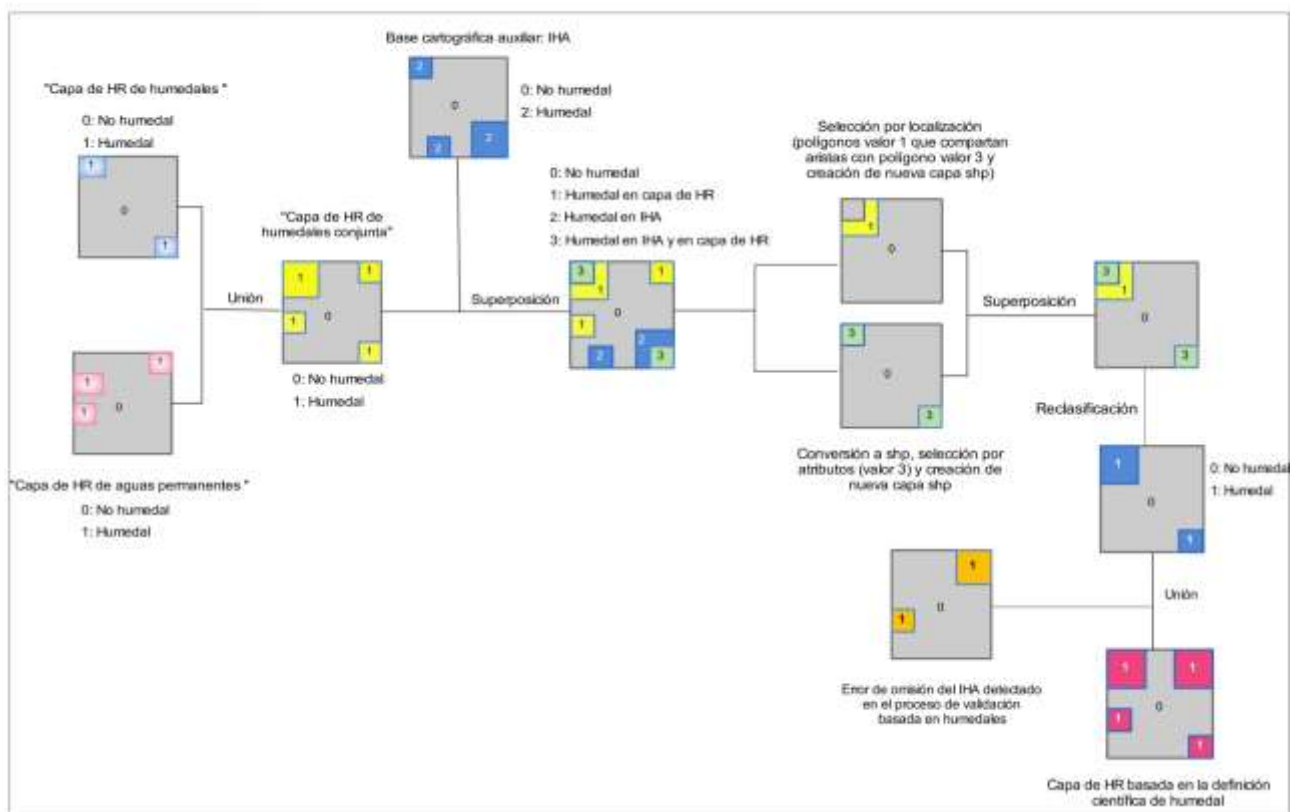


Figura 2. Metodología seguida para la creación de una capa de HR de humedales basada en la definición científica de humedal adoptada por el PHA

La HRL de humedales basada en la definición científica ha sido sometida a los mismos procesos de validación que la capa original de Copérnico para cerciorar que realmente existe una mejora respecto a la original. Los resultados del análisis comparativo detallado de la Superficie Total de Humedales pixel a pixel (Tabla 5) muestran como el error A disminuye considerablemente, mientras que el error B continua siendo muy elevado en ambas comparativas.

| Errores y grado de coincidencia (%) | Comparativa HRL humedales y IAH | Comparativa HRL humedales y la BCN25 |
|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| Error A | 4,85 | 23,46 |
| Error B | 94,75 | 90 |
| Coincidencia | 61,96 | 43,35 |

Tabla 5. Resultados obtenidos en el análisis comparativo de superficie de humedales pixel a pixel

En la tabla 6 se muestran los resultados de la matriz de confusión generada en el proceso de validación espacial basado en pixeles. La precisión global es del 81,8 %, por lo que se alcanza el valor mínimo estandarizado y aceptado en un 80% para poder decir que la clasificación ha sido exitosa. El coeficiente Kappa ofrece un valor de 0,57 lo que indica, según la clasificación del estadístico Kappa propuesta por Landis y Koch (tabla 1), que el grado de acuerdo es moderado.

| Capa HR de humedales definición científica | Capa de Referencia CLC | | | | | |
|--|-------------------------|----------------------|----------------------|-------|-----------------------|-------------------|
| | | Clase 1 (Sí Humedal) | Clase 2 (No Humedal) | Total | Precisión del usuario | Error de Comisión |
| | Clase 1 (Sí Humedal) | 332 | 57 | 389 | 85,35% | 14,65% |
| | Clase 2 (No Humedal) | 234 | 977 | 1211 | 80,68% | 19,32% |
| | Total | 566 | 1034 | 1600 | | |
| | Precisión del productor | 58,66% | 94,49% | | | |
| Error de Omisión | 41,34% | 5,51% | | | | |

Tabla 6. Matriz de confusión generada en el proceso de validación espacial basado en píxeles

A nivel de humedal, se logra reducir el error de omisión al 31.6% (Tabla 7). Este valor de error se debe a que una gran parte de los humedales no son detectados, o la superficie detectada es inferior al 30% de la superficie real (Figura 3). En cuanto al error de comisión se consigue erradicar por completo debido a que las entidades espaciales no recogidas en el IHA (ríos, embalses etc.,) quedan excluidas de esta nueva capa.

| Capa HR de humedales definición científica | Capa de Referencia. Ortofotografías de Google Earth | | | | | |
|--|---|----------------------|----------------------|-------|-----------------------|-------------------|
| | | Clase 1 (Sí Humedal) | Clase 2 (No Humedal) | Total | Precisión del usuario | Error de Comisión |
| | Clase 1 (Sí Humedal) | 100 | 0 | 100 | 100% | 0% |
| | Clase 2 (No Humedal) | 46 | 54 | 100 | 54% | 46% |
| | Total | 146 | 52 | 200 | | |
| | Precisión del productor | 68,4% | 100% | | | |
| Error de Omisión | 31,6% | 0 | | | | |

Tabla 7. Matriz de confusión generada en el proceso de validación espacial basado en humedales

Figura 3. Errores detectados en el proceso de validación espacial de la capa de HR basada en la definición científica. Las imágenes muestran en magenta la capa de HR de humedales, en azul la capa de HR de aguas permanentes y en blanco los límites del IHA.



Figura 3. A Error de omisión. Marismas de Barbate (Cádiz) en la que se detecta menos del 30% de su superficie

Figura 3. B Error de omisión. Laguna de Rincón del Muerto localizada en Baena (Córdoba) completamente omitida.

5. CONCLUSIONES

El objetivo principal de este trabajo es la validación de la capa de HR de humedales del Programa Copérnico mediante la comparación con unos productos regionales más fiables para la obtención de una medida de cuantificación sobre su exactitud global. Los resultados que se han obtenido de la evaluación de la exactitud mediante la matriz de confusión muestran un bajo grado de ajuste con los datos de referencia (CLC), tanto en la precisión global como en el estadístico k (P.G= 58%, K= 0,16). Este hecho se debe fundamentalmente a que la capa de HR de humedales de Copérnico fue generada de acuerdo con una definición poco rigurosa y ambigua de humedal más próxima a la detección de aguas temporales que al concepto de humedal, lo que conlleva a que se incluya los márgenes de ríos y embalses y, a que, en muchos casos sólo se detecte los bordes de las lagunas y las marismas. Como consecuencia, la exactitud temática no es suficiente para apoyar a los Estados miembros en sus actividades nacionales de cartografía y de monitoreo para la gestión de los humedales.

Con el objetivo de superar estos inconvenientes, en el marco de este trabajo se ha propuesto una posible mejora de la capa de HR de humedales basada en la definición científica de humedal del PAH. Los resultados obtenidos de la evaluación de la exactitud (P.G= 81,8 %, K= 0,57) demuestran que esta capa presenta mejor ajuste con la capa de referencia. La precisión global supera el valor mínimo exigido por lo que la clasificación se considera satisfactoria. Por tanto, se considera esta propuesta una mejora sustancial de los resultados y de la utilidad de la capas aportadas por el Programa Copérnico, en el caso de que se extrapolaran los resultados a nivel europeo.

Finalmente, cabe destacar que, aun salvando los problemas asociados al concepto de humedal, dentro del Programa Copérnico existen importantes errores asociados al proceso de captura de imagen satelital o al posterior procesamiento y su resolución que, aunque quedan fuera del alcance de este trabajo son cruciales ya que, humedales tan importantes como el de la Marismas de Doñana, no han sido identificados en la capa HR de humedal ni en la capa HR de agua permanente. Este hecho hace que la capa de HR de humedales no sea útil en la gestión de los humedales por parte de los Estados por lo que, actualmente, se encuentra bajo un proceso de redefinición y mejora.

6. BIBLIOGRAFÍA

CMAJA. (2002): *Plan Andaluz de Humedales. Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.*

Strahler, A. H., Boschetti, L., Foody, G. M., Friedl, M. A., Hansen, M. C., Herold, M., & Woodcock, C. E. (2006): *Global land cover validation: Recommendations for evaluation and accuracy assessment of global land cover maps.* <http://landval.gsfc.nasa.gov/pdf/GlobalLandCoverValidation.pdf>, Luxemburgo, Office for Official Publications of the European Communities.

Moreno, V. y Chuvieco, E. (2009): "Validación de productos globales de cobertura del suelo en la España Peninsular", *Revista de teledetección*, 31, 5-22.

Congalton, R. G. (1991): "A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data", *Remote Sensing of Environment*, 37, 35-46.

Cohen, J. (1960): "A coefficient of agreement for nominal scales", *Educational and Psychological Measurement*, 20, 37-46.

Landis, J. R. y Kock, G. G. (1977): "The measurement of observer agreement for categorical data", *Biometrics*, 159-174.

Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de Teledetección Espacial* (2da ed.). Madrid, RIALP, S.A.

METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA CICLABILIDAD DE LA RED URBANA DE CARRILES BICI. APLICACIÓN A LA CIUDAD DE MÁLAGA

Manuel Sánchez-Villalba

Graduado en geografía y gestión del territorio, Universidad de Málaga, Campus de Teatinos s/n, 29071, Málaga, España.
manuelsanchezvillalba@gmail.com

RESUMEN

El presente trabajo muestra una nueva metodología para evaluar la ciclabilidad de los carriles bici urbanos y su aplicación a la ciudad de Málaga. El cálculo de la ciclabilidad está basado en 3 criterios: visibilidad, anchura y sinuosidad. El índice final se obtiene mediante la sumatoria de tres variables y permite conocer los puntos fuertes y débiles de los tramos de la red de carriles bici. Esta metodología tiene el propósito de proporcionar información, a las administraciones, para la mejora de los trazados de los carriles bici de futura creación.

Los resultados de aplicar la metodología en la ciudad de Málaga muestran valores indicativos de la necesidad de mejorar el trazado de la red de carriles bici, puesto que solo 1/3 muestra valores con una aptitud Alta o Muy Alta.

Palabras claves: Málaga; carril bici; SIG; visibilidad; anchura; sinuosidad, ciclabilidad.

ABSTRACT

This paper presents a new methodology to assess the cyclability of urban bike path and its application to the city of Malaga. Cyclability calculation is based on three criteria: visibility, width and sinuosity. The final index is obtained by the sum of three variables and provides insight into the strengths and weaknesses of the sections of the network of cycle paths points. This methodology is intended to provide information, administrations, to improve the paths bike lanes of future creation.

The results of applying the methodology in the city of Málaga are values indicative of the need to improve the layout of the network of cycle paths, since only 1/3 shows fitness values with a high or very high.

Keywords: Malaga; bike path; GIS; visibility; width; sinuosity, cyclability.

1. ESTRUCTURA DE LA COMUNICACIÓN Y DESARROLLO DE LOS APARTADOS

1.1 Introducción

La movilidad sostenible en las zonas urbanas se ha convertido en un objetivo prioritario de las políticas locales (Berloco y Colonna, 2012; p. 1). En este escenario aparece la bicicleta, plenamente reconocida como un medio más de transporte urbano (Delegación de Movilidad. Área de Tráfico y Transporte público, 2011; p. 132), pero, en algunos casos, las personas que usan la bicicleta pueden ser forzadas a adaptarse a condiciones inadecuadas (Alcántara Vasconcellos, 2010; p. 103). La bicicleta puede circular por el centro de la calzada, siempre que no cuente con una infraestructura adaptada a ello, pero es evidente la fragilidad de los usuarios frente al coche, y más aún en calles donde la velocidad de circulación es elevada (MAGRAMA, 2010; p. 60). Por ello, se necesita la construcción de infraestructuras, como carriles bici y la elaboración y distribución de planos de carriles y/o aparcamientos, que animen a su uso (Ull Soíl, 2008, p. 362). Un carril bici no es sólo una pintura sobre la acera o el asfalto, es una infraestructura para mantener la seguridad de un ciclista, junto con las señalizaciones, la conservación de las vías, etc.

La planificación y el diseño de todas las redes de movilidad, es decir, de peatones, bicicletas, transporte público, coche, motos y mercancías, tienen que estar presentes en la planificación urbanística con el mismo

nivel de rigor técnico. La planificación y el diseño de estas redes hacen necesaria la existencia de una normativa urbanística. Para Dombriz Lozano (2009, p.7) “la necesidad de que la normativa urbanística obligue a los planes urbanísticos a incorporar un estudio de evaluación de movilidad generada en el que se dimensionen los efectos sobre la movilidad de las decisiones urbanísticas y se diseñen las redes de movilidad (peatones, bicicletas, transporte público o privado) necesarias para satisfacer las nuevas demandas. Así lo ha realizado la DTG en el Manual de recomendación de diseño, construcción, infraestructuras, señalización, balizamiento, conservación y mantenimiento del carril bici del año 2000, la Junta de Andalucía a través del Plan Andaluz de Bicicleta, del año 2014 o el Ayuntamiento de Málaga mediante el Plan Municipal de Movilidad Sostenible de Málaga de Febrero de 2011. Por otro lado, hay estudios que han analizado aspectos relacionados con la ciclabilidad como el llevado a cabo por Sánchez (2014), quien diseñó una metodología con una serie de variables para conocer la ciclabilidad de un carril bici de la ciudad de Málaga, o el Informe del Carril Bici de Málaga (Ruedas Redondas, 2013), el cual se centra en el estudio de 8 carriles bici teniendo en cuenta la longitud en kilómetros, la anchura (siendo ésta una estimación), el desnivel, la topología (direccionalidad, pavimento, etc.), la conexión con otros carriles y otras observaciones. Por último, las actuaciones rápidas para la mejora de la ciclabilidad (Las Palmas en Bici. 2016), busca apostar por un modo de movilidad y planificación del territorio para satisfacer las necesidades de las personas.

El estudio de la ciclabilidad se ha realizado en la ciudad de Málaga, la cual cuenta con 53,5 Km de carril bici repartidos a lo largo de toda la urbe (Figura 1). De éstos, aproximadamente 44 Km discurren por la acera, mientras que unos 9 Km ocupan un espacio segregado; es decir, el carril bici está separado tanto de la calzada como de la acera, de forma que no se produzcan interferencias con cualquier otro tipo de vehículo (DGT, 2000, p. 8). Además, el carril bici tiene una anchura media de 2,15 m en la zona bidireccional, mientras que en la zona unidireccional ésta es de 1,16 m.



1.2 Metodología

La metodología propuesta en este trabajo se basa en tres puntos:

1. Diseño de la red.
2. Creación de la base de datos.
3. Cálculo de la ciclabilidad.

El diseño de la red se ha establecido definiendo previamente que son tramos y nodos. Los tramos se corresponden con aquellos sectores de la red localizados entre dos bifurcaciones, las cuales actúan como nodos. Para la creación de la red se han digitalizado los tramos de carriles bici construidos en la actualidad (Figura 1). Se ha utilizado como base cartográfica la ortofoto 1053 del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea del Instituto Geográfico Nacional y el plano de carriles bici del Ayuntamiento de Málaga. Dado que el plano de carriles bici del ayuntamiento no está actualizado, se ha realizado un trabajo de fotointerpretación y de campo para completar la red de carriles bici. El trabajo de campo también sirvió para obtener los datos necesarios de cada uno de los criterios analizados en la metodología.

La creación de la base de datos se creó en formato shp con ArcGIS. Los atributos incorporados a la base de datos para calcular la ciclabilidad de los carriles bici son tres (Sánchez, 2014): visibilidad, anchura y sinuosidad.

Visibilidad. El trazado de un carril bici ha de ser lo más recto posible y debe tener una pendiente uniforme para que la visibilidad sea ilimitada. Sin embargo, en la práctica el trazado queda determinado por la existencia de obstáculos laterales como árboles, farolas, edificaciones, etc. (Sánchez, 2014). Para calcular esta variable se utiliza la distancia de visibilidad de frenado, es decir, la distancia que necesita un ciclista para poder detenerse sin llegar a colisionar con un obstáculo. Asimismo, para calcular la distancia de frenado, el Departamento de Transporte de California y el Manual para el Planeamiento, Proyecto y Ejecución de Pistas Ciclistas de la Asociación Española Permanente de los Congresos de Carreteras (DGT, 2000), proponen la siguiente ecuación:

$$S = \frac{V^2}{30(f \pm g)} + 3,67 \times V$$

Donde: S = Distancia de visibilidad de parada en pies; V= Velocidad en millas por hora; f = Coeficiente de rozamiento ($\approx 0,25$) y g = Pendiente en porcentaje.

El valor de velocidad media varía en función de la pendiente, de forma que se ha diferenciado entre una velocidad de subida (10km/h), en llano (15km/h) y de bajada (20 km/h).

Después, se analiza el número de obstáculos que dificultan la visibilidad a lo largo del recorrido (objetos como puede ser una marquesina, un arbusto, un contenedor, etc). Según la distancia del carril bici y el número de obstáculos, se obtiene el porcentaje del carril bici que no es visible. Para la valoración de la visibilidad se ha utilizado la siguiente tabla (tabla 1):

| Visibilidad | Valoración |
|-------------|------------|
| > 10 % | 0 |
| 10 – 7,5 % | 0,5 |
| 5 – 7,5 % | 1 |
| 2,5 – 5 % | 1,5 |
| < 2,5 % | 2 |

Tabla 1. Criterio de visibilidad. Fuente: Sánchez, 2014.

Anchura. El ciclista necesita una anchura determinada para que el paso sea seguro. Hay que tener en cuenta, además de la ocupación necesaria, el movimiento “serpenteante”, que es la consecuencia de corregir la inestabilidad del vehículo mediante cambios de la trayectoria. Estas oscilaciones serán mayores, cuando más velocidad lleve el ciclista, por lo que según la velocidad ocupará más o menos espacio (DGT, 2000).

También es importante la existencia de objetos laterales (bordillos, bolardos o contenedores), los cuales afectan a la anchura del carril y es algo que no se tiene en cuenta. Según por dónde discorra el carril, por la acera o por el lateral de la calzada, deberá tener una anchura diferente (DGT, 2000). En cada sector, se tomaron medidas cada 100 m, pero la anchura del carril varía, por lo que se realizó la media para obtener unos valores concretos. Para la valoración de la anchura se ha utilizado la siguiente tabla (tabla 2):

| Carril bidireccional | | Carril unidireccional | |
|----------------------|------------|-----------------------|------------|
| Anchura | Valoración | Anchura | Valoración |
| < 1 m. | 0 | < 0,5 m. | 0 |
| 1 – 1,95 m. | 0,5 | 0,5 – 0,95 m. | 0,5 |
| 1,95 – 2,05 m. | 1 | 0,95 – 1,05 m. | 1 |
| 2,05 – 3 m. | 1,5 | 1,05 – 1,5 m. | 1,5 |
| > 3 m. | 2 | > 1,5 m. | 2 |

Tabla 2. Criterio de anchura en Carril Bici bidireccional y unidireccional. Fuente: Sánchez, 2014.

La anchura mejor valorada es la que tiene más de 3 m en carriles bidireccionales, mientras que para los carriles unidireccionales, la mejor valorada es la que tiene más de 1,5 m de ancho.

Sinuosidad. Lo más recomendable es que el carril sea recto, siempre que el trazado lo permita. Aunque hay momentos en los que se encontrarán curvas, éstas tienen que ser lo más abiertas posible, además de anchas y con buena visibilidad, para que se realice de la manera más gradual posible, permitiendo al ciclista adaptarse a los cambios de dirección.

Puesto que los ciclistas son especialmente sensibles a los cambios de velocidad y existe un mayor riesgo de caída en las curvas debido a su posición inclinada, se recomendaría usar radios de curvatura suficientemente amplios (Sánchez, 2014). Para la valoración del grado de sinuosidad se ha utilizado la siguiente tabla (tabla 3):

| Nº de Curvas | Valoración |
|----------------------|------------|
| 2 o más curvas > 65º | 0 |
| 1 curva > 65º | 0,5 |
| 2 o curvas < 65º | 1 |
| 1 curva < 65º | 1,5 |
| Recto | 2 |

Tabla 3. Criterio de grado de sinuosidad. Fuente: Sánchez, 2014.

Para los tramos del carril bici donde encontremos diferentes categorías para este criterio, se escogerá la que tenga peor valoración.

Para la **valoración final** de la ciclabilidad de los tramos de los carriles bici, se ha realizado la suma de las valoraciones anteriores, es decir, anchura, visibilidad y sinuosidad y, según los posibles resultados del índice obtenido (variable entre 0 y 6), se han realizado cinco clases de ciclabilidad como se indica en la tabla 4:

| Índice | Ciclabilidad |
|-----------|--------------|
| 0 – 1,2 | Muy baja |
| 1,2 – 2,4 | Baja |
| 2,4 – 3,6 | Moderada |
| 3,6 – 4,8 | Alta |
| 4,8 – 6 | Muy alta |

Tabla 4. Grado de Ciclabilidad. Fuente: Sánchez, 2014.

1.3 Descripción y análisis de resultados

Al analizar los mapas de cada criterio o variable del índice de ciclabilidad, se observa que la visibilidad de los carriles bici de la ciudad de Málaga (Figura 2) es muy alta. En 45,2 Km (84,57%) no se han encontrado obstáculos y si los hay, no dificultan la visión del ciclista. Se ha obtenido una valoración alta de visibilidad en 3,4 Km, tratándose de carriles bicis que discurren por avenidas anchas y rectas, pero en los que encontramos contenedores, marquesinas de autobús o paredes de edificaciones muy cercanas a éstos. Por último, hay visibilidad moderada en 5 Km de carril bici, en concreto el carril que discurre por el paseo marítimo en dirección SO. Esto puede extrañar tratándose de un carril bici que discurre por un paseo marítimo, pero éste no sigue la línea de costa en todo momento (siendo demasiado sinuoso) y se sitúa junto a una mediana ajardinada que dificulta la visión (Figura 3).



Figura 2. Mapa de criterio 1. Visibilidad de los Carriles bici de la ciudad de Málaga. Fuente: Elaboración propia.



Figura 3. Ejemplo de carril bici con visibilidad moderada. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la anchura de los carriles bici de la ciudad de Málaga (Figura 4), vemos que hay una valoración buena en tan sólo en 2,7 Km, correspondiéndose con tramos muy cortos, construidos en avenidas muy anchas y que tiene pocos edificios. Hay que destacar que 23,2 Km (43,36%) de carril bici tiene una valoración alta, siendo tramos largos en el paseo marítimo o tramos que discurren de sur a norte en paralelo al río Guadalmedina. Con valoración moderada encontramos en Málaga unos 5 Km de carril bici, en avenidas que son anchas (lo que propiciaría que hubiese un carril bici más ancho). Por último, hay 22,8 Km (42,66%) de valoración baja, la mayoría en la zona centro, debido a que es difícil introducir un carril bici en esta zona y los que hay son estrechos. (Figura 5).



Figura 4. Mapa de criterio 2. Anchura de los Carriles bici de la ciudad de Málaga. Fuente: Elaboración propia.



Figura 5. Ejemplos de carril bici con estrechamiento de la vía. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la sinuosidad de los carriles bici de la ciudad de Málaga (Figura 6) tiene una valoración muy alta en 7 Km de carril bici, que son los tramos más pequeños y que no tienen que cruzar calles. Encontramos una valoración buena en 4,3 Km, tramos pequeños y que tienen 1 curva. En 10 Km (18,69%) de carril bici tenemos valoración moderada, tratándose de carriles bici que en teoría deberían no tener curvas, pero en los que encontramos giros, ya sea buscando pasos de cebras para cruzar una calle, esquivando marquesinas de autobús u otros obstáculos. En unos 800 m de carril bici tenemos valoración baja, siendo curvas con giros bruscos. Por último, 31,5 Km (58,87%) de carril bici tienen una valoración muy baja, lo que indica que se trata de un carril bici muy sinuoso, muy largo, con cruces innecesarios y muchas curvas cerradas (tratándose de una calle recta). Es la variable que peor resultados obtiene, provocado por el trazado del carril bici, el cual en algunas partes del recorrido va buscando los pasos de peatones (Figura 7).



Figura 6. Mapa de criterio 3. Sinuosidad de los Carriles bici de la ciudad de Málaga. Fuente: Elaboración propia.



Figura 7. Ejemplo de carril bici con sinuosidad muy alta. En rojo se han marcado las curvas innecesarias y la dirección lógica de la vía. Fuente: Elaboración propia.

Una vez valorados los tres criterios y calculado el índice de ciclabilidad (Figura 8), se obtiene que en Málaga hay 10,5 Km de carril bici con una ciclabilidad muy alta, tratándose de tramos cortos o de nueva construcción en avenidas muy amplias. Hay 6,7 Km de carril bici con ciclabilidad alta, correspondiéndose con carriles bici un poco más largos que los anteriores y con carriles unidireccionales. Hay 34,5 Km (64,63%) de carril bici con ciclabilidad moderada, tratándose de los carriles bici más largos. Hay 1,6 Km de carril bici con ciclabilidad baja, debido a que son tramos rectos pero en los que encontramos algunos puntos negros, con un alto grado de sinuosidad (en su mayoría innecesarias) y la anchura que no es la estipulada en la normativa. Por último, resaltar que no hay tramos de carril bici con ciclabilidad muy baja.



Figura 8. Mapa del índice de la ciclabilidad para los carriles bici de Málaga. Fuente: Elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

El método utilizado en este trabajo tiene en cuenta criterios relacionados con la seguridad de los ciclistas, pero no incluye criterios también relacionados con la seguridad del ciclista como la pavimentación o tipo de firme y la distancia a peatones y vehículos, aspectos a tener en cuenta en un futuro cercano para la evaluación de la ciclabilidad.

También hay que tener en cuenta que la futura creación de carriles bici introducirá nuevas conexiones en la red actual, lo que haría modificar la valoración a algunos tramos de la red actual, como por ejemplo el grado de sinuosidad, lo que podría influir en la ciclabilidad.

El planteamiento general de la metodología puede considerarse útil para describir la ciclabilidad en un entorno urbano y para proporcionar una herramienta eficaz para su planificación y gestión. Dicha metodología cuenta con la posibilidad de ser extrapolable a otras ciudades, de una manera fácil, aunque se requiere trabajo de campo para analizar la visibilidad en los carriles bici.

Una dificultad añadida ha sido la falta de información actualizada de la red de carriles bici por parte del Ayuntamiento de Málaga, para lo cual ha sido útil la información del Plan Andaluz de la Bicicleta (Consejería de Fomento y Vivienda 2013, p. 138), donde vienen los carriles bici existentes en la ciudad de Málaga.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecer a la Asociación Ruedas Redondas de Málaga toda la ayuda e información proporcionada para realizar este trabajo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alcántara Vasconcellos, E. (2010). *Análisis de la movilidad urbana. Espacio, medio ambiente y equidad*. Bogotá. CAF, pp. 204.
- Berlolo N. y Colonna P. (2012). *Testing and Improving Urban Bicycle Performance*. Elsevier Ltd, pp. 12.
- Consejería de Fomento y Vivienda. Junta de Andalucía (2013). "Plan Andaluz de la Bicicleta." (España). pp.174.
- Delegación de Movilidad. Área de Tráfico y Transporte público. Ayuntamiento de Málaga (2010). "Plan de Movilidad Municipal Sostenible." (España), pp. 443.
- Dirección General de Tráfico (DGT) (2000). "Manual de recomendación de diseño, construcción, infraestructuras, señalización, balizamiento, conservación y mantenimiento del carril bici."(España). pp. 58
- Dombriz Lozano, M. A. (2009). *Urbanismo y movilidad: dos caras de la misma moneda*. pp. 9
- Las Palmas en bici (2016). "Actuaciones rápidas para la mejora de la ciclabilidad en la ciudad baja de Las Palmas de Gran Canaria". (España). pp. 22
- MAGRAMA. (2010). "Observatorio de la Movilidad Metropolitana." (España). MAGRAMA, pp. 129.
- Ruedas Redondas (2013). *Informe de los Carriles Bici de Málaga (OCU)*. (España). pp. 6.
- Sánchez, M. (2014). *Ensayo metodológico para evaluar la ciclabilidad de los carriles bici de la ciudad de Málaga. Caso del carril bici Universidad–Rectorado. Trabajo Fin de Grado, Universidad de Málaga*. pp. 28. <http://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/9733>
- Ull Solís, A. (2008) *El impacto de la actividad universitaria sobre el Medio Ambiente*. Revista Eureka Enseñanza, Divulgación y Ciencia, pp. 356 – 366.

PUESTA AL DÍA DE MÉTODOS PARA EL ESTUDIO DE ESPACIOS COGNITIVOS A TRAVÉS DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Roberto Valiente¹⁻², Julia Díez², Paloma Conde², Manuel Franco²⁻³, Francisco Escobar¹⁻²

¹ Departamento de Geología, Geografía y Medio Ambiente, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, 28801 Madrid, España: roberto.valiente@uah.es; francisco.escobar@uah.es.

² Grupo de investigación de Epidemiología Social y Cardiovascular, Departamento de Cirugía, Ciencias Médicas y Sociales, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares, 28801 Madrid, España: julia.diez@uah.es; p.conde@uah.es

³ Department of Epidemiology, John Hopkins Bloomberg School of Public Health, Baltimore, MD, United States: mfranco@jhsph.edu

RESUMEN

Ante la diversidad de enfoques dedicados al estudio de los espacios cognitivos, nuestro objetivo consistió en explorar la potencialidad de análisis que ofrecen las Tecnologías de la Información Geográfica para el estudio de la percepción del espacio y su integración en nuevas disciplinas interesadas en su estudio (como la salud pública). A partir de esbozos de mapas obtenidos de un grupo de residentes de Villaverde (Madrid, España), se ha diseñado una metodología para el análisis de la estructura y las deformaciones del espacio cognitivo. El enfoque es triple; por un lado se ha aplicado un análisis cualitativo basado en la identificación de los elementos estructurantes del espacio urbano establecidos por Lynch. En segundo lugar se han calculado índices de tamaño, forma y centralidad del domicilio. Finalmente se ha aplicado un modelo de Regresión Bidimensional para la comparación cuantitativa de los mapas esbozados con sus equivalentes en la realidad. Los resultados muestran como los SIG permiten la integración y representación de estos espacios, real y cognitivo, con información tanto cuantitativa como cualitativa, demostrando su capacidad para el manejo y el procesamiento de datos de naturaleza social y psicológica.

Palabras clave: Espacio Cognitivo; Mapas Mentales; SIG; Salud Pública.

ABSTRACT

Given the diversity of approaches focused on the analysis of cognitive spaces, the aim of our study was to explore the opportunities that GIS offers for studying the perception of the space and their integration into new disciplines interested in this approach (Public Health). Using sketch maps from a group of residents of Villaverde (Madrid, Spain), we designed a methodology for analyzing the structure and deformations of cognitive spaces. Three analysis were performed: 1) to identify the structural elements of cognitive space stabilized by Lynch (1969); 2) to calculate an index to quantify the size, the shape and the home centered-location in the sketch maps; 3) to analyze the deformations of the cognitive space through a bidimensional regression model as a measure to compare the different representations and the actual map. The results show how GIS allowed us to represent the perceived elements of space, integrating quantitative and qualitative information, while simplifying processing of social and psychological data.

Keywords: Cognitive spaces; Sketch Maps; GIS; Public Health.

1. INTRODUCCIÓN

Las personas, como parte de sus procesos cognitivos, reciben y organizan las informaciones que les llegan del medio exterior a través de los sentidos. Los elementos propios del paisaje conjugados con los filtros personales y las experiencias vividas en el entorno, intervienen en la construcción de un modelo personal de la realidad en el que los individuos se apoyan para enjuiciar, decidir y actuar sobre el medio (Cauvin, 1984; Escobar, 1992). Aunque cada persona percibe el espacio de diferente forma, y responde de manera distinta a los estímulos

del medio real, algunos aspectos son compartidos por grupos de personas de características similares, que comparten experiencias y un mismo nivel de “socialización” (Lynch, 1960).

El estudio de los espacios cognitivos comprende un gran número de enfoques y trabajos que han ido desarrollándose simultáneamente en las últimas décadas. La representación metodológica de estos análisis se fundamenta en una amplia base teórica que discute la utilización de múltiples técnicas en el análisis del espacio cognitivo de los individuos (Pylyshyn, 1981; Kosslyn, 1981; Escobar, 1992). El uso de los esbozos de mapa como herramienta de acercamiento a la cognición del espacio es una de las técnicas más utilizadas en Geografía. Esta técnica consiste en la obtención de representaciones organizadas de una parte del entorno espacial por parte de los individuos, donde se plasmarán los elementos espaciales espontáneamente percibidos y recordados, que organicen la imagen mental del espacio (Escobar, 1992). Los análisis en este campo han evolucionado desde los trabajos más elementales basados en la identificación de los elementos físicos que estructuran el espacio urbano y su grado de conceptualización (Lynch, Rodwin, 1969; García y Bosque, 1975; Bosque et al., 1992); hasta los más complejos y exhaustivos, como el estudio de las relaciones topológicas, la orientación y la posición de los elementos del mapa (Metton y Bertrand, 1972; Schwering et al., 2014) y los análisis de las deformaciones por medio de la aplicación de técnicas como la regresión bidimensional (Tobler, 1978 y 1994; Cauvin, 1984; Escobar, 1992 y 1996; Dusek, 2010; Montello, 2015), que han logrado enriquecer tanto los métodos asociados como la base teórica de los estudios.

En la actualidad, el grado de desarrollo alcanzado por los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la programación de algunas técnicas de análisis de información cognitiva más sofisticadas, permiten ahondar en el estudio de la cognición del espacio. No obstante, la traslación de estos estudios a un SIG constituye un desafío a la vez que una oportunidad. La compleja información extraída de los análisis cognitivos, ya sea cuantitativa o cualitativa, nos da las claves para el acercamiento al aspecto espacial de las decisiones humanas, y a la influencia de los distintos agentes sociales que intervienen en ello. Sin embargo, desde su aparición, los SIG han estado más involucrados en el análisis de “estructuras espaciales” que en el estudio de los procesos sociales (o de comportamiento) que suceden en ellas. Por tanto, es necesario elaborar nuevos modelos de análisis que permitan estudiar de los procesos sociales que ocurren en el territorio (Bosque, 2015). Derivado de ello, asistimos a una paulatina incorporación de técnicas cualitativas de análisis, algunas basadas en entrevistas o grupos de discusión tal y como demuestran los trabajos de Kwan, (2008) y Boschmann y Cubbon, (2014), que fomentan el desarrollo de los denominados SIG cualitativos (QGIS, *Qualitative Geographic Information System*).

Aunque las Ciencias Sociales hayan constituido el foco natural y tradicional de estos estudios, en la actualidad, las implicaciones sociales y económicas derivadas de la relación existente entre habitante y lugar han suscitado gran interés en otras ciencias. Un ejemplo de ello son las Ciencias de la Salud, donde disciplinas como la Epidemiología social y ambiental, que estudian cómo el entorno donde viven los individuos influye en la salud, han demostrado interés por el analizar el comportamiento de los individuos en el espacio (Chen y Kwan, 2015; Barnes, 2015; Sohi et al., 2014; Stadler et al, 2013). En este contexto, autores como Chen y Kwan (2015) han aplicado su recién conceptualizado UGCoP (*Uncertain Geographic context Problem*), un marco analítico para evaluar la influencia del contexto geográfico en estudios en Salud Pública.

El presente trabajo se engloba dentro del proyecto *Photovoice Villaverde* (<http://hhhproject.eu/research/photovoice>), cuyo objetivo es entender el entorno alimentario según la perspectiva de sus residentes, a través de una metodología de investigación-acción participativa. Este proyecto se llevó a cabo durante el año 2015, en dos barrios del distrito de Villaverde (Madrid, España). Dentro de este proyecto se ha desarrollado una línea de investigación dedicada a estudiar la percepción del espacio y su influencia en los comportamientos de la población relacionados con la alimentación. Nuestro objetivo en este artículo es aplicar los Sistemas de Información Geográfica en el estudio de los espacios cognitivos obtenidos a partir de esbozos de mapas realizados por un grupo de residentes del distrito ya mencionado. Los análisis presentados se centran en el estudio de los elementos estructurales del espacio cognitivo establecidos por Lynch (1969), así como el cálculo de medidas comparativas basadas en índices de tamaño forma y centralidad del domicilio, y el análisis de las deformaciones utilizando la técnica de regresión bidimensional propuesta por Tobler (1978, 1994).

2. METODOLOGÍA

2.1 Área de estudio, recogida de datos y fuentes utilizadas

El proyecto *Photovoice* incluyó 4 grupos de participantes (24 voluntarios, 14 mujeres y 10 hombres) distribuidos entre los barrios de San Cristóbal y Los Rosales (un grupo de mujeres y otro de hombres en cada barrio). En cada grupo se desarrollaron cinco sesiones, en las que los participantes utilizaron la fotografía como canal de comunicación para discutir y analizar los aspectos positivos y negativos de su entorno alimentario (Catalani y Minkler, 2009). Todas las sesiones fueron grabadas y transcritas para su posterior análisis.

El estudio del espacio cognitivo se llevó a cabo en el grupo de las mujeres del barrio de Los Rosales, compuesto por siete participantes de entre 44 y 60 años. La recogida de los esbozos de mapa tuvo lugar durante la última sesión grupal. Las participantes dispusieron de 30 minutos para realizar sus esbozos y no fueron previamente advertidas de este ejercicio para evitar la contaminación de los resultados. Las instrucciones para realizar este ejercicio fueron las siguientes: “Sobre esta hoja en blanco, dibuje su barrio incluyendo todos los elementos que espontáneamente acudan a su mente, sin consultar ninguna fuente y de manera individual. No pretendemos probar sus conocimientos sobre la ciudad, ni su capacidad para dibujarla; nos interesa por el contrario su propia visión del medio y especialmente las deformaciones que en ella se encuentren”.

El Barrio de Los Rosales se encuentra en el distrito de Villaverde, al sur de la ciudad de Madrid (Figura 1). Se trata de un área densamente poblada, con una población de 35.208 habitantes y un área de 1,52km², con una estructura demográfica joven, donde la población mayor de 65 años representa el 16,82%; con un bajo nivel educativo (29,19% de la población mayor de 25 años carece de estudios primarios) y un elevado porcentaje de población no nacida en España (25,88%) con respecto a la media de la ciudad de Madrid (Portal Datos Abiertos, Ayuntamiento de Madrid, 2014, <http://datos.madrid.es/>).



Figura 1. Área de estudio y datos socio-económicos. Fuente: Elaboración propia a partir del Padrón Municipal de Madrid, 2014.



Figura 2. Esbozo de mapa elegido para ejemplificar el análisis de las deformaciones. Fuente: participante: mujer, 55 años, nivel educativo universitario, prejubilada y divorciada.

La gestión y el análisis de los datos fue realizada con el software de ArcGIS 10.1. (ESRI Inc., Redlands, CA, USA, <http://www.esri.es/es/productos/arcgis/>). La información contextual (viario, edificaciones, espacios verdes y otros elementos del espacio urbano) requerida para las composiciones cartográficas y los análisis fue descargada en formato *shape* vectorial (.shp, ESRI®) del módulo de Cartociudad, elaborado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN, www.ign.es) y del portal Datos Abiertos del Ayuntamiento de Madrid (<http://datos.madrid.es/>). Ambas plataformas pertenecen a la Infraestructura de Datos Espaciales de España

(IDEE, <http://idee.es/>). Toda la información geográfica ha sido proyectada en el sistema de referencia oficial para representaciones cartográficas en España, y específicamente para la zona de Madrid: ETRS89 UTM 30N (Real Decreto 1071/2007 del 27 de julio, <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-15822>).

2.2 Integración de la información en un SIG e identificación de los elementos estructurantes del espacio

Obtenidos los esbozos de mapa de las participantes, el primer paso consistió en digitalizar todos los elementos y en realizar un recuento de los topónimos mencionados, respetando el nombre que las participantes dieron a los diferentes lugares. A partir de la digitalización, identificamos todos los elementos físicos que organizan el espacio cognitivo de acuerdo a la clasificación de Lynch (1960) en torno a hitos, nodos, vías, límites y barrios. A su vez, conseguimos trasladar todos los croquis a una superficie real de referencia donde realizar mediciones y representar los mapas mentales sobre una cartografía precisa. Además, la perspectiva de Lynch (1969) permite realizar análisis desde un punto de vista individual y presenta las bases para lograr una generalización del espacio cognitivo colectivo del área de estudio (Buzai, 2011).

Los límites, las vías, los hitos y los nodos fueron fácilmente identificables en las representaciones mentales. Sin embargo, encontramos más dificultades para delimitar los barrios, áreas caracterizadas por poseer una identidad asociada y una cierta homogeneidad. En este trabajo proponemos su identificación a partir de los hitos y los nodos reconocidos por las participantes, realizando un análisis de densidad de Kernel a partir de las localizaciones, ponderadas con el valor del número de veces que fueron mencionadas, estableciendo un radio de búsqueda de 125m, y un tamaño de celda de 4m². La elección de estos parámetros se realizó en base a la relación entre la extensión media de las representaciones y el tamaño real del área de estudio.

2.3 Análisis de tamaño, forma y posición relativa del domicilio

El análisis de la estructura del espacio cognitivo procedente de la teoría de Lynch puede complementarse con la realización de otras mediciones como el tamaño, la forma o la posición relativa del domicilio dentro del esbozo. Estos cálculos facilitarán la comparación entre los esbozos de mapa y el mapa real (Escobar, 1992).

Como resultado del proceso de digitalización y georreferenciación, los SIG nos permiten conocer las dimensiones de cada una de las representaciones obtenidas sobre el mapa real.

La forma puede definirse sencillamente a través de un índice que pone en relación la longitud de los ejes mayor y menor del círculo que circunscribe el área dibujada en el esbozo. El valor de este índice oscila entre 0 y 1, siendo 1 el valor que define un círculo y 0 el que define una línea.

Por último, podemos analizar en qué grado la localización del domicilio de las participantes ocupa una posición central en sus representaciones. Esto se consigue a través del cálculo de un índice que traduce el cociente entre la distancia del domicilio al centroide de la circunferencia circunscrita y el radio de dicha circunferencia. Este índice se mide en una escala de 0 a 1, donde 0 representa la “centración” total (Escobar, 1992). La aplicación de estos cálculos resulta especialmente interesante para estudiar entidades de tipo barrio.

2.4 Análisis de las deformaciones: aplicación de la regresión bidimensional a los esbozos de mapa

La regresión bidimensional es un método que permite la comparación cuantitativa entre dos superficies irregulares poseedoras de puntos homólogos. Se trata de una metodología de cierta complejidad matemática, propuesta por Tobler (1978, 1994), y adaptada después por Cauvin (1984) para el estudio de espacios cognitivos. La aplicación de esta técnica para el análisis de las deformaciones del espacio cognitivo ha sido trabajada anteriormente por otros autores como Escobar (1992, 1996), Friedman y Kohler, (2003), Dusek (2010) y Montello, (2015), entre otros.

El principal objetivo de este método es establecer una comparación entre la imagen o mapa real (Z), sujeta a una escala, una orientación y un sistema de coordenadas fijo; con el esbozo de mapa o la imagen mental (W) de la misma zona, con una escala y orientación variable. Esta comparación se realiza a través de la identificación de puntos homólogos, equivalentes a puntos de control en fotogrametría, que puedan ser identificables en ambas superficies tomando referencias en los diferentes hitos urbanos. A partir de las coordenadas de dichos puntos en ambas superficies, original (x, y) e imagen (u, v), podemos calcular una función de ajuste que nos permita calcular gráfica y cuantitativamente el vector de desplazamiento entre la localización de los puntos de una superficie (dependiente) con respecto a otra (independiente). Como resultado de este proceso, el mapa real es re-escalado y re-orientado para ajustarse a la imagen mental. En base a esa función podemos establecer una interpolación que permitirá extender los resultados obtenidos para los puntos homólogos al conjunto de la zona estudiada. De este modo las deformaciones pueden ser conocidas y medidas sobre cualquier punto de la superficie (Escobar, 1992, 1996; Tobler, 1994; Friedman y Kohler, 2003; Dusek, 2010; Montello, 2015).

Para ilustrar nuestro análisis de deformaciones se muestra el esbozo realizado por una de las participantes (figura 2). Los cálculos matemáticos fueron realizados con el software Darcy 2.2., (Théma, CNRS-Univestité Bourgogne-Franche-Comté: http://thema.univ-fcomte.fr/production/logiciels/_16-categorie-en-francais/cat-productions-fr/cat-logicielsfr/294-art-darcy). Esta herramienta permite introducir directamente las coordenadas reales de los puntos homólogos en el mapa real mediante un archivo de tipo *shape*, y las coordenadas en papel de esos mismos puntos en la imagen mental (medidas en cm) en un archivo en formato de texto (.txt). Mediante estos datos, podemos especificar el tipo de función de ajuste que queremos realizar y nos ofrecerá los resultados gráficos y estadísticos. Tobler (1994) propuso 4 modelos de regresión para realizar el ajuste. Las opciones que dan mejores resultados para estos estudios son las transformaciones euclidianas y afines (Friedman y Kohler, 2003).

Una vez ajustadas las imágenes, realizamos una interpolación para conocer el valor de la deformación en cada punto del mapa, cuyo nivel de precisión estará establecido por un valor numérico α , que pondera el tamaño de la celda de la malla de interpolación. Los resultados obtenidos son tanto estadísticos (calidad del modelo de interpolación, desplazamientos totales y medios de cada punto en el mapa, valores medios de distorsión, etc.) como gráficos (campo vectorial de la superficie interpolada, elipses de Tissot, etc.), que podemos exportar para elaborar productos cartográficos finales (Tobler, 1994; Dusek, 2010; Buzai, 2011). Además, la aplicación de este modelo nos permitirá cuantificar las distancias y el tamaño de las áreas percibidas, y establecer comparaciones con las dimensiones reales.

3. RESULTADOS

3.1 Elementos de Lynch

De acuerdo a los datos obtenidos, la extensión media de las representaciones mentales de las participantes es de 0,229km², cuando la de la unidad real administrativa es de 1,52km². Así pues, las participantes no entenderían Los Rosales como una entidad de barrio en sí misma, sino que definen sus barrios en zonas mucho más concretas dentro de la misma unidad, con dimensiones mucho más reducidas que las correspondientes a la unidad real. Entre los diferentes ejemplos encontramos algunos esbozos que muestran una zona muy concreta, limitada a una calle o a un cruce de calles.

En los análisis detectamos la percepción de tres barrios concretos: El Espinillo, Oroquieta y Villaverde Bajo. La delimitación de estas entidades resulta muy difusa para las participantes. El resultado del análisis de la densidad de hitos nos marca los núcleos de estos tres barrios tal y como se muestra en la figura 3. Esto nos lleva a relacionar el barrio de El Espinillo con la Avenida Orovilla, Oroquieta con las calles Sahara y Villajoyosa, y Villaverde Bajo en torno a las calles Juan José Martínez Seco y Martínez Oviol, y el conjunto de vías aledañas. Con esta disposición, podemos señalar ciertos límites internos reflejados en la Carretera Villaverde-Vallecas y las Calles Villafuerte y Ciudadanía.

A pesar de que estamos en un espacio muy fragmentado, si realizamos un análisis conjunto de todos los esbozos podemos recomponer una figura con aproximadamente las mismas dimensiones que el barrio administrativo (Figura 3). La Avenida de Andalucía, la Gran vía de Villaverde, la Autovía M-40 y el río Manzanares son concebidos como los límites externos que delimitan estas 3 áreas con respecto a los barrios de Villaverde, Usera y Villa de Vallecas. Distribuidos en este espacio contabilizamos más de 80 hitos que se corresponden con edificios singulares como colegios o institutos, iglesias, polideportivos, centros de reunión, etc., o incluso elementos del mobiliario urbano como árboles, bancos o fuentes con un cierto estilo estético que pueden constituir puntos centrales de parques y plazas.

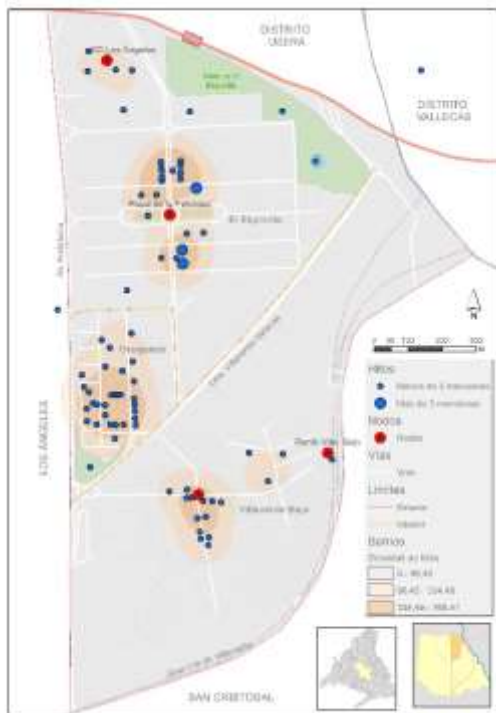


Figura 3. Mapa cognitivo del barrio de Los Rosales definido por el grupo de mujeres participantes. Fuente: elaboración propia, 2016.

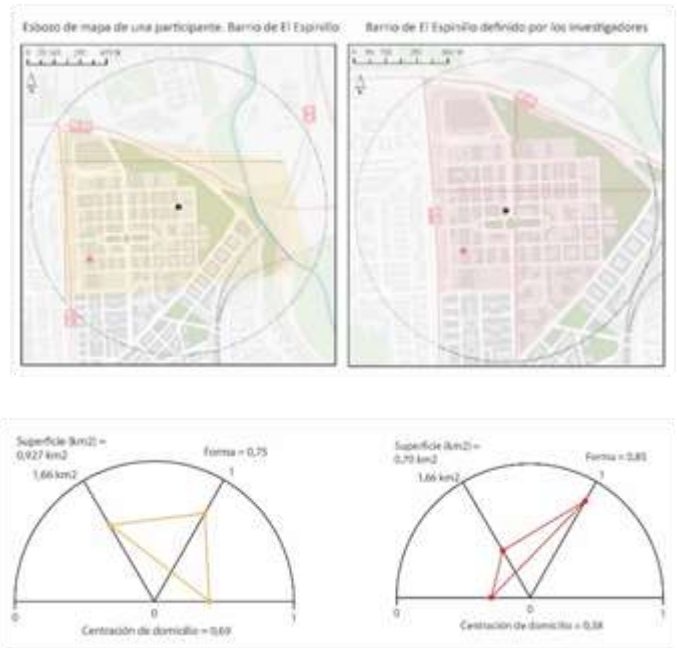


Figura 4. Resultado de los análisis de forma, tamaño y “centración” de domicilio según el gráfico propuesto por Metton y Bertrand (1972) y Escobar (1992). Comparación del mapa real del barrio de El Espinillo (derecha) con el esbozo de una participante (izquierda). Fuente: elaboración propia, 2016.

3.2 Tamaño, índice de forma y posición relativa del domicilio

Los resultados de estos análisis se representan mediante los gráficos de la figura 4, donde se ofrece una comparativa entre nuestro esbozo analizado y su correspondiente imagen real, perteneciente al barrio de El Espinillo.

La forma de los triángulos resulta de la combinación de los valores de estos tres parámetros. En este caso, el esbozo estudiado considera un área mayor que la que ocupa el barrio real ($T_{\text{Esbozo}}=0,97\text{km}^2$; $T_{\text{Real}}=0,70\text{km}^2$) y tiene una forma más alargada ($F_{\text{Esbozo}}=0,75$; $F_{\text{Real}}=0,85$). Resulta llamativo que la posición relativa del domicilio está menos centrada en el esbozo que en el barrio real ($C_{\text{Esbozo}}=0,69$; $C_{\text{Real}}=0,38$), cuando normalmente suele ocurrir a la inversa, que la población tiende a localizar su domicilio en el centro de su barrio. Este dato refleja que la estructuración del espacio cognitivo de la participante no está centrada en su domicilio sino en otros aspectos físicos y funcionales, tales como nodos, vías y otros elementos identificados en la figura 3, estrechamente relacionados con su espacio de actividad. Este es un hecho que también hemos constatado en el resto de esbozos.

3.3 Análisis de deformaciones

Los resultados anteriores pueden complementarse con la información obtenida de la aplicación de la regresión bidimensional para el análisis de las deformaciones. En nuestro ejemplo hemos identificado un total de 43 puntos homólogos, que hemos ajustado a través de una función afín e interpolado con una precisión de $\alpha=4$. Los resultados obtenidos a nivel estadístico demuestran una buena calidad de ajuste ($R_1=0,88$) e interpolación, con una cantidad suficiente de puntos homólogos pero con una distribución no muy homogénea de los mismos en el espacio representado ($R_2=0,95$; $R_3=0,75$). Esto es debido a las características de nuestro esbozo, donde todos los elementos se concentran en la parte central del papel (figura 5).

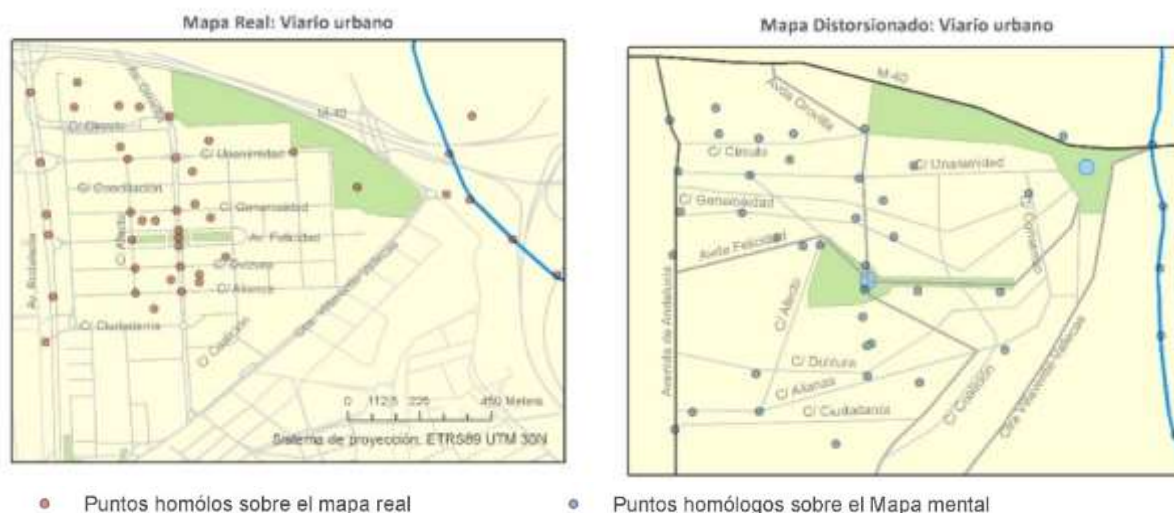


Figura 5. Deformaciones en el mapa mental representado por una de las participantes. Fuente: elaboración propia, 2016

El valor medio de desplazamiento de los puntos entre las dos imágenes fue de 115,16m, siendo mayor estos valores en el eje de las X que en el eje de las Y. El índice de deformación metros cuadrados mide las desviaciones producidas en cada punto de la red de interpolación. El valor medio de este índice fue de 1,16m², traducándose en un agrandamiento global del mapa mental con respecto al mapa de referencia de estas dimensiones.

Generalmente, las áreas consideradas como centrales, aquellas donde hay una mayor densidad de hitos, tienden a estar sobredimensionadas, es decir, se conciben como espacios con unas dimensiones mayores de lo que en realidad son. Esto se refleja en que los vectores de desplazamiento en estas áreas siguen una dirección centrífuga. Mientras, en las áreas periféricas, ocurre todo lo contrario: al ser zonas menos conocidas, las distancias se perciben más cortas y más cercanas al centro. En la figura 5 podemos ver como se deforma el mapa de red de calles en base a estas fuerzas.

En la figura 6 los valores de distorsión se representan sobre un eje Z y con una variable visual color. En este caso, las áreas rojas muestran las zonas de presión, los "picos", donde las distancias están sobredimensionadas y tienden a expandirse. Estas áreas se concentran en torno al eje de la Avenida Orovilla, especialmente en los cruces con la Avenida de la Felicidad y las Calles Dulzura y Alianza. Por otro lado, las zonas azules constituyen sectores periféricos donde el mapa se contrae. Estas áreas aparecen a medida que nos alejamos de la Avenida Orovilla. Además, en esta figura podemos ver algunos puntos de venta de alimentos ubicados sobre esta superficie deformada del barrio, con sus límites percibidos. Ello es una muestra de la aplicabilidad de estas técnicas dentro del estudio *Photovoice Villaverde*, comentado en el apartado introductorio. La configuración mental del espacio y sus distorsiones nos ayuda a plasmar algunos detalles sobre el comportamiento de los individuos con respecto a su entorno alimentario, reflejando aquellos puntos de adquisición de alimentos que son percibidos como más cercanos dentro de su barrio considerado. Detrás de esta percepción se encuentran

factores como el tiempo, los recursos económicos disponibles y otras influencias informacionales, a las que podríamos llegar a través del planteamiento de otros análisis cualitativos.



Figura 6. Posibles lugares de adquisición de alimentos ubicados sobre el barrio percibido y deformado de la participante.

4. DISCUSIÓN

La complejidad del estudio del espacio cognitivo se ve reflejada en la cantidad de enfoques y técnicas que abordan su análisis. Este trabajo parte de la obtención de representaciones cognitivas para la extracción de los elementos estructurantes del espacio urbano; su caracterización en base a medidas de tamaño, forma y posición relativa del domicilio; y el análisis de sus deformaciones por medio de la Regresión Bidimensional. Las dos últimas partes de nuestro análisis las hemos plasmado sobre uno de los esbozos obtenidos. Aunque consideramos que la extensión de estas técnicas al resto de esbozos obtenidos hubiera ofrecido una visión más global y más rica del estudio, este artículo persigue demostrar la potencialidad de análisis que ofrecen los SIG en el tratamiento de los espacios cognitivos, tomando para ello el esbozo de una persona tipo.

Por otro lado, no todos los esbozos de mapa obtenidos pueden ser tratados de forma idéntica. Cada uno posee rasgos concretos que suscitan el uso de un tipo de técnicas de análisis u otras. En nuestros ejemplos, contamos con representaciones muy diversas: algunos se asemejan a planos o mapas, que pueden ser tratados con técnicas cuantitativas; y otras se asemejan más a paisajes, que se prestarán mejor a análisis cualitativos. Esto refleja la pluralidad de formas en las que la percepción del espacio puede plasmarse. En este sentido, existe un amplio debate sobre si el modelo mental que los individuos tienen de su espacio puede corresponderse con formas cartográficas, cuestionando el uso de los esbozos de mapa en el estudio de los espacios cognitivos. Algunos autores argumentan además que, esta técnica aporta unos resultados incompletos que pueden verse comprometidos por las capacidades técnicas de dibujo de los participantes (Pylyshyn, 1981).

Sin embargo, los numerosos trabajos, publicados hasta el momento, que utilizan esbozos de mapa u otros métodos no gráficos, llegan a conclusiones muy similares independientemente del método empleado. Ello nos permite aceptar el uso de los esbozos de mapa como una técnica válida para la extraer representaciones cognitivas (Kosslyn, 1981; Escobar, 1992). Además, los esbozos de mapas permiten una mayor libertad a los participantes a la hora de representar su espacio percibido a diferentes escalas, orientaciones o formas pictóricas y esquemáticas (Shen, 2007). Los esbozos de mapas constituyen el principal elemento “posible de ser vinculado a las tecnologías SIG”, incorporando también datos sociales y psicológicos (Buzai, 2011).

Más allá de estas discusiones, cada vez son más las metodologías que apuestan por complementar varias técnicas. El análisis de los esbozos de mapa es combinable con otros métodos que proponen la discusión y la

reflexión verbal, captada a través de encuestas o entrevistas, como herramienta de acercamiento al espacio cognitivo de las personas. En esta línea han surgido interesantes trabajos como los que proponen Shen (2007) o Buzai (2011). El primero de estos autores comparó los análisis basados en los esbozos de mapas con otras técnicas de análisis de encuestas como en el modelo de escalamiento multidimensional (MDS, *Multidimensional scaling*), utilizado para comparar las percepciones de los elementos espaciales. Por su parte, Buzai (2011) logró complementar el uso de los esbozos de mapa con la construcción de mapas de preferencias basándose en los trabajos realizados por Gould (1975), a través de una metodología basada en encuestas, donde los resultados eran transformados en matrices fácilmente integrables en un SIG.

A pesar de que las técnicas utilizadas en este estudio fueron discutidas y desarrolladas durante las últimas décadas, la tecnología actual ha permitido su actualización y simplificación (Buzai, 2011). Las Tecnologías de la Información Geográfica permiten la representación precisa de la percepción de los elementos del espacio y su exploración en nuevos campos y disciplinas hasta ahora poco familiarizados con estos estudios. Un ejemplo de ello lo encontramos en el ámbito de la Salud Pública, donde el estudio del entorno urbano y la percepción del espacio adquieren especial relevancia en la planificación de intervenciones a nivel de barrio que favorezcan comportamientos saludables. En este ámbito, los SIG suponen una renovación metodológica que permite manejar nuevos datos y elaborar nuevos análisis, generando nuevo conocimiento.

5. CONCLUSIONES Y REFLEXIONES FINALES

Nuestro objetivo era explorar la potencialidad de análisis que ofrecen los SIG para el estudio de espacios cognitivos, como parte de una investigación centrada en estudiar la influencia de la percepción del espacio sobre el entorno alimentario de la población. Estos objetivos han sido alcanzados, demostrando la capacidad de los SIG para simplificar y facilitar los análisis de la estructura y las deformaciones del espacio cognitivo. En esta línea, la Cartografía ofrece un canal muy atractivo y eficaz para comunicar resultados y geo-referenciar procesos sociales y cognitivos.

El análisis del espacio cognitivo sugiere una “espacialización” de las percepciones humanas sobre la cual podemos analizar decisiones y comportamientos personales así como otros procesos sociales, en este caso relacionados con una alimentación saludable. Las oportunidades de análisis que surgen con estas técnicas para estudios de Salud Pública son muy variadas y aún están por explorar.

6. AGRADECIMIENTOS

El estudio *Photovoice* sobre alimentación en Villaverde ha sido financiado por la Fundación Mapfre a través de su programa de ayudas a la investigación *Ignacio Hernando de Larramendi*. La participación activa de los residentes constituye la parte más importante de este trabajo, que ha sido posible gracias a la colaboración con el Centro Madrid Salud de Villaverde. Con la redacción de este artículo los autores pretenden reconocer la colaboración de las siete mujeres integrantes del grupo de estudio en el barrio de Los Rosales, esperando reflejar fielmente su trabajo.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Barnes, T.L.; Dethany, A. B; Darcy, A. F.; Colabianchi, N.; Angela, D. L. (2015): “Do people really know what food retailers exist in their neighborhood? Examining GIS-based and perceived presence of retail food outlets in an eight-county region of South Carolina”. *Spatial and Spatio-temporal Epidemiology*, 13, pp. 31-40.
2. Boschmann E.E., y Cubbon, E. (2014): “Sketch Maps and Qualitative GIS: Using Cartographies of Individual Spatial Narratives in Geographic Research”. *The Professional Geographer*, 66, 2, pp. 236-248.

3. Bosque, J. (2015): "Neogeografía, Big Data y TIG: problemas y nuevas posibilidades". *Polígonos. Revista de Geografía*, 27, pp. 165-173.
4. Bosque, J. (1992): *Prácticas de Geografía de la percepción y de la actividad cotidiana*. Barcelona, Ed. Oikos-Tau. 138 pp.
5. Buzai, G. (2011): "La construcción de mapas mentales mediante apoyo Geoinformático. Desde las imágenes perceptivas hacia la modelización digital", *Revista Geográfica de Valparaíso*, 44, 17 pp.
6. Catalani, C. Y Minkler, M. (2009): "Photovoice: A review of the literature in Health and Public Health". *Health and Education Behavior*, nº 37, pp. 424-451.
7. Cauvin, C. (1984): "Espaces cognitifs et transformations cartographiques". Université Louis Pasteur. Strasbourg. Thésis.
8. Chen, X.; Kwan, M.P. (2015): "Contextual uncertainties, human mobility and perceived food environment: the uncertain Geographic context problem in food access research". *American Journal of Public Health*, 105, 9, pp. 1734-1737.
9. Dusek, T. (2010): "Bidimensional Regression in Spatial Analysis", en *Analtical methods with space parameters*, HAS RSC Research Methodology Subcommittee, Septiembre de 2010. Disponible en: <http://real.mtak.hu/29566/1/dusek.pdf> (13/05/2016).
10. Escobar, F.J. (1992): "El esquema cognitivo del espacio urbano" en Bosque, J.: *Prácticas de Geografía de la Percepción y de la Actividad Cotidiana*. Barcelona, Ed. Oikos-Tau, pp. 45-100.
11. Escobar, F.J. (1996): *Los sistemas de información geográfica en la localización de servicios sociales: centros de salud y clubes de jubilados en Alcalá de Henares*. Universidad de Alcalá. Tesis. 525 pp.
12. García, A., Bosque, J. (1975): *El espacio subjetivo de la ciudad de Segovia*. Oficina Municipal de Planeamiento. Segovia. 41 pp.
13. Gould, P. (1975): *People in information Space: The mental Maps and information Surfaces of Sweden*. Lund Studies in Geography, Lund (Sweden), 161 pp.
14. Kosslyn, S.M. (1981): "The medium and the message in mental imagery: a theory", *Psychological Review*, 88, 1, pp. 46-66.
15. Kwan, M.P., Ding, G. (2008): "Geo-Narrative: Extending Geographic Information Systems for Narrative Analysis in Qualitative and Mixed Method Research". *The professional Geographer*, 60, pp. 446-465.
16. Lynch, K. (1960): *The image of the city*, Cambridge (Massachusetts), MIT Press, 208 pp.
17. Metton, A., y Bertrand, M.J. (1972) : "De l'enfant al hombre: la perception de l'espace urbain". *L'Espace Geographique*, 4, pp. 283-285.
18. Montello, D.R. (2015): "Behavioral methods for spatial cognition research", en Gifford, R.: *Research methods for Environmental Psychology*. Chichester, (West Sussex, UK), Ed. Wiley Blackwell, 438 pp.
19. Pylyshyn, Z. W. (1981): "The imagery debate: analogue media versus tacit knowledge". *Psychological Review*, 88, 1, pp. 1645
20. Rodwin, L. et al. (1969): *Planning for urban growth and regional development*. Cambridge, Mass., MIT Press. 54 pp.
21. Schwering, A., Wang, J., Chipofya, M., Jan, S., Li, R., Broelemann, K. (2014): "SketchMapia: Qualitative Representations for the Alignment of Sketch and Metric Maps", *Spatial Cognition & Computation*, 14, 3, pp. 220-254.
22. Shen, S., Xue, L., Wu, L., Liu, Y. (2007): "Cognitive distortions based on MDS configuration and sketch mappin: a case study in Beijing city" en Li, M., y Wang, J. (2007): *Geoinformatics 2007: Cartographic Theroy and Models*, Ed. SPIE, 552 pp. Disponible en: doi: 10.1117/12.759729.
23. Sohi, I.B., Bethany, A., Liu, J., Battersby, S.E., Liese, A.D. (2014): "Differences in food environment perceptions and spatial attributes of food shopping between residents of low and high food access areas". *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 46, 4, pp. 241-249.
24. Stadler, J. Dugmore, C., Venables, E., MacPhail, C., Delany-Moretlwe, S. (2013): "Cognitive mapping: using local knowledge for planning health research". *BMC Medical Research Methodology*, 13, 96, 13 pp.
25. Tobler, W.R. (1978): "Comparaison of plane forms". *The Geographical analysis*, 10, 2, pp. 154-162.
26. Tobler, W.R. (1994): "Bidimensional regression". *Geographical Analysis*, 26, 187-212.

EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA SIERRA DEL AJUSCO, CIUDAD DE MÉXICO Y MODELADO DE ESCENARIOS DE CRECIMIENTO URBANO

Sarai Vázquez González¹, Alicia Chacalo Hilu², Armando Cortés Ortiz³, Isabelle Barois Boullard⁴ y Griselda Benítez Badillo⁵

^{1 y 2} Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, ²Departamento de Energía, ¹Posgrado en Ciencias e Ingeniería Ambientales, Dirección: Av. San Pablo 180, Col. Reynosa Tamaulipas, Delegación Azcapotzalco, Código Postal 02200, Distrito Federal, México. biol.saravg@gmail.com, ach@correo.azc.uam.mx

³ Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango, Departamento de Gestión Territorial, Dirección: Sigma #119 Fracc. 20 de Noviembre II. Código Postal 34220, Ciudad de Durango, Estado Durango, México. c_armando25@hotmail.com

^{4 y 5} Instituto de Ecología, A.C./INECOL, Dirección Carretera antigua a Coatepec No. 351, El Haya Xalapa 91070, Veracruz, México. isabelle.barois@inecol.mx, griselda.benitez@inecol.mx

RESUMEN

Este trabajo pretende evaluar el cambio de uso de suelo en la Sierra Ajusco desde los 70 a la fecha por medio de SIG. Se construyeron los mapas de uso de suelo con las series I a la V (INEGI), se evaluaron los cambios de superficie de cada categoría de uso de suelo y vegetación y se realizó su validación en campo. Se desarrollaron los modelos de crecimiento urbano por medio de la técnica de cadenas de Markov y autómatas celulares, validando con la zona urbana de 2011. Se elaboró un modelo con regresión logística para conocer las variables que influían en el crecimiento urbano, además de un modelo con evaluación multicriterio, utilizando la combinación lineal ponderada.

Entre la serie I y la V la superficie urbana se incrementó 1.6 veces, de acuerdo a la imagen de satélite (Landsat 8, 2014) la superficie aumentó 3 veces. Las variables que mostraron mayor influencia en el crecimiento urbano fueron: distancia a cuerpos de agua, a vialidades y a corrientes de agua, así como la altitud, orientación, tipo de suelo, tipo de roca y cobertura de suelo. Los escenarios construidos con las cadenas de Markov y los autómatas celulares tuvieron una fuerte correlación con la zona urbana de la serie V (índice Kappa 0.98). Estos fueron usados para realizar el pronóstico de crecimiento a mediano y largo plazo. La ponderación de las variables se hizo siguiendo al índice ROC, dando mayor importancia a la altitud, seguida de la distancia a poblados, tipo de roca, distancia a calles y a corrientes.

PALABRAS CLAVE cambio de uso de suelo; cadenas de markov; autómatas celulares; regresión logística y evaluación multicriterio.

ABSTRACT

This work aims to evaluate the change of land use in the Sierra Ajusco from the 1970's till to date through GIS. The maps were elaborated with the series I to V of land use maps from INEGI (National Institute of Statistics and Geography), the changes in each category of land use and vegetation surface were evaluated and validated in the field. Models of urban growth were developed using Markov chains and cellular automata, validated with the urban area of 2011. A model was elaborated with logistic regression to know the main variables influence urban growth, as well as a model with multicriteria evaluation, using weighted linear combinations.

Between series I and V, the urbanized area increased 1.6 times. According to the satellite images (Landsat 8, 2014) the surface increased 3 times. Variables that showed greater influence on urban growth were: distance to: water bodies, roads and streams, as well as the altitude, orientation, soil type, type of rock and soil cover. The scenarios built with Markov chains and cellular automata had a strong correlation with the urban area of

series V (index Kappa 0.98). These were used to make the forecast the urban growth in medium and long term. The weighting of variables was done according to the ROC index, giving greater importance given to the altitude, followed by the distance to towns, type of rock, distance to streets and streams.

Keywords: change of land use; Markov chains; cellular automata; logistic regression; multicriteria evaluation

1. INTRODUCCIÓN

La Sierra del Ajusco se ubica al suroeste de los límites de la Ciudad de México; al ser una zona con vegetación arbórea y pastizales ofrece un sinnúmero de servicios ambientales como recreación, filtración de contaminantes, recarga de acuíferos, producción de oxígeno y otros más. Además, dentro de la zona de estudio, se encuentran áreas naturales protegidas las cuales fueron declaradas en base a su riqueza de especies, importancia histórica y cultural, por las interacciones que se llevan a cabo en sus ecosistemas, entre otros.

Derivado de lo anterior, es necesario tener un conocimiento amplio sobre los cambios de uso de suelo que se han dado en la zona de estudio en las últimas décadas lo cual permite conocer las causas y consecuencias de los procesos de degradación, reducción de la biodiversidad, y por lo tanto de la provisión de los servicios ambientales. Principalmente saber qué superficie ha cambiado a un uso urbano. Es importante además, tener un registro del tipo de cobertura sobre la cual se ha ejercido mayor presión por el crecimiento urbano.

Por medio de modelos estocásticos, se realizaron algunos pronósticos acerca del crecimiento de la mancha urbana. El fin de este tipo de estudios, es dar las bases para promover un desarrollo urbano planificado, respetando en todo momento los ecosistemas allí presentes.

Este trabajo pretende evaluar el cambio de uso de suelo en la Sierra del Ajusco y sus alrededores desde la década de los setentas a la fecha, por medio de Sistemas de Información Geográfica y el modelado de escenarios de crecimiento urbano aplicando diferentes técnicas como la regresión logística, las cadenas de Markov, los autómatas celulares y el análisis multicriterio.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Existen varios modelos predictivos para generar escenarios futuros de cambios de uso del suelo, los cuales utilizan diversas variables (Henríquez et al., 2006). Los modelos basados en transiciones espaciales utilizan métodos estocásticos como las matrices de Markov, los autómatas celulares y la evaluación multicriterio.

También hay modelos estadísticos para saber la correlación que existe entre diferentes variables y por lo tanto pueden determinar que tanto puede o no afectar una variable en otra, un ejemplo de estos modelos es la regresión logística.

- Amuzurrutia-Valenzuela et al. (2015) evaluaron la susceptibilidad de urbanización en la zona metropolitana de San Luis Potosí en México, desarrollando un modelo de regresión logística. Determinaron que la distancia a zona industrial, la elevación y el costo del uso del suelo tuvieron mayor influencia sobre el crecimiento urbano.
- Guan et al. (2011) modelaron el crecimiento urbano de la Ciudad de Saga en Japón. Por medio de cadenas de Markov y autómatas celulares. Pronosticaron para el período de 2015-2042, que las tierras ocupadas por bosques y cultivos tienen una tendencia a la baja, en cambio las zonas urbanizadas a la alta.
- Da Silva y Cardozo (2015) por medio de técnicas de análisis multicriterio identificaron los espacios potenciales para la ocupación residencial en la ciudad de Resistencia. Los resultados mostraron una buena capacidad del oeste y noroeste de la ciudad. Utilizaron como factores la altitud y la pendiente, distancia a los ríos Paraná y Negro, las coberturas de suelo, distancia a áreas ya urbanizadas, a la red vial y a las paradas de los colectivos, así como a los establecimientos educativos y centros de salud.
- En 1987 Benítez et al. realizaron una evaluación comparativa de los usos de suelo y pérdida de la cubierta vegetal entre 1959 (escala 1:50 000) y 1977 (escala 1:30 000) con fotografías aéreas de la Sierra del Ajusco, concluyendo que el proceso de urbanización como consecuencia del crecimiento de la población,

influyó en la vegetación y uso de suelo provocando cambios en la superficie y distribución de estos tipos de uso de suelo. En 1977, el área urbana fue 4.3 veces mayor que en 1959.

2.1. Hipótesis

Al conocer los cambios de uso de suelo que se han dado en la Sierra del Ajusco desde los años 70 a la fecha, se puede visualizar y contabilizar la superficie de los distintos tipos de vegetación que se han sustituido por urbanización o por otro tipo de uso de suelo. Así mismo, los modelos de crecimiento urbano podrán dar una visión del panorama futuro que podría presentarse en esta zona, lo cual podría ser útil para políticas de ordenamiento territorial, y de planeación y manejo ambiental.

3. ÁMBITO DE ESTUDIO

La zona de estudio se delimita al Norte en las coordenadas geográficas 19° 20' LN y 99° 20' LO a 19° 20' LN y 99° 10' LO. Al sur 19°10' LN y 99° 20' a 19 ° 10' LN 99° 10' LO, con una superficie total de 32,302 ha. Está ubicada al suroeste de la Ciudad de México, a una altitud entre los 2,400 y 3,800 msnm, con una topografía accidentada con la presencia de varios volcanes inactivos.

Dentro de la zona de estudio se encuentran 5 parques nacionales, también se ubican 2 reservas ecológicas comunitarias, así como 2 zonas sujetas a conservación ecológica. Además el Parque Estatal Otomí-Mexica al suroeste de la zona de estudio (SEMARNAP y RDS, 2000). Dichas reservas y parques abarcan casi e 75% del total de la superficie de estudio. Dentro de éstas zonas existe cerca del 20% con uso de agricultura y un 11% como uso urbano.

4. METODOLOGÍA

Para conocer el cambio de uso de suelo en la Sierra del Ajusco y sus alrededores, se construyeron los mapas de uso de suelo de la zona de interés en base a la información de las series I a la V (INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía); se evaluaron los cambios de superficie en hectáreas de cada categoría de uso de suelo y vegetación entre estas. A su vez, se realizó una validación en campo de cada categoría. Con estos mapas se desarrollaron los modelos de crecimiento urbano por medio de la técnica de cadenas de Markov y autómatas celulares (Akin et al. 2015), el modelo fue validado haciendo un pronóstico al año 2011 y comparando los resultados con la serie V. Se elaboró un modelo por medio de regresión logística para conocer cuáles eran las variables que influían en el crecimiento urbano (Batisani y Yarnal, 2009; Akin et al. 2015; Amuzurrutia-Valenzuela et al. 2015). Se construyó un modelo por medio de la técnica de evaluación multicriterio, utilizando la combinación lineal ponderada y realizando la ponderación de los criterios por medio de la técnica de Saaty para asignar aptitud de uso urbano a diferentes superficies de la zona.

4.1. Cálculo de cambio de superficie

Teniendo el mapa de uso de suelo (USUE) de la serie I y serie V, se asignó una clasificación común para cada categoría de USUE y un código numérico para identificarlas, con el programa Arc Map se hizo una intersección entre ambas series y se calculó la superficie de cambio a zona urbana. Con esta información se graficó el cambio de superficie ocupada por cada categoría en las cinco series, así como el porcentaje que ocupaba cada tipo de USUE en la serie I y en la serie V del total de la superficie de interés y una gráfica dónde se observa el cambio temporal de uso de suelo entre las series. Así mismo, se realizó una comparación con una imagen de satélite de Diciembre de 2014 (Landsat 8) de la zona urbanizada. Se validó en campo la clasificación de los diferentes polígonos.

4.2. Modelado con regresión logística

Para formar la matriz de datos, primero se definieron las variables explicativas que se considerarían en el modelo. Se consideraron 10 variables de acuerdo a lo reportado en literatura (Batisani y Yarnal, 2009; Akin et al. 2015; Amuzurrutia-Valenzuela et al. 2015) y asesoramiento de especialistas del tema, las cuales fueron:

orientación, pendiente, altitud, distancia a corrientes y cuerpos de agua, distancia a red vial y a zona urbana, tipo de roca, tipo de suelo y cobertura de suelo. La variable dependiente se construyó con la superficie de la zona urbana que creció entre la serie I y serie V.

En el software SPSS se corrió el módulo de regresión logística binaria, seleccionando la variable dependiente, las covariables y el método "pasos adelante". Se corrió la regresión con el total de los datos y con una muestra (40%). Con los valores del parámetro estimado (B) de cada variable se construyó la ecuación de la regresión logística con las covariables que quedaron al final del proceso.

De acuerdo a los valores de la ecuación se construyó una imagen con las zonas más probables de urbanizarse, las cuales fueron comparadas con la zona urbanizada de la serie V de INEGI.

4.3. Modelado con cadenas de Markov

Dentro del software IDRISI se cargaron las imágenes de USUE serie II y serie IV en el módulo MARKOV y se definieron los años transcurridos entre estas series, haciendo la predicción a 4 años para poder compararlo con la carta USUE de la serie V publicada por INEGI en 2011. Como resultado de este análisis se obtiene la matriz de áreas que señala los cambios de superficie que se dieron entre las series.

4.4. Modelado con autómatas celulares

Se construyeron los mapas de aptitud de suelo de acuerdo a las referencias (Akin et al. 2015) es decir, que zonas eran las más aptas para urbanizarse. Estos mapas ayudaron a definir las zonas con mayor probabilidad de urbanización de acuerdo a ciertas características del terreno.

Se corrió el módulo CA_MARKOV en IDRISI usando la matriz de áreas que se obtuvo previamente con Markov y como mapa base el de USUE serie II (1997), proyectando al 2011. Este módulo arroja como resultado una serie de imágenes con la probabilidad de uso de suelo que tendrán los diferentes polígonos en el tiempo estimado.

4.5. Validación de modelo

Para validar los modelos de cadenas de Markov y autómatas celulares, se procesó la imagen obtenida con la categoría de zona urbana para que quedara en código binario y así compararla con la imagen de zona urbana de la serie V y validarla por métodos estadísticos (índice Kappa y Cramer's).

Una vez validada la imagen que se creó por estos métodos, se procedió a elaborar los escenarios de crecimiento urbano a corto (2030) y mediano plazo (2045).

4.6. Modelo con análisis multicriterio

Los mapas de aptitud (factores) se elaboraron de acuerdo a las referencias (Molero et al. 2007; Rosa et al. 2010; Da Silva y Cardozo 2015; Henriquez y Qüense 2010). Se construyó la matriz de peso, es decir colocando un valor de importancia a cada variable de acuerdo a su influencia en el crecimiento urbano, esto con ayuda de expertos en distintas disciplinas.

Dentro del software IDRISI se corrió el módulo MCE, seleccionando la técnica de combinación lineal ponderada. Usando como restricción los polígonos de las ANP (áreas naturales protegidas) y los cuerpos de agua y como factores la altitud, la distancia a los poblados, el tipo de rocas, la distancia a calles y a corrientes intermitentes, ya que estas variables fueron las que tuvieron mayor relación con el crecimiento urbano en el modelo de regresión logística con un valores de ROC mayores a 0.65.

Esta metodología fue utilizada para asignar una aptitud de uso urbano a las diferentes zonas del área de estudio y con ello establecer criterios de urbanización.

5. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Cambios de uso de suelo

En la zona se identificaron 7 tipos de vegetación; bosque de encino, bosque de encino-pino, bosque de oyamel, bosque de pino, bosque de pino-encino, matorral crasicaule y pastizal inducido, así como uso de suelo para agricultura de temporal y zona urbana.

De 1984 a 2011 la zona urbana fue la que ganó más superficie (2,572 ha) y el bosque de encino fue el que perdió más superficie (1,623 ha). La agricultura de temporal fue la que cedió mayor superficie a la zona urbana (1,310 ha), seguida del bosque de oyamel, que cambió a bosque de pino (1,035 ha) y el bosque de encino que cambió a uso urbano (1,054 ha). Además, el bosque de pino cambió a pastizal inducido (598 ha). Igualmente 500 ha que se usaban como pastizal inducido, se urbanizaron.

El cambio de la ocupación de terrenos que se utilizaban para la agricultura por infraestructura urbana puede tener explicaciones edafológicas o por pérdida de fertilidad debido a los usos y costumbres en la siembra que en ocasiones causa contaminación o pérdida de nutrientes en los suelos, lo que conlleva a perder su productividad (García, 2008). Esto coincide con lo reportado por el Instituto de Geografía de la UNAM y el INE (2006) quienes mencionan que en la Delegación Tlalpan de 1995 al 2005, la agricultura de temporal con cultivos anuales siguió una tendencia decreciente: de 8,958 pasó a 8,446 ha.

La pérdida del bosque de encino puede deberse a múltiples factores biofísicos: acidificación de los suelos, erosión, cambio en los patrones de lluvias y temperatura, o incendios, entre otros. Además, pueden existir factores económicos como el aprovechamiento forestal. Sin embargo, en este caso, la mayor superficie que perdió ésta asociación vegetal fue por la transformación a uso urbano (1,050 ha) debido en parte a su cercanía con las zonas ya pobladas.



Figura 1. Pérdidas y ganancias de superficie en hectáreas por categoría en el período de 1984-2011.

5.2. Crecimiento de la zona urbana

De acuerdo a lo reportado en la Serie I, se definió un polígono con superficie de 3,691 ha (11.4%) clasificada como zona urbana, en cambio para la serie V se definieron seis polígonos con una superficie total de 6,263 ha (19%) que significó un aumento de 1.6 veces de la zona urbana. Sin embargo, de acuerdo a la imagen de satélite "Landsat 8" de Diciembre de 2014, la superficie aproximada es de 11,000 ha que representa el 36%. Así mismo de acuerdo al INEGI las AGEB's (áreas geoestadísticas básicas) urbanas en la zona de estudio abarcan una superficie de 10,474 ha (32%). Existe una diferencia de 4,211 ha respecto a lo reportado por la serie V, esto quiere decir que de acuerdo a lo indicado en la serie I, la zona urbana creció 2.8 veces en un período de casi 30 años. De esta manera de 1984 a 2011, hubo un crecimiento de 323 ha por año de la zona urbana (figura 2).

El crecimiento urbano en el DF se ha dado sobre el suelo de conservación de manera difusa, con ocupaciones de baja densidad en todas las laderas de la Sierra de Chichinautzin que se encuentra aladaña a la Sierra del Ajusco (IG, UNAM y INE, 2006).

El desarrollo inmobiliario en la Ciudad de México se ha dado hacia las periferias y no en la zona céntrica, lo cual provocó un aumento en la densidad de la población en los municipios del Estado de México cercanos al DF. Así, para el año 2000, la proporción de la población que vivía en la zona centro del DF disminuyó 48%. Lo anterior conllevó a un aumento en las tasas de crecimiento de los municipios del Estado de México. Si bien la zona de estudio está ubicada mayormente en el DF, esta zona es parte de la periferia de la zona céntrica por lo cual se explica su crecimiento en las últimas décadas (Aguilar, 2002).

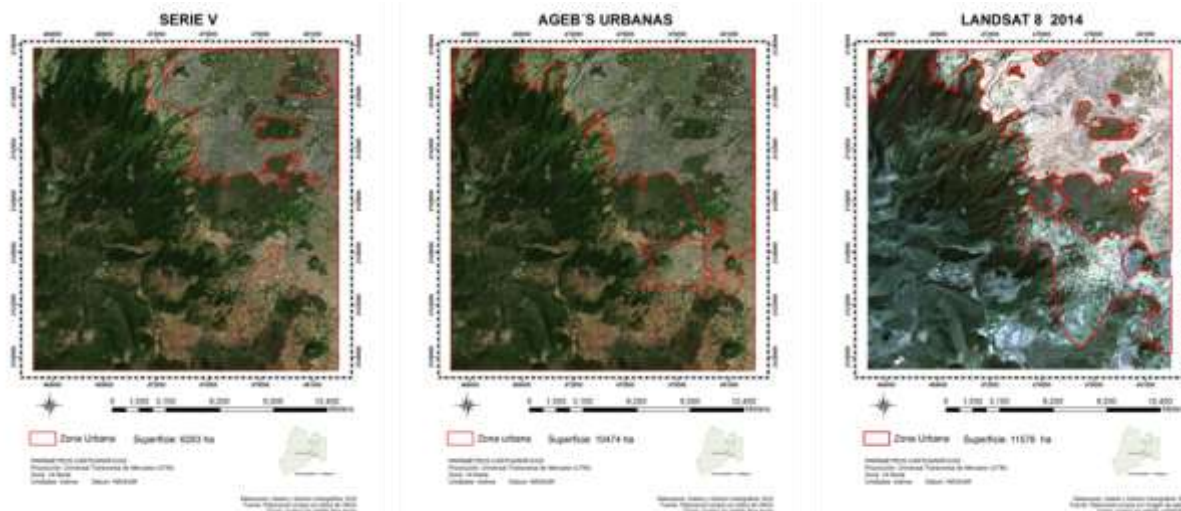


Figura 2. Comparación de la zona urbana con tres distintas fuentes de información. Elaboración propia en base a datos de INEGI, imagen del satélite Landsat 8.

5.3. Modelo de crecimiento urbano y variables que influyeron (regresión logística)

Los escenarios 1 y 3 elaborados por medio de regresión logística, son los que presentaron mayor superficie con probabilidad de ser urbanizada, la cual coincide en cierta medida con las zonas que INEGI reporta con uso de suelo urbano.

De acuerdo a los coeficientes obtenidos para cada variable y sus signos (Tabla 1), se puede decir que en el caso del escenario 1 los sitios más idóneos para el establecimiento de la zona urbana son los de menor altitud, más cercanos a las vialidades, con una orientación hacia el Este, en un tipo de suelo clasificado como urbano y a su vez en zonas con uso de suelo de pastizal y cobertura de suelo con bosque de encino, además en un tipo de roca clasificada como suelo.

De la misma forma, se tiene que para el escenario 3 las zonas más susceptibles a ser urbanizadas son las de menor distancia a zonas urbanas, menor pendiente; de suelos de tipo feozem lúvicos y en superficies con uso de suelo para agricultura de temporal.

| | Escenario 1 | | Escenario 3 |
|-----------------|-------------|-----------------|-------------|
| Ajuste promedio | 93% | Ajuste promedio | 93.4% |
| Índice Kappa | 0.49 | Índice Kappa | 0.51 |

| ROC | 0.87 | ROC | 0.87 |
|------------------------|-------------|---------------------------|-------------|
| VARIABLE | COEFICIENTE | VARIABLE | COEFICIENTE |
| Altitud | -0.007 | Distancia a zonas urbanas | -0.001 |
| Distancia a vialidades | -0.005 | Pendiente | -0.156 |
| Orientación | -0.005 | Tipo de suelo | 9.959 |
| Tipo de suelo | -12.713 | Uso para agricultura | 3.695 |
| Bosque de encino | 20.965 | | |
| Pastizal | 22.983 | | |
| Tipo de roca (suelo) | 18.840 | | |

TABLA 1. Bondad de ajuste de dos modelos construidos en base a la ecuación de la regresión logística, así como los coeficientes obtenidos por cada variable- Fuente: Datos obtenidos por medio del programa SPSS.

La pendiente presenta un índice de correlación bajo con la zona urbana, indicando que a menor pendiente, se pueden establecer mejor los centros urbanos, lo cual coincide con Hernández (2015) y Batisani y Yarnal (2009). Además, según el PGOEDF (Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal) la zona urbana actualmente se desarrolla en una pendiente moderada de 0 a 16°. Recordando que el modelo sólo indica la probabilidad de desarrollo de zonas urbanas en dichas áreas, es necesario observar que en la realidad las zonas urbanas se establecen en algunos lugares con pendientes muy pronunciadas con alto riesgo de derrumbe.

Por otro lado, hay una baja correlación entre la distancia a la zona urbana y el crecimiento de la ciudad pero la tendencia es que a menor distancia de los poblados, habrá mayor urbanización. Aguilera (2006) señala que de 1970 a 1984 en la Ciudad de Granada existió un alta correlación entre estas variables. Por el tipo de crecimiento que se está presentando en la zona, la superficie urbana no necesariamente va a crecer a un lado de los grandes núcleos de población. Por otro lado, el PGOEDF instituyó que las áreas que estén a una distancia de 0 a 200 m de los poblados, son las zonas más aptas para urbanizarse.

Además, se obtuvo una fuerte relación entre el uso de suelo de agricultura de temporal y el pastizal y una relación negativa con el bosque de oyamel y de pino. Es decir que de acuerdo a este modelo, hay mayores probabilidades de que se urbanicen los sitios con cobertura de pastizal y agricultura (Batisani y Yarnal 2009; García 2008) que las áreas boscosas. Esta información coincide con el PGOEDF el cual identificó que la ocupación urbana se dio sobre los campos de cultivo y pastizales.

5.4. Simulación del crecimiento urbano a corto y mediano plazo (cadenas de Markov)

El escenario que fue construido por medio de cadenas de Markov con las Series II y IV para pronosticar al 2011, tiene un alto valor de similitud (Kappa 0.98) al comparar con los polígonos de uso urbano de la serie V. Existe una diferencia de 180 ha entre ambas imágenes, puesto que el modelo no toma en cuenta el polígono existente en el sureste de la zona. De acuerdo a este modelo, hubo un cambio de 20.25 ha que estaban clasificadas con un uso diferente al urbano que pasaron a este uso.

Conforme a los cambios cronológicos que han existido en la zona desde los 70 a la fecha, se construyó un escenario que muestra el crecimiento de la superficie urbana en el 2030. No se revelaron cambios aparentes entre la superficie pronosticada para dicho año y la publicada por INEGI para 2011. Lo mismo sucedió con el escenario simulado a 2045. Hay una diferencia de superficie de aproximadamente 550 ha que no consideró el modelo y que en la serie V están contabilizadas como zonas urbanas.

Los escenarios pronosticados para 2030 y 2045 tienen una superficie de área urbana muy parecida a la de la serie V. Esto no quiere decir que no habrá cambios en la superficie urbanizada, lo que sucede es que el crecimiento urbano no sólo está condicionado por los usos de suelo que se han dado históricamente, hay más variables que influyen. Sandoval (2009) señala que las limitaciones del modelo de simulación obtenido por cadenas de Markov se debe a que el modelo determina las probabilidades de cambio con base solamente en el análisis interno del sistema, sin tener en cuenta las variables explicativas y descriptivas, y recomienda usarlo en combinación con otras metodologías. Las cadenas de Markov nos ayudan a dar probabilidades de cambio en el sistema de acuerdo al comportamiento del mismo durante el tiempo, sin embargo, como ya se mencionó, hay n cantidad de variables que pudieran influir positiva o negativamente en el mismo.

5.5. Simulación del crecimiento urbano a corto y mediano plazo de acuerdo a ciertas variables

El modelo en base al método que combina las cadenas de Markov y los autómatas celulares, fue construido con la carta de USUE de la serie II como escenario base, la matriz de transición de áreas entre las serie II y IV y los mapas de aptitud, el pronóstico fue para 14 años. Como filtro, se utilizaron los autómatas celulares estándar de 5 por 5.

El análisis estadístico mostró una alta correlación entre la superficie pronosticada por el modelo y la zona urbana de la serie V (índice Kappa 0.97). La diferencia entre ambas superficies fue de 143 ha (2.3%).

Los escenarios construidos para el 2030 y 2045 fueron muy parecidos y coincidieron en gran medida con la zona urbana de la Serie V (Kappa 0.97) con una diferencia de superficie de 612 ha (figura 3) (9.7%).

Esto no quiere decir que no cambiara la superficie que actualmente se usa como urbana. Más bien quiere decir que no sólo los cambios históricos y las variables de cobertura de suelo, tipo de suelo, tipo de roca y pendiente son las que influyen en el crecimiento de la mancha urbana.

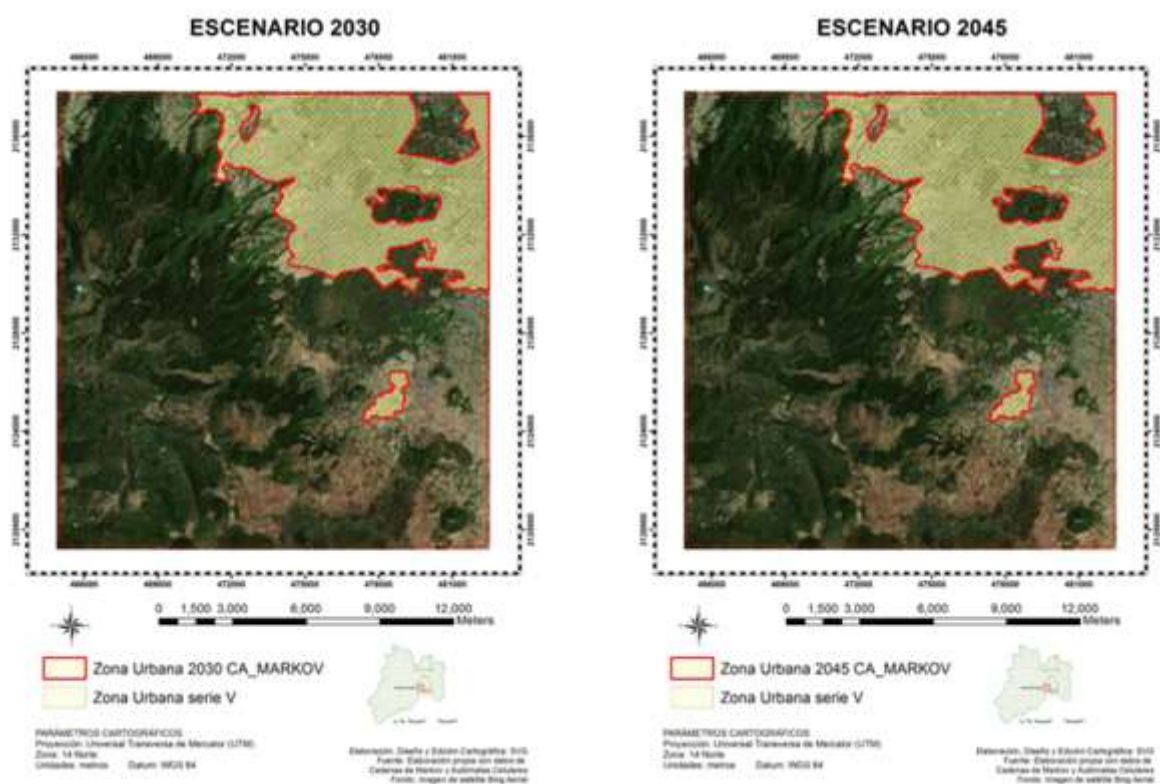


Figura 3. Comparación de escenarios a corto y mediano plazo con la superficie de la zona urbana de la serie V. Elaboración propia con datos de CA_MARKOV.

Si bien las proyecciones hechas por estas metodologías (cadenas de Markov y autómatas celulares) se basaron en algoritmos matemáticos, y el ajuste del modelo fue alto, no pronostican cambio alguno en el crecimiento de la mancha urbana. Como ya se mencionó, la dinámica urbana es muy cambiante, de tal forma que de un momento a otro puede existir un evento ya sea ambiental, social, económico o político que cambie la velocidad y forma de crecimiento de la zona.

5.6. Aptitud de uso de suelo urbano (MCE)

Otro escenario se elaboró por medio de la evaluación multicriterio, utilizando como factores la altitud (peso 0.30), la distancia a zonas urbanas (peso 0.32), vialidades (peso 0.11) y corrientes (peso 0.08), así como el tipo

de rocas (peso 0.17), las cuales fueron las cinco variables con mayor correlación (ROC) en base a la regresión logística. Como limitante se usaron los polígonos de las áreas naturales protegidas y los cuerpos de agua.

Esta puede ser una propuesta que coincide en cierta medida con el PGOEDF, es decir, asignando como zona apta para el crecimiento urbano aquellas zonas donde ya existe infraestructura o equipamiento urbano y en su caso en los poblados rurales que determina este programa. Por otro lado, se asigna la no aptitud urbana en las zonas de conservación y protección y no sólo en las ANP (figura 4).

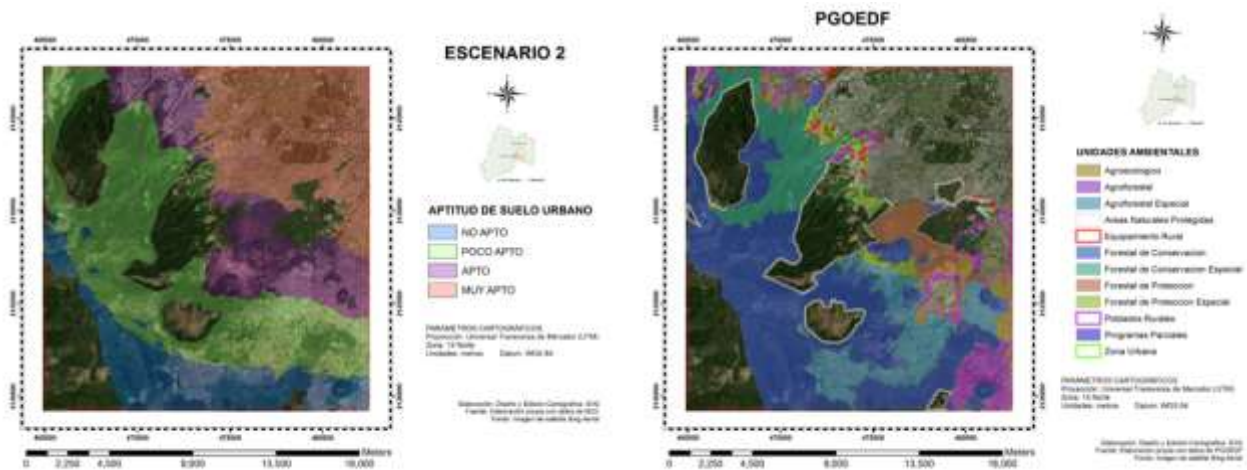


Figura 4. Comparación de mapas de aptitud, en la izquierda se puede ver en tono rojizo y morado las zonas más aptas para urbanizarse y a la derecha enmarcados en rojo y morado las zonas con poblados rurales y equipamiento urbano. Elaboración propia en base a la evaluación multicriterio y el PGOEDF.

Los escenarios aquí presentados no se construyeron para hacer política pública, ya que es necesario contar con un grupo interdisciplinario para definir el problema, plantear los objetivos, buscar y evaluar alternativas y finalmente hacer un análisis de sensibilidad para validar el modelo obtenido (Gómez y Barredo, 2005). En este caso, sólo se realizó el ejercicio para conocer en base a los criterios considerados cuales serían los sitios más aptos para establecer la superficie urbana.

El uso de esta técnica, no garantiza el cumplimiento de la normatividad ambiental de la zona, por lo que se debe tener mucho cuidado al realizar la evaluación de los usos de suelo para cumplir con los objetivos tendientes a la protección ambiental y el desarrollo económico de las grandes urbes.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La zona urbana creció cerca de tres veces en tres décadas, con un crecimiento de 323 ha por año y se estableció sobre 2,971 ha que estaban clasificadas como bosques o uso agrícola o de pastizal.
- Los polígonos que tenían un uso de suelo para agricultura de temporal (1,301 ha) o que eran usados como pastizales (322 ha), perdieron una mayor superficie que fue utilizada como uso urbano, por ser los más cercanos a esta zona.
- El bosque de encino fue el tipo de vegetación que cedió mayor superficie al suelo urbano (1,042 ha).
- Las variables orientación, altitud, pendiente, distancia a corrientes y cuerpos de agua, distancia a la red vial a zona urbana, tipo de suelo, cobertura de suelo son las que tienen mayor influencia en el crecimiento urbano.
- Los escenarios construidos en base a la teoría de cadenas de Markov y autómatas celulares no pronosticaron algún cambio en el crecimiento de la zona urbana, sin embargo, se debe tener en cuenta que hay más variables que pudieran influir en el crecimiento.

- Los escenarios construidos en base a cadenas de Markov y autómatas celulares tuvieron una fuerte correlación con la zona urbana de la serie V (índice Kappa 0.98).
- De acuerdo a la MCE el escenario con los sitios más aptos para el establecimiento de zona urbana son aquellos que tienen menor altitud (2,200 y 2,800 msnm), están sobre roca volcánoclastica que es un material que constituye buenos acuíferos, por lo que la factibilidad para uso urbano es de moderado a bajo porque los afecta, se encuentran más cercanos a infraestructura vial -por lo menos a 100 m-, a asentamientos humanos (200 m) y estén a por lo menos 10 m a cada lado de las corrientes de agua.
- La aptitud de suelo urbano propuesta en el escenario 2, coincide en cierta medida con la superficie asignada como zonas donde existe equipamiento urbano y poblados rurales, según el PGOEDF. Sin embargo, no se pueden hacer comparaciones específicas por que el PGOEDF tiene entre otros objetivos, la clasificación de las distintas zonas para ser urbanizadas, con alguna actividad productiva o de protección.
- Se logró identificar los cambios de uso de suelo y vegetación que se han dado en la zona entre la serie I y la V, lo cual es importante para establecer medidas tendientes a evitar la pérdida de ciertas coberturas de vegetación y evitar el establecimiento de infraestructura urbana en sitios con otra aptitud de suelo.
- El crecimiento urbano pareciera ser algo inevitable dentro de la zona, sin embargo, es importante regularlo y planificarlo de manera sostenible, manteniendo áreas verdes, abiertas arboladas de uso público, dentro de la periferia urbana.
- El que existan o no programas de ordenamiento territorial no garantiza el uso y aprovechamiento del suelo de manera sostenible, no obstante son una buena herramienta que tiene que usarse en la realidad y no sólo en papel.
- Sería bueno realizar el mismo análisis geoespacial de la zona con imágenes satélite de alta resolución o con fotografías aéreas a buena escala.

7. REFERENCIAS

- Aguilar, G. (2002): "Las megaciudades y las periferia expandidas. Ampliando el concepto en Ciudad de México", *EURE*, 28.
- Aguilera B. F. (2006): "Predicción del crecimiento urbano mediante sistemas de información geográfica y modelos basados en autómatas celulares", *GeoFocus*, 6, 81-112 pp.
- Akın, A., Sunar, F., y Berberoğlu, S. (2015): "Urban change analysis and future growth of Istanbul", *Environmental monitoring and assessment*, 187, 8, 1-15 pp.
- Amuzurrutia-Valenzuela, D.; Aguirre-Salado, C. y Sánchez-Díaz G. (2015): "¿Hacia dónde crece la Ciudad de San Luis Potosí (México) después de 2009?", *EURE*, 41, 124, 113-137 pp.
- Batisani, N. y Yarnal, B. (2009): "Urban expansion in Centre County, Pennsylvania: Spatial dynamics and landscape transformations", *Applied Geography*, 29, 235-249 pp.
- Benítez G., Chacalo A. y Barois I. (1987): "Evaluación comparativa de la pérdida de la cubierta vegetal y cambios en el uso del suelo en el sur de la Ciudad de México", *Aportes a la Ecología Urbana de la Ciudad de México*. Limusa. México.
- Da Silva, C. J., y Cardozo, O. D. (2015): "Evaluación multicriterio y Sistemas de Información Geográfica aplicados a la definición de espacios potenciales para uso del suelo residencial en Resistencia (Argentina)", *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 16, 23-40 pp.
- Decreto. No. 139. Programa General de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal (PGOEDF). *Gaceta Oficial del Distrito Federal*. México. Publicado el 1 de agosto de 2000.

- García E. E. (2008). El Proceso de Expansión Urbana y su Impacto en el Uso de Suelo y Vegetación del Municipio de Juárez, Chihuahua. *Tesis de Maestra en Administración Integral del Ambiente*. El Colegio de la Frontera Norte. Tijuana, B. C., México, 63-139 pp.
- Gómez, D. M., y Barredo C. J. (2005). Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la Ordenación de Territorio. Editorial RA-MA. 2° Edición. España. 43-120 pp.
- Guan, D., Li, H., Inohae, T., Su, W., Nagaie, T., y Hokao, K. (2011): "Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model", *Ecological Modelling*, 222, 20, 3761–3772 pp.
- Hernández R. C. (2015). Dinámica del crecimiento urbano de la zona metropolitana Zacatecas – Guadalupe: cambio de uso de suelo y simulación de escenarios futuros. *Tesis de Maestro en Ciencias en Gestión Ambiental*. Instituto Politécnico Nacional. Durango, Dgo., México, 75-118 pp.
- Henríquez, C., Azócar, G., y Aguayo, M. (2006): "Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile", *Revista de Geografía Norte Grande*, 36, 61-74 pp.
- Henríquez, C., y Qüense, J. (2010): "Evaluación Multiobjetivo aplicada a los usos/coberturas de suelo en la cuenca de Chillán", *Tiempo y Espacio*, 25, 21-39 pp.
- Instituto de Geografía (IG) UNAM, e INE. (2006). *Urbanización periférica y deterioro ambiental en la ciudad de México: el caso de la Delegación Tlalpan en el Distrito Federal*. http://www.inecc.gob.mx/descargas/ord_ecol/proy_urba_tlalpan.pdf, consultado el 15 de Febrero de 2016, México D.F.
- Molero Melgarejo, E., Grindlay Moreno, A. L., y Asensio Rodríguez, J. J. (2007): "Escenarios de aptitud y modelización cartográfica del crecimiento urbano mediante técnicas de evaluación multicriterio", *GeoFocus*, 7, 120- 147 pp.
- Rosa, V. P., Benavente, F. A., Delgado, M. G., y Sendra, J. B. (2011): "Crecimiento urbano deseable para la aglomeración urbana de Granada en 2020", *En Actas de I Congreso Internacional en Ordenamiento Territorial y Tecnologías de la Información Geográfica* [Recurso electrónico]: Ciudad de Tegucigalpa, Honduras, del 11 al 16 de octubre de 2010 (pp. 578-596). Servicio de Publicaciones.
- Sandoval V. G. (2009). Análisis del Proceso de Cambio de Uso y cobertura de Suelo en la Expansión Urbana del Gran Valparaíso, su Evolución y Escenarios Futuros. *Tesis De Geógrafo*. Universidad de Chile. Santiago de Chile 36-73 pp.
- SEMARNAP y RDS (Red para el Desarrollo Sostenible A. C). (2000) *Áreas Naturales Protegidas de México con Decretos Federales*. <http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/130.pdf>, consultado el 1 de febrero de 2016, México D.F.

LÍNEA TEMÁTICA 2

Geodatos, geolocalización y análisis explotario de datos (Minería de datos)

LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LAS PÁGINAS WEB DE LOS DESTINOS TURÍSTICOS DE ESPAÑA: DE LA GEOLOCALIZACIÓN ONLINE A LOS GEOPORTALES

Gersón Beltrán-López¹

¹Universitat de València, Facultad de Geografía e Historia, Departamento de Geografía, Avda. Blasco Ibáñez 28, 46.010 Valencia, España. gerson.beltran@gmail.com

RESUMEN

El turismo es una actividad que se basa en el territorio, conformado por la combinación entre el mundo físico y el mundo online. Los recursos turísticos, las rutas y las empresas se encuentran en un lugar concreto donde los turistas disfrutan de diversas experiencias y las comparten en las redes sociales.

Los portales web han evolucionado, de modo que, cuando ofrecen información geográfica no sólo la geolocalizan sobre un mapa sino que se transforman en geoportales, una herramienta de comunicación entre el turista y el destino que le permite conocerlo durante todas las fases de viaje: antes de acudir a él, durante su estancia en el destino a través de dispositivos móviles y compartiendo la experiencia a posteriori. Todo ello teniendo en cuenta la importancia creciente de los datos (big data) en un entorno de destinos turísticos inteligentes (Smart Destinations).

El presente estudio tiene por objeto el análisis de la estructura y funcionalidad de la información geográfica online en los destinos turísticos de España a través del análisis de sus páginas web. El resultado obtenido es una visión de la situación actual, generando un listado de propuestas innovadoras para la implementación de geoportales en las webs de destino de España y que ayuden a los destinos a mejorar la forma en que ofrecen información geolocalizada a los turistas mediante el uso de las nuevas tecnologías.

Palabras clave: destinos turísticos inteligentes; geoportales; geoweb; geolocalización, mapas online

ABSTRACT

Tourism is an activity that is based on territory, formed by the combination of the physical world and the online world. Tourism resources, routes and businesses are in a particular location where tourists enjoy various experiences and share them on social networks.

The websites have evolved so that, when they offer geographic information not only geolocalize on a map but are transformed in geoportals, a communication tool between tourists and destination that lets you know during all phases of trip: before to come to him during his stay at the destination through mobile devices and sharing the experience afterwards. All this taking into account the growing importance of data (big data) in an environment of smart tourist destinations (Smart Destinations).

This study aims to analyze the structure and functionality of the online geographic information at tourist destinations in Spain through the analysis of their web pages. The result is a vision of the current situation, generating a list of innovative proposals for implementing geoportals on websites destination of Spain and help destinations to improve the way they provide geographic location information to tourists by using of new technologies.

Keywords: Smart destinations, geoportals, geoweb, geolocation, maps online

1. INTRODUCCIÓN

Cuando se habla de turismo la importancia de la geolocalización es básica: la situación del destino turístico, la localización de los recursos y la información que ofrecen, las rutas para desplazarse por él, etc. y la forma de visualizar esa información geolocalizada es a través de un mapa turístico.

Así pues, los mapas turísticos son esenciales, debiendo aportar mucha información relevante pero haciéndolo sobre un diseño sencillo y muy práctico, que sea funcional para el turista que lo consuma. En el caso de las páginas web podemos encontrar estos mapas de dos formas: o bien como parte principal de la página web, lo que se denomina geoweb (López Trigal, 2015) , o bien dentro de la misma web como un mapa de apoyo.

La opción más adecuada es identificar el mapa como una herramienta de comunicación entre el turista y el destino, entre el mundo online y el mundo offline, entre lo global y lo local, todo alrededor del concepto de SoLoMo, acrónimo de Social, Local y Móvil (Beltrán López, 2012) que está evolucionando a cambiar la L de Local por la C de Contexto, no se trata tanto de definir un espacio local específico sino de cómo el usuario se contextualiza en su entorno, ya que la relación con su entorno es básica (Buhalis & Foerste, 2015)

A esto debemos unirle el concepto de Big Data, de cómo obtener datos geolocalizados del destino y del turista que nos ayuden a conocer y predecir tendencias de cara a la toma de decisiones de los gestores del destino. Al mismo tiempo todo esto se engloba en los Smart Destinations (Invattur, 2015) y en la necesidad de que todos los elementos del destino estén integrados y conectados a través de sensores y se avance del Internet de las personas al Internet de las cosas.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN O REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Pese a la importancia de este tema el estudio de los geoportales web no ha sido muy desarrollado en la bibliografía reciente. El pionero en plantear la importancia de las nuevas tecnologías en la geografía fue Horacio Capel, quien ya anticipó muchos de los cambios que ahora vivimos en su magnífico artículo “Geografía en red a comienzos del tercer milenio” (Capel, 2010). Previamente el sociólogo chileno Diego Cerdá abordaba los elementos espaciales desde una perspectiva humanista basándose en la importancia de la geosemántica (Cerdá, 2005). Posteriormente Jorge del Río reflexionaba sobre estos aspectos de forma anticipada en el libro “Mapas invisibles” (del Río, 2011) y recientemente otros autores han seguido la línea de investigación de la nueva geografía, destacando Buzai y sus trabajos entre los que destaca su participación en el libro “Geografía, geotecnologías y análisis espacial” (Fuenzalida, Buzai, Jiménez, & de León Loza, 2015). Por último recientemente se ha publicado un especial de la revista Polígonos, “Neogeografía: algo más que cartografía accesible” sobre la nueva geografía con los autores previamente citados y la incorporación de otros de igual relevancia (Cortizo, 2015)

Desde el punto de vista aplicado el análisis de las páginas web de destino se ha desarrollado a partir de la evolución del modelo e-MICA pero siempre desde una perspectiva del marketing y por tanto sin incidir en la importancia de la variable espacial (González Sánchez, 2008).

Al hablar de cartografía y de mapas los análisis que serían más adecuados provendrían de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que, aunque aportan la parte técnica no se acercan a la perspectiva turística ni a la realidad de las páginas web, quedándose en el ámbito más técnico (Del Bosque González, Fernández Freire, Martín-Forero Morente, & Pérez Asensio, 2012).

Por último sí que existen algunos estudios de portales web y turismo pero ninguno analizando de forma global la situación de las distintas regiones en España, centrándose todos ellos o bien en una región concreta (García, Carreras, Moreno, & Royo, 2003) o bien en aspectos más bien técnicos como los antes reseñados sobre geovisores (Zújar, Cuevas, Francoso, Alcántara, & Campos, n.d.) y geoportales (Hochsztain, Vázquez, & Bernabé, 2012)

Así pues, este artículo pretende aportar una visión integradora de las anteriores: desde el análisis de la nueva geografía, con la base conceptual de los SIG y con el análisis aplicado de las páginas web turísticas.

3. ÁMBITO DE ESTUDIO

El presente documento realiza un análisis de cada uno de los portales turísticos de las 17 Comunidades Autónomas (CC.AA.) y de las 2 ciudades autónomas de España con datos obtenidos en el mes de noviembre de 2015. Sobre este análisis individual se realiza un análisis en conjunto destacando aquellos elementos presentes en estos portales y que pueden servir de ejemplo al resto de portales analizados. Hay que anotar que en algunas ocasiones no se dispone de un portal específico de turismo o bien éste se aloja dentro de la web general de la Comunidad Autónoma, pero en este caso eso no interfiere en el análisis ya que lo que busca es conocer la información del mapa turístico independientemente de dónde se encuentre alojado. Los geoportales web analizados han sido los siguientes:

| GEOPORTALES | Accesibilidad |
|----------------------|---|
| Andalucía | http://www.andalucia.org/es/ |
| Aragón | http://www.turismodearagon.com/es/ |
| Asturias | https://www.turismoasturias.es/ |
| Cantabria | https://www.turismodecantabria.com/inicio |
| Castilla La Mancha | http://www.turismocastillalamancha.es/ |
| Castilla y León | http://www.turismocastillayleon.com/ |
| Catalunya | http://www.catalunya.com/ |
| Ceuta | http://www.ceuta.si/ |
| Comunitat Valenciana | http://comunitatvalenciana.com/ |
| Extremadura | http://www.turismoextremadura.com/ |
| Galicia | http://www.turismo.gal/portada?langId=es_ES |
| Islas Baleares | http://www.illesbalears.travel/beta/html/mapa.html |
| Islas Canarias | http://www.holaislascanarias.com/ |
| La Rioja | http://lariojaturismo.com/comunidad/larioja |
| Madrid | http://turismomadrid.es/ |
| Melilla | http://www.melillaturismo.com/ |
| Murcia | http://www.murciaturistica.es/ |
| Navarra | http://www.turismo.navarra.es/esp/home/ |
| País Vasco | http://turismo.euskadi.eus/es/ |

Tabla 1. URL de las páginas web de las CC.AA. analizadas Fuente: Elaboración propia

4. METODOLOGÍA

Se parte de la hipótesis de que la información turística es un factor clave en el desarrollo de los destinos turísticos y que el turista digital se comunica con el destino físico a través de Internet y de las páginas web (Beltrán López, 2015). La geolocalización online ejerce de herramienta de comunicación entre el turista y el destino (sus empresas, recursos, infraestructuras y rutas) pero además, dicha localización en el espacio se plasma en los geoportales, que son la representación online del destino.

Por tanto el objetivo de este artículo es analizar cómo se ofrece la información geográfica en las páginas web de las Comunidades y Ciudades Autónomas de España a través de una serie de indicadores cualitativos que nos permitan medir el grado de desarrollo de dichas webs.

Los indicadores utilizados han sido:

Accesibilidad del mapa: identifica dónde se encuentra el mapa en la web, identificando si está directamente en la home de la web (0), si aparece en forma de banner que da acceso al mapa (1) o si es necesario entrar en otras páginas hasta llegar a él (2). Cuantos más clicks se deban hacer para llegar a la información se entiende que ésta es menos accesible.

Base mapa: identifica cual es el mapa base utilizado, pudiendo ser mapas comerciales (por ejemplo Google Maps), mapas públicos (de las Infraestructuras de Datos Espaciales o IDEs) o mapas colaborativos (por ejemplo Openstreetmap).

Leyenda del mapa: el número de categorías que aparece en la leyenda del mapa, que indica el grado de información ofrecida. Normalmente la leyenda se divide en capas de información que a su vez dan acceso a información que se geolocaliza en el mapa.

Otras funciones: aquellas que mejoran su usabilidad, como por ejemplo la posibilidad de realizar búsquedas, publicar eventos, ofrecer información del tiempo, etc.

Ficha del elemento: el tipo de información que aparece en la ficha de cada recurso, normalmente la dirección, el teléfono, algunas fotografías, descripciones, etc.

App móvil publicitada: si existe una aplicación móvil (app) y está publicitada en la web. El tráfico móvil ya ha superado al tráfico desktop o de escritorio y por tanto la existencia de una aplicación móvil es esencial.

Tal y como se puede observar los indicadores ofrecen una visión global de lo general a lo particular: en primer lugar se analiza la forma de llegar al mapa, posteriormente qué base cartográfica se utiliza, después el tipo de información que aparece a través de la leyenda, a partir de aquí se analiza la información y funcionalidades de los elementos que aparecen en el mapa y por último si se ofrece la opción de movilidad a través de la aplicación (app) en otros dispositivos.

5. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de resultados se va a mostrar por separado por cada indicador aunque de forma global podemos decir que, en cuanto al estado de los geoportales de los destinos turísticos españoles, en general son muy deficitarios a la hora de ofrecer información geográfica relevante y accesible al turista través de mapas.

Accesibilidad del mapa: las únicas regiones que tienen el mapa turístico “embebido” en la “home” o página principal de la web y por tanto un acceso directo a la información son Catalunya y Andalucía. Después hay 8 CC.AA. que tienen la información en un banner a un solo click de acceso, 7 que tienen el acceso a más de 2 clicks y 2 CC.AA. que no tienen mapa turístico (Castilla La Mancha y Ceuta).

Base mapa: destaca la predominancia casi absoluta de Google Maps como base cartográfica, con la única excepción de Castilla La Mancha, que tiene una imagen en formato jpeg; Ceuta, que no tiene ningún mapa y Melilla que utiliza un visor GIS (Sistema de Información Geográfica).

Leyenda del mapa: la media de capas de información en la leyenda de los geoportales es de 10,3; lo que supone una subdivisión bastante elevada si tenemos en cuenta que el turista debe seleccionar entre esas diez opciones y a su vez las divisiones que éstas tengan. Los extremos los encontramos en las 24 categorías de Catalunya frente a las 3 de La Rioja.

Otras funciones: destacan la función de buscar, imprimir y zoom, presentes en bastantes regiones. Hay que anotar que las islas (Baleares y Canarias) tienen las funciones por separado en cada una de las islas, no pudiendo usar estas funciones de forma global en los archipiélagos.

Ficha del elemento: en general destacan textos con datos básicos y fotos, así como la función de cómo llegar. En varias ocasiones se ofrece la opción de acceder a más información ampliando las fichas.

App móvil publicitada: sólo hay 5 regiones que incluyen publicidad de sus aplicaciones móviles (apps) en la web: Asturias, Cantabria, Comunitat Valenciana, Melilla y Navarra.

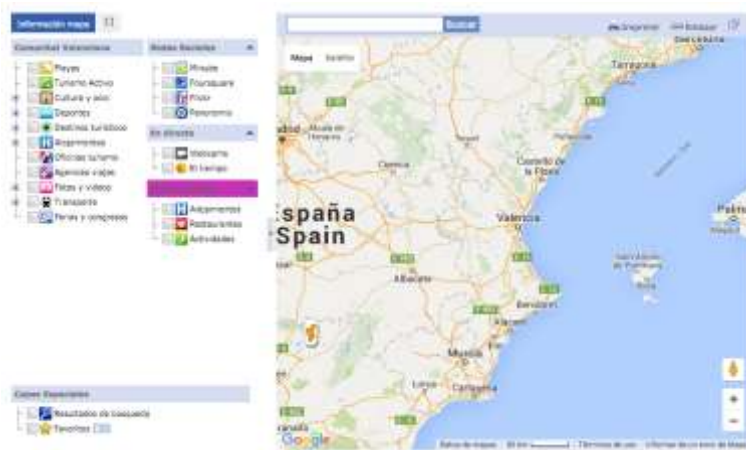


Figura 1. Ejemplo base Google Maps Fuente: Comunitat Valenciana <http://comunitatvalenciana.com/geoportal>



Figura 2. Ejemplo base Google Earth Fuente: Islas Baleares <http://www.illesbalears.travel/beta/html/mapa.html>



Figura 3. Ejemplo base Visor GIS Fuente: Melilla <http://www.visorturismomelilla.com/index.html>

Por otra parte también se pueden extraer una serie de recomendaciones sencillas que mejorarían de forma ostensible los geoportales. Dichas recomendaciones ya existen en los portales analizados de forma individual, por lo que aquí se pretende ofrecer ideas prácticas para la mejora de los futuros geoportales, de modo que los elementos más destacados o buenas prácticas identificadas puedan transferirse al resto de regiones, a saber: el uso de capa de límites turísticos de las distintas marcas, que cada recurso de acceso a cómo llegar, el uso de Google Street View, buscar cerca del recurso y unir a ficheros de descarga GPS, el filtro de búsqueda a través de la función de “utilizando mi ubicación”, la implementación de una pestaña de reservas, mientras esperas aparece un banner flotante invitando a visitar un recurso curioso, cuando se accede al recurso que se embeba el mapa del mismo en pantalla completa, mapa embebido en la página, posibilidad de mandar mensajes en el mapa, empleo de Imágenes 360º, que la pestaña imite el menú de los móviles, ventanas flotantes para la leyenda que dan más visibilidad al mapa, ofrecer posibilidades de descargarse los listados de geolocalización en múltiples formatos, incluir una pestaña de “Mi viaje” que habla de las tres fases del viajero

y aporta consejos en función de los recursos que utilice, la utilización de un GIS como geoportal y el uso de imágenes de alta resolución (gigapanorámicas) y panorámicas 360.

| GEOPORTALES | Accesibilidad | Base | Leyenda | App |
|----------------------|----------------------|--------------|----------------|------------|
| Andalucía | 0 | Google Maps | 7 | No |
| Aragón | 3 | Google Maps | 8 | No |
| Asturias | 4 | Google Maps | 9 | Si |
| Cantabria | 3 | Google Maps | 5 | Si |
| Castilla La Mancha | No hay | imagen | nada | No |
| Castilla y León | 1 | Google Maps | 8 | No |
| Catalunya | 0 | Google Maps | 24 | No |
| Ceuta | No hay | No hay | No hay | No |
| Comunitat Valenciana | 1 | Google Maps | 4 | Si |
| Extremadura | 1 | Google Maps | 22 | No |
| Galicia | 3 | Google Maps | 7 | No |
| Islas Baleares | 1 | Google Earth | 18 | No |
| Islas Canarias | 3 | Google Maps | Por separado | No |
| La Rioja | 1 | Google Maps | 3 | No |
| Madrid | 2 | Google Maps | 0 | No |
| Melilla | 1 | Visor GIS | 14 | Si |
| Murcia | 1 | Google Maps | 16 | No |
| Navarra | 1 | Google Maps | 13 | Si |
| País Vasco | 3 | Google Maps | 7 | No |

Tabla 2. Tabla de indicadores de accesibilidad, base, leyenda y app del mapa Fuente: Elaboración propia

| GEOPORTALES | Otras funciones | Base |
|----------------------|---|--|
| Andalucía | buscar, mapa, eventos, tiempo | sólo localidad y acceso a ficha con datos completos |
| Aragón | por provincias | Enlace a la ficha |
| Asturias | nada | Cómo llegar |
| Cantabria | compartir y añadir al plan de viaje | Enlace a la ficha |
| Castilla La Mancha | nada | nada |
| Castilla y León | Por provincias | texto y acceso a Más Información |
| Catalunya | ampliar zona, meteorología, medidor de distancias y marcas turísticas | datos, cómo llegar, Street View, qué tengo cerca y añadir a GPS |
| Ceuta | No hay | No hay |
| Comunitat Valenciana | buscar, imprimir, enlazar y favoritos | datos, perfiles sociales, cómo llegar , QR code, compartir y favoritos |
| Extremadura | buscar, mapa, eventos, tiempo | Sólo datos básicos |
| Galicia | limpiar todo, imprimir | Datos (completa) |
| Islas Baleares | Por islas | fotos, videos, Info, 360, añadir al plan, ayuda |
| Islas Canarias | nada | foto |
| La Rioja | buscador | foto y texto (en hoteles buscador) |
| Madrid | nada | nada |
| Melilla | buscar, imprimir, zoom y mover | nombre y enlace a ficha |
| Murcia | conócenos, organiza tu viaje, qué hacer e Info práctica | datos y acceso a "ver ficha" |

| | | |
|------------|---|--|
| Navarra | buscador, Q calidad, accesibilidad, Camino Santiago | datos completos y acceso a ficha completa |
| País Vasco | buscador | datos, tipología, cómo llegar y coordenadas (descargar para GPS) |

Tabla 3. Tabla de indicadores de otras funciones y ficha del elemento del mapa Fuente: Elaboración propia

6. CONCLUSIONES

Algunas de las conclusiones más relevantes que podemos indicar son:

- No hay ninguna integración de los portales analizados en las nuevas herramientas como Apple Watch, Google Cadboard, Realidad Aumentada, Google Glass, etc, todas ellas basadas en la localización del usuario a la hora de integrar la información desde Internet.
- No hay ninguna integración con Google My Business, una herramienta básica para el turismo hoy en día, ya que permite a negocios y recursos estar presentes en Google Maps y bien posicionados de forma natural en el buscador Google.
- Todos los mapas analizados utilizan la base de Google Maps y en ningún caso se aprecia el uso de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE), que son mapas oficiales de los distintos organismos en un lenguaje homogéneo, ni de mapas colaborativos como Openstreetmap.
- Estos portales siempre analizan el territorio desde el lado de la oferta del destino y no de la demanda, para lo que se aconseja el uso de la metodología de proceso de viaje del turista, que habla de tres fases principales en el proceso de viaje del turista de forma cronológica: antes del mismo, durante el viaje y después del viaje.

Como conclusiones de este estudio podemos indicar algunos aspectos clave de cara al futuro de los geoportales turísticos: la importancia de disponer de una base de datos que los organice para poder gestionarlos luego como parte del big data, el uso de sensores para el Internet de las cosas, el uso de bases de datos de código abierto, servicios de mensajería instantánea y la interacción con entornos 360 de realidad virtual.

Por tanto la clave del uso de la geolocalización está en el uso de las coordenadas como elemento identificador de una base de datos, siendo común a todas las variables analizadas y permitiendo disponer de un código objetivo y particular para cada uno de los elementos de dicha base de datos.

En definitiva queda mucho por hacer en este sentido pero la solución no pasa tanto por costosos y complejos sistemas sino por la identificación de las soluciones ya existentes en el mercado y su integración en nuevas webs flexibles y dinámicas que se adapten a un entorno cambiante con información geográfica de gran complejidad. La verdadera innovación parte de la integración de soluciones en el mercado y del análisis del comportamiento de la demanda en su paso de un entorno online en el que decide su viaje al consumo físico del destino pero siempre como un turista conectado.

7. AGRADECIMIENTOS

Este artículo surgió a partir del proyecto “Definición del nuevo sistema de información y promoción turística de la Comunitat Valenciana” encargado por la Consellería de Turismo de la Generalitat Valenciana (coordinado por Carmen Sahuquillo, Joantxo Llantada, Luis Tormo y Sergio Bellentani) a la empresa Socialtec Web Development, S.L., coordinado por Tirso Maldonado, quien me confió un estudio de geoportales que complementara al de otros compañeros (Jimmy Pons, Adrià Julià, Ángel Osuna y Javier Ortiz), a todos ellos gracias por la confianza y por tener la posibilidad de investigar y aprender en equipo.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Beltrán López, G. (2012). *Geolocalización y redes sociales. Un mundo social, local y móvil*. (G. Beltrán López, Ed.). Bubok. Retrieved from <http://www.bubok.es/libros/217103/Geolocalizacion-y-Redes-Sociales>
- Beltrán López, G. (2015). La geolocalización online, una herramienta de comunicación entre turistas y destinos. In U. de Zaragoza-AGE (Ed.), *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación* (1a edición, pp. 1937–1945). Zaragoza.
- Buhalis, D., & Foerste, M. (2015). SoCoMo marketing for travel and tourism: Empowering co-creation of value. *Journal of Destination Marketing & Management*, 4(3), 1–11. <http://doi.org/10.1016/j.jdmm.2015.04.001>
- Capel, H. (2010). Geografía en red a comienzos del tercer milenio: para una ciencia solidaria y en colaboración. *Scripta Nova*, 14(313). Retrieved from <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-313.htm>
- Cerdá, D. (2005). EL MUNDO SEGÚN GOOGLE. GOOGLE EARTH Y LA CREACIÓN DEL DISPOSITIVO GEOSEMANTICO GLOBAL. *Revista AAInteligencia*. Retrieved from https://www.academia.edu/8060038/EL_MUNDO_SEG%C3%9AN_GOOGLE._GOOGLE_EARTH_Y_LA_CREACI%C3%93N_DEL_DISPOSITIVO_GEOSEMANTICO_GLOBAL
- Cortizo, J. (2015). Neogeografía: algo más que cartografía accesible. *Polígonos*, 27, 7–22.
- Del Bosque González, I., Fernández Freire, C., Martín-Forero Morente, L., & Pérez Asensio, E. (2012). *Los Sistemas de Información Geográfica y la Investigación en Ciencias Humanas y Sociales*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10261/64940>
- del Río, J. (2011). *Mapas invisibles* (1a edición). Bubok.
- Fuenzalida, M., Buzai, G. D., Jiménez, A. M., & de León Loza, A. G. (2015). Geografía, geotecnología y análisis espacial: tendencias, métodos y aplicaciones.
- García, B. B., Carreras, A. O., Moreno, M. G., & Royo, E. R. (2003). Estudio de los portales turísticos de canarias como organizaciones de marketing de destinos, 1–16.
- González Sánchez, R. G. M. F. E. (2008). Los blogs y los portales de servicios, las nuevas herramientas de comunicación en el turismo rural. *VII Congreso "Turismo Y Tecnologías de La Información Y Las Comunicaciones,"* 1–11.
- Hochsztain, E., Vázquez, C. L., & Bernabé, M. A. (2012). Análisis de navegación de geoportales. *X Congreso Latinoamericano de Sociedades de Estadística Córdoba, Argentina*, (July 2015).
- Invattur. (2015). *Manual operativo para la configuración de destinos turísticos inteligentes*.
- López Trigal, L. (2015). *Diccionario de Geografía aplicada y profesional*. Universidad de León.
- Zújar, J. O., Cuevas, P. D., Francoso, J. I. Á., Alcántara, J. P. P., & Campos, A. P. (n.d.). Geoportales y geovisores web: Un nuevo entorno colaborativo para la producción, acceso y difusión de la información geográfica.

MODIFICACIÓN DEL ALGORITMO RANDOM FOREST PARA SU EMPLEO EN CLASIFICACIÓN DE IMÁGENES DE TELEDETECCIÓN

Fulgencio Cánovas-García^{1,2}, Francisco Alonso-Sarría³, Francisco Gomariz-Castillo^{3,4}

¹ Universidad Técnica Particular de Loja, Departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil, San Cayetano Alto s/n, Loja, Ecuador. fulgencio.canovas@um.es

² Universidad de Cuenca, Departamento de Ingeniería Civil, Av. 12 de abril. Ciudadela Universitaria, Cuenca, Ecuador.

³ Universidad de Murcia, Instituto Universitario del Agua y del Medio Ambiente, Edificio D Campus de Espinardo s/n, 30100 Murcia, España. alonsarp@um.es

⁴ Fundación Instituto Euromediterráneo del Agua, Campus de Espinardo, s/n, 30100 Murcia, España. fjgomariz@um.es

RESUMEN

Random Forest es uno de los algoritmos de clasificación de imágenes más usados en teledetección. Una de sus ventajas es que aporta una estimación interna de exactitud mediante una forma de validación cruzada. La hipótesis que plantea este trabajo es que esta estimación subestima el error de predicción cuando se clasifican coberturas del suelo con áreas de entrenamiento compuestas por varios píxeles, ya que se viola la necesaria independencia estadística entre casos de entrenamiento y de validación. El objetivo de esta investigación es modificar el algoritmo *Random Forest* para evitar este problema y obtener una estimación de la exactitud más realista. La hipótesis previa y el nuevo algoritmo se contrastan mediante la clasificación de coberturas del suelo de una imagen del satélite Landsat 5 del 24 de julio de 2009. Al aplicar el algoritmo original, este subestima claramente el error de clasificación. Sin embargo, con el algoritmo modificado se obtiene un error global de clasificación muy parecido al obtenido con una validación independiente del algoritmo; además, su capacidad de predicción no disminuye. Al comparar por clases se constata que, con el algoritmo modificado, los errores por clases obtenidos del *out-of-bag* son equivalentes a los de una validación cruzada, mientras que al emplear el algoritmo original son muy inferiores.

Palabras clave: Clasificación de imágenes; *Random Forest*; *Bagging*; independencia estadística.

ABSTRACT

Random Forest is one of the most used classification algorithms in remote sensing. One of its advantages is that it produces an internal accuracy estimation using a form of cross-validation. The hypothesis raised by this work is that this estimation underestimate the prediction error when classifying land cover with training areas composed of several pixels, as the statistical independence among training and validation cases is compromised. The objective of this research is to modify the Random Forest algorithm so that, this independence is not compromised, obtaining a more realistic accuracy estimation. This hypothesis and the new algorithm are tested by classifying land cover with a Landsat 5 satellite image from July 24, 2009. When applying the original algorithm, out-of-bag errors clearly underestimate actual errors. However, when using the modified algorithm, the out-of-bag error estimation is quite similar to the error obtained with a validation separated from the algorithm; additionally, the predictive power of the modified algorithm is not reduced. Carrying out a comparison by class, it has been found that the out-of-bag errors from the modified algorithm are equivalent to those of a cross-validation, whereas when using the original algorithm classification errors were much lower than the cross-validation estimation.

Keywords: Classification of images; Random Forest; bagging; statistical independence.

1. INTRODUCCIÓN

Hasta mediados de la década de los 90 los métodos de clasificación supervisada aplicados al análisis de imágenes de satélite se basaban principalmente en técnicas estadísticas convencionales como la clasificación por máxima verosimilitud o por mínima distancia. Aunque estas técnicas pueden dar buenos resultados, su capacidad para resolver problemas de confusión entre clases es muy limitada. En consecuencia, a raíz de los avances experimentados en el campo de la computación, se han propuesto estrategias alternativas basadas en técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje automático, particularmente el uso de redes neuronales artificiales, árboles de decisión, máquinas de vectores soporte o métodos derivados de la teoría de la lógica borrosa (Tso *et al.*, 2009).

Sin embargo, los algoritmos de clasificación empleados en teledetección suelen proceder de la estadística o del aprendizaje automático, no siendo habitual que se creen algoritmos específicos para su uso en teledetección. Asimilar el problema general de la clasificación al de la clasificación de imágenes no es plenamente correcto ya que no es posible equiparar los individuos clasificados en un problema estándar de clasificación y los píxeles clasificación en teledetección. Los primeros son individuos reales, pero a los segundos hemos decidido considerarlos como tales por una cuestión operativa.

Por otro lado, la estadística tradicional se basa en el supuesto de que los individuos analizados son independientes entre sí. Sin embargo este supuesto no se cumple en estadística espacial ya que dos puntos cercanos no son independientes entre sí, y menos si se trata de dos píxeles contiguos como ocurre con los que forman las áreas de entrenamiento y validación que suelen utilizarse para clasificar una imagen de satélite.

Random Forest es uno de los algoritmos de clasificación de imágenes más usados en teledetección. Una de sus ventajas es que aporta una estimación interna de exactitud mediante una forma de validación cruzada. Sin embargo, esta estimación subestima el error de predicción al clasificar coberturas del suelo con áreas de entrenamiento compuestas por varios píxeles, ya que se viola la necesaria independencia estadística entre casos de entrenamiento y de validación.

1.1 El algoritmo *Random Forest*

Los árboles de decisión (Breiman *et al.*, 1984) están entre los métodos de clasificación supervisada más utilizados. Se trata de un método no paramétrico, robusto y fácil de interpretar. Funcionan haciendo particiones sucesivas en el espacio de variables buscando siempre la variable y el valor umbral de la misma que maximizan la homogeneidad de las particiones resultantes. La homogeneidad de una partición puede medirse de varios modos, uno de los más comunes es el índice de Gini:

$$G = \sum_{k=1}^K f_k \cdot (1 - f_k)$$

donde k es cada una de las clases presentes en la partición, K el total de clases presentes en la partición y f_k la proporción de los casos en la partición que pertenecen a la clase k . Para calcular el índice de Gini de un árbol completo, habría que sumar los índices de Gini de todas sus particiones. El proceso de partición continúa hasta que todas las particiones son totalmente homogéneas. En ese momento empieza el proceso de poda (*pruning*) del árbol utilizando un procedimiento de validación cruzada que evita que el árbol se sobreajuste a los datos de entrenamiento. Se trata básicamente de reagrupar las particiones más pequeñas que responden solo al ruido en los datos de entrenamiento. Una vez podado el árbol, a cada partición del espacio de variables le corresponde la clase más frecuente de modo que cualquier nuevo caso se clasifica en función de donde se sitúe en dicho espacio de variables.

El principal problema que tienen los árboles de decisión es que son muy sensibles a pequeñas variaciones en los datos de entrada que pueden encaminar al árbol de decisión por un camino diferente, dando lugar a una clasificación muy diferente. Los clasificadores basados en conjuntos de clasificadores sencillos (*ensemble learning*) han recibido considerable atención como una forma de superar este tipo de problema.

Random Forest (Breiman, 2001) utiliza varios árboles de decisión (entre 500 y 2.000). Cada uno de ellos se entrena con un subconjunto aleatorio de casos (obtenido mediante *bootstrapping*) denominado *in-bag*, el resto de los casos forman el *out-of-bag*. Además, en cada división (nodo) de los árboles se considera solo un subconjunto aleatorio de los predictores. Cada nuevo caso se presenta a cada uno de los árboles (que no han sido previamente podados) y se asigna a la clase más frecuentemente escogida por los árboles. La proporción de árboles que ha votado a cada clase puede también interpretarse como la probabilidad de pertenencia a dicha clase. La aleatoriedad introducida disminuye la correlación entre árboles dando más sentido al uso de un conjunto de clasificadores. Por otra parte, al utilizar varios predictores disminuye el error de generalización (Breiman, 2001; Pal, 2005; Prasad *et al.*, 2006) y se obtienen mejores resultados que con otros algoritmos (Breiman, 2001; Liaw y Wiener, 2002). A partir de los casos en el *out-of-bag* se obtiene una estimación del error de clasificación (OOB-CV) válida ya que la respuesta para cada observación se obtiene empleando solo los árboles que no fueron calibrados utilizando esa observación. James *et al.* (2013) afirman que con un número de árboles suficientemente grande la estimación de OOB-CV es prácticamente equivalente a la obtenida con validación cruzada o *leave-one-out cross validation* (LOO-CV).

El algoritmo *Random Forest* utiliza dos parámetros: el número de árboles y el número de predictores a utilizar en cada partición de cada uno de los árboles. Sin embargo, una de las grandes ventajas de este algoritmo es su baja sensibilidad a estos parámetros, por lo que los valores por defecto suelen producir buenos resultados (Liaw y Wiener, 2002; Hastie *et al.*, 2009).

El principal problema de *Random Forest*, en comparación con el análisis de un único árbol de clasificación, es que es más difícil de interpretar. Ya no se dispone de un único árbol en el que pueda verse el efecto de cada variable, sino de un gran número de ellos cuyo efecto conjunto no puede visualizarse. Sin embargo, *Random Forest* permite obtener medidas acerca de la importancia que los diferentes predictores han tenido en el modelo, lo que permite en parte interpretar este. La importancia de los predictores se evalúa como el número de veces que han sido utilizados por los diversos árboles y su capacidad para reducir el índice de Gini en ellos.

1.2 El problema de la dependencia espacial de OOB-CV y LOO-CV

Es comúnmente aceptado que la OOB-CV de *Random Forest* es un estimador no sesgado de la exactitud de la clasificación general, siendo por tanto innecesario realizar una validación cruzada externa (Efron y Tibshirani, 1997; Breiman, 2001; Svetnik *et al.*, 2003). Tan sólo hemos encontrado una referencia argumentando que esta medida interna podría estar sesgada, pero sólo cuando el número de casos es menor que el número de variables (Mitchell, 2011). Sin embargo esto solo es cierto si se asume la independencia entre los casos de entrenamiento y de validación, lo que suele ser un problema cuando se trabaja con datos espaciales. Al clasificar las imágenes de teledetección, los casos se obtienen como áreas de entrenamiento generalmente formadas por varios píxeles contiguos y homogéneos. *Random Forest* asumirá que, aun perteneciendo a la misma parcela, los píxeles son casos independientes y los dividirá entre el *in-bag* y el *out-of-bag*. En este trabajo proponemos la hipótesis de que, en este caso, OOB-CV subestima notablemente el error real de predicción.

El mismo problema puede ocurrir con LOO-CV si, en lugar de utilizar áreas de entrenamiento completas para validar, se utilizan píxeles aislados. Nosotros asumimos por tanto que lo que se debe dejar fuera son todos los píxeles que forman una parcela. De esta forma no se comprometerá la independencia estadística entre los datos de entrenamiento (todas las áreas de validación menos una) y el área de entrenamiento a validar, ya que ninguno de los elementos que forma parte de esta parcela está incluido en el modelo de clasificación.

Esta aclaración nos parece importante y creemos que pocas veces ha sido puesta de manifiesto. Además, nos da pie a introducir la nomenclatura que se empleará a lo largo de todo el trabajo. Cuando estemos tratando de validación cruzada diferenciaremos entre validación cruzada dejando-una-fuera (LOO-CV), lo que implica que en cada ciclo de clasificación se deja un píxel fuera para ser evaluado, y por otro lado validación cruzada dejando-una-parcela-fuera (LOPO-CV), en la que en cada ciclo de clasificación se deja fuera a todos los píxeles que pertenezcan a una misma área de entrenamiento (parcela). En clasificación digital de imágenes la LOO-CV no tiene sentido, solo podremos practicar la LOPO-CV.

A continuación se procede a una clarificación de la nomenclatura empleada para referirnos a los distintos tipos de validación.

- VAL: Validación realizada con unos datos diferentes e independientes de los datos de entrenamiento.
- OOB-CV: Validación cruzada interna de *Random Forest* utilizando el *out-of-bag*.
- LOPO-CV: Validación cruzada dejando-una-parcela-fuera.
- LOO-CV: Validación cruzada dejando-un-pixel-fuera.

Si esta nomenclatura lleva una O delante, quiere decir que se ha llevado a cabo empleando el algoritmo original, si lleva una M delante, se ha llevado a cabo empleando el algoritmo modificado. Por ejemplo M-LOPO-CV quiere decir que se ha llevado a cabo una validación cruzada dejando-una-parcela-fuera empleando para clasificar el algoritmo modificado.

1.3 Objetivos

El principal objetivo de este trabajo es modificar el código original del algoritmo *Random Forest* de forma que no se vea comprometida la independencia estadística entre el conjunto de datos de entrenamiento (*in-bag*) y el conjunto de datos que internamente utiliza como validación (*out-of-bag*). Además nos proponemos conseguir varios objetivos específicos:

- Demostrar que la estimación OOB-CV (O-OOB-CV) obtenido con el algoritmo original subestima el error real.
- Demostrar que esta subestimación puede afectar al resultado de un proceso de selección de variables.
- Programar una modificación del algoritmo original que, sin alejarse del planteamiento original del algoritmo, no viole la independencia estadística en el reparto interno entre *in-bag* y *out-of-bag*.
- Demostrar que tras esta modificación la estimación M-OOB-CV se puede considerar una estimación aceptable del error real y que esta es equivalente a la estimación LOPO-CV.
- Demostrar que tras la modificación propuesta no se produce una merma en la capacidad de predicción del algoritmo.

2. ÁMBITO DE ESTUDIO Y DATOS EMPLEADOS

El área de estudio escogida ha sido la cuenca del río Vinalopó, con una superficie aproximada de 3.000 km². Ubicada al sureste de la Península Ibérica, al sur de la Provincia de Alicante, es una cuenca litoral característica de las zonas semiáridas del sureste español, con fuerte presión antrópica y grandes mosaicos de cultivos, estando ocupada más del 62% por usos antrópicos (Gomariz-Castillo *et al.*, 2014).

Se ha utilizado una imagen del satélite Landsat 5, sensor *Thematic Mapper* (path 199, row 33). La fecha de esta imagen corresponde al 24 de julio de 2009. De las siete bandas disponibles se han utilizado seis, tres del visible, una del infrarrojo cercano y dos del infrarrojo medio. Como parte del preprocesado de la imagen se llevó a cabo una corrección atmosférica y de iluminación basada en los métodos de Chávez (1988) y del lambertiano C (Teillet *et al.*, 1982). Además se ha empleado información del relieve mediante el Modelo Digital de Elevaciones del Instituto Geográfico Nacional, escala 1:25.000.

El objetivo de la clasificación ha sido la obtención de un mapa de coberturas con las siguientes clases: Bosque (Bos); Vegetación arbustiva (VArb); Arbóreo poco denso (ArbND); Arbóreo denso (ArbD); Herbáceo de secano (HerS); Herbáceo de regadío (HerR); Superficies impermeables (Imp); Láminas de agua (Agu); Suelo desnudo (SueD); Viñedo (Vid).

3. METODOLOGÍA

3.1 Modificación del algoritmo *Random Forest*

La modificación que se ha hecho a la función original de Liaw y Wiener (2002) en R consiste simplemente en que el usuario debe indicar un vector que contiene los datos que permiten identificar el área de entrenamiento a la que pertenece cada píxel. Posteriormente en lugar de hacer *bootstrapping* de los píxeles, se hace de las áreas de entrenamiento, de manera que en cada árbol todos los píxeles en una misma área de entrenamiento van o bien al *in-bag* o bien al *out-of-bag*, pero no se reparten entre uno y otro.

3.2 Obtención de las áreas de entrenamiento y validación

Las características generales de las muestras de entrenamiento y validación aparecen en la tabla 1.

| Clase | Bos | VArb | ArbND | ArbD | HerS | HerR | Imp | Agu | SueD | Vid | Total |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|--------|
| Entrenamiento | | | | | | | | | | | |
| Parcelas | 19 | 22 | 13 | 14 | 15 | 10 | 16 | 11 | 4 | 17 | 141 |
| Píxeles | 5.267 | 4.841 | 1.241 | 2.374 | 3.715 | 4.695 | 6.783 | 6.262 | 118 | 3.177 | 38.473 |
| Validación | | | | | | | | | | | |
| Parcelas | 10 | 12 | 7 | 8 | 8 | 5 | 7 | 6 | 2 | 8 | 73 |
| Píxeles | 1.563 | 3.410 | 828 | 636 | 1.744 | 1.653 | 1.798 | 3.327 | 129 | 928 | 16.046 |

Tabla 1. Número de parcelas y de píxeles que componen el conjunto de datos de entrenamiento y validación.

Se ha hecho un muestreo estratificado, intentando que todas las clases estuviesen bien representadas, por lo que el tamaño de los estratos no es proporcional a la superficie ocupada por las clases. Las áreas de validación se obtuvieron mediante un muestreo aleatorio. Por el contrario, las áreas de entrenamiento se eligieron buscando aquellas que representasen adecuadamente las distintas clases.

3.3 Variables utilizadas

La tabla 2 muestra las variables extraídas de los píxeles agrupadas en cinco grandes categorías. Se ha añadido una pequeña descripción cuando se ha considerado apropiado. En total hay 55 variables, 14 espectrales, siete relacionadas con el MDT y 34 texturales (Haralik *et al.*, 1973).

3.4 Ordenación y selección de variables

Disponer de un elevado número de predictores no es necesariamente una ventaja en aprendizaje automático (Hughes, 1968). Es necesario, por tanto, establecer un proceso de selección de variables para eliminar aquellas que resulten redundantes o no aporten información. Un enfoque adecuado es considerar el proceso de selección como un procedimiento heurístico en el que se especifica un subconjunto de variables en cada paso de una búsqueda iterativa (Blum *et al.*, 1997). Tal procedimiento implica 3 pasos:

1. Ordenar las variables de acuerdo con su relevancia para clasificar el conjunto de datos. Se ha utilizado como criterio la importancia de las variables calculada por *Random Forest*.
2. Iterativamente, modificar un modelo de clasificación eliminando variables de acuerdo a su rango.
3. Seleccionar el mejor subconjunto de variables en función de una medida de exactitud en la clasificación.

| Bandas originales | | Derivadas del DEM | |
|-------------------|---|-------------------|-------------------------|
| B1 (1) | Azul (0.45-0.52 μm) | SLOPE (1) | Pendiente |
| B2 (1) | Verde (0.52-0.60 μm) | ASP (1) | Orientación |
| B3 (1) | Rojo (0.63-0.69 μm) | CURV.perp (1) | Curvatura perpendicular |
| B4 (1) | Infrarrojo cercano (0.76-0.90 μm) | CURV.tang (1) | Curvatura tangencial |

| | | | |
|---|---|-----------------------------------|--|
| B5 (1) | Infrarrojo de onda corta (1.55-1.75 μm) | ASP.sin (1) | Seno de la orientación |
| B7 (1) | Infrarrojo de onda corta (2.08-2.35 μm) | ASP.cos (1) | Coseno del a orientación |
| DEM (1) | Modelo digital de elevaciones | | |
| <i>Capas de textura basadas en el semivariograma experimental</i> | | <i>Índices y transformaciones</i> | |
| VARIO.tc.1 (1) | Semivariograma experimental calculado con la primera capa de la transformación Taselled Cup | NDVI (1) | Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada |
| | | INTENSITY (1) | Intensidad (transformación TC) |
| VARIO.ndvi (1) | Semivariograma experimental calculado con el NDVI | HUE (1) | Brillo (transformación TC) |
| | | SATURATION (1) | Saturación (transformación TC) |
| <i>Características de textura (Haralick et al., 1973) calculadas a partir de la primera capa obtenida de la transformación Taselled Cup</i> | | | |
| GLCM.homo (5) | Homogeneidad | GLCM.asm (5) | Segundo Momento Angular |
| GLCM.cont (5) | Contraste | GLCM.coor (5) | Correlación |
| GLCM.ent (5) | Entropía | GLCM.var (5) | Varianza |

Tabla 2. Resumen de las características extraídas de las imagen. Las características de tipo textural han sido calculadas en varias direcciones. El número total de características aparece entre paréntesis

Para empezar, se utilizaron todas las variables para entrenar ambos algoritmos (original y modificado); se calculó el índice kappa con la muestra de validación y con el *out-of-bag*. La variable menos importante en cada caso fue eliminada y se repitió el procedimiento de forma recursiva hasta que sólo quedó una de las variables. Se obtuvieron así cuatro vectores de índices kappa: dos aplicando el algoritmo original (uno obtenido del *out-of-bag* y otro de la muestra de validación) y otros dos aplicando el algoritmo modificado (de nuevo *out-of-bag* y validación). Este procedimiento, con algunas modificaciones, se utilizó para seleccionar el subconjunto óptimo de variables para una clasificación (Cánovas-García y Alonso-Sarria, 2015).

Una vez decidido el subconjunto de variables que minimizan el error de clasificación, se analizaron con mayor detalle los resultados mediante unas pirámides de errores de omisión y comisión para estudiar las diferencias en cuanto a exactitud de la clasificación por clase (errores de omisión y comisión) comparando:

- O-OOB-CV y O-LOPO-CV, para conocer el grado de subestimación, si es que existe, del error del OOB con el algoritmo original.
- M-OOB-CV y M-LOPO-CV, para conocer si los resultados del OOB con el algoritmo modificado son similares a los de una validación cruzada dejando-una-parcela-fuera.
- M-LOPO-CV y O-LOPO-CV, para conocer si la modificación del algoritmo ofrece un resultado equivalente al algoritmo original.
- O-VAL y M-VAL, para conocer si la modificación del algoritmo provoca una reducción de su capacidad de generalización.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Ciclos de clasificación para la selección de variables

La figura 1 muestra la evolución del índice kappa conforme se eliminan variables del modelo empezando por las menos importantes y dejando las más importantes de acuerdo con la ordenación hecha por *Random Forest*. Las curvas que se obtienen con datos de validación son muy similares cuando se utiliza el algoritmo original y cuando se utiliza el modificado; es decir, que la modificación introducida en el algoritmo no altera su comportamiento. Ambas curvas son también muy similares a las que se obtienen, utilizando M-OOB-CV, con el algoritmo modificado. Es decir que la validación con M-OOB-CV y con datos independientes de validación son muy similares si se trabaja con el algoritmo modificado. Por el contrario, los resultados de O-OOB-CV son muy diferentes y están claramente sobreestimados.

Por lo que se refiere a la identificación de un subconjunto óptimo de variables que maximizan la exactitud de la clasificación, los datos de O-OOB-CV no nos permiten identificar el subconjunto de variables óptimo, mientras que los datos del M-OOB-CV sí nos lo permiten. El índice kappa del O-OOB-CV comienza a descender a partir del número de orden 4, mientras que el índice kappa de los datos de validación (algoritmo original) ya comenzaba a descender de manera constante a partir del número de orden 11. Estos gráficos nos permiten seleccionar el subconjunto de variables que maximizan la exactitud de la clasificación dado un conjunto de variables ordenado. De ahora en adelante se seguirán analizando los resultados pormenorizados de los modelos de clasificación generados con las primeras 13 variables (línea vertical azul de la figura 1).

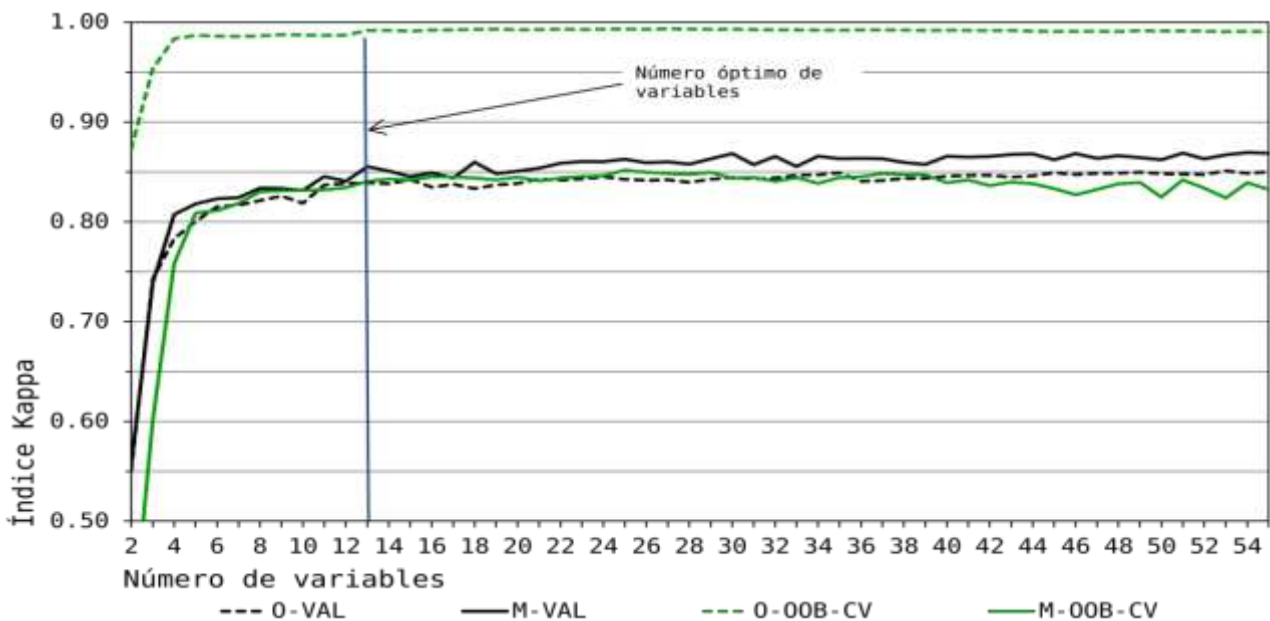


Figura 1. Índices kappa obtenidos con el algoritmo Random Forest original (línea discontinua) y modificado (línea continua) a partir de los datos de validación (en negro) y a partir del *out-of-bag* (en verde).

4.2 Análisis de los errores de omisión y comisión

Una vez decidido el subconjunto de variables que maximiza la exactitud de la clasificación se han ejecutado los correspondientes modelos y se han analizado en profundidad los resultados. Las figuras 2 y 3 muestran 4 pirámides con los errores de omisión y comisión obtenidos con el algoritmo original y el modificado utilizando diferentes formas de validación.

En la figura 2, a la izquierda, se compara O-OOB-CV con O-LOPO-CV. Los errores por clases de O-OOB-CV son muy inferiores a los observados con O-LOPO-CV. Solo se consiguen buenas estimaciones de los errores por clases cuando O-LOPO-CV es cercano a 0. El caso más evidente de subestimación se presenta en la clase *Suelo desnudo*, con O-OOB-CV se obtienen valores cercanos a 0 y con O-LOPO-CV se obtienen valores ligeramente por encima de 0.8. Con los errores de omisión sucede algo parecido. Lo comentado para la clase *Suelo Desnudo* se puede afirmar también para la clase *Arbóreo no denso*. De nuevo, solo se obtienen buenas estimaciones de los errores con O-OOB-CV cuando los errores de O-LOPO-CV son cercanos a 0.

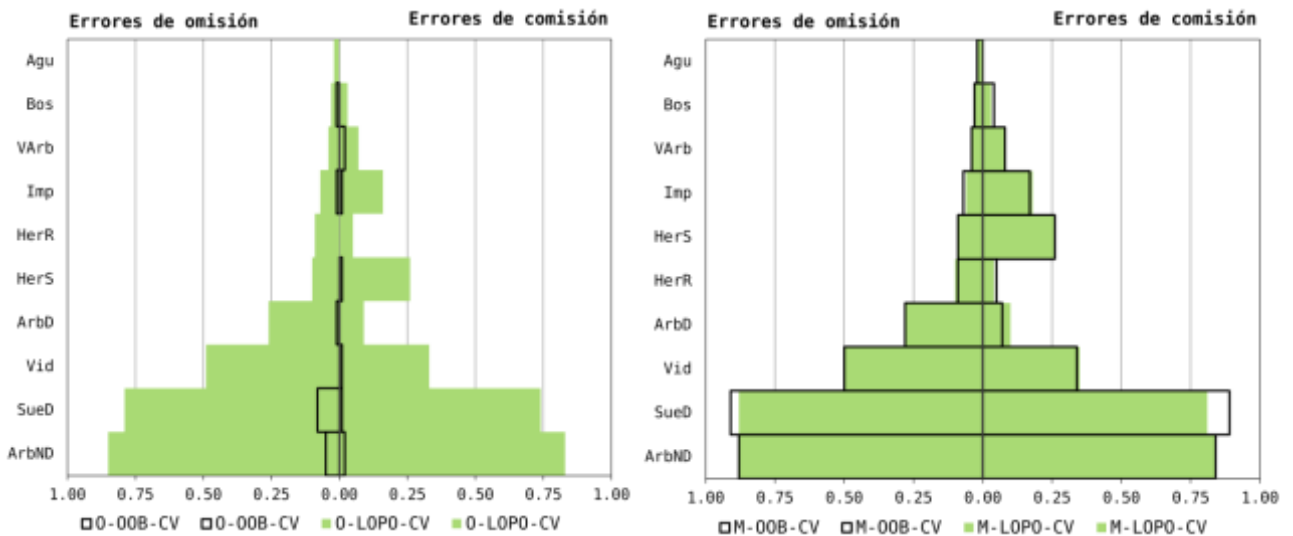


Figura 2. A la izquierda, comparación de errores de omisión y comisión estimados con el *out-of-bag* y con validación cruzada dejando una parcela fuera. En ambos casos se trata del algoritmo original. A la derecha, comparación de errores de omisión y comisión estimados con el *out-of-bag* y con validación cruzada dejando-una-parcela-fuera; en ambos casos se trata del algoritmo modificado

En esta investigación se propone la hipótesis de que al modificar el algoritmo *Random Forest* según lo indicado en el apartado 3.1, el resultado de la validación interna del algoritmo (M-OOB-CV) es equiparable a una validación cruzada dejando-una-parcela-fuera (M-LOPO-CV). Para contrastar esta hipótesis, la figura 2 (derecha) muestra que tanto los errores de omisión como los de comisión son prácticamente iguales; solo existen pequeñas diferencias en suelo desnudo (omisión y comisión). Pero estas diferencias son muy pequeñas, debidas posiblemente a la propia variabilidad en la generación de los modelos de clasificación.

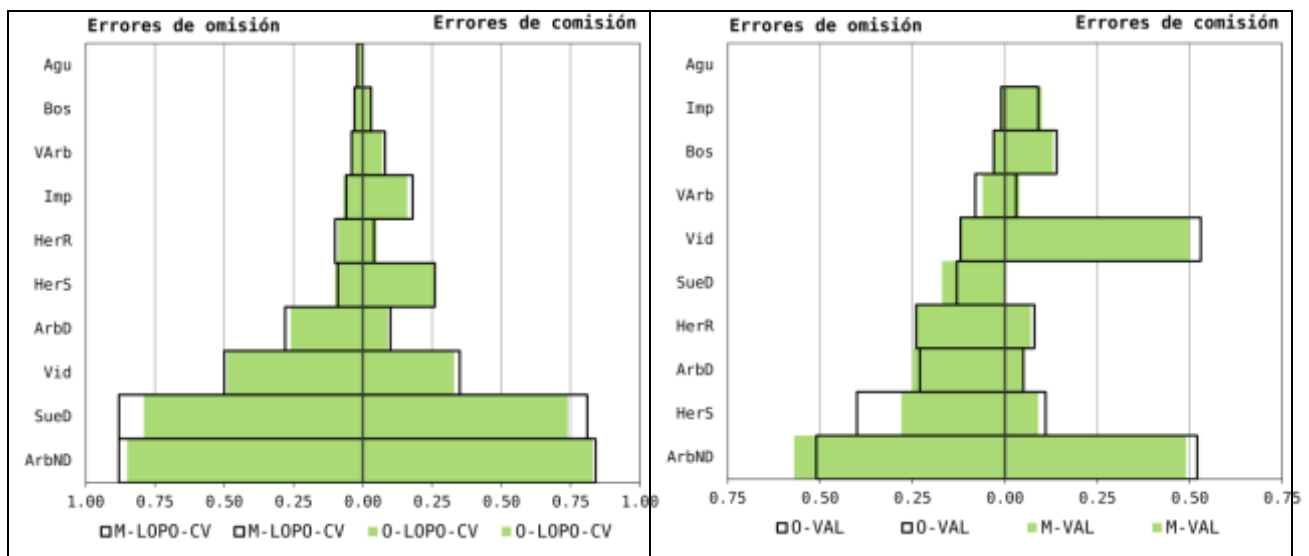


Figura 3. A la izquierda, comparación de errores de omisión y comisión estimados con validación cruzada dejando-una-parcela-fuera; utilizando tanto el algoritmo original como el modificado. A la derecha, comparación de errores de omisión y comisión estimados en áreas de validación independientes tanto con el algoritmo original como con el modificado.

Por último, se lleva a cabo la comparación de los resultados de *leave-one-out-CV* empleando el algoritmo original y el modificado (figura 3 a la izquierda). La mayor parte de las clases obtienen resultados equiparables. Solo hay una clase que obtiene valores algo diferentes. La clase *Suelo desnudo*, en la que se obtienen errores de omisión y comisión mayores con el algoritmo modificado. Aun así, las diferencias no son importantes.

La figura 3 (derecha) muestra los resultados obtenidos con una muestra independiente de validación, ambos algoritmos arrojan resultados muy similares, solo en el caso de los cultivos herbáceos de secano se observa una cierta diferencia.

5. CONCLUSIONES

1. Al clasificar imágenes de satélite existe una clara diferencia entre la estimación del error de clasificación que se obtiene a partir del OOB-CV con el algoritmo original de Random Forest y el que se obtiene con una validación independiente de la del algoritmo. En el primer caso se sobreestima claramente el índice kappa.
2. La modificación propuesta del algoritmo Random Forest permite obtener unas estimaciones de error con OOB-CV mucho más próximas a las que se obtienen con una muestra de validación independiente de la de entrenamiento.
3. La modificación propuesta no resta capacidad de predicción al algoritmo. Los resultados obtenidos con ambos algoritmos son similares.
4. Al analizar los errores de omisión y comisión por clases los resultados son similares. Existe una gran diferencia, cuando se trabaja con el algoritmo original, entre los resultados obtenidos con OOB-CV y con validación cruzada externa. Por el contrario, los errores obtenidos con OOB-CV con el algoritmo modificado son muy similares a los que se obtienen con una validación externa. Finalmente, el algoritmo modificado no pierde capacidad de predicción ya que los resultados de validación externa de ambos algoritmos son muy similares.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Blum,A.L. y Langley,P. (1997) "Selection of relevant features and examples in machine learning", *Artificial Intelligence*, 97, pp. 245-271.
- Breiman, L., Friedman. J.H., Olshen, R.A., Stone, C.J. (1984) *Classification and Regression Trees*, New York, Chapman and Hall/CRC.
- Breiman, L. (2001) "Random Forests", *Machine Learning*, 45, 5-32.
- Cánovas-García, F., Alonso-Sarría,F. (2015) "Optimal Combination of Classification Algorithms and Feature Ranking Methods for Object-Based Classification of Submeter Resolution Z/I-Imaging DMC Imagery", *Remote Sensing*, 7, 4, pp. 4651-4677.
- Chávez, P.S. (1988) "An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data", *Remote Sensing of Environment*, 24, pp. 459-479.
- Efron, B. Y Tibshirani, R. (1997) "Improvements on Cross-Validation: The .632+ Bootstrap Method", *Journal of the American Statistical Association*, 92, 438, 548-560.
- Gomariz Castillo, F., Alonso Sarría, F. y Cánovas García, F. (2014) "Clasificación multitemporal de usos del suelo en la Cuenca del Río Vinalopó (Comunidad Valenciana) mediante diferentes algoritmos de clasificación supervisada y variables auxiliares" *XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica* 25, 26 y 27 de Junio de 2014. Alicante.
- Haralick, R.M., Shanmugan, K. y Dinstein, I. (1973) "Textural features for image classification", *Systems, man and cybernetics*, SMC-3, 6, pp. 610-621.
- Hastie,T., Tibshirani,R. y Friedman,J. (2009) *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*, New York, Springer.
- Hughes, G.F. (1968) "On the mean accuracy of statistical patterns recognizers", *IEEE Transactions Information Theory*, 14, 1, 55-63.

James, G., Witten, D., Hastie, T. y Tibshirani, R. (2013) *An Introduction to Statistical Learning: with Applications in R*, New York, Springer.

Liaw, A., Wiener, M. (2002) "Classification and Regression by randomForest", *R News*, 2, 3, 18-22.

Mitchell, M. (2011) "Bias of Random Forest Out-of-Bag (OOB) Error for Certain Input Parameters", *Open Journal of Statistics*, 1, 205-211.

Pal, M. (2005) "Random forest classifier for remote sensing classification", *International Journal of Remote Sensing*, 26, 217-222.

Prasad, A.M., Iverson, L.R., Liaw, A. (2006). "Newer classification and regression tree techniques: bagging and random forests for ecological prediction", *Ecosystems*, 9, 181-199.

Puissant, A., Rougier, S. y Stumpf, A. (2014) "Object-oriented mapping of urban trees using random forest classifiers", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26, pp. 235-245.

Svetnik, V., Law, A., Tong, C., Culberson, J.C: Sheridan, R.P. y Feuston, B.P. (2003) "Random Forest: A Classification and Regression Tool for Compound Classification and QSAR Modeling", *Journal of Chemical Information and Computer Sciences*, 43, pp. 1947-1958.

Teillet, P.M., Guindon, B. y Goodenough, D.G. (1982) "On the slope-aspect correction of multispectral scanner data", *Canadian Journal of Remote Sensing*, 58, pp. 84-106.

Tso, B. y Mather, P.M. (2009) *Classification Methods for Remotely Sensed Data*, Londres, Taylor & Francis.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto Prometeo de la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación del Gobierno de Ecuador.

UNA APROXIMACIÓN A LA GESTIÓN, ANÁLISIS Y DIFUSIÓN DE YACIMIENTOS ARQUEOLÓGICOS DE RECINTOS DE FOSOS MEDIANTE HERRAMIENTAS DE SOFTWARE LIBRE

Ana M. Cruz-Martín¹, José L. Caro-Herrero²

¹ Universidad de Málaga, Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática, Despacho 2.2.29, ETSI Telecomunicación Campus de Teatinos, 29071, Málaga, España. anacm@ctima.uma.es

² Universidad de Málaga, Dpto. de Lenguajes y Ciencias de la Computación, D.28, Facultad de Turismo, Campus de Teatinos, 29071, Málaga, España. jlcaro@uma.es

RESUMEN

Los recintos de fosos son yacimientos arqueológicos con unas particularidades muy concretas, por lo que es necesario elaborar una metodología específica para su excavación, análisis, gestión y difusión. En este trabajo se propone una primera aproximación para las tres últimas fases mencionadas, de manera que, mediante una combinación de herramientas de software libre basadas en tecnologías espaciales, pueda gestionarse y almacenarse toda la información obtenida tras el trabajo de campo en el yacimiento, analizarla de manera exhaustiva, y difundir los resultados obtenidos, o al menos parte de ellos, cómoda y rápidamente.

Para ello, nos hemos planteado dos objetivos interrelacionados entre sí: seleccionar e integrar una colección básica de herramientas TIG de software libre que permita la gestión, el análisis y la difusión de este tipo de yacimientos. En el futuro, planeamos evaluar el potencial de esta cadena de herramientas al usarla en un yacimiento real.

Hasta el momento, hemos combinado de manera adecuada un diseño orientado a este tipo de yacimientos y parcialmente automatizado sobre la base de datos relacional PostgreSQL extendida con PostGIS, combinada con el sistema de información geográfica gvSIG, el software estadístico R y la librería Leaflet. De esta manera, la potencia de cada una de estas herramientas está disponible para futuros análisis, variados y completos, de los datos del yacimiento.

Palabras clave: recinto de fosos; software libre y abierto; PostGIS; gvSIG; R

ABSTRACT

Ditched enclosures are a type of archeological site with a specific set of particularities, and therefore, a concrete methodology should be deployed in order to excavate, analyze, manage and disseminate their contents properly. The present communication offers an approach to deal with the aforementioned three last stages, in such a way that, by combining a set of spatial-based free/open source software tools, the whole information acquired after the field work at the site can be managed and stored, thoroughly analyzed, and finally appropriately disseminated in a quick and easy manner.

With that aim in mind, we have raised two interrelated goals: we have selected and integrated a basic set of open source software GIT tools that enable the managing, analysis and dissemination of this kind of sites. In the future, we plan to evaluate the potential of this tool chain when a real site is to be handled.

Up to this moment, we have properly combined a design partially automated and focused on this type of sites, for a relational database PostgreSQL extended with PostGIS, along with the geographic information system gvSIG, the statistical software R and the Leaflet library, so the strength of each tool can be used and merged for varied and complete further analysis of the site data.

Keywords: ditched enclosure; free and open source software; PostGIS; gvSIG; R

1. INTRODUCCIÓN

Los recintos de fosos son “grandes superficies plagadas de hoyos o fosas circulares, excavadas en el suelo y rellenas de sedimentos y materiales arqueológicos, asociadas a zanjas o fosos, igualmente excavados en la roca madre y colmatados con incontables restos artefactuales y orgánicos”; en el caso de que no exista un foso que rodee al recinto, hablaríamos de un “campo de hoyos” (Márquez-Romero y Jiménez-Jáimez, 2010, p.5). Geográficamente, estos recintos se extienden por toda la Europa central y occidental, desde latitudes mediterráneas hasta Escandinavia. Cronológicamente se sitúan en el Neolítico, si bien la temporización varía dependiendo de la zona: desde el 5500 a.C. en Europa central, hasta finales del tercer milenio a.C. en el suroeste de la Península Ibérica y en las Islas Británicas (Jiménez-Jáimez y Wheatley, 2016).

Estos yacimientos arqueológicos presentan unas particularidades concretas: abarcan una gran superficie espacial, el número de estructuras que albergan es muy elevado (del orden de centenares/miles de hoyos), y dichas estructuras son todas muy similares y en negativo, por lo que, a priori, resultan “poco atractivas” para el gran público. Por todo ello es necesario elaborar una metodología específica para su excavación, análisis, gestión y difusión. Este artículo se centra en las tres últimas fases mencionadas, y propone una combinación de herramientas de software libre basadas en tecnologías espaciales que facilite tanto el análisis científico del yacimiento como su divulgación posterior.

Para ello, debemos resolver dos cuestiones. En primer lugar, establecer una estructura software que nos permita trabajar con este tipo de yacimientos y que esté basada en herramientas TIG libres; esta comunicación ofrece una solución satisfactoria para dicho problema. En segundo lugar, ya en un futuro, aprovecharemos el trabajo de fondo aquí presentado para obtener resultados de un yacimiento real.

Hasta el momento, hemos combinado de manera adecuada un diseño orientado a este tipo de yacimientos y parcialmente automatizado sobre la base de datos relacional PostgreSQL (PostgreSQL, 2016) extendida con las capacidades espaciales que ofrece PostGIS (PostGIS – Spatial and Geographical Objects for PostgreSQL, 2016), combinada con el sistema de información geográfica gvSIG (gvSIG Desktop, 2016), el software estadístico R (The R Project for statistical Computing, 2016) y la librería Leaflet (Leaflet – a Javascript library for interactive maps, 2016) para R. La base de datos queda como repositorio central de datos, al que pueden acceder tanto gvSIG como R, de manera que la potencia de cada una de estas herramientas está disponible para poder realizar análisis variados y completos sobre los datos del yacimiento. La utilización de Leaflet desde R permite crear fácilmente mapas interactivos que pueden integrarse en páginas web, facilitando la difusión de resultados (Figura 1).



Figura 1. Herramientas de software libre empleadas en este trabajo y relaciones entre las mismas.

El resto del artículo se estructura como sigue. En el segundo apartado se describen más ampliamente la problemática asociada a los recintos de fosos/campos de hoyos y los objetivos que los autores se han planteado para su estudio. El tercer apartado se dedica a presentar, brevemente, las herramientas de software libre que se han utilizado en este trabajo. El cuarto apartado explica de forma detallada cómo se han usado

cada una de las herramientas descritas en el apartado anterior, así como sus interrelaciones. En el quinto apartado se establecen las conclusiones del trabajo desarrollado y se plantean los trabajos futuros. Finalmente, se listan las referencias bibliográficas.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Los recintos de fosos (*ditched enclosures*) del Neolítico europeo son grandes extensiones de terreno rodeadas, por uno o más fosos aproximadamente circulares u ovalados; en el caso de que existan varios fosos, se distribuyen de forma concéntrica, desconociéndose por el momento si su construcción fue simultánea o no. La extensión de estos yacimientos oscila entre 1 ha. y 100 ha.; también varían las dimensiones del foso, que suele tener un perfil en forma de *U* o de *V*. Estos fosos se encuentran habitualmente rellenos, bien de forma natural, bien de forma intencionada. Al recinto se accede a través de entradas más o menos monumentalizadas. Otros elementos que pueden formar parte de este tipo de yacimientos son los terraplenes, empalizadas y monolitos (Jiménez-Jáimez y Wheatley, 2016).

El Área de Prehistoria de la Universidad de Málaga ha sido pionera en el estudio de los recintos de fosos y campos de hoyos del Suroeste de la Península Ibérica (Márquez-Romero y Jiménez-Jáimez, 2010). En esta zona los fosos presentan una profundidad variable (normalmente entre 2 y 3 m., con valores extremos de 1 y 7 m.), y también varía su anchura (normalmente entre 2 y 4 m., con extremos de 1 y 20 m.). Los campos de hoyos, que son más frecuentes en esta región que en otras zonas de Europa, presentan dos tipos de estructuras:

1. Pozos, con una planta aproximadamente circular y sección acampanada o abovedada. Su profundidad oscila entre 1 y 2 metros, y su diámetro es inferior a 2 m. Son igual o más profundas que anchas.
2. Cubetas, similares a los pozos salvo en su diámetro, que varía entre 2 y 3 m., y de sección acampanada.

En la Península Ibérica, la investigación de estos recintos se ha incorporado sólo recientemente a las discusiones académicas, provocando un intenso debate. Así, durante los siglos XIX y XX, estos yacimientos se han explicado como restos de poblados de gran tamaño; los fosos se han considerado como estructuras de defensa o drenaje, mientras que los hoyos se han caracterizado como silos, basureros, fondos de cabaña o fosas funerarias. El Área de Prehistoria de la Universidad de Málaga propone una nueva interpretación, asignando a los fosos una función de delimitación (más simbólica que física), y cuestionando las funcionalidades asociadas tradicionalmente a los hoyos; así, ha generado una línea propia de investigación para este tipo de yacimientos, desarrollada por un equipo de trabajo multidisciplinar (PERUMA Prehistoric Enclosures Research - University of Málaga, 2016) que actúa en los yacimientos de Perdigoes (recinto de fosos) (Márquez-Romero y Jiménez-Jáimez, 2016) y Arroyo Vaquero, el campo de hoyos con el que se está trabajando para desarrollar el trabajo de esta comunicación. (Navarro *et al.*, 2014) (Figura 2).

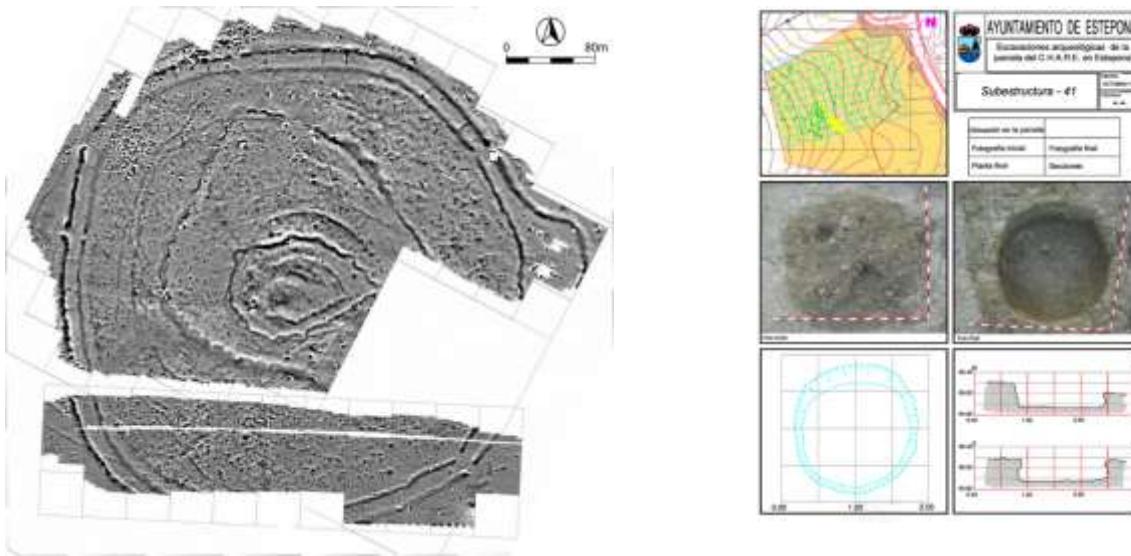


Figura 2. Izda: Magnetometría del recinto de fosos de Perdigoes; tomada de (Márquez-Romero *et al.*, 2011). Dcha: estructura nº 41 del campo de hoyos de Arroyo Vaquero; tomada de (Navarro *et al.*, 2014)

Actualmente, los objetivos en los que trabaja este equipo se centran en los siguientes aspectos:

- Plantear los recintos de fosos como una categoría de análisis, mediante la oportuna reflexión teórica, combinada con los análisis técnicos sobre los artefactos/ecofactos/circundatos hallados en los yacimientos.
- Establecimiento de una metodología específica de trabajo y análisis que permita organizar adecuadamente el estudio de los recintos de fosos. Para ello se hará uso de tecnologías como la teledetección, geomagnética, fotogrametría, dataciones de series orgánicas o técnicas bayesianas de datación.
- Formular una propuesta de protección para este tipo de yacimientos. En este punto se pueden combinar acciones divulgativas (por ejemplo, mediante la creación de modelos BIM) junto a propuestas más formales, como la creación de un libro blanco sobre los recintos de fosos.

El trabajo aquí presentado, que fundamentalmente facilita las tareas de análisis y divulgación, se puede aplicar a cualquiera de los tres puntos mencionados.

3. METODOLOGÍA

El conjunto de herramientas que hemos escogido se engloba dentro del software libre y/o de código abierto (Free/Libre and Open Source Software o FLOSS). Se trata de herramientas asentadas, que cuentan con una amplia y activa comunidad, y que se encuentran en continua evolución e incluso interacción entre ellas, lo que permite, como en nuestro caso, una integración sencilla y muy fluida.

El uso del paradigma FLOSS facilita, si fuera el caso, la adaptación o extensión del código a nuestras necesidades particulares, y permite poner el trabajo realizado a disposición de la comunidad. En el ámbito de la geomática y la arqueología ya existen bastantes iniciativas de este tipo (FOSS4, 2016), (ATOR, 2016), (ArcheOS, 2016).

El sistema gestor de base de datos escogido es PostgreSQL con la extensión PostGIS para el manejo de información geográfica, de forma que contra ella pueden realizarse consultas SQL de cualquier tipo, incluyendo el análisis espacial. La base de datos relacional creada sobre ella actuará como repositorio central de datos, de manera que el resto de herramientas extraerán los datos que en ella se almacenen.

Como Sistema de Información Geográfica, de entre las opciones posibles dentro del ámbito FLOSS, como GRASS (GRASS GIS, 2016) o QGIS (QGIS, 2016), hemos optado por gvSIG Desktop en su versión 2.2.0. Se trata de un proyecto maduro y en continua evolución que ofrece un SIG multiplataforma con una interfaz amigable, consta de una activa comunidad de usuarios, ofrece facilidades para la formación en el manejo de la herramienta y, sobre todo, es muy completo desde el punto de vista técnico: incluye numerosos geoprocursos y herramientas tanto para formato ráster como vectorial, permite la conexión con bases de datos externas, y la ejecución de *scripts* con el lenguaje de programación Python (Python Programming Language, 2016). Además, cuenta con casos de uso aplicados a la Arqueología (Cortell y Escribá, 2015).

El software estadístico R también está muy extendido, en continua evolución gracias a una comunidad muy activa, y ofrece paquetes para trabajar en múltiples campos; para nuestras necesidades, contamos con paquetes de acceso a bases de datos, análisis espacial, presentación gráfica de resultados y creación de mapas interactivos, como se verá posteriormente. R cuenta además con un potente y cómodo IDE, RStudio (RStudio, 2016), que permite también la generación de aplicaciones web interactivas mediante el framework Shiny (Shiny, 2016). R puede integrarse fácilmente con Leaflet, de manera que crear mapas interactivos a partir de los datos almacenados en nuestra base de datos resulta muy sencillo.

Aunque ahora mismo no se planea una migración de la base de datos, cabe destacar que, si en algún momento fuera necesario sustituirla por otro tipo de base de datos no SQL -por ejemplo, MongoDB (MongoDB, 2016)-, sería posible hacerlo desde R, y desde gvSIG no debería ser muy complicado gracias al scripting en Python. Es decir, la base de datos utilizada es transparente para el usuario de R y gvSIG.

4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se analiza con más detalle cada una de las herramientas utilizadas, su forma de utilización y las relaciones entre ellas que permiten integrarlas de manera cómoda y eficiente.

4.1 Repositorio central: base de datos PostgreSQL con la extensión espacial PostGIS

La base de datos es el repositorio central de información, que almacena todos los datos recopilados durante la excavación del yacimiento. En nuestro caso hemos escogido un modelo relacional para su implantación. En este trabajo presentamos un diseño previo inicial, que debe ser depurado para adecuarse a las especificaciones y requerimientos de un arqueólogo, y que persigue ser lo suficientemente flexible como para adaptarse a diferentes yacimientos y equipos de investigación. Actualmente se centra en recoger, para un yacimiento, toda la información asociada a los hoyos que lo integran (Figura 3):

- Información básica de cada hoyo, incluyendo su información geoespacial, que será fundamental a la hora de trabajar con el resto de herramientas que se conectarán a la base de datos.
- Diferentes tipos de material enterrados en los hoyos: cerámica, sílex, fauna, etc. Dado que la cerámica es un punto de interés para nuestras investigaciones, se ha detallado mucho más que las tablas de otros elementos que pueden hallarse en un hoyo.
- Información sobre el registro de piezas; estas tablas pueden extenderse para adaptarse convenientemente a los sistemas de registro propios de cada equipo de investigación.
- Bibliografía asociada a las piezas de cerámica halladas; estas tablas son válidas también para los restantes elementos que es posible encontrar en un hoyo (sílex, fauna...)
- Información sobre campañas, proyectos de investigación y personal asociados. De esta forma se facilita la extracción de información útil para tareas burocráticas o de generación de informes.

La combinación de WWW SQL Designer y PostgreSQL+PostGIS permite automatizar en gran medida la creación de la base de datos y la posterior carga de los mismos. El primero ofrece la opción de exportar el diseño creado mediante un script en formato SQL, de manera que es sencillo crear en PostgreSQL la base de datos diseñada: basta con ejecutar en su editor SQL dicho script. Una vez creada la base de datos, la carga de los datos se puede hacer de nuevo en PostgreSQL desde un script SQL, si previamente se han almacenado en un fichero csv.

4.2 Sistema de Información Geográfica gvSIG

Como hemos comentado anteriormente, el repositorio central de información de nuestros datos es la base de datos PostgreSQL con la extensión PostGIS: a ella deben acceder, directa o indirectamente, el resto de herramientas. A la hora de conectar la base de datos con nuestro SIG, gvSIG permite la creación de nuevas capas a partir de tablas con información geoespacial que estén almacenadas en una base de datos externa, como sería nuestro caso, pero con una limitación: los datos sólo pueden pertenecer a una única tabla, es decir, no es posible relacionar la tabla con datos geográficos con otras tablas usando SQL.

Afortunadamente, el propio gvSIG permite sortear esta restricción: gracias al *scripting* en Python, es posible conectarse a una base de datos PostgreSQL+PostGIS como la explicada anteriormente, recuperar datos espaciales (y no espaciales) relacionando las tablas en SQL sin ningún tipo de limitación y, a partir de tales datos, generar nuevas capas. Por ejemplo, en la Figura 5 se muestra un *script* Python que accede a una base de datos y realiza una consulta para obtener, sin filas repetidas, todos los campos de la tabla *hoyos* que contengan fragmentos de cerámica amorfos y cuya descripción incluya el término *compuesta*. Como parte de los datos recuperados contiene información espacial, se podría crear una nueva capa a partir de ellos, ya que el scripting en gvSIG ofrece funciones para ello.

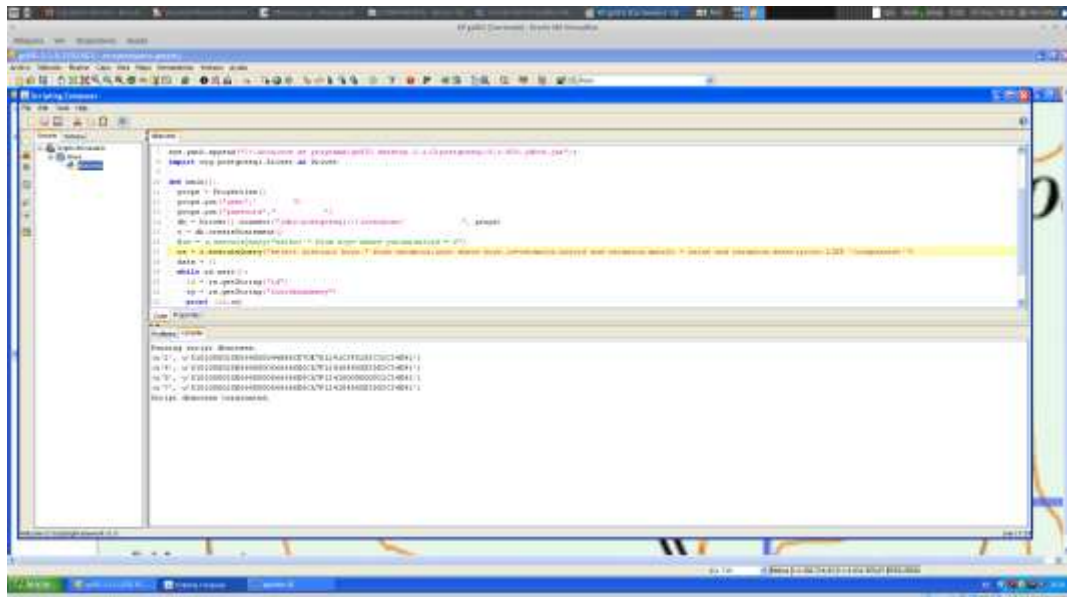


Figura 5. Script Python que accede a una base de datos PostgreSQL+PostGIS mediante SQL y crea una nueva capa en gvSIG

El código Python para poder realizar esta conexión entre PostgreSQL+PostGIS y gvSIG está disponible para la comunidad tanto en el blog mantenido por la primera autora de la presente comunicación (Cruz-Martín, 2015a) como en el repositorio Python de su cuenta en la plataforma GitHub (Cruz-Martín, 2016).

4.3 Software estadístico R

Como se mencionó anteriormente, las ventajas del uso del software estadístico R tienen que ver fundamentalmente con su potencia y el amplio conjunto de paquetes que ofrece para tareas muy diversas. En nuestro caso, gracias al paquete *RPostgreSQL*, podemos conectarnos a nuestra base de datos para recuperar la información que deseemos mediante consultas SQL estándar. Una vez extraídos los datos, sobre ellos podemos ejecutar código R para obtener los resultados estadísticos y de análisis espacial y/o gráfico que sean necesarios. El código para la conexión/desconexión a la base de datos desde R también se encuentra disponible en (Cruz-Martín, 2016), dentro del repositorio R (*accessBD.R*). En el apartado siguiente se muestra un ejemplo del uso de datos extraídos de una base de datos PostgreSQL desde R y manipulados posteriormente con paquetes de este software para generar un mapa.

4.4 Mapas interactivos con la librería javascript Leaflet

El paquete *leaflet* permite que, desde R, puedan crearse de forma rápida y sencilla mapas interactivos en los que el usuario puede escoger diferentes mapas base, ampliarlos o reducirlos, seleccionar qué datos (representados con marcadores) quiere ver sobre ellos, y pinchar sobre los marcadores que representan dichos datos para obtener información adicional.

En nuestro caso los datos se han extraído de una base de datos PostgreSQL+PostGIS según se explicó en el apartado anterior, incluyendo en ellos la información espacial asociada a cada dato para poderlos situar posteriormente en el mapa.

A continuación, con las funciones que ofrece el paquete *leaflet* se ha creado un mapa que utiliza como mapas base los que proporciona un proveedor de mapas externo, si bien podríamos haber utilizado mapas propios, por ejemplo, en formato shp. Una vez creado el mapa, añadimos sobre él los datos extraídos de la BD gracias a la información geoespacial que hemos recuperado con cada uno de ellos. Estos datos pueden representarse de diferentes formas, como puntos, marcadores tipo Google Maps, e incluso personalizados. Estos marcadores pueden crearse como *pop-ups* que muestren información personalizada extraída también de la base de datos.

Los mapas creados pueden insertarse en una página web manteniendo toda su funcionalidad de interacción. Como ejemplo, la Figura 6 muestra diferentes interacciones con un mapa creado con los datos ofrecidos por el Portal de Datos Abiertos del Ayuntamiento de Málaga (Portal de Datos Abiertos del Ayuntamiento de Málaga, 2016), insertado dentro de una entrada del blog de la primera autora (Cruz-Martín, 2015b). Para ello, los datos se han cargado en una base de datos PostgreSQL con PostGIS, se ha accedido a ella desde R, y se ha generado el mapa en R *leaflet*. Dicho mapa se ha almacenado con extensión .html en un servidor web propio, y se ha insertado en el post mediante un *iframe* HTML. A pesar de la cantidad de datos representados en el mapa (por ejemplo, la consulta a la base de datos para obtener los teléfonos inteligentes con un nivel de batería alto devuelve 1714 resultados), la interacción con el mapa responde razonablemente rápido.

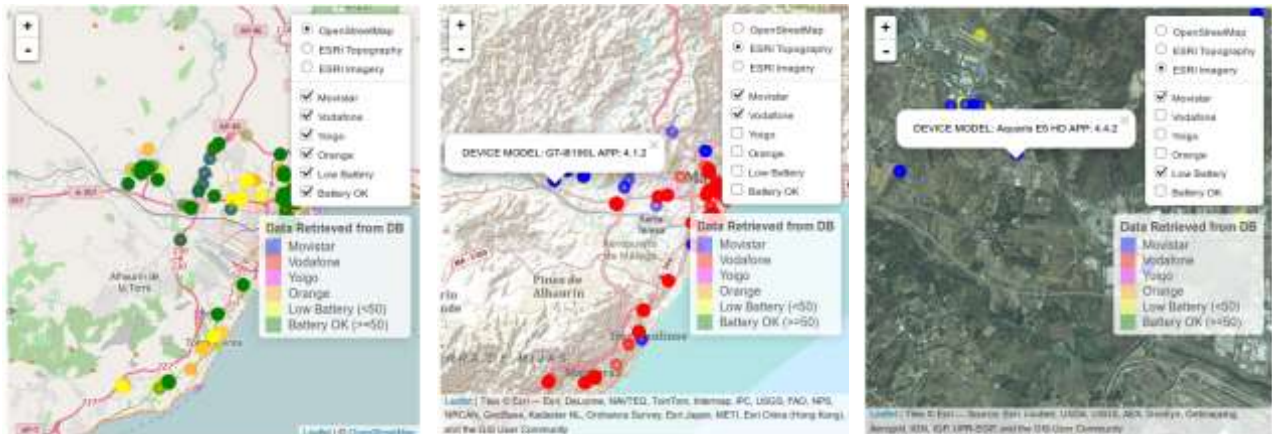


Figura 6. Mapa generado en R usando el paquete *leaflet* con datos almacenados en una base de datos PostgreSQL+PostGIS: diferentes opciones de mapa base, capas de datos y niveles de zoom.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este trabajo se ha presentado una cadena de herramientas FLOSS que facilita la gestión, el análisis y la difusión de yacimientos que alberguen recintos de fosos y/o campos de hoyos. El código básico implantado hasta el momento se ha puesto a disposición de la comunidad. A partir de este primer paso, surgen diversos trabajos futuros.

Respecto a la base de datos, es necesario depurar su diseño para que se ajuste aún mejor a este tipo de yacimientos. Así, los hoyos deberían tener en cuenta las unidades estratigráficas que contienen; es necesario recoger todos los hallazgos posibles en los mismos, detallando aún más sus tipos posibles (por ejemplo, para la fauna, detallar si el elemento es un vertebrado terrestre, marino, malacofauna, etc.) y almacenarlos adecuadamente en la tabla de registro. La tabla que almacena la cerámica debería especializarse mucho más, de manera que sea posible especificar el tratamiento de las superficies y los colores del interior y el exterior, cocción, y tipología (borde y forma). También podría mejorarse la automatización de la carga de datos, incluyendo un interfaz web para operaciones CRUD y también de mantenimiento básico.

Por otra parte, sería necesario estudiar en profundidad las opciones de análisis espacial que ofrecen PostgreSQL+PostGIS, gvSIG y R y determinar cuáles son las fortalezas y desventajas de cada una; además, la versión 2.3 de gvSIG ha extendido las posibilidades de scripting también a R (Blog gvSIG, 2016), por lo que la integración de las dos herramientas se puede facilitar aún más. Aparte de estas posibilidades de la tecnología, desde el punto de vista arqueológico el análisis con SIG debería responder a varias preguntas: dispersión de la materialidad, relaciones mesoespaciales en el yacimiento mediante el casamiento de cerámica, inclusión de elementos como dataciones para la relación inter hoyos, estudio de la disminución y/o crecimiento de los espacios o análisis espaciales de situación del tipo de yacimiento de hoyos mezclando características geomorfológicas del terreno así como espaciales para determinar un patrón de asentamiento.

Finalmente, la creación de mapas que faciliten la comprensión de este tipo de yacimientos por parte del gran público podría realizarse directamente desde R usando Shiny, o incluir las opciones 3D que ofrece gvSIG desde la versión 2.2

6. BIBLIOGRAFÍA

ArcheOS (2016) <http://www.archeos.eu/> Fecha de consulta: 01-04-2016.

ATOR (2016) <http://arc-team-open-research.blogspot.com.es/> Fecha de consulta: 01-04-2016.

- Blog gvSIG (2016) *Ejecutando código de R desde gvSIG 2.3 mediante Renjin*. <http://blog.gvsig.org/2016/03/15/ejecutando-codigo-de-r-desde-gvsig-2-3-mediante-renjin/> Fecha de consulta: 01-04-2016.
- Cortell, A. y Escribá, P. (2015) *Arqueometría y georreferenciación con gvSIG en un yacimiento al aire libre. Campaña Mas d'Is 2015*. 11as Jornadas Internacionales gvSIG. <http://www.gvsig.com/es/eventos/jornadas-gvsig/11as-jornadas-gvsig/comunicaciones> Fecha de consulta: 01-04-2016.
- Cruz-Martín, A. (2015a) *The Weekend Archaeologist. Scripting in gvSIG 2.1 + PostGIS*. <http://jafma.net/ana/theweekendarchaeologist/?p=202> Fecha de consulta: 23-03-2016.
- Cruz-Martín, A. (2015b) *The Weekend Archaeologist. Playing with Leaflet and R*. <http://jafma.net/ana/theweekendarchaeologist/?p=534> Fecha de consulta: 26-03-2016.
- Cruz-Martín, A. (2016) *Repositorio GitHub* <https://github.com/WeekendArchaeo> Fecha de consulta: 26-03-2016.
- FOSS4G (2016) <http://2016.foss4g.org/home.html> Fecha de consulta: 01-04-2016.
- GRASS GIS (2016) <https://grass.osgeo.org/> Fecha de consulta: 23-03-2016.
- gvSIG Desktop (2016) <http://www.gvsig.com/es/productos/gvsig-desktop> Fecha de consulta: 19-02-2016.
- Leaflet – a Javascript library for interactive maps (2016) <http://leafletjs.com/> Fecha de consulta: 14-03-2016.
- Jiménez-Jáimez, V., y Márquez-Romero, J. E. (2016) “Prehistoric ditched enclosures and necropolises in Southern Iberia: a diachronic overview”. En Ard, V. & Pillot, L. (eds.): *Giants in the Landscape: Monumentality and territories in the European Neolithic, XVII World UISPP Congress*. Burgos, 1-7 Septiembre, Oxford: Archaeopress archaeology. pp. 57-68.
- Jimenez-Jáimez, V., y Wheatley, D. W. (2016) *Ditched Enclosures in Neolithic Europe*. <http://generic.wordpress.soton.ac.uk/ditchedenclosures/> Fecha de consulta: 03-04-2016.
- Márquez-Romero, J. E., y Jiménez Jáimez, V. (2010) *Recintos de fosos. Genealogía y significado de una tradición en la Prehistoria del suroeste de la Península Ibérica (IV-III milenios AC)*. Málaga, Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico, Universidad de Málaga.
- Márquez-Romero, J. E., Valera, A., Becker H., Jiménez-Jáimez V., y Suárez J. (2011): “El Complejo Arqueológico dos Perdigoões (Reguengos de Monsaraz, Portugal). Prospecciones Geofísicas – Campaña 2008-09”. *Trabajos de Prehistoria*, 68, nº 1, pp. 175-186.
- MongoDB (2016) <https://www.mongodb.com/> Fecha de consulta: 10-04-2016.
- Navarro, I., Márquez-Romero, J. E., Aragón, J., y Caro, J. L. (2014): “El yacimiento neolítico de la Loma de la Alberica (Arroyo Vaquero, Estepona-Málaga). Actuaciones arqueológicas realizadas en la zona del CHARE en la campaña 2011”. En García Alfonso, E. (ed.): *Movilidad, contacto y cambio. II Congreso de Prehistoria de Andalucía*, Antequera: Junta de Andalucía, pp. 329-334.
- PERUMA Prehistoric Enclosures Research - University of Málaga (2016) <http://peruma.es/> Fecha de consulta: 07-04-2016.
- pgAdmin: PostgreSQL administration and management tools (2016) <http://www.pgadmin.org/> Fecha de consulta: 10-04-2016.
- Portal de Datos Abiertos del Ayuntamiento de Málaga (2016) <http://datosabiertos.malaga.eu/> Fecha de consulta: 26-03-2016.
- PostGIS – Spatial and Geographical Objects for PostgreSQL (2016) <http://postgis.net/> Fecha de consulta: 14-03-2016.

PostgreSQL (2016) <http://www.postgresql.org.es/> Fecha de consulta: 14-03-2016.

Python Programming Language (2016) <https://www.python.org/> Fecha de consulta: 23-03-2016.

QGIS (2016) <http://www.qgis.org/en/site/> Fecha de consulta: 23-03-2016.

RStudio. Open source and enterprise-ready professional software for R (2016) <https://www.rstudio.com/> Fecha de consulta: 07-04-2016.

Shiny (2014) <http://shiny.rstudio.com/> Fecha de consulta: 07-04-2016.

The R Project for statistical Computing (2016) <https://www.r-project.org/> Fecha de consulta: 19-02-2016.

WWW SQL Designer (2016) <https://github.com/ondras/wwwsqldesigner> <http://leafletjs.com/> Fecha de consulta 14-03-2016.

ESCALA Y MODELIZACIÓN: ¿CUÁL ES LA RELACIÓN ENTRE LA ESCALA DE LA CARTOGRAFÍA LULC EMPLEADA Y LA EXTENSIÓN DEL ÁREA MODELADA?

David García-Álvarez¹, María Teresa Camacho Olmedo¹

¹ Universidad de Granada, Dpto. Análisis Geográfico Regional y Geografía Física, Facultad de Filosofía y Letras, Campus de Cartuja, 18071, Granada, España. dagaral@ugr.es, camacho@ugr.es

RESUMEN

La influencia de la escala en el análisis y representación de los datos espaciales, a pesar de su importancia y de ser señalada como una línea de investigación prioritaria, permanece aún sin una adecuada comprensión. Son numerosos los conceptos a los que podemos hacer referencia cuando hablamos de escala. En la presente comunicación nos centramos en dos de ellos (escala cartográfica y su asociada unidad mínima cartografiable, así como la extensión del área de estudio), analizando la relación entre ambos y la modelización LULC (*Land Use Land Cover*, Usos y Coberturas del Suelo).

A través del empleo de las métricas de la ecología del paisaje, la herramienta VALIDATE del software IDRISI, así como la matriz propuesta por Pontius y Millones, se ha analizado la influencia de los dos conceptos de escala en los escenarios creados mediante el modelo Dinamica EGO. Se han efectuado cuatro simulaciones: dos para cada base de datos utilizada (SIOSE 1.25.0000 y CORINE 1.100.000), realizando para cada una de ellas una simulación para el conjunto del área de estudio y otra creando un sub-modelo para cada municipio dentro del área modelada.

Los resultados pretenden ayudar a aquellos investigadores en el ámbito de la modelización LULC en la parametrización inicial de sus modelos. Del mismo modo, se busca alcanzar una mejor comprensión de la relación que existe entre los distintos conceptos de escala.

Palabras clave: Escala; Modelización; SIOSE; CORINE; Dinamica EGO

ABSTRACT

Despite of its importance and its consideration as a priority line of research, the scale influence in the analysis and representation of spatial data remains without a good understanding. There are several meanings of scale. In this paper we focus in two of them (cartographic scale and its associated minimum mapping unit, together with the extent), analysing the relation between each other and with LULC (Land Use Land Cover) modelling.

Through the use of landscape metrics, the tool VALIDATE in the IDRISI software and the matrix proposed by Pontius and Millones, we have analysed the influence of both meanings of scale in the scenarios obtained by the model Dinamica EGO. They were made four simulations: two for each dataset used (SIOSE 1.25.0000 y CORINE 1.100.000), executing for each one simulation for the whole study area and another one considering the municipalities inside the study area as submodels.

The results can help LULC modelling researchers in the initial parametrization of their models. Likewise, we have tried to achieve a better understating of the relation between the different meanings of scale.

Keywords: Scale; Modelling; SIOSE; CORINE; Dinamica EGO

1. INTRODUCCIÓN

La problemática que introduce la escala en el estudio y análisis de los datos espaciales ha sido un recurrente tema de investigación, tanto para el caso de estudios de carácter geográfico (Lloyd, 2014; Obeso, 2014; Meentemeyer, 1989) como concretamente para estudios en el ámbito de la modelización (Lesschen *et al.*,

2005; Ménard y Marceau, 2005). A pesar de ello, aún no se ha logrado una adecuada comprensión de los efectos provocados por el cambio de escala en los resultados de nuestros análisis, especialmente en el caso de la modelización, siendo así señalado tal tema como una línea prioritaria de investigación (Houet *et al.*, 2010; Castilla *et al.* 2009; Quattrochi y Goodchild, 1997).

Una de las principales complejidades en el estudio de la escala es la variedad de significados que se le puede atribuir a este término (Ménard y Marceau, 2005; Wu, 2004; Lam y Quattrochi, 1992). En este sentido, se habla de escala cartográfica (relación entre el espacio representado en un mapa y sus medidas reales), escala geográfica u observacional (tamaño del mapa o área estudiada) o escala operacional (escala a la cual ciertos procesos operan en el medio ambiente). Del mismo modo, cuando se habla de escala suele mencionarse también el concepto de resolución, ya sea espacial (tamaño del píxel), temática (nivel de desagregación de la leyenda) o temporal (extensión temporal del análisis). En este sentido, algunos autores han llegado a hablar de escala espacial o temporal, identificando tales conceptos con los de resolución espacial y temporal (O'Sullivan y Perry, 2013). En relación con el concepto de escala y resolución espacial cabe mencionar también para el caso de los mapas de usos y coberturas del suelo la unidad mínima cartografiada, es decir, el tamaño mínimo que debe tener un polígono para poder ser representado en el mapa. Castilla *et al.* (2009) lo consideran un elemento que, junto a la resolución temática, debe ser incluido dentro del concepto de escala.

Con todo, el estudio de los efectos que introduce la escala en nuestros análisis no debe ya enfocarse sólo a una única definición de la misma, sino que han de tenerse en cuenta también las relaciones que se dan entre los distintos conceptos de la escala anteriormente apuntados. En consecuencia, mediante la presente comunicación se pretende obtener una mejor comprensión de los efectos que introduce la escala (escala cartográfica y su asociada unidad mínima cartografiada) de la cartografía LULC (*Land Use Land Cover*, Usos y Coberturas del Suelo) junto al tamaño del área de estudio en la modelización de los usos y coberturas del suelo.

Para lograr tal objetivo se han comparado las dos cartografías LULC distribuidas de manera estandarizada para el caso de España (SIOSE y CORINE), ejecutando un modelo distinto para cada una con Dinamica EGO. La posibilidad que ofrece tal software de realizar la modelización para el total del área estudiada o bien a nivel de región, nos ha permitido estudiar esa relación apuntada entre la escala de los mapas introducidos en el modelo y el tamaño del área de estudio modelada.

2. ÁMBITO DE ESTUDIO

EL Área Central de Asturias (Fig. 1) ha sido el ámbito objeto de modelización. Su notable dinamismo en el contexto de la provincia de Asturias justifica tal decisión. En este sentido, en este ámbito se integran las principales ciudades de la provincia, concentrándose en él en torno al 80% de su población y el grueso de la actividad económica de la región (Rodríguez *et al.*, 2009). Es el crecimiento de las áreas urbanas e industriales y, en general, de los suelos artificiales, los procesos de cambio más significativos en el área. No obstante, su principal característica radica en su constitución a partir de un sistema policéntrico de ciudades interrelacionado entre sí pero que, al mismo tiempo, da lugar a la generación de conjuntos con un perfil económico diferenciado y, por consiguiente, con unas dinámicas también distintas (Fernández *et al.*, 2007).

El área de estudio ha sido delimitada de acuerdo a los límites establecidos por las *Directrices Regionales de Ordenación del Territorio* de 1991; actualmente único plan territorial vigente que afecta a este espacio.

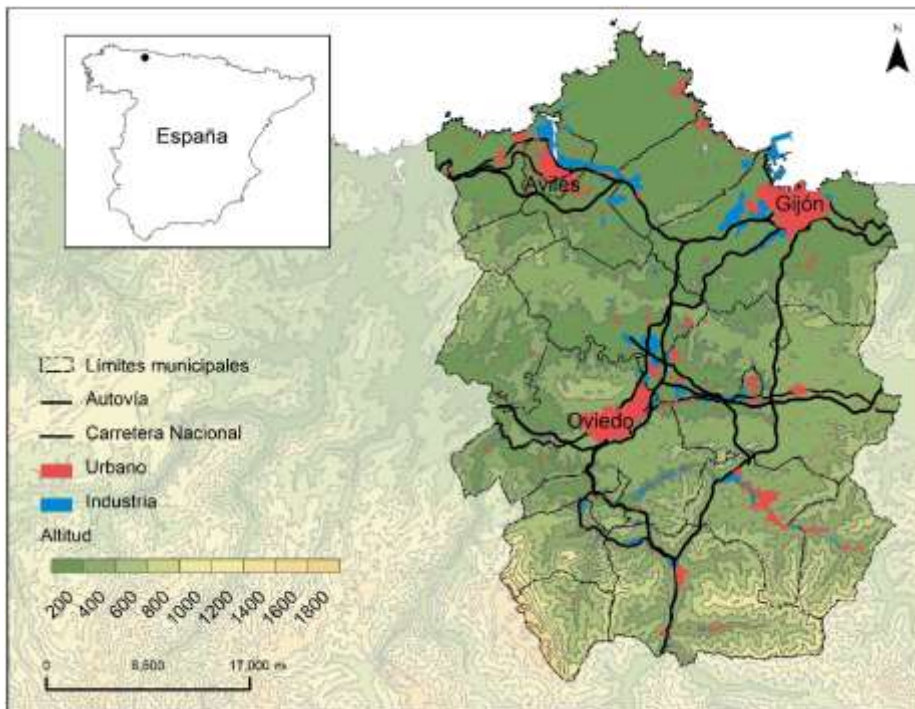


Figura 1. Mapa de localización del Área Central de Asturias según la delimitación propuesta por las Directrices Regionales de Ordenación del Territorio de 1991.

Fuentes: Mapa Topográfico Nacional 1:100.000; Modelo Digital del Terreno 25m (IGN)

3. DATOS Y METODOLOGÍA

En el análisis realizado se han empleado dos cartografías LULC diferentes: SIOSE y CORINE, ya utilizadas y comparadas en estudios previos (García-Álvarez, 2016). SIOSE se realiza a una escala 1:25.000, con una superficie mínima cartografiada de 0.5-2ha en función de la cobertura considerada. Es un modelo de datos orientado a objetos, en el que a cada polígono delimitado por fotointerpretación se le asocia un registro en el que se indican las proporciones de todas las coberturas presentes en tal polígono, independientemente de su tamaño o importancia. Por su parte, CORINE se realiza a una escala 1:100.000, con una superficie mínima cartografiada de 25ha. Es un modelo de datos jerárquico, en el que a cada polígono delimitado por fotointerpretación se le asigna una única etiqueta o clase de la leyenda jerárquica previamente definida y que permite agrupar o desagrupar las clases que integran la cartografía en función de las necesidades del usuario.

En el proceso de actualización de cartográfica, en SIOSE sólo se representan los cambios mayores de 0.4ha. Cuando las proporciones de las coberturas que integran un polígono varían en al menos un 20% también se modifica el registro asociado a este polígono, indicando las nuevas proporciones. En el caso de CORINE sólo quedan representados aquellos cambios mayores de 5ha.

Se han vinculado las leyendas de SIOSE y CORINE de cara a lograr dos mapas equivalentes y comparables. Para ello, se ha tomado como referencia el nivel 3 de la leyenda CORINE, simplificando ésta de acuerdo con las necesidades de nuestro estudio. La vinculación se ha basado en la coincidencia semántica entre clases de una y otra cartografía de acuerdo con lo establecido en sus documentos técnicos y manuales de fotointerpretación. En tanto SIOSE se ha diseñado para servir de base para la actualización de CORINE, tal coincidencia semántica es plena. La leyenda utilizada así como su vínculo con las clases simples de SIOSE puede encontrarse en el material complementario a esta comunicación (doi.org/10.6084/m9.figshare.3188389).

Se realizó también un proceso de generalización de la base de datos SIOSE con el objetivo de que cada polígono quedase definido por una única clase. La comparación de los dos mapas obtenidos (SIOSE y CORINE) ha revelado importantes diferencias e incoherencias entre ambos (García-Álvarez, 2016), a pesar de que en las dos fechas utilizadas en nuestro análisis (2005-06 y 2011-2011) el CORINE ha sido obtenido a partir de la generalización del SIOSE. En tanto el modelo requiere de datos en formato ráster, las bases de datos empleadas han sido rasterizadas a unas resoluciones de 12.5m (SIOSE) y 50m (CORINE) de acuerdo con el

método propuesto por Hengl (2006) para determinar la resolución espacial según la escala cartográfica de las bases de datos. Se ha escogido, entre las tres resoluciones propuestas por tal método, la recomendada, una opción intermedia entre la resolución más fina posible y la más gruesa.

El modelo elegido para la simulación ha sido Dinamica EGO. Se trata de un modelo de autómatas celulares ampliamente testado y reconocido (Mas *et al.*, 2011) (Pérez Vega *et al.* 2012), caracterizado por su flexibilidad, que nos ha permitido ajustar las dos simulaciones realizadas de cara a lograr la máxima similitud entre ellas. Modeliza las transiciones entre las distintas categorías de usos y coberturas del suelo, obteniendo las tasas de cambio mediante el método de las cadenas de Márkov a partir de la comparación de los dos mapas de calibración introducidos en el modelo. La localización de los cambios se efectúa a partir de dos funciones: *expand*, que simula los cambios como expansión o retroceso de polígonos de cada clase ya existentes, y *patcher*, que simula la aparición de nuevos polígonos de cada clase. El usuario puede indicar, para ambas funciones, el tamaño y varianza de los nuevos polígonos simulados o bien de los polígonos que se expanden. Del mismo modo, se puede indicar la proporción de cambios modelados por cada función, teniendo en cuenta que el modelo siempre localizará primero los cambios de la función *expand* y dejará el conjunto de cambios restantes para localizar mediante la función *patcher*. Finalmente, la ubicación de estos cambios se realiza según los mapas de probabilidad de transición obtenidos a partir de los factores introducidos en el modelo según el método de los *Weights of Evidence*. El modelo incluye también un componente estocástico de cara a introducir en los resultados el componente aleatorio que tienen todos los procesos dependientes de decisiones humanas. Más información acerca del modelo y sus características puede ser encontrada en Soares *et al.* (2002).

Dinamica EGO ofrece también la opción de dividir el ámbito de estudio en regiones previamente definidas, cuya simulación se realiza a modo de sub-modelo dentro del modelo general. En nuestro caso, el modelo ha sido ejecutado en primer lugar para el conjunto del área y, en segundo lugar, tomando como regiones los municipios que integran el Área Central de Asturias (Fig. 1) que, como ya ha sido señalado anteriormente, presentan características y dinámicas de cambio muy contrastadas.

Las categorías simuladas han sido las coberturas artificiales que protagonizan las mayores dinámicas de transformación en el área y cuyo cambio queda gobernado por procesos lógicos posibles de replicar en un modelo: tejido urbano continuo; tejido urbano discontinuo; zonas industriales o comerciales; redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados; zonas de extracción minera; escombreras y vertederos; zonas en construcción. Más información acerca de los parámetros del modelo así como de la leyenda y las bases de datos utilizadas puede ser encontrada en el material complementario asociado a esta comunicación.

En el análisis de los resultados se han empleado las métricas de ecología del paisaje (*landscape metrics*) así como técnicas de validación ampliamente utilizadas en el campo de la modelización: la matriz de tabulación cruzada propuesta por Pontius y Millones (2011) y la herramienta VALIDATE del software IDRISI. Estos análisis se han realizado únicamente sobre los cambios simulados por cada modelo, sin considerar el resto de coberturas que han permanecido constantes para la fecha simulada.

Las métricas de ecología del paisaje han sido calculadas a partir del software FRAGSTRATS 4.2 y nos han permitido evaluar el cambio en el patrón de los mapas analizados consecuencia de la modelización. Por su parte, los mecanismos de validación previamente señalados han sido de gran utilidad para estudiar las diferencias entre los mapas analizados en términos de error de cantidad (*quantity disagreement*) y error de localización (*allocation disagreement*).

4. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en las cuatro simulaciones realizadas, dos para cada base de datos utilizada (SIOSE y CORINE), una para el conjunto del área modelizada y otra para la modelización a nivel de región, muestran notables diferencias entre los diferentes escenarios obtenidos. En este sentido, para el caso de los cambios simulados, no se evidencia prácticamente ningún acuerdo entre las distintas simulaciones comparadas (Fig. 2). En aquellos casos en los que se ha producido un acuerdo en la localización del cambio éste se puede

considerar como aleatorio. En consecuencia, las principales diferencias y similitudes a encontrar entre los diferentes modelos se relacionan con la cantidad de cambio simulado, en tanto en lo que respecta a su localización, como ya se ha comentado, el nivel de acuerdo es mínimo.

A las conclusiones ya obtenidas en estudios previos en relación con la misma línea de investigación (García-Álvarez, 2016), que han demostrado la influencia de la escala cartográfica y su asociada unidad mínima cartografiable (UMC) en la modelización de usos y coberturas del suelo, podemos añadir ahora el notable efecto que la extensión del área de estudio produce también en los resultados obtenidos por el modelo. Tanto en el primer caso, ya analizado con anterioridad en el citado estudio, como en el segundo, objeto de análisis en esta comunicación, el acuerdo entre los cambios simulados por los diferentes modelos, parametrizados de una manera similar, ha sido prácticamente nulo. No obstante, para el primer caso comentado (influencia de la escala cartográfica y UMC en los modelos LULC) el papel que ha determinado la disimilitud entre las bases de datos de partida, tal y como se ha indicado en el apartado anterior, ha debido de jugar un papel importante.

En lo que respecta a la relación que existe entre la extensión del área de estudio y las diferencias en los escenarios simulados, para el modelo aquí utilizado (Dinamica EGO) las transiciones consideradas han jugado un papel crucial (Tabla 1). Dinamica EGO, al igual que Land Change Modeler (LCM), lleva a cabo la modelización a partir de un conjunto determinado de transiciones entre coberturas (ej. transición de terrenos de cultivo a tejido urbano continuo). Esto introduce una restricción en el propio modelo: sólo aquellos polígonos identificados como la categoría destino de la transición considerada pueden ser modelados (Camacho et al., 2015).

Las transiciones consideradas han sido aquellas que tuvieron lugar en las fechas de calibración de los modelos (2005-2006 – 2011-2012), es decir, sólo se han considerado aquellos cambios entre categorías que ya se dieron en el periodo de calibración. En tanto los municipios del ámbito de estudio presentan un dinamismo y unos procesos de cambio completamente distintos, el número y tipo de transiciones consideradas ha sido muy diferente para cada caso: mientras los municipios más netamente rurales y estancados presentan un menor número de transiciones (ej. Illas o Riosa), aquellos con un gran centro de población urbano presentan un mayor número y de variedad más amplia (ej. Oviedo o Gijón).

| | Avilés | Carreño | Castrillón | Corvera | Gijón | Gozón | Illas | Langreo | Las Regueras | Llanera | Mieres | Morcín | Noreña | Oviedo | Ribera de Arriba | Riosa | S. M. del Rey Aurelio | Siero |
|--|--------|---------|------------|---------|-------|-------|-------|---------|--------------|---------|--------|--------|--------|--------|------------------|-------|-----------------------|-------|
| Modelización por regiones | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SIOSE | 14 | 10 | 7 | 14 | 20 | 7 | 2 | 16 | 5 | 14 | 10 | 5 | 5 | 19 | 10 | 2 | 8 | 21 |
| CORINE | 2 | 3 | 0 | 2 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 6 | 2 | 0 | 1 | 6 |
| Modelización para el total del área | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SIOSE | 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CORINE | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla 1. Número de transiciones simuladas por cada modelo diferenciando, para el caso de los modelos ejecutados a nivel de región, el número de transiciones simuladas en cada municipio.

Lo anterior restringe de forma evidente los cambios simulados por el modelo. En el caso de la simulación realizada para el conjunto del ámbito de estudio el modelo considera las mismas transiciones en toda el área. Por su parte, en el modelo realizado a nivel municipal, sólo aquellos cambios que ya han ocurrido en un determinado municipio pueden ser replicados en el futuro en el mismo. Esto, además de restringir ciertos

| | Área total* (ha) | | | | | | Porcentaje respecto al total de cambios** | | | | | | Número de polígonos*** | | | | | |
|---------------------------|------------------|--------|----------|--------|----------|--------|---|--------|----------|--------|----------|--------|------------------------|--------|----------|--------|----------|--------|
| | Total | | Regiones | | Regiones | | Total | | Regiones | | Regiones | | Total | | Regiones | | Regiones | |
| | SIOSE | CORINE | SIOSE | CORINE | SIOSE | CORINE | SIOSE | CORINE | SIOSE | CORINE | SIOSE | CORINE | SIOSE | CORINE | SIOSE | CORINE | SIOSE | CORINE |
| Tejido urbano continuo | 148.66 | 18.75 | 30.20 | | 22.32 | 4.75 | 19.24 | 0.00 | 34 | 4 | 109 | | | | | | | |
| Tejido urbano discontinuo | 138.89 | 162.50 | 12.08 | 26.75 | 20.87 | 41.35 | 7.64 | 52.49 | 66 | 58 | 42 | | | | | | | |
| Zonas industriales | 135.31 | 78.50 | 16.70 | 1.50 | 20.31 | 20.00 | 10.57 | 3.17 | 40 | 15 | 49 | | | | | | | |
| Redes viarias | 90.69 | 58.25 | | | 13.60 | 14.84 | 0.00 | 0.00 | 16 | 2 | | | | | | | | |
| Minería | 34.50 | 9.25 | 15.89 | 7.25 | 5.19 | 2.35 | 10.13 | 14.03 | 24 | 1 | 37 | | | | | | | |
| Escombreras y vertederos | 24.09 | 9.00 | 10.14 | 0.50 | 3.63 | 2.29 | 6.46 | 0.90 | 7 | 4 | 36 | | | | | | | |
| En construcción | 93.81 | 56.75 | 72.19 | 15.00 | 14.08 | 14.43 | 45.96 | 29.41 | 27 | 9 | 156 | | | | | | | |
| Total | 665.95 | 398.00 | 157.20 | 51.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 214 | 93 | 429 | | | | | | | |

| | Área media ponderada**** (ha) | | | | | | Índice de cohesión de polígonos***** | | | | | |
|---------------------------|-------------------------------|--------|----------|--------|----------|--------|--------------------------------------|--------|----------|--------|----------|--------|
| | Total | | Regiones | | Regiones | | Total | | Regiones | | Regiones | |
| | SIOSE | CORINE | SIOSE | CORINE | SIOSE | CORINE | SIOSE | CORINE | SIOSE | CORINE | SIOSE | CORINE |
| Tejido urbano continuo | 6.23 | 6.63 | 0.46 | | 95.08 | 82.77 | 79.83 | | | | | |
| Tejido urbano discontinuo | 8.36 | 18.50 | 0.55 | 4.18 | 94.36 | 81.43 | 80.85 | 79.20 | | | | |
| Zonas industriales | 9.64 | 10.62 | 0.55 | 0.83 | 95.26 | 84.61 | 82.03 | 44.54 | | | | |
| Redes viarias | 18.13 | 32.64 | | | 97.26 | 93.67 | | | | | | |
| Minería | 1.57 | 9.25 | 0.70 | 3.27 | 90.31 | 85.72 | 84.01 | 75.73 | | | | |
| Escombreras y vertederos | 4.53 | 2.46 | 0.44 | 0.50 | 93.86 | 68.78 | 79.47 | 31.49 | | | | |
| En construcción | 5.30 | 22.98 | 0.79 | 3.64 | 94.45 | 87.52 | 84.92 | 71.92 | | | | |

*Área total, en hectáreas, de los cambios simulados para cada clase; **Porcentaje de los cambios de cada categoría respecto al total de cambios simulados en cada escenario; ***Número de polígonos simulados para cada categoría; ****Área media (ha) de los polígonos de cada clase simulada ponderada en función del tamaño de tales polígonos; ***** Índice que mide la conectividad física de los polígonos de cada clase. Posee valores más bajos cuanto más desconectados se encuentran entre sí los polígonos de una misma clase.

Tabla 2. Métricas de la ecología del paisaje aplicadas al conjunto de cambios simulados por cada modelo, tanto para la modelización para el total del área como para aquella aplicada a nivel municipal. Más información acerca de las métricas utilizadas y su formulación matemática puede encontrarse en el manual de ayuda de Fragstrats (McGarigal et al. 2015).

tipos de cambios en algunos casos, reduce el número de transiciones consideradas en el total del modelo. De este modo, al no sumarse todos los cambios identificados en el conjunto del área, resulta más difícil que los cambios medidos alcancen la magnitud necesaria como para que el modelo pueda obtener, a partir de ellos, un ratio de transición que aplicar a futuro, es decir, en ocasiones los cambios medidos son tan pequeños que el modelo no puede inferir de ellos una tasa de cambio que extrapolar a un horizonte futuro. El mayor o menor dinamismo del área de estudio y de las regiones que la componen sin duda determinará estas conclusiones y, por tanto, la influencia que la extensión del área modelada tenga en los escenarios simulados puede ser dependiente de la cantidad de cambios existentes en el ámbito analizado.

Anteriores estudios (Bhatti et al., 2015) han mostrado conclusiones similares respecto a la relación entre la extensión del área objeto de modelización y el número de transiciones consideradas por el modelo. No obstante, para el caso aquí analizado, hemos comprobado como tal efecto es dependiente también de la escala y UMC de la cartografía empleada. Aquellos mapas a mayor escala y con una menor UMC (SIOSE) permiten detectar un mayor número de cambios, lo que supone modelizar un mayor número de transiciones. No obstante, independientemente de la cartografía empleada y de su escala, la cantidad (ha) de cambios simulados experimenta un descenso drástico cuando el modelo se realiza a nivel de municipio: la cantidad de cambios simulados en el modelo por regiones en el caso de la cartografía SIOSE se corresponde con tan sólo el 24% de los cambios simulados por el modelo global, sin regiones, mientras que esta proporción es del 13% para el caso de la simulación realizada con mapas CORINE (Tabla 2).

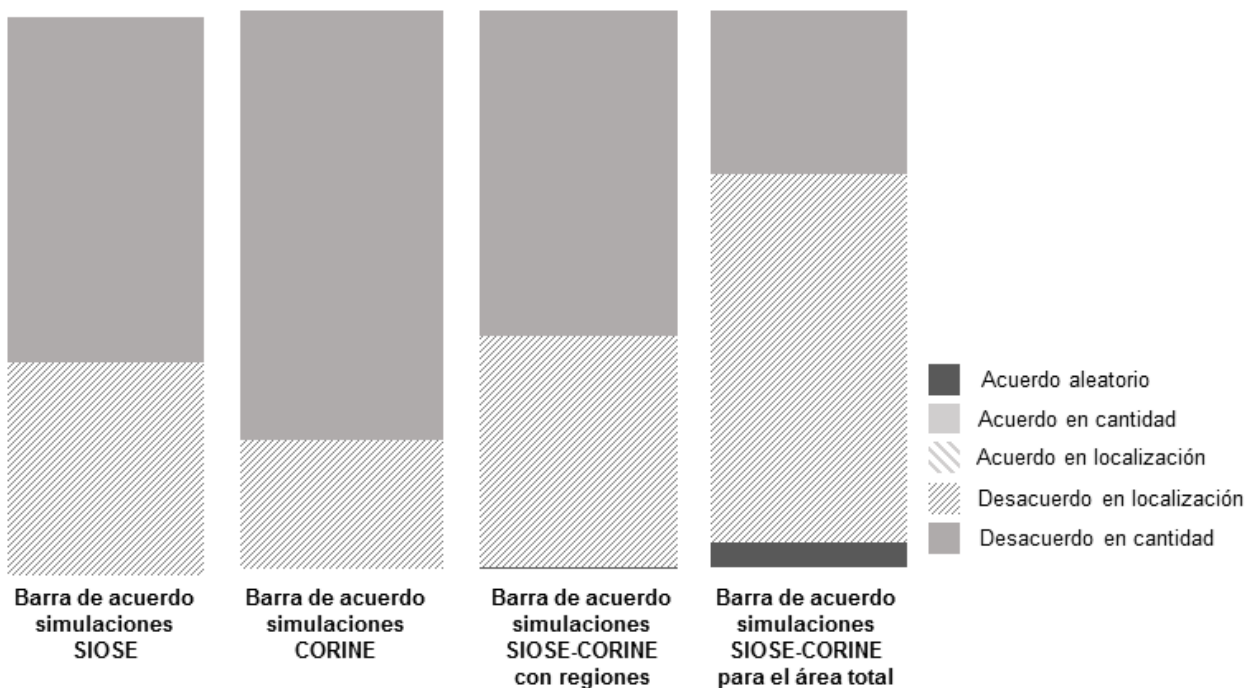


Figura 2. Barras de acuerdo resultado de la comparación de los escenarios obtenidos. Por un lado se compara para cada base de datos las dos simulaciones realizadas (para el total del área y a nivel de región) y, por otro, se compara para cada tipo de simulación (a nivel de región o para el conjunto del área de estudio) los resultados obtenidos a partir de las dos bases de datos utilizadas en el estudio.

Considerando lo anterior, la eficacia de Dinamica Ego y sus funciones *Expander* y *Patcher* queda bastante limitada cuando se reduce el tamaño del área a modelar y, sobre todo, cuando esta presenta pocos cambios. De esta manera, la cantidad de cambios a localizar es tan pequeña que los parámetros introducidos en el modelo en relación con el tamaño y varianza de los polígonos simulados tienen una escasa influencia en el escenario generado. A ello cabe añadir la propia restricción introducida por la transición a modelar. Solo aquellas áreas objeto de la transición pueden ser modeladas, con lo que si los polígonos de tal clase localizados bajo áreas de máxima idoneidad son pocos y de similares dimensiones, el modelo es incapaz de generar un patrón diferente al determinado por las propias circunstancias. Por tanto, los parámetros introducidos por el usuario tienen de nuevo poca significancia en el resultado final.

Por otro lado, la comparación de los diferentes escenarios obtenidos ha mostrado, tal y como se ha indicado anteriormente, un total desacuerdo entre ellos. No obstante, resulta curioso como el acuerdo es mayor cuando se comparan los escenarios obtenidos para cada una de las diferentes bases de datos en los modelos a nivel municipal y para el total del área que cuando se comparan los dos modelos realizados a partir de la misma base de datos.

El acuerdo en localización es en todos los casos mínimo o inexistente, si bien en las barras de acuerdo obtenidas (Fig. 2) la importancia del desacuerdo en localización es mayor o menor en función del desacuerdo alcanzado en cantidad. En relación con esta última variable, es en la comparación de los escenarios obtenidos en el modelo para el total del área en las dos cartografías utilizadas donde se alcanza el menor grado de desacuerdo en cantidad, es decir, donde las proporciones de los cambios simulados por ambos modelos son más similares. De hecho, se logra en tal comparación una mínima tasa de acuerdo que, sin embargo, por su escasa representatividad, se considera como aleatorio.

Teniendo en cuenta lo anterior y, valorando las restantes tres barras de acuerdo, que hacen referencia en todos los casos a simulaciones realizadas a nivel municipal (ya sea comparándolas con las del total del área de estudio para la misma base de datos o bien comparándose las simulaciones a nivel municipal de las distintas bases de datos), podemos decir que la disminución del tamaño del área modelada, al menos para el caso de nuestro área de estudio, introduce mayor incertidumbre en nuestro análisis, siendo mayores las diferencias con respecto al resto de resultados simulados.

En general, cuando más simple sea un modelo, mejores serán sus resultados (O'Sullivan y Perry, 2013; Clarke, 2004). Modelos diseñados para pequeñas áreas implican la comprensión de procesos de carácter más local y específico y, por ende, más complejos, lo que ha de resultar en una modelización más difícil (Lesschen et al., 2005; Verburg et al., 2003). En relación con ello, algunos autores han señalado la especificidad de los modelos en función de su área de estudio (Bhatti et al., 2015), no pudiendo extrapolarse los mismos a áreas de mayores o menores dimensiones en tanto cada modelo queda asociado a unas características (resolución especial, temática, variables explicativas) que son específicas del área de estudio modelada (Ahmed y Bramley, 2015; Paegelow y Camacho, 2008; Overmars y Verburg, 2005).

Resultados adicionales a los mostrados en la presente comunicación y que permiten ahondar en el análisis de las simulaciones realizadas pueden ser encontrados en el material complementario asociado a esta comunicación (doi.org/10.6084/m9.figshare.3188389).

5. CONCLUSIONES

El análisis realizado ha mostrado la notable influencia que los dos conceptos de escala utilizados (escala cartográfica y su asociada UMC así como la extensión del área de estudio) tienen en la modelización LULC, así como la íntima relación que existe entre ambos conceptos. Modelos para ámbitos locales, al exigir más detalle y el estudio de procesos más complejos, funcionan mejor con cartografías de detalle. Éstas, sin embargo, incrementan la complejidad del modelo. En este sentido, recurrir a escalas de gran detalle, con mapas de elevada resolución, aplicados a ámbitos locales, puede resultar en modelos excesivamente complejos que, por tal condición, rompen con la propia ley fundamental de la modelización (cuanto más simple sea un modelo, mejor será éste) y, por ende, con su utilidad.

Las características del ámbito de estudio escogido, en especial en lo que respecta a su dinamismo, así como del modelo empleado, en este caso Dinámica EGO, han tenido también una importante influencia en los resultados alcanzados. Áreas con pocos cambios son más sensibles a la variación de los parámetros relacionados con la escala. Similar comportamiento se aprecia en modelos de transiciones frente a aquellos basados únicamente en áreas de idoneidad y autómatas celulares, como CA_Markov o Metronámica. En estos casos, todas las transiciones hacia la categoría simulada son posibles en todas las regiones de estudio, lo cual puede aportar más realismo para el caso de aquellos modelos que simulan dinámicas urbanas, en las cuales las transiciones no siempre tienen por qué ser las mismas. De este modo, una ciudad siempre va a extenderse en su entorno inmediato, independientemente de la cobertura que la rodee.

La escasa tasa de acuerdo lograda con el modelo utilizado, que puede calificarse de inexistente, abre también la puerta a la crítica sobre la propia viabilidad del modelo y su capacidad de reconocer y comprender las dinámicas del área de estudio analizada. La variación de sus parámetros, en búsqueda de una comprensión más certera del territorio modelizado y de sus dinámicas, así como la comparación de sus resultados con otros modelos como los arriba señalados han de ser, en este sentido, tareas preferentes que permitan entender el papel que las propias características del modelo han jugado en los resultados y conclusiones obtenidas.

Por tanto, futuras líneas de investigación han de pasar por aplicar análisis similares a diferentes áreas de estudio y con diferentes modelos. De igual forma, es necesario ahondar en una comprensión más profunda de los efectos que produce la escala en la modelización LULC, valorando otros elementos relacionados con la escala como la resolución temática.

6. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se enmarca en el proyecto MINECO I+D BIA2013-43462-P, titulado “SIMULACIONES GEOMÁTICAS PARA MODELIZAR DINÁMICAS AMBIENTALES II. Horizonte 2020” (SIGEOMOD_2020) financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional FEDER. El primer autor agradece también al Ministerio de Economía y Competitividad y al Fondo Social Europeo por la financiación de su actividad investigadora (Ayudas para contratos predoctorales para la formación de doctores 2014).

7. BIBLIOGRAFÍA

(1991). Directrices Regionales de Ordenación del Territorio. Consejería de Medio Ambiente y Urbanismo. Principado de Asturias.

Ahmed, S. y Bramley, G. (2015): “How will Dhaka grow spatially in future?-Modelling its urban growth with a near-future planning scenario perspective”, *International Journal of Sustainable Built Environment*, 4, 2, pp. 359-377.

Bhatti, S. S., Tripathi, N. K., Nitivattananon, V., Rana, I. A. y Mozumder, C. (2015): A multi-scale modeling approach for simulating urbanization in a metropolitan region, *Habitat International*, 50, pp. 354–365.

Camacho, M. T., Paegelow, M. y García-Álvarez, D. (2015): “Mapas de potencial de transición versus mapas de aptitud para modelar el cambio de usos y coberturas del suelo”, en de la Riva, J., Ibarra, P., Montorio, R. y Rodrigues, M. (Ed.): *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación*. Universidad de Zaragoza-AGE, pp. 541–550.

Castilla, G., Larkin, K., Linke, J. y Hay, G. J. (2009): “The impact of thematic resolution on the patch-mosaic model of natural landscapes”, *Landscape Ecology*, 24, 1, pp. 15–23.

Clarke, K. C. (2004): “The limits of simplicity: toward geocomputational honesty in urban modelling”, en Atkinson, P., Foody, G., Darby, S. y Wu, F. (Ed.): *Geodynamics*. CRC Press, pp. 215–232.

Equipo Técnico Nacional SIOSE (2015): *Metodología de actualización SIOSE*. Instituto Geográfico Nacional.

European Environment Agency (2007): *CLC2006 technical guidelines*.

Fernández, A., Ortega, M., Sevilla, J., González, J. R. y Álvarez-Cienfuegos, J. (2007). *Población, administración y territorio en Asturias*. Consejo Económico y Social del Principado de Asturias.

García-Álvarez, D. (2016): “Scale influence in LULCC modelling. A comparison between two different LULC maps (SIOSE and CORINE)”, en Camacho, M. T., Paegelow, M., Mas, J. F. y Escobar, F. (Ed.): *Geomatic simulations and scenarios for modelling LUCC. A review and comparison of modelling techniques*. En prensa.

Hengl, T. (2006): “Finding the right pixel size”, *Computers and Geosciences*, 32, 9, pp. 1283–1298.

- Houet, T., Verburg, P. H. y Loveland, T. R. (2010): "Monitoring and modelling landscape dynamics", *Landscape Ecology*, 25, 2, pp. 163–167.
- Lam, N. y Quattrochi, D. (1992): "On the Issues of Scale, Resolution, and Fractal Analysis in the Mapping Sciences", *The Professional Geographer*, 44, 1, pp. 88–98.
- Lesschen, J. P., Verburg, P. H., y Staal, S. J. (2005). "Statistical methods for analysing the spatial dimension of changes in land use and farming systems", *LUCC Report Series*, 7, 81p.
- Lloyd, C. D. (2014). *Exploring Spatial Scale in Geography*. John Wiley & Sons.
- Mas, J., Kolb, M., Houet, T., Paegelow, M. y Camacho, M. T. (2011): "Éclairer le choix des outils de simulation des changements des modes d'occupation et d'usages des sols Une approche comparative", *Revue Internationale de Géomatique*, 21, 3, pp. 405–430.
- McGarigal, K, Cushman, S., Neel, M. C. y Ene, E. (2015): *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps*. University of Massachusetts.
- Meentemeyer, V. (1989): "Geographical perspectives of space, time, and scale", *Landscape Ecology*, 3, 3-4, pp. 163–173.
- Ménard, A. y Marceau, D. J. (2005): "Exploration of spatial scale sensitivity in geographic cellular automata", *Environment and Planning B: Planning and Design*, 32, 5, pp. 693–714.
- Obeso, I. (2014): "Análisis geográfico de los desahucios en España", *Ería*, 95, pp. 327-342.
- O'Sullivan, D. y Perry, G. L. W. (2013). *Spatial Simulation: Exploring Pattern and Process*. John Wiley & Sons.
- Overmars, K. P. y Verburg, P. H. (2005): "Analysis of land use drivers at the watershed and household level: Linking two paradigms at the Philippine forest fringe", *International Journal of Geographical Information Science*, 19, 2, pp. 125–152.
- Paegelow, M. y Camacho, M. T. (2008): "Advances in geomatic simulations for environmental dynamics", en Paegelow, M. y Camacho, M. T. (Ed.): *Modelling Environmental Dynamics*. Springer, pp. 3–54.
- Pérez-Vega, A., Mas, J.-F. y Ligmann-Zielinska, A. (2012): "Comparing two approaches to land use/cover change modeling and their implications for the assessment of biodiversity loss in a deciduous tropical forest", *Environmental Modelling & Software*, 29, 1, pp. 11–23.
- Pontius Jr, R. G. y Millones, M. (2011): "Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment", *International Journal of Remote Sensing*, 32, 15, pp. 4407–4429.
- Quattrochi, D. A., y Goodchild, M. (Ed.) (1997): *Scale in remote sensing and GIS*. CRC Press.
- Rodríguez Gutiérrez, F. (2009): *El área metropolitana de Asturias*. Trea.
- Soares, B. S., Cerqueira, G. C. y Pennachin, C. L. (2002): "DINAMICA - a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier", *Ecological Modelling*, 154, 3, pp. 217–235.
- Verburg, P. H., De Groot, W. T. y Veldkamp, A. J. (2003): "Methodology for multi-scale land-use change modelling: Concepts and challenges" en Dolman, A. J., Verhagen, A. y Rovers, C. (Ed.): *Global environmental change and land use*. Springer, pp 17–51.
- Wu, J. (2004): "Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations", *Landscape Ecology*, 19, 2, pp. 125–138.

ANÁLISIS DE CONJUNTOS DE MULTITRAZAS GNSS PROCEDENTES DE RUTAS DE SERVICIOS DE PAQUETERÍA

Paula Gil-De-La-Vega, Francisco J. Ariza-López, Antonio T. Mozas-Calvache

Universidad de Jaén, Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría, Campus Las Lagunillas, s/n, 23071, Jaén, España. pgil@ujaen.es

RESUMEN

Las agencias de paquetería realizan diariamente desplazamientos a través de las vías de comunicación. Estos desplazamientos podrían ser aprovechados para capturar trazas GNSS mediante la colocación de equipos GPS-tracklog en los coches que forman las flotas de estas agencias. De esta manera, se recopilarían grandes cantidades de información geográfica que, tratada de forma adecuada, puede ser utilizada en diferentes procesos de producción cartográfica, como por ejemplo la creación y/o actualización de mapas de carreteras. En este trabajo se expone la experiencia sobre un caso real de la utilización de una agencia de mensajería para la obtención de multitrizas GNSS, dando a conocer tasas reales de cobertura y de rendimiento temporal.

Palabras clave: VGI; multitrizas GNSS; agencias de paquetería.

ABSTRACT

The delivery companies perform daily road trips. These trips could be harnessed to capture GNSS tracks by placing GPS-tracklog equipment in cars that are the fleets of these agencies. On this way, it could collect large amounts of geographic information. With a proper treatment of this information, it could be used in different cartographic production processes, as creation of new road maps or updating existing ones. In this work, we show our experience getting GNSS multitracks using a delivery company, giving some results about real covering rates and temporal efficiency.

Keywords: VGI; GNSS multitracks; package delivery companies.

1. INTRODUCCIÓN

El rol que el público en general ha tenido frente a la Información Geográfica (IG) ha cambiado de forma significativa gracias a las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE), los globos virtuales, o los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS), pasando de ser meros consumidores o usuarios a productores (Ruiz Almar, 2010). La IG creada o recogida por este público fue denominada "Información Geográfica Voluntaria" (VGI, del inglés "Volunteered Geographical Information") por Goodchild (2007). La VGI puede ser utilizada en diferentes procesos de producción cartográfica, como por ejemplo la creación y/o actualización de mapas de carreteras o en procesos de control de calidad posicional basados en línea (Gil-de la Vega et al. 2016).

Dentro de la VGI, las agencias de transporte (ASM, MRW, Correos, Seur, etc.) pueden suponer una gran oportunidad para la obtención de IG dado que, diariamente, desplazan sus vehículos por las carreteras de todo el mundo. El volumen de desplazamientos de este tipo de agencias está en aumento, gracias en gran medida al aumento del comercio electrónico (Fernández-Portillo et al., 2015). Con la colocación de navegadores GNSS en sus flotas, se podrían obtener diariamente trazas de objetos del mundo real sin la necesidad de realizar levantamientos específicos.

Estas trazas por sí solas, no tienen un gran valor desde el punto de vista cartográfico, dada la falta de rigor en su captura y la escasa exactitud de los equipos de captura (Zhang y Sester, 2010). Pero se da la peculiaridad de que las agencias de transporte suelen cubrir los mismos trayectos muchas veces, de modo que se pueden obtener numerosas trazas pertenecientes al mismo tramo de vía (Cao y Krumm, 2009). A partir de estos

conjuntos de multitrazas se pueden derivar trazas de mayor exactitud si se procesan de forma adecuada a través de la minería de datos espacial (Ariza-López et al., 2014), donde la cantidad puede soslayar la inicial falta de calidad posicional individual.

En este trabajo, se realiza un análisis de los conjuntos de multitrazas GNSS generados por una empresa de paquetería en diversas rutas en la provincia de Jaén. El análisis se centra en determinar y caracterizar el rendimiento temporal y las tasas efectivas de cobertura de los tramos de carreteras utilizados en el estudio.

Este trabajo se estructura en las secciones que se citan a continuación. En primer lugar, se revisa el estado de la cuestión que se trata. Luego, se lleva a cabo una caracterización espacial del área de estudio considerada. A continuación, se concreta la metodología adoptada en la investigación. Los resultados obtenidos se analizan en la siguiente sección y, finalmente, se incluyen las conclusiones alcanzadas en este trabajo.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1 Multitrazas GNSS

En este trabajo, se entiende por elementos multitrazas GNSS 3D (Figura 1) a los conjuntos (T) de trazas (t_i) formadas por vértices (V_j) tridimensionales. Todas las trazas que forman el conjunto representan el mismo elemento lineal, de modo que tienen un principio y un fin próximo. Las trazas pueden haber sido capturadas utilizando diferentes medios de transporte (coche, bicicleta, tren, etc.) sobre diversos elementos lineales (carreteras, caminos, vías de tren, carriles bici, etc.). Este trabajo se centra en trazas capturadas con el equipo de captura situado en un coche que se desplaza sobre diferentes tipos de carreteras.

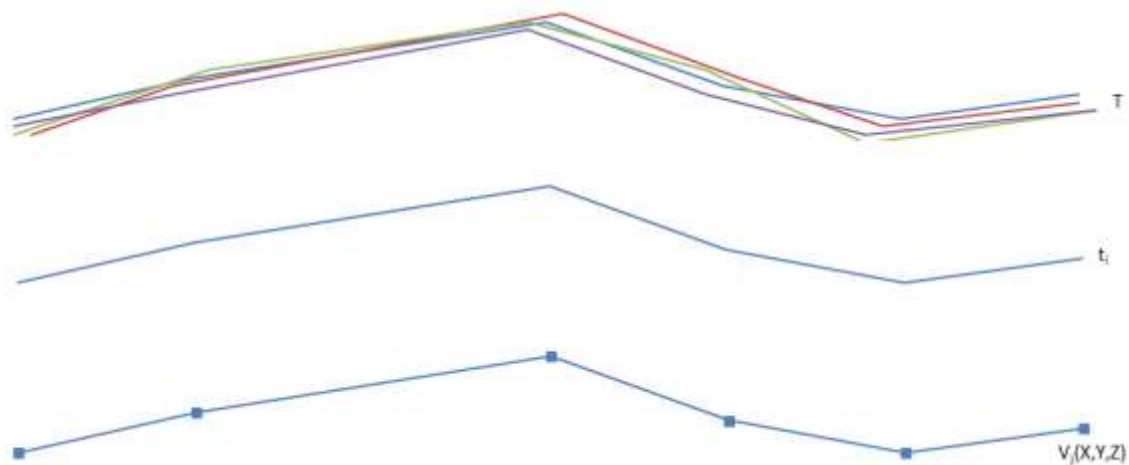


Figura 1. Multitrazas GNSS 3D. Elaboración propia.

La precisión alcanzada en la captura de cada traza depende, entre otras cosas, del tipo de receptor GNSS que se utilice y de la zona concreta donde se realiza la captura de datos GNSS. Los receptores de navegación o tracklog tienen una precisión de 6 a 10 metros en condiciones normales (Zhang y Sester, 2010). Este tipo de receptores son los que se utilizan, en la mayoría de los casos, en las Bases de Datos Geográficas (BDG) constituidas por VGI, y en los conjuntos utilizados en este estudio.

3. ÁMBITO DE ESTUDIO

La zona elegida para la realización del estudio son 15 tramos de carreteras situadas en la provincia de Jaén y distribuidas espacialmente como se muestra en la Figura 2. Se trata de 245km de tramos de carreteras interurbanas entre distintas localidades de la provincia de Jaén. Estos tramos son elegidos en función de las rutas de reparto de las agencias que ASM tiene localizadas en los municipios de Jaén, Andújar y Úbeda.

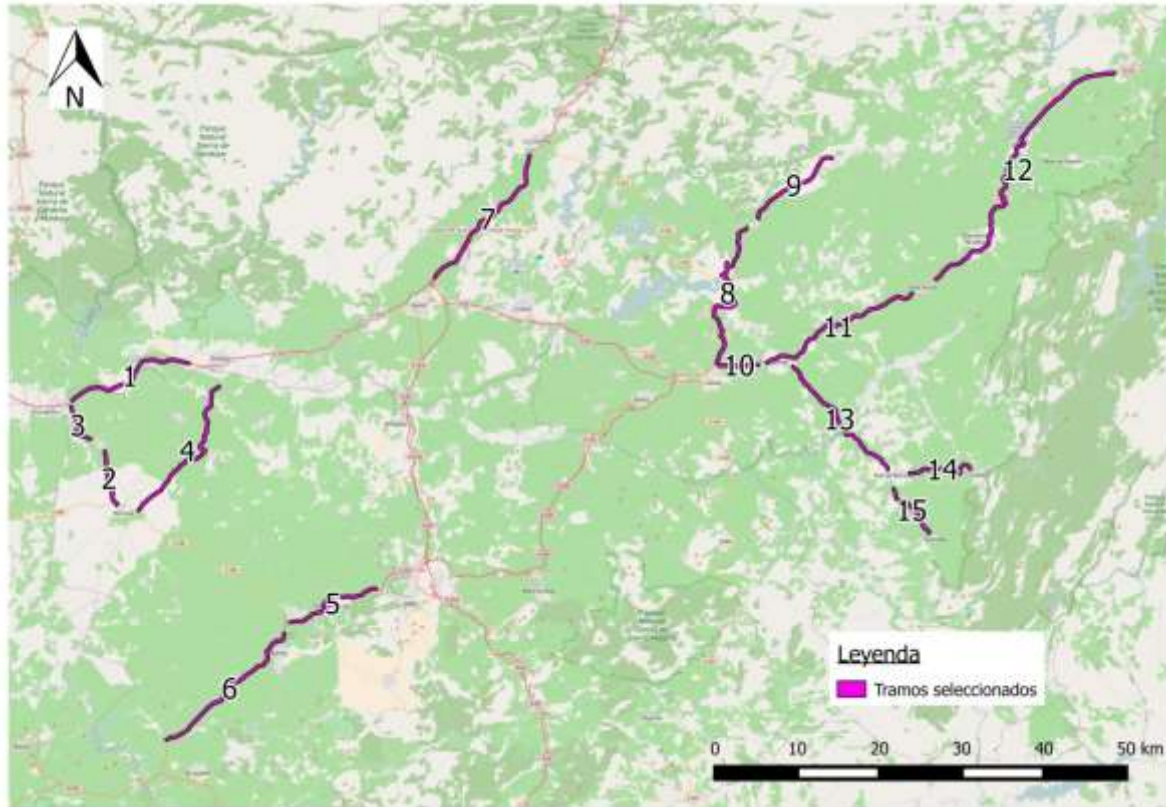


Figura 2. Mapa de localización de la zona de estudio (Elaboración propia con mapa de fondo OpenStreetMap).

Los 15 tramos seleccionados representan diferentes tipologías de carreteras: autovías, nacionales, autonómicas y locales. En la Tabla 1 se recoge el porcentaje con respecto al total de los 245km y cuántos tramos pertenecen a cada tipo de carretera considerado. Los tramos por carreteras autonómicas son los más abundantes ya que estos son los que vertebran el territorio y acceden a un mayor número de poblaciones. Esto es lógico si se tiene en cuenta que las rutas de reparto deben de llegar a un gran número de localidades, y es por ello que necesita recurrir a tipos de vía que, a priori, no son tan cómodas y seguras como las autovías y las carreteras nacionales.

| Tipo de Vía | Porcentaje | Número de tramos |
|-------------|------------|------------------|
| Autovía | 16% | 2 |
| Nacional | 27% | 3 |
| Autonómica | 47% | 9 |
| Local | 10% | 1 |

Tabla 1. Distribución de los tramos de carreteras en función de la tipología.

4. METODOLOGÍA

La realización de este estudio se estructura en los pasos que se detallan a continuación.

4.1 Captura de los conjuntos multitrizas GNSS.

Para la obtención de los conjuntos multitrizas se realiza un levantamiento posicional de vías de comunicación terrestres capturando por técnicas GNSS mediante sistemas GPS-tracklog. Cada vía de comunicación se captura en ambos sentidos. El número de pasadas para cada uno de los tramos considerados es de 100 (50 pasadas de ida y 50 pasadas de vuelta). Aunque existen estudios que consideran que con 10 pasadas se puede obtener una traza media de calidad (Mozas-Calvache y Ariza-López, 2016), las trazas en este estudio no se han

captura de forma tan rigurosa como en el citado estudio, y por ello que se aumenta el número de trazas necesarias.

El dispositivo GPS-tracklog se coloca en el salpicadero de cada uno de los vehículos (Figura 3) que realizan los tramos seleccionados. La fijación del dispositivo al salpicadero se hace de una forma sencilla, con la colocación de un velcro adhesivo. El conductor sólo se tiene que encargar de encenderlo y apagarlo al comenzar y finalizar la jornada. El almacenamiento de los datos se realiza en unas tarjetas de 4Gb, lo que permite que los dispositivos funcionen durante muchos días. Por lo tanto, la implicación por parte de los trabajadores de la agencia es mínima y en ningún momento interfiere con su trabajo.



Figura 3. Dispositivo GPS-tracklog situado sobre el salpicadero. Fotografía del fabricante: Columbus V-990.

La frecuencia de captura configurada en el dispositivo es 1Hz, es decir, que cada segundo captura una posición. Además de la información geométrica, coordenadas X, Y, Z, en cada posición se almacena la fecha y el tiempo de captura (hora, minuto y segundo), que es la información necesaria para la construcción de las trazas.

4.2 Formación de los conjuntos multitrazas GNSS.

Los datos capturados y almacenados por los tracklog son muchos más que los pertenecientes a los tramos seleccionados. Por lo tanto, en primer lugar se construyen polígonos (Figura 2) que incluyen los tramos objeto de este estudio y se seleccionan las posiciones que están dentro.

A continuación, se forman las trazas a partir de la componente temporal de los vértices. Las trazas se forman con los vértices que, para una determinada fecha (día), estén tomados en instantes consecutivos. Para evitar posibles pequeñas pérdidas de señal, se consideran dos instantes consecutivos entre dos posiciones si no hay una diferencia mayor de 4 segundos. Además, si en un mismo día se ha realizado una pasada de ida y otra de vuelta, para cada una de ellas se forma una traza independiente.

En la formación de los conjuntos multitrazas, ocurre que no todas las trazas cubren el tramo por completo (Figura 4) debido a que durante el reparto el conductor se haya salido de la carretera a realizar repartos. Por lo tanto, para cada conjunto multitrazas, tendremos un conjunto de trazas completas y, para aquellos tramos que lo requieran, uno o varios conjuntos de trazas incompletas correspondientes a determinadas secciones de los tramos.

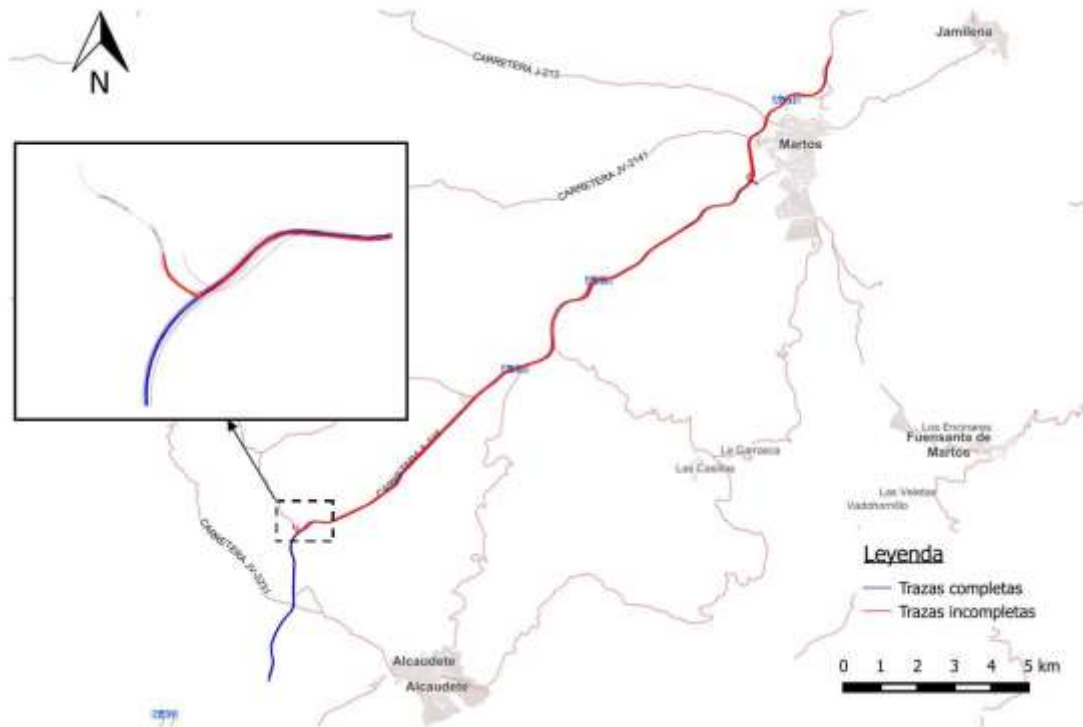


Figura 4. Trazas completas e incompletas del tramo 6. Fuente: Elaboración propia sobre CartoCiudad (Instituto Geográfico Nacional).

4.3 Análisis de los conjuntos multitrizas GNSS.

En el análisis de los conjuntos multitrizas GNSS, se pretende establecer las tasas efectivas de cubrición y el rendimiento temporal alcanzados para cada tramo analizado. Para ello, se cuantifican dos medidas:

1. PORCENTAJE DE CUBRICIÓN: en este trabajo se considera que el conjunto multitrizas cubre completamente el tramo que representa si se dispone de al menos 50 trazas en cada sentido. Un porcentaje del 100% o mayor indica que se ha cubierto el tramo con el número de trazas igual o mayor al esperado. Se distingue entre:

- PORCENTAJE CUBRICIÓN IDA (1): el es resultado de dividir el número de trazas de ida (N_{ti}) entre 50.

$$PC_i = \frac{N_{ti}}{50} \quad (1)$$

- PORCENTAJE CUBRICIÓN VUELTA (2): el es resultado de dividir el número de trazas de vuelta (N_{tv}) entre 50.

$$PC_v = \frac{N_{tv}}{50} \quad (2)$$

- PORCENTAJE CUBRICIÓN MEDIO (3): es el valor medio del porcentaje de cubrición de ida y el porcentaje de cubrición de vuelta.

$$PC_m = \frac{PC_i + PC_v}{2} \quad (3)$$

2. RENDIMIENTO TEMPORAL: esta medida indica el tiempo (en días laborables) que se tarda en obtener cada una de las trazas que forman los conjuntos multitrizas. Esta medida se determina como diferencia de días laborables entre la traza más reciente (F_f) y la traza más antigua (F_0) entre el número de trazas que forman el conjunto. Se distinguen:

- RENDIMIENTO TEMPORAL IDA (4): rendimiento temporal de las trazas de ida.

$$RT_i = \frac{DIAS.LABORABLES(F_f - F_0)_i}{N_{ti}} \quad (4)$$

- RENDIMIENTO TEMPORAL VUELTA (5): rendimiento temporal de las trazas de vuelta.

$$RT_v = \frac{DIAS.LABORABLES(F_f - F_0)_v}{N_{tv}} \quad (5)$$

- RENDIMIENTO TEMPORAL MEDIO (6): es el valor medio del rendimiento temporal de ida y el rendimiento temporal de vuelta.

$$RT_m = \frac{RT_i + RT_v}{2} \quad (6)$$

5. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Tabla 2 se cuantifican algunos parámetros de los conjuntos multitrizas a partir de los cuales se determinan las medidas de porcentaje de cobertura y rendimiento temporal. En esta tabla, se consideran sólo trazas completas, es decir, aquellas que cubren todo el tramo considerado.

| ID Tramo | Tipo de vía | Longitud (m) | Trazas Ida | Trazas Vuelta | Trazas Totales | Tiempo invertido (días) |
|----------|-------------|--------------|------------|---------------|----------------|-------------------------|
| 1 | AUTOVÍA | 16754,4 | 61 | 25 | 86 | 301 |
| 2 | AUTONÓMICA | 7478,6 | 15 | 0 | 15 | 79 |
| 3 | AUTONÓMICA | 5536,2 | 76 | 61 | 137 | 112 |
| 4 | AUTONÓMICA | 20866,7 | 61 | 4 | 65 | 111 |
| 5 | AUTONÓMICA | 12626,4 | 40 | 81 | 121 | 136 |
| 6 | AUTONÓMICA | 26465,7 | 2 | 25 | 27 | 136 |
| 7 | AUTOVÍA | 20459,0 | 85 | 87 | 172 | 242 |
| 8 | LOCAL | 22912,3 | 51 | 69 | 120 | 204 |
| 9 | AUTONÓMICA | 12551,8 | 55 | 54 | 109 | 240 |
| 10 | NACIONAL | 4975,3 | 178 | 161 | 339 | 199 |
| 11 | NACIONAL | 21391,9 | 42 | 46 | 88 | 185 |
| 12 | NACIONAL | 38693,5 | 1 | 14 | 15 | 204 |
| 13 | AUTONÓMICA | 18407,2 | 120 | 91 | 211 | 199 |
| 14 | AUTONÓMICA | 8892,8 | 49 | 76 | 125 | 199 |
| 15 | AUTONÓMICA | 7685,7 | 89 | 44 | 133 | 204 |

Tabla 2. Caracterización de los conjuntos multitrizas.

5.1 Porcentaje de cobertura

El porcentaje de cobertura de ida, vuelta y medio de cada uno de los tramos del estudio están recogidos en la Tabla 3.

| ID Tramo | Tipo de vía | PC _i (%) | PC _v (%) | PC _m (%) |
|----------|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | AUTOVÍA | 122 | 50 | 86 |
| 2 | AUTONÓMICA | 30 | 0 | 15 |
| 3 | AUTONÓMICA | 152 | 122 | 137 |
| 4 | AUTONÓMICA | 122 | 8 | 65 |
| 5 | AUTONÓMICA | 80 | 162 | 121 |
| 6 | AUTONÓMICA | 4 | 50 | 27 |
| 7 | AUTOVÍA | 170 | 174 | 172 |
| 8 | LOCAL | 102 | 138 | 120 |
| 9 | AUTONÓMICA | 110 | 108 | 109 |
| 10 | NACIONAL | 356 | 322 | 339 |
| 11 | NACIONAL | 84 | 92 | 88 |
| 12 | NACIONAL | 2 | 28 | 15 |
| 13 | AUTONÓMICA | 240 | 182 | 211 |
| 14 | AUTONÓMICA | 98 | 152 | 125 |
| 15 | AUTONÓMICA | 178 | 88 | 133 |

Tabla 3. Resultados del cálculo del porcentaje de cobertura.

Bajo las condiciones que se han establecido para considerar un tramo totalmente cubierto (50 pasadas en cada sentido), sólo habríamos cubierto 6 de los tramos seleccionados, que representan un 34% de la longitud con respecto al total de las longitudes de todas las trazas cubiertas.

Los tramos que están totalmente cubiertos a la ida y no lo están a la vuelta, o viceversa, son tramos en los cuales, por las condiciones de las rutas de reparto, se cubren más en un sentido que en otro. En el tramo 2 encontramos el caso más extremo, donde sólo existen trazas en uno de los sentidos. Este tramo, nunca podría cubrirse de forma completa utilizando las rutas de reparto de la empresa de paquetería utilizada.

En la Tabla 4 se recoge una media ponderada en función de la longitud de los tramos del porcentaje de cobertura medio considerando el tipo de vía del tramo. Como cabe esperar, el mejor porcentaje de cobertura es para autovías. Este tipo de vías son más rápidas y cómodas de transitar con los vehículos, y, por lo tanto, en la medida de lo posible, las rutas de reparto tratan de utilizarlas.

| Tipo de vía | PC _m Media Ponderada (%) |
|-------------|-------------------------------------|
| AUTOVÍA | 148 |
| NACIONAL | 56 |
| AUTONÓMICA | 106 |
| LOCAL | 102 |

Tabla 4. Media ponderada por la longitud del tramo del porcentaje de cobertura por tipo de vía.

Sin embargo, la media ponderada del porcentaje de cobertura medio de las carreteras nacionales, es especialmente bajo con respecto a los demás. Se analiza el tramo 12, que es el más conflictivo para tratar de establecer las razones para porcentaje de cobertura tan bajo. Este tramo está situado en la N-332 entre las localidades de Puente de Génave y Villacarrillo (Figura 5). Para este tramo sólo se dispone de 15 trazas completas (Tabla 2) que cubren el tramo entre las dos localidades. Sin embargo, existen otras trazas que cubren secciones del tramo. Por ejemplo, entre la salida hacia la localidad de Iznatoraf y Villacarrillo, existen 9 trazas de ida y 10 de vuelta (Tabla 5). Lo mismo ocurre entre Puente de Génave y la salida hacia Villanueva del Arzobispo, donde hay 16 trazas de ida y 19 de vuelta (Figura 5). El porcentaje de cobertura medio de estas secciones serían 34% y 50%, mejorando el 15% obtenido cuando se considera el tramo 12 completo (Tabla 3).

| ID Tramo | Sección | Longitud Sección (m) | Trazas Ida Sección | Trazas Vuelta Sección | PC _m (%) |
|----------|--|----------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|
| 12 | Iznatoraf - Villacarrillo | 5206,5 | 9 | 10 | 34 |
| | Puente Génave - Villanueva del Arzobispo | 27184,9 | 16 | 19 | 50 |

Tabla 5. Caracterización de las trazas que cubren secciones del tramo 12.



Figura 5. Conjunto multitrizas completas para el tramo 12. Fuente: Elaboración propia sobre CartoCiudad (Instituto Geográfico Nacional).

5.2 Rendimiento temporal

El rendimiento temporal de las trazas de ida y vuelta es muy variado, desde el caso ideal de una traza al día, hasta el caso más extremo de una traza cada 204 días.

| ID Tramo | RT _i (días laborables/traza) | RT _v (días laborables/traza) | RT _m (días laborables/traza) |
|----------|---|---|---|
| 1 | 5 | 12 | 8 |
| 2 | 5 | 0 | 3 |
| 3 | 1 | 2 | 2 |
| 4 | 2 | 28 | 15 |
| 5 | 3 | 2 | 3 |
| 6 | 68 | 5 | 37 |
| 7 | 3 | 3 | 3 |
| 8 | 4 | 3 | 3 |
| 9 | 4 | 4 | 4 |
| 10 | 1 | 1 | 1 |
| 11 | 4 | 4 | 4 |
| 12 | 204 | 15 | 109 |
| 13 | 2 | 2 | 2 |
| 14 | 4 | 3 | 3 |
| 15 | 2 | 5 | 3 |

Tabla 6. Rendimiento temporal por tramo.

Como ocurría con las tasas de cobertura, el rendimiento temporal también tiene los peores resultados en el tramo 12. Tal y como se ha comentado, este tramo, en su totalidad, tiene un número reducido de trazas, aunque sí existen algunas secciones del tramo (Tabla 5) que sí tienen mayor número de trazas. El rendimiento temporal para estas secciones tendría un rendimiento temporal mejor.

Si no se consideran los rendimientos obtenidos para los tramos 6 y 12, que tienen un comportamiento anómalo con respecto a los demás tramos, se puede afirmar que la media para obtener una traza se sitúa entre 3 y 4 días laborables para cada traza.

6. CONCLUSIONES

La utilización de las empresas de paquetería para la captura de trazas GNSS puede ser una alternativa viable para generación de cartografía de vías de comunicación. Las principales ventajas que presenta esta forma de obtención de información geográfica son: que a diario se realizan desplazamientos por numerosas carreteras que permiten cubrir grandes extensiones de territorio, que no supone un gran esfuerzo de las empresas de paquetería puesto que la instalación es sencilla en los vehículos y sólo tienen que encender al inicio de la jornada y apagar al finalizarla, y que no sería necesario llevar a cabo un levantamiento específico de los tramos de carretera, con los costes que esto supone.

Sin embargo, para poder obtener unos datos completos hay que considerar algunos aspectos. En primer lugar, hay que realizar una buena planificación en función de las rutas de reparto para ver la viabilidad de llevar a cabo un levantamiento de estas características. Para ello habrá que estudiar de forma rigurosa las rutas de reparto para poder determinar qué vías pueden cubrirse. Como se observaba anteriormente, existían tramos que no fueron una buena elección ya que las rutas de reparto no siempre lo cubrían en su totalidad, aunque sí lo hacía en secciones del tramo, o bien sólo existían trazas en un sentido de la carretera.

En segundo lugar, habrá que establecer la temporalidad en que se quiere desarrollar el trabajo. Considerando el mejor de los casos, dos trazas por día laborable (una de ida y otra de vuelta), se necesitan al menos dos meses naturales para cubrir un tramo (sólo para la captura de la información). Pero, como se ha comentado, la media para obtener una traza se sitúa entre 3 y 4 días laborables, por lo que serían necesarios entre 6 y 8 meses para la obtención de los datos.

Por último, este tipo de levantamiento estaría limitado siempre por las rutas de reparto de las empresas de paquetería, de modo que pueden existir zonas que no lleguen a cubrirse nunca. Sin embargo, esto serán zonas concretas para cuyo levantamiento podría buscarse otra alternativa. Por ejemplo, utilizando otro tipo de empresas que realizan desplazamientos por carretera, como las empresas de transporte de pasajeros o empresas de reparto de mercancía.

7. BIBLIOGRAFÍA

Ruiz Almar, E. (2010): "Consideraciones acerca de la explosión geográfica: Geografía colaborativa e información geográfica voluntaria", *GeoFocus*, 10, 280-298.

Goodchild, M. F. (2007): "Citizens as Voluntary Sensors: Spatial Data Infrastructure in the World of Web 2.0", *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 24-32.

Gil-de la Vega, P., Ariza-López, F.J. y Mozas-Calvache, A.T. (2016): DOI 10.1080/00396265.2015.1113027.

Fernández-Portillo, A., Sánchez-Escobedo, M.C., Jiménez-Naranjo, H.V. y Hernández-Mogollón, R. (2015): "La importancia de la Innovación en el Comercio Electrónico". *Universia Business Review*. Tercer trimestre 2015, 106-125.

Zhang, L. y Sester, M. (2010): "Incremental data acquisition from GPS-Traces". *A special joint symposium of ISPRS Technical Commission IV & AutoCarto*. Florida.

Cao, L. y Krumm, J. (2009): "From GPS Traces to a Routable Road Map". *Proc. 17th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, Nueva York, pp. 3-12.

Ariza-López, F. J., Mozas-Calvache, A. T., y Gil de la Vega, P. (2014): "Tratamiento de multitrizas GNSS 3D para la obtención de ejes medios", *Mapping*, 23, 166, 42-47.

Mozas-Calvache, A.T. y Ariza-López, F.J. (2016): DOI 10.1080/00396262.2016.1171956.

8. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España y por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), con la ayuda de referencia BIA2011-23271 correspondiente al proyecto de investigación "Evaluación 3D de elementos lineales de Información Geográfica (E3DLING)". Igualmente, se agradece a la Junta de Andalucía la financiación económica del Grupo de Investigación en Ingeniería Cartográfica (PAIDI-TEP-164) desde 1997 hasta la fecha.

PREDICCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DEL ALCORNOQUE EN MONTES DE MÁLAGA MEDIANTE MODELOS DE NICHU ECOLÓGICO A PARTIR DE REGISTROS DE PRESENCIA Y VARIABLES AMBIENTALES IN SITU Y EX SITU.

Oliver Gutiérrez-Hernández¹; José M. Senciales-González²; María T. Camacho-Olmedo³; Luis V. García¹

¹ Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología (IRNAS – CSIC). Departamento de Biogeoquímica, Ecología Vegetal y Microbiana. Av. / Reina Mercedes 10, 41012 Sevilla, España.

² Universidad de Málaga (UMA). Departamento de Geografía. Campus Teatinos s/n, 29071 Málaga, España.

³ Universidad de Granada (UGR). Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. Campus Cartuja s/n, 18071 Granada, España.

ogutierrez@irnas.csic.es

RESUMEN

Los modelos de nicho ecológico analizan el hábitat de una especie a partir de las inferencias estadísticas sobre los registros de presencia (y ausencia) y variables ambientales explicativas.

En el presente trabajo, nuestro objetivo principal ha sido estimar la distribución potencial del alcornoque en los Montes de Málaga, donde las poblaciones de la especie se encuentran históricamente muy mermadas. Para ello, hemos utilizado una doble estrategia para desarrollar un mapa de distribución potencial del alcornoque en el conjunto de Andalucía y, particularmente, los Montes de Málaga, utilizando registros de presencia y variables ambientales de toda la región, y registros de presencia y variables ambientales exclusivamente del entorno de los Montes de Málaga, comparando los resultados de las predicciones.

Los resultados mostraron en los modelos una distribución potencial del alcornoque mucho mayor que la distribución actual, principalmente en el área de los Montes de Málaga. Las precipitaciones y la litología fueron las variables con mayor importancia en la distribución de la especie, y la evapotranspiración potencial en la distribución de las poblaciones locales. Los mapas de distribución generados suponen una efectiva herramienta para el estudio de la distribución de la flora en el marco de una gestión integrada del territorio.

Palabras clave: *Quercus suber*; Alcornoque; Biogeografía; Modelos de nicho ecológico; Maxent.

ABSTRACT

Environmental niche models analyze the habitat of species using statistical inferences from records of presence (and absence) and explanatory environmental variables.

In this work, our main objective has been to predict the potential distribution area of cork oak in Montes de Malaga, where populations of this species were historically deforested by human activities. To do this, we used a dual strategy to mapping potential distribution area of the cork oak in the whole of Andalusia and mainly Montes de Málaga; using only presence records and environmental variables of Andalusia and only presence records and environmental variables of Montes de Malaga, and finally we compared the results of predictions.

The results showed that our models predict a potential area distribution of cork oak greater than the current distribution, mainly in Montes de Malaga. Rainfall and lithology were the most important factors in the distribution of *Quercus suber*, and potential evapotranspiration in the distribution of local populations. The distribution maps generated are an effective tool for the study of the distribution of flora and environmental management.

Keywords: *Quercus suber*; Alcornoque; Biogeography; Environmental niche modelling; Maxent.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Los modelos de nicho ecológico

Desde los inicios de la geografía moderna, el estudio de la distribución de los seres vivos ha sido uno de los principales objetivos de los geógrafos (Humboldt, 1805). Este interés también está presente el núcleo originario de la ecología moderna (Darwin, 1859).

La Biogeografía, entendida como ciencia que estudia los modelos de distribución de los seres vivos sobre la Tierra, destaca la importancia de los factores mesológicos (Ferrerías Chasco and Hidalgo Hijano, 1991). Biogeografía y macroecología son disciplinas coalescentes. El desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica y la estadística computacional ha permitido aplicar conceptos y metodologías a grandes volúmenes de datos para el estudio de la distribución espacial de los organismos vivos (Franklin, 2009). Los modelos de distribución de nicho ecológico, como se conocen a los modelos estadísticos que analizan el hábitat ecológico de una especie a partir de las inferencias estadísticas sobre los registros de presencia (y ausencia) y variables ambientales explicativas, se introdujeron a finales de los años 70 y, actualmente, están experimentando un nuevo auge debido a la gran cantidad de aplicaciones que comportan (Zimmermann et al., 2010).

Desde el punto de vista operativo (Figura 1), estos modelos se asientan sobre hipótesis con base en la teoría del nicho ecológico (Hutchinson, 1957) y abordan la distribución de organismos o comunidades de seres vivos en función de un conjunto de variables ambientales, todo ello apoyado por un potente aparato estadístico con el objeto de realizar predicciones. De este modo, los modelos de nicho ecológico analizan las reciprocidades existentes entre registros de presencia y factores ambientales (biofísicos, geográficos, históricos, etc.) y son especialmente útiles porque pueden trabajar con datos escasos e incompletos para estimar el conjunto de la distribución (favorable, probable) de una especie. En todas las fases de la modelización está presente la componente espacial de la información a través de los SIG, que permiten capturar los registros de presencia, superponer las coberturas medioambientales o proyectar espacialmente las predicciones de los modelos (Guisan and Zimmermann, 2000). Una de las principales salidas de estos modelos son los mapas.

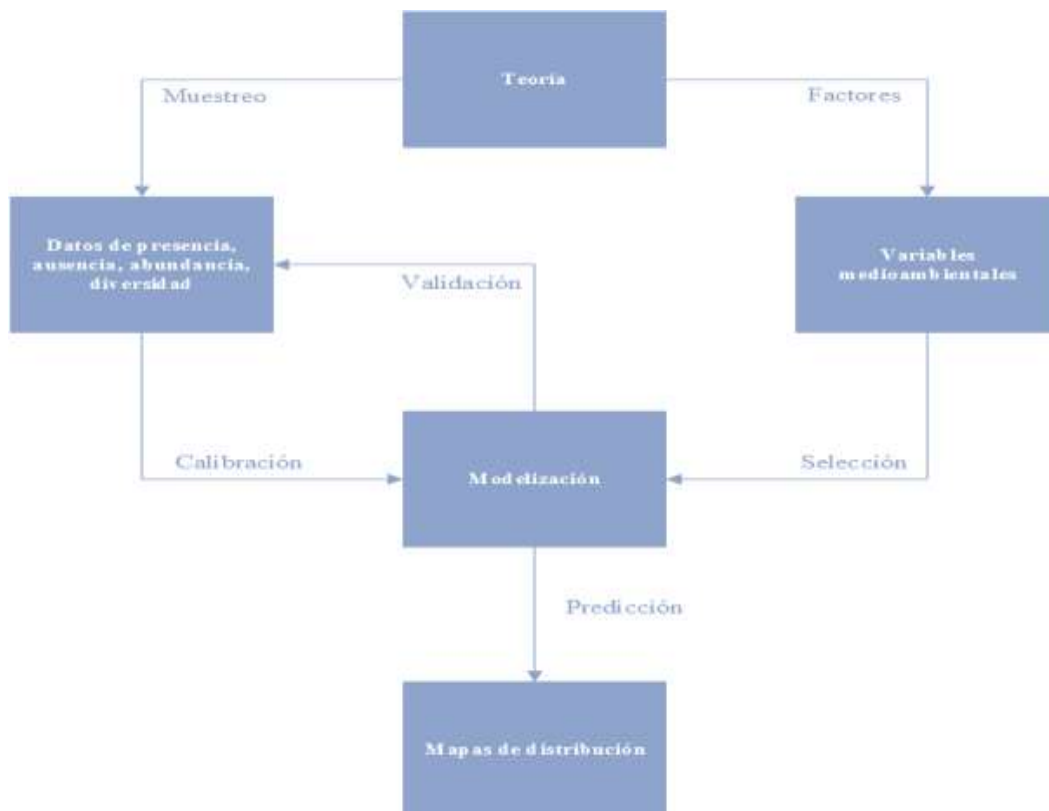


Figura 1. Esquema conceptual de los modelos de distribución de especies. Fuente: Elaboración propia a partir de (Franklin, 2009).

En la literatura científica, los “modelos de nicho ecológico” reciben también otras denominaciones, como “modelos predictivos del hábitat”, “modelos de idoneidad” o “modelos de distribución de especies” (Mateo et al., 2011). La más citada en la Web of Science (Thomsons Reuters, 2016) es “Species Distribution Models”, aunque quizás por ello es la que induce mayores confusiones terminológicas. En esta misma fuente de reconocido prestigio, el principal “Research fronts” (Essential Science Indicators, 2015) para el ámbito de la ecología y medio ambiente está constituido por los trabajos sobre modelos de nicho ecológico.

No podemos obviar que todo modelo es una simplificación del mundo real -siempre más complejo e inabarcable- y asume una serie de asunciones previas para dotar de coherencia a su función. En el caso de los modelos de nicho ecológico asumimos una fundamental: las especies (más allá de determinadas poblaciones) están en equilibrio –o más bien pseudo-equilibrio- con las condiciones ambientales lo largo del tiempo (Austin, 2007). Este equilibrio realmente alcanza una determinada plasticidad porque, aunque las especies sobreviven dentro de un rango de condiciones ambientales, pueden adaptarse (o no) a determinados cambios. Además, hay otros factores que también explican la presencia o ausencia de una determinada especie en el espacio y en el tiempo: biogeográficos (dispersión), bióticos (competencia), históricos (acción antrópica), etc. Todos estos factores enredan la cuestión y adornan de matices los objetivos planteados por estas metodologías, de ahí la variedad de acepciones que, en realidad, referencian distintos soportes teóricos y aplicaciones prácticas.

1.2 El nicho ecológico y la distribución geográfica de una especie

Antes de modelar la distribución de las especies, es importante manejar con claridad una serie de conceptos esenciales. Hutchinson (1957) define el nicho ecológico como el espacio n dimensional donde cada dimensión representa la respuesta de la especie a la variación de un determinado factor. En el mundo real, este espacio ecológico multidimensional proyecta una distribución geográfica (Pulliam, 2000).

Los datos de presencia (y ausencia) ofrecen pistas sobre la distribución de los organismos que han de ser tomadas con cierta cautela. Nosotros inferimos la distribución interpretando el nicho ecológico a partir de los datos de presencia y ausencia, y realmente caben muchas interpretaciones ecológicas sobre estos registros y qué expresión del nicho ecológico representan. Existe una serie de factores bióticos y abióticos que combinados explican el área de distribución de una especie; particularmente tres son de importancia capital y se representan en el conocido Diagrama de BAM (Soberón and Townsend Peterson, 2005).

El Diagrama de BAM (Figura 2) es una representación abstracta del espacio geográfico (G) en el que se distinguen tres regiones: (A) La región donde se encuentran las condiciones ambientales adecuadas para la supervivencia y reproducción de la especie, es lo que se conoce como nicho fundamental; (B) La región que contiene el ambiente biótico adecuado para la especie, considerando todas las relaciones interespecíficas; (M). La región que representa aquellos lugares que la especie ha tenido tiempo de ocupar desde un momento dado. La superposición de estas regiones abstractas permite hablar de: el área ocupada por la especie (G0), es el espacio donde confluyen todas las regiones ecológicas descritas, esto es, el lugar con las condiciones ambientales y bióticas adecuadas que además ha sido accesible por la especie; y el área invadible (G1), que es el espacio donde confluyen las regiones donde se producen las condiciones bióticas y ambientales propicias.

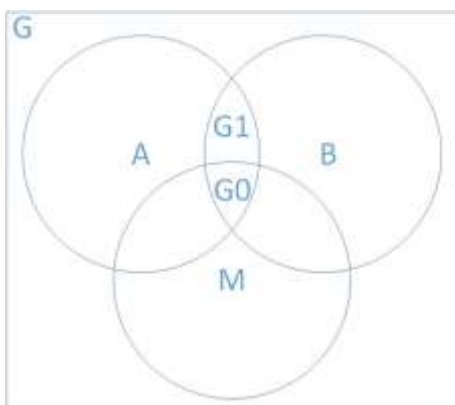


Figura 2. Diagrama de BAM. Fuente: Elaboración propia, a partir de (Soberón and Townsend Peterson, 2005).

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 El alcornoque

El alcornoque (*Quercus suber* L.) es la especie objeto de nuestro estudio. En Andalucía presenta una distribución muy importante, con una extensión que alcanza las 438.000 hectáreas, de las cuales 91.816 hectáreas constituyen masas puras incluidas como Hábitat de Interés Comunitario 9330 (2015). Se trata de una especie poco xerófila, pues requiere cierta humedad ambiental, de carácter termófilo y calcífugo, se presenta sobre suelos pobres y áreas con oscilaciones térmicas moderadas (Montero González and Cañellas, 2002). Es una especie característica de las formaciones esclerófilas de la península Ibérica, que tiene un gran valor tanto ecológico como económico, de ahí la importancia del estudio de su distribución potencial. Ha sido objeto de un aprovechamiento amplio y antiguo de sus productos, por lo que su área de distribución se haya fuertemente alterada por la acción del hombre, que ha seleccionado individuos, favorecido determinadas poblaciones y eliminado otras tantas.

2.2 Área de estudio y problemática ambiental

Los Montes de Málaga constituyen un entorno montañoso limitado por el valle del Guadalhorce hacia el oeste, el valle del río Vélez hacia el este, el corredor de Colmenar al norte y las llanuras costeras hacia el sur (Ferre Bueno, 1999). Se trata de un conjunto montañoso, de algo más de 80.000 hectáreas de extensión, con alturas que se mantienen entre los 400 y 800 m, que puntualmente sobrepasan los 1.000 m; de pendientes escarpadas en sus laderas y alomadas en la zona de cumbres formando montañas convexas, está constituido estratigráficamente por un zócalo paleozoico mayoritariamente pizarroso y una cobertera mesozoica de materiales calcáreos que aflora discontinuamente, en el contexto geológico del Complejo Maláguide, unidad morfo estructural incluida en las Zonas Internas de la Cordillera Béticas (Sanz de Galdeano, 1997). Esta zona incluye buena parte de los montes del término municipal de Málaga, el Parque Natural Montes de Málaga (4.995 has), algunos municipios vecinos del interior como Almogía o Casabermeja y se adentra por la comarca histórica de La Axarquía, de ahí que muchas veces este territorio reciba la denominación Montes de Málaga – Axarquía en sentido amplio, que es el área objeto de nuestro estudio (Figura 3).

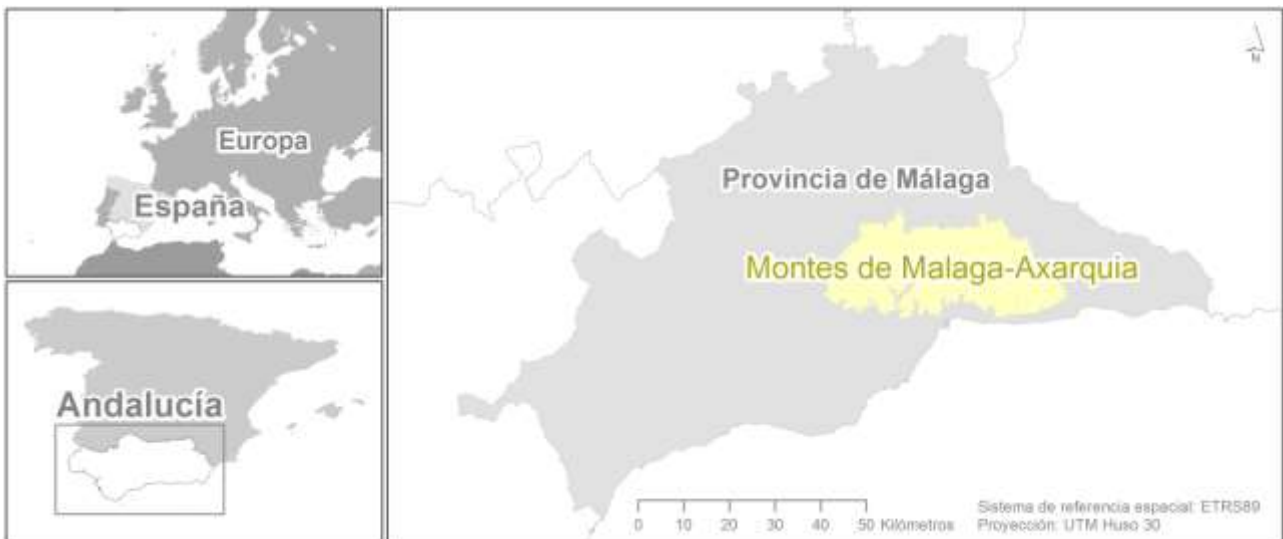


Figura 3. Situación de Montes de Málaga – Axarquía. Fuente: Elaboración propia, a partir de DERA - Datos Espaciales de Referencia de Andalucía (IECA).

El paisaje actual de los Montes de Málaga es el resultado de un largo proceso histórico que ha conducido a la práctica desaparición de la cubierta arbórea original (Justicia Segovia, 1988). Las escasas poblaciones de alcornoque existentes están situadas en las zonas más elevadas del entorno. La mayor parte de estas

poblaciones de *Quercus suber* existentes están protegidas bajo la figura legal de Hábitat de Interés Comunitario (Directiva 91/244/CEE), aunque no están incluidas dentro del Parque Natural.

2.3 Objetivos: La distribución potencial del alcornoque y comparativa de modelos

En los Montes de Málaga la representación del alcornoque es muy reducida y ello podría responder a dos circunstancias: bien porque que en estas áreas no se dan las condiciones adecuadas para el *Quercus suber*; o bien, porque la especie tuvo una mayor representación en el pasado y fue desapareciendo por la acción de las actividades humanas, pero podrían mantenerse las condiciones ambientales para un futuro asentamiento de la especie. Como hay documentados procesos de deforestación (Gómez Moreno, 1989) y la especie persiste dispersa por diferentes zonas del entorno, trabajamos con la segunda hipótesis.

De este modo, nuestro objetivo principal ha sido estimar la distribución potencial del alcornoque en los Montes de Málaga. Entendemos la distribución potencial como sinónimo del nicho ecológico fundamental, esto es, allí donde se dan las condiciones ambientales favorables o propicias para la presencia de la especie. Debido al carácter relicto de las poblaciones, trabajamos siguiendo una doble estrategia para producir cuatro modelos:

1. Predicción regional. Basada en registros de presencia y variables ambientales del conjunto de Andalucía.
 - a. Modelo 1 (M1): Basado en registros de presencia de masas mixtas con *Quercus suber*.
 - b. Modelo 2 (M2): Basado en registros de presencia de masas puras de *Quercus suber*.
2. Predicción local. Basada en registros de presencia y variables ambientales del entorno de Los Montes.
 - a. Modelo 3 (M3): Basado en registros de presencia de masas mixtas con *Quercus suber*.
 - b. Modelo 4 (M4): Basado en registros de presencia de masas mixtas con *Quercus suber*.

2.4 Los datos. Registros de presencia.

Los registros de presencia son las localizaciones donde consta que la especie está presente actualmente. Hemos obtenido estos registros a partir de distintas fuentes: el Mapa de Vegetación a escala de detalle 1:10.000 (Rediam, 2007), el Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo (Rediam, 2011) y las parcelas de la Red de equilibrios biológicos de los ecosistemas forestales de Andalucía (SEDA) e Inventario Forestal Nacional (IFN). Como hemos descrito en los objetivos, diferenciamos registros de presencia donde el alcornoque aparece formando masas mixtas (junto con otras especies) y también donde aparece como masas puras monoespecíficas. Para trabajar con los datos, convertimos polígonos de la cartografía en puntos basados en el centroide de cada uno. Para reducir el tamaño de la muestra y el efecto de la autocorrelación espacial redujimos el tamaño de la muestra con una primera selección aleatoria.

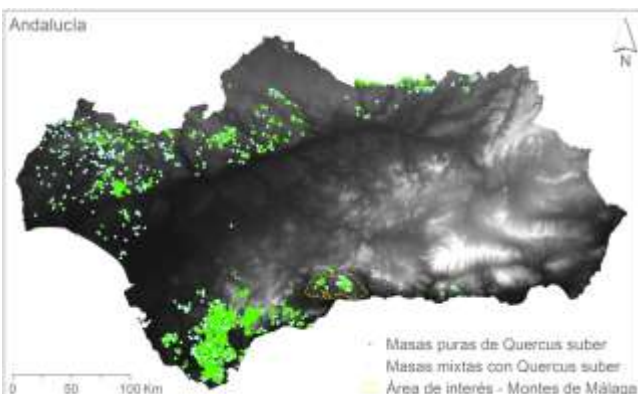


Figura 4. Registros de presencia de alcornoque en Andalucía.
Fuente: Elaboración propia. Muestreo.



Figura 5. Registros de presencia de alcornoque en Montes de Málaga. Fuente: Elaboración propia. Muestreo.

2.5 Los datos. Variables ambientales

En modelos de nicho ecológico, las variables ambientales son los factores explicativos. Desde el punto de vista estadístico, constituyen las variables independientes, los predictores empleados en los modelos para definir la variable dependiente o variable respuesta. A continuación (Tabla 1), se muestran las variables empleadas.

| Variable | Código | Unidades | Fuente - Procesos | Resolución |
|------------------------------------|-------------|------------|----------------------------------|------------|
| Modelo digital de elevaciones | Elev | Metros | IECA | 100 m |
| Evapotranspiración anual | Etp_anual | Milímetros | Modelo de evapotranspiración. | 100 m |
| Litología | Litologic | Clases | IGME. Geológico 1:400.000 | 100 m |
| Precipitación anual | Pp_anual | Milímetros | Datos AEMET. Regresión múltiple. | 100 m |
| Precipitación invierno | Pp_invierno | Milímetros | Datos AEMET. Regresión múltiple. | 100 m |
| Temperatura media anual | Tma | C ° | Datos AEMET. Regresión múltiple. | 100 m |
| Temperatura media mes más cálido | Tmc | C ° | Datos AEMET. Regresión múltiple. | 100 m |
| Temperatura media del mes más frío | Tmf | C ° | Datos AEMET. Regresión múltiple. | 100 m |

Tabla 1. Variables ambientales Fuente: Elaboración propia.

Normalmente, la selección de las variables ambientales está condicionada por el conocimiento que se tiene de la especie. Los investigadores seleccionan aquellos factores que pueden ejercer una influencia explicativa sobre la distribución del organismo que se está estudiando. En nuestro caso, la selección se ha realizado a partir del conocimiento de la especie y trabajos publicados sobre el alcornoque y modelos de distribución de *Quercus suber* (Hidalgo et al., 2008; Latorre, 1996; Vessella and Schirone, 2013). En cualquier caso, hemos evitado la selección de demasiadas variables. En total, partimos con 8 variables registradas en formato raster. Trabajamos con 100 metros de resolución para capturar las variaciones topográficas del terreno, un aspecto especialmente interesante en el caso del área de interés.

Algunas capas se obtuvieron directamente de proveedores de datos, caso del modelo digital de elevaciones o el mapa litológico (convirtiendo el original en formato raster). Variables como temperatura y precipitaciones se obtuvieron a partir de las estaciones meteorológicas mediante modelos estadísticos de regresión múltiple (Benito et al., 2014; Ninyerola et al., 2000).

2.6 Métodos estadísticos, calibración y evaluación de modelos.

Los datos geográficos están auto correlacionados por definición y los datos ecológicos también muestran cierta autocorrelación espacial. Por ejemplo, la presencia de una especie en un lugar determinado puede estar condicionada por la proximidad de poblaciones vecinas. Desde el punto de vista del análisis estadístico, esto afecta al supuesto de independencia de las observaciones, y los modelos de nicho ecológicos son modelos estadísticos (no geoestadísticos). Además, muchas variables ambientales están relacionadas unas con otras, como por ejemplo la altitud y la temperatura.

Para solucionar estos problemas, realizamos un tratamiento previo de los datos: registros de presencia y variables ambientales. Como comentamos anteriormente, se realizó una primera criba de los registros de presencia para eliminar buena parte de los agregados mediante una selección aleatoria de una muestra. Además, para reducir el efecto de la multicolinealidad entre variables ambientales explicativas se calculó el VIF (Variance inflation factor). Siguiendo un procedimiento secuencial, excluimos las variables con un VIF superior a 10 (Naimi et al., 2014) y valoramos la posibilidad de excluir aquellas variables con un VIF superior a 5, que también reportan problemas de multicolinealidad con un VIF superior a 5 (James et al., 2013).

Empleamos el modelo de Maxent – Máxima Entropía para calibrar los modelos de distribución (Phillips and Dudi, 2008). Maxent trabaja con registros de sólo presencia (puntos) y variables ambientales (archivos raster) y produce diferentes resultados, entre los que nosotros hemos utilizado mapas, curvas de respuesta e importancia de las variables explicativas. Además, el software incorpora la curva ROC (Receiver Operating Characteristic) y estadístico AUC (área bajo la curva) para evaluar la bondad de los modelos. Este estadístico oscila entre 0 y 1, donde 0,5 denota que el modelo no tiene capacidad discriminante y 1 que tiene un ajuste perfecto. Por encima de 0,85 se considera que el ajuste es bueno.

No trabajamos con los parámetros “default” de Maxent, sino que ajustamos manualmente los parámetros buscando un suavizado de las curvas de respuesta y una mayor coherencia del AUC (Radosavljevic and Anderson, 2014), para lo que utilizamos procedimientos de bootstrapping (Efron, 1981) con 10 repeticiones en las que guardamos un 70 % de los puntos por iteración para entrenar el modelo y un 30 % para validarlo, por lo que de esta manera volvimos corregir el efecto de la autocorrelación espacial en la nube de puntos.

2.7 Software empleado

El procesado de datos espaciales se ha llevado a cabo con Grass GIS 7.0.3. El tratamiento estadístico con R, específicamente con el paquete “usdm” - Uncertainty Analysis for Species Distribution Model. Los modelos de nicho ecológico se han ejecutado con Maxent 3.3. Finalmente, el mapeado se ha realizado con ArcGIS 10.3.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Reducción de las variables ambientales

Se constató una alta colinealidad entre las variables ambientales, especialmente aquellas basadas directa o indirectamente en el modelo digital del terreno. De este modo, eliminamos el modelo digital de elevaciones, la precipitación en invierno y la temperatura media anual. En una segunda iteración se constató la no existencia de colinealidad en las variables, pero dejó en el límite la temperatura media anual, y esto es así porque mantiene una correlación $r = 0,76$ con el modelo de evapotranspiración para el conjunto de la región, y hasta de $r = 0,84$ en el área de interés. Por este motivo, también prescindimos de la temperatura media del mes más cálido. En la Tabla 2 se ilustra los resultados del análisis y las variables seleccionadas (en azul).

| Variable | VIF 1 Global | VIF2 Global | VIF 1 Local | VIF 2 Local |
|---|---------------|------------------|---------------|------------------|
| Modelo digital de elevaciones | 55,35 | Eliminada | 105,5 | Eliminada |
| Evapotranspiración anual | 4,37 | 2,73 | 3,46 | 3,08 |
| Litología | 1,01 | 1,02 | 1,13 | 1,07 |
| Precipitación anual | 85,52 | 1,01 | 67,17 | 1,52 |
| Precipitación invierno | 85,87 | Eliminada | 58,97 | Eliminada |
| Temperatura media anual | 260,85 | Eliminada | 208,71 | Eliminada |
| Temperatura media mes más cálido | 31,62 | 4,08 (Eliminada) | 25,38 | 5,70 (Eliminada) |
| Temperatura media del mes más frío | 84,40 | 1,87 | 50,86 | 3,41 |

Tabla 2. Análisis de colinealidad (VIF) de las variables ambientales Fuente: Elaboración propia.

De este modo seleccionamos cuatro variables ambientales como predictores: Evapotranspiración anual, Litología, Precipitación anual y Temperatura media del mes más frío.

3.2 Mapas de distribución

Nuestros modelos predijeron una distribución potencial de la especie mayor que la distribución actual existente, tanto en el conjunto de Andalucía como, especialmente, en el entorno de los Montes de Málaga. Esta área de distribución es mayor si consideramos los registros de presencia donde el alcornoque aparece formando tanto masas puras como mixtas, junto con otras especies. Cuando trabajamos con registros de presencia donde sólo aparece el alcornoque formando masas puras, se redujeron las zonas más favorables para la especie.

Los modelos basados en datos del conjunto de Andalucía predijeron una mayor favorabilidad de las condiciones para el entorno de los Montes de Málaga que los propios modelos basados en datos ceñidos a nuestra área de interés. En todos los modelos, los espacios más favorables para la presencia del alcornoque fueron en las zonas más elevadas y umbrosas. Los modelos basados en datos regionales proyectaron en la cartografía una mayor importancia de los factores litológicos, mientras que los modelos basados en datos

locales lo hicieron con factores relacionados con el modelo digital del terreno y su incidencia de los factores bioclimáticos en el control de la distribución de la especie. En todos los modelos los valores más bajos de favorabilidad se produjeron en las zonas más deprimidas y expuestas al mediodía.

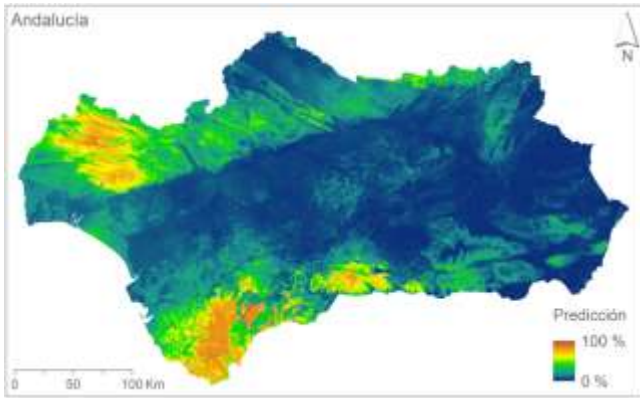


Figura 6. Distribución potencial de *Quercus suber* basada en masas mixtas (M1). Registros de presencia de toda Andalucía. Predicción para Andalucía. Fuente: Elaboración propia.

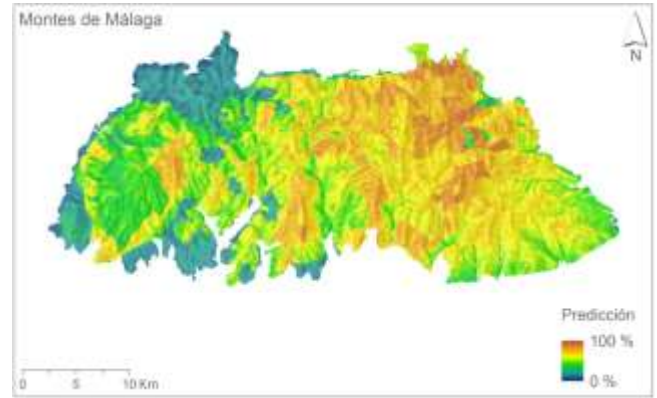


Figura 7. Distribución potencial de *Quercus suber* basada en masas mixtas. Registros de presencia de toda Andalucía (M1). Predicción para Montes de Málaga. Fuente: Elaboración propia.

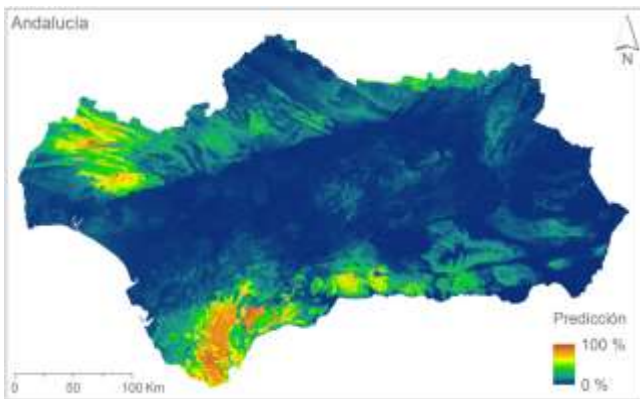


Figura 8. Distribución potencial de *Quercus suber* basada en masas puras (M2). Registros de presencia de toda Andalucía. Predicción para Andalucía. Fuente: Elaboración propia.

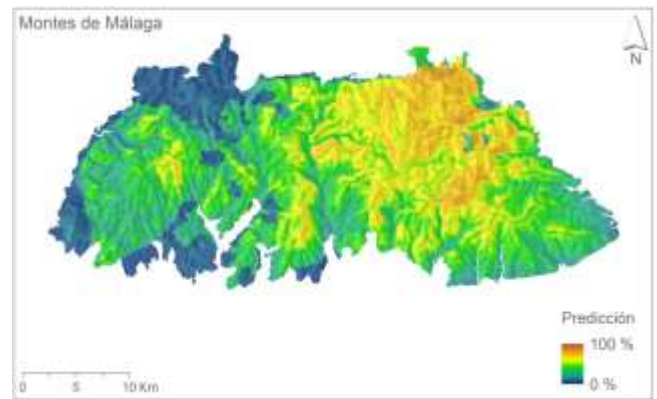


Figura 9. Distribución potencial de *Quercus suber* basada en masas puras (M2). Registros de presencia de toda Andalucía. Predicción para Montes de Málaga. Fuente: Elaboración propia.

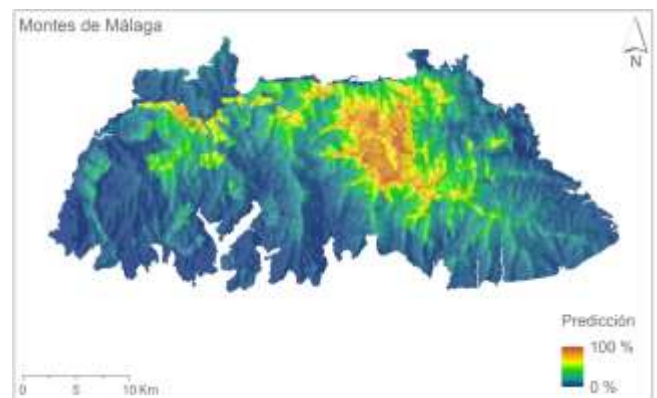
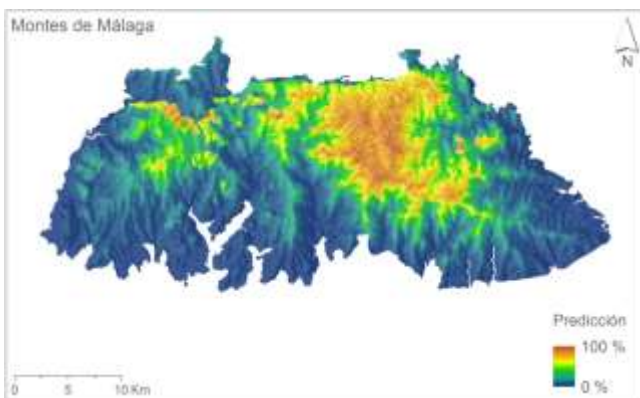


Figura 10. Distribución potencial de *Quercus suber* basada en masas puras (M3). Registros de presencia de Montes de Málaga. Predicción para Andalucía. Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Distribución potencial de *Quercus suber* basada en masas puras (M4). Registros de presencia de Montes de Málaga. Predicción para Montes de Málaga. Fuente: Elaboración propia.

3.3 Evaluación de modelos e importancia de las variables explicativas y los registros de presencia

Todos los modelos ofrecieron una buena capacidad discriminante. Obtuvimos un mejor ajuste del AUC a medida que confinamos registros de presencia y área de estudio (Tabla 3). En cualquier caso, más allá de la utilidad para conocer la capacidad discriminante de un modelo, el AUC no es un estadístico adecuado para comparar entre modelos entrenados en áreas con distinta extensión (Lobo et al., 2008).

| Modelo | Descripción | AUC Promedio | AUC Mínimo | AUC Máximo |
|---------------|--|--------------|------------|------------|
| Modelo 1 (M1) | Masas mixtas y variables de Andalucía | 0,872 | 0,864 | 0,876 |
| Modelo 2 (M2) | Masas puras y variables de Andalucía | 0,907 | 0,888 | 0,914 |
| Modelo 3 (M3) | Masas mixtas y variables de Montes de Málaga | 0,914 | 0,897 | 0,934 |
| Modelo 4 (M4) | Masas puras y variables de Montes de Málaga | 0,928 | 0,902 | 0,939 |

Tabla 3. Evaluación de modelos con AUC (Area Under the Curve).

Las curvas de respuesta de la especie traducen al espacio ecológico la manifestación de la distribución geográfica de la favorabilidad del *Quercus suber*. El alcornoque responde negativamente hacia un incremento de la evapotranspiración potencial y positivamente hacia un aumento de las precipitaciones, así como muestra preferencia por determinadas clases litológicas. La distribución de la especie a nivel regional, como era de esperar, respondió negativamente a uno de sus principales factores limitantes, la temperatura media del mes más frío. Sin embargo, lo hizo positivamente en el área de los Montes de Málaga, pues las poblaciones están situadas en los lugares más frescos del área de estudio.

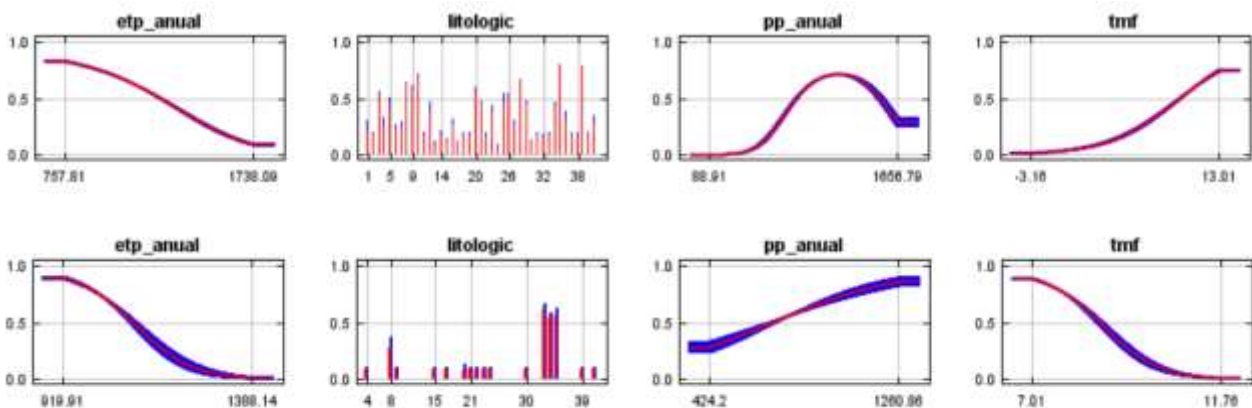


Figura 12. Curvas de respuesta de *Quercus suber*. Fila superior: a nivel regional. Fila inferior: a nivel local. Fuente: elaboración propia.

Respecto a la importancia de las variables predictoras. Todos los modelos mostraron un binomio de variables fundamentales para explicar la distribución: la precipitación anual y la litología. La evapotranspiración potencial tuvo una mayor importancia para explicar la distribución potencial a escala local.

4. CONCLUSIONES

Todos los modelos predijeron una distribución potencial del alcornoque mucho mayor que la distribución actual mostrando además una buena capacidad predictiva. Las precipitaciones y la litología fueron las variables con mayor importancia en la distribución de la especie. Los modelos de nicho ecológico constituyen un efectivo aparato teórico-empírico y poderosa herramienta para el estudio de los factores que controlan la distribución de las especies y, por tanto, aparecen como muy buenos instrumentos para el estudio integrado de la distribución florán en el marco de la ordenación del territorio y la gestión medioambiental.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Austin, M., 2007. Species distribution models and ecological theory: A critical assessment and some possible new approaches. *Ecol. Modell.* 200, 1–19.
- Benito, B.M., Lorite, J., Pérez-Pñerez, R., Gómez-Aparicio, L., Peñas, J., 2014. Forecasting plant range collapse in a mediterranean hotspot: When dispersal uncertainties matter. *Divers. Distrib.* 20, 72–83.
- Darwin, C., 1859. *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*, 1st edn. ed. Murray, John, London.
- Efron, B., 1981. Nonparametric estimates of standard error: The jackknife, the bootstrap and other methods. *Biometrika* 68, 589–599.
- Ferre Bueno, E., 1999. Las unidades naturales de la provincia de Málaga, in: *Elementos de Los Paisajes de La Provincia de Málaga*. pp. 13–22.
- Ferreras Chasco, C., Hidalgo Hijano, C., 1991. *Biogeografía y edafogeografía*. Síntesis, Madrid.
- Gómez Moreno, M.L., 1989. *La montaña malagueña, estudio ambiental y evolución de su paisaje*. Diputación Provincial de Málaga, Málaga.
- Guisan, A., Zimmermann, N.E., 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecol. Modell.* 135, 147–186.
- Hidalgo, P.J., Marín, J.M., Quijada, J., Moreira, J.M., 2008. A spatial distribution model of cork oak (*Quercus suber*) in southwestern Spain: A suitable tool for reforestation. *For. Ecol. Manage.* 255, 25–34.
- Humboldt, A. Von, 1805. *Essai sur le Géographie des Plantes*. Schoell, Lebrault & CO, París.
- Hutchinson, G.E., 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harb. Symp. Quant. Biol.* 415–427.
- James, G., Witten, D., Hastie, T., Tibshirani, R., 2013. *An Introduction to Statistical Learning, with Applications in R*. Springer.
- Justicia Segovia, A., 1988. *La axarquía malagueña y la costa oriental*. Editorial Arguval, Málaga.
- Latorre, R.E.Z., 1996. Restauración del alcornoque en andalucía. *eleccion* 9–19.
- Lobo, J.M., Jiménez-Valverde, A., Real, R., 2008. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 17, 145–151.
- Mateo, R.G., Felicísimo, Á.M., Muñoz, J., 2011. Modelos de distribución de especies : Una revisión sintética *Species distributions models : A synthetic revision*. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 84, 217–240.
- Montero González, G., Cañellas, I.M., 2002. *El alcornoque (Quercus suber. L.)*. Manual de reforestación y cultivo. Madrid.
- Naimi, B., Hamm, N.A.S., Groen, T.A., Skidmore, A.K., Toxopeus, A.G., 2014. Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling? *Ecography (Cop.)*. 37, 191–203.

- Ninyerola, M., Pons, X., Roure, J.M., 2000. A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques. *Int. J. Climatol.* 20, 1823–1841.
- Phillips, S.J., Dudi, M., 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography (Cop.)*. 31, 161–175.
- Pulliam, H.R., 2000. On the relationship between niche and distribution. *Ecol. Lett.* 3, 349–361.
- Radosavljevic, A., Anderson, R.P., 2014. Making better Maxent models of species distributions: Complexity, overfitting and evaluation. *J. Biogeogr.* 41, 629–643.
- Rediam, 2011. Guía Técnica SIOSE Andalucía 2011. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla.
- Rediam, 2007. Cartografía de la vegetación y flora a escala de detalle (1:10.000). Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Sevilla.
- Sanz de Galdeano, C., 1997. La zona interna bético-rifeña antecedentes, unidades: tectónicas, correlaciones y bosquejo de reconstrucción paleogeográfica. Universidad de Granada. Granada.
- Soberón, J., Townsend Peterson, A., 2005. Interpretation of Models of Fundamental Ecological Niches and Species' Distributional Areas. *Biodivers. Informatics* 2, 1–10.
- Vessella, F., Schirone, B., 2013. Predicting potential distribution of *Quercus suber* in Italy based on ecological niche models: Conservation insights and reforestation involvements. *For. Ecol. Manage.* 304, 150–161.

CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UNIDADES TERRITORIALES. EL CASO DE LOS MUNICIPIOS DE HONDURAS

Dania V. Mena-Arzú¹, José A. Gutiérrez-Gallego¹, Francisco J. Jaraíz-Cabanillas² y José M. Pérez-Pintor³.

¹ Universidad de Extremadura/Departamento de Expresión Gráfica/Escuela Politécnica, Avenida de las Letras s/n 10071 Cáceres, España. dmenaarz@alumnos.unex.es, jagutier@unex.es

² Universidad de Extremadura/Departamento de Didáctica de las Ciencias Sociales/ Avenida de la Universidad, s/n, 10003, Cáceres, España. fjaraiz@unex.es

³ Universidad de Extremadura/Departamento de Arte y Ciencias del Territorio/ Facultad de Filosofía y Letras/ Avenida de la universidad, s/n, 10003, Cáceres, España. jmperpin@unex.es

RESUMEN

El presente estudio pretende clasificar y caracterizar los municipios hondureños de acuerdo con una serie de variables demográficas y socioeconómicas, partiendo de un análisis geográfico y estadístico. Para conseguir tal objetivo se plantea una propuesta metodológica de aplicación de técnicas multivariantes de análisis clúster para obtener agrupaciones de municipios en función de sus características comunes. En este sentido, se espera que el presente artículo sirva como una herramienta de ayuda para los responsables políticos de cara a aplicar medidas que cohesionen territorialmente el país, eliminando desigualdades y corrigiendo posibles situaciones de marginación territorial. En este contexto, se hace especial énfasis en los municipios con mayor porcentaje de población indígena y afrodescendiente.

Palabras clave: Desarrollo sostenible; Clusterización; Población indígena y afrodescendiente; Caracterización de unidades territoriales; Análisis en Componentes Independientes; Mapas auto-organizados de Kohonen.

ABSTRACT

The present study aims to classify and characterize the honduran municipalities according to a series of demographic and socio-economic variables, on the basis of a geographical and statistical analysis. To reach this objective, it is posed a methodological proposal of multivariate techniques application of Cluster Analysis to obtain groups of municipalities according their similarities. In this sense, it is expected that the present article can be deployed as a support tool for those responsible of important decision making in the country and can also be used to apply measures of cohesion in the country, eliminating inequalities and correcting potential situations of territorial exclusion. In this context, special emphasis to municipalities with high percentage of ethnic population is taking into account.

Keywords: Sustainable development; Clustering; Indigenous and afro descendant population; Characterization of territorial units; Independent component analysis; Kohonen's Self-organized maps.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el Banco Mundial (2016), Honduras muestra el más alto nivel de desigualdad económica de América Latina. Los desequilibrios que enfrenta se ven reflejados entre sus municipios y aún más entre sus propios habitantes dependiendo de su etnicidad. Tomando en cuenta los datos del más reciente Censo de Población y Vivienda, realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas de Honduras (INE) en el año 2013, la población hondureña se encuentra constituida predominantemente por población mestiza (91,4%), pero además existen 9 grupos étnicos (Lenca, Garífuna, Misquitos, Tolupán, Chortí, Pech, Tawahca, Negro Inglés y Nahua) que representan el 8,6% restante. Como se expresa en González y Vélez (2011), los habitantes

indígenas y afrodescendientes del país (en adelante población étnica), han enfrentado situaciones de marginación social desde tiempos de la conquista hasta la actualidad, sufriendo los abusos que se cometen en contra de sus intereses y derechos como grupos culturalmente diferenciados del resto de la población hondureña, por lo que se espera que las desigualdades también estén influenciadas por el origen étnico de las personas. Es por esta razón que el estudio se centra principalmente en los municipios con mayores porcentajes de población étnica.

Históricamente, los municipios de Honduras han dependido del gobierno central para la toma de decisiones en cuanto a planificación e implementación de proyectos de inversión, dejando de lado situaciones que son verdaderamente importantes para el desarrollo local. En este sentido, los estudios de clasificación y caracterización permiten agrupar unidades territoriales en función de sus similitudes, partiendo de información estadística sobre indicadores demográficos y socioeconómicos que conllevan a analizar las peculiaridades de las diferentes agrupaciones obtenidas. A partir de este conocimiento se podrían proponer medidas nacionales de política regional que disminuyan las disparidades económicas y sociales entre los municipios, impulsando el crecimiento económico sostenible y centrándose principalmente en los menos desarrollados.

Actualmente no se cuenta con una clasificación de los municipios hondureños que facilite la intervención en el territorio de los decisores políticos, por lo que en este estudio se intenta clasificarlos utilizando un método apoyado en la técnica de mapas auto-organizados (SOM por sus siglas en inglés), a través del software informático de libre uso R-Statistics, que se puede integrar fácilmente en un Sistema de Información Geográfica (en adelante, SIG).

Antes de acometer el proceso de clasificación, y para evitar la redundancia de información y el ruido estadístico de las variables originales, se realizó un Análisis en Componentes Independientes (ICA por sus siglas en inglés). El ICA es una técnica computacional y estadística que se ha utilizado en el presente estudio y que se describirá en la sección 4 del presente documento.

El trabajo se estructura de la siguiente manera: en la próxima sección se detalla el estado de la cuestión, en el que se señalan diferentes trabajos en los que se han utilizado distintas técnicas para la clasificación de unidades territoriales; en la sección 3 se plantea el ámbito de estudio; en la sección 4 se describe la metodología empleada; en la sección 5 se analizan los resultados; y finalmente en la sección 6 se establecen las conclusiones.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Tradicionalmente una de las problemáticas más acentuada que se revela a la hora de abordar el estudio de un determinado territorio es la significativa brecha existente en los niveles de desarrollo que presentan los países a escala mundial, regional e incluso interregional en los ámbitos económico y social. Estas diferencias, en definitiva, muestran frecuentemente importantes desequilibrios territoriales que obstaculizan el alcanzar una equidad socioeconómica que se refleje en el bienestar de la población, como recogen los diferentes análisis que publican reconocidos organismos e instituciones (OCDE, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Banco Mundial, CEPAL, etc.).

En el caso particular, América Latina cuenta con una importante riqueza natural, histórico-patrimonial y destacados recursos endógenos (fuentes de energía, turismo, etc.), no obstante es considerada en la actualidad como uno de los territorios con mayor desigualdad en el mundo (Domínguez, 2009; Lustig, 2015). Con el objeto de analizar dichos desequilibrios se han venido utilizando tradicionalmente diferentes tipos de métodos de análisis de tipo cuantitativo y descriptivo atendiendo al número de variables implicadas en el estudio.

En este sentido, como ponen de manifiesto determinados autores, es importante considerar la metodología a utilizar para el tratamiento de la información, ya que las posibilidades, la utilidad y la complejidad de los métodos de análisis aumentan a medida que lo hace el número de variables (Rodríguez, 1988).

En líneas generales, a medida que aumenta el número de variables utilizadas, se muestran más eficientes los métodos basados en técnicas multivariantes, como son el análisis factorial o el de componentes principales, que nos permiten reducir el volumen inicial de información, extrayendo los elementos más destacados y permitiendo la clasificación de las diferentes unidades territoriales (Cruces et al., 2010).

En los últimos años la separación de fuentes a ciegas "*blind source separation*" mediante el análisis en componentes independientes ha recibido mucha atención debido a sus aplicaciones en sistemas de reconocimiento de caracteres, telecomunicaciones, procesamiento de imágenes médicas, extracción de características, análisis de series temporales, etc. Esta técnica, relativamente de nueva invención, fue introducida por primera vez en la década de los 80 dentro del contexto de las redes neuronales. Pero, fue en la década de los 90 cuando se introdujeron nuevos algoritmos capaces de resolver problemas como el *cocktail-party*. Desde entonces muchos artículos sobre este tópico han sido publicados en campos como las redes neuronales, el procesamiento de señales, estadística y teoría de la información (Hyvärinen et al., 2001).

El trabajo seminal en Backward Sequential Selector (BSS) fue escrito por Jutten y Herault (1991). En dicho trabajo los autores introdujeron un algoritmo adoptivo que era capaz de resolver el problema de la separación de fuentes independientes. Dicho algoritmo fue posteriormente desarrollado por Herault y Jutten (1994), Cichocki et al., (1994) y Karhunen y Joutsensalo (1995). Comon (1994), elaboró el concepto de análisis en componentes independientes y propuso funciones de coste útiles para la maximización de la independencia entre las fuentes.

Dada la necesidad de disminuir el grado de desigualdad, es preciso elaborar análisis económicos en ámbitos regionales que tienen como propósito intentar definir una clasificación de las unidades territoriales de acuerdo con patrones de comportamiento distintivos y, por consiguiente, analizar las fuentes de las diferencias encontradas en esos patrones de comportamiento (Alfaro et al., 2003). Para lograr esta finalidad los mismos autores manifiestan que "en este sentido, las redes neuronales artificiales, y en particular, los mapas auto-organizados de Kohonen, constituyen una interesante herramienta alternativa a los métodos estadísticos más tradicionales como, por ejemplo, el análisis clúster".

Por su parte, Cuervo-Arango et al., (2006), en su informe sobre la tipología municipal de la Comunidad de Madrid, utiliza métodos jerárquicos para el análisis de conglomerados "tanto por la adecuación de los datos como por la necesidad de controlar el proceso y porque se deseaba obtener una tipología coherente a varios niveles". No obstante, la utilización de la metodología de Mapas Auto-organizados se puede encontrar en diferentes ejemplos, como es el caso de López y Pastor (2013), quienes utilizan dicho método para ir un paso más allá de la clasificación socioeconómica e identificar los desequilibrios financieros en el territorio europeo; en concreto, a través de una comparativa entre las regiones de España y Alemania, respectivamente. Indican, además, la refutada trayectoria de este tipo de métodos de análisis en los ámbitos financieros y cómo posteriormente se han utilizado para la clasificación de diferentes territorios desde el punto de vista social y económico.

Autores como Martínez de Lejarza (2001), aborda el análisis socioeconómico del área metropolitana de Valencia utilizando esta metodología de los mapas auto-organizados. Similar es el caso de Rua et al., (2003), en el trabajo sobre la realidad socioeconómica de los municipios de la región gallega, en el que pretenden establecer si la favorable evolución socioeconómica gallega de la última década ha sido uniforme en todos los municipios o si, por el contrario, se ha concentrado en polos de desarrollo ya existentes, aumentando de esta manera las diferencias actuales. En el caso de América del Sur se ha realizado alguna aproximación a esta metodología dirigida a conocer las desigualdades intra-regionales en la región chilena de Valparaíso (Fuenzalida y Moreno 2009). También destaca el trabajo realizado por Ayaviri y Alarcón (2014), en el que se aplican técnicas multivariantes de análisis clúster para conformar conglomerados homogéneos de municipios de Bolivia, con el objetivo de identificar aspectos demográficos y socioeconómicos comunes y evaluar la eficiencia municipal.

3. ÁMBITO DE ESTUDIO

El presente documento plantea una clasificación y caracterización de los municipios hondureños. Honduras es un país de América ubicado en el centro-norte de América Central; actualmente cuenta con una población de 8,5 millones de habitantes y es el segundo país más poblado de la región. Política y administrativamente, el territorio está dividido en 18 departamentos, y éstos a su vez en 298 municipios.

Siendo los municipios el primer ámbito donde pueden llevarse a cabo políticas socioeconómicas que ayuden a paliar los desequilibrios territoriales y regionales (Rúa et al., 2003), el estudio se centra principalmente en los municipios del país, especialmente en aquellos que presentan altos porcentajes de población étnica.

Por ser los más actualizados, para la elaboración del presente estudio se han tomado en cuenta los datos del último Censo de Población y Vivienda realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas de Honduras (INE) en el año 2013. De esta fuente (INE) se han seleccionado una serie de variables demográficas y socioeconómicas por considerarlas más significativas y que, de alguna manera, describen la situación actual de los municipios del país.

4. METODOLOGÍA

Son numerosas las técnicas de reducción de la dimensionalidad que podríamos agrupar en técnicas de selección y de extracción de características. En la selección de características se pretende la definición de un nuevo vector de características subconjunto del vector de características original. Entre éstas técnicas podemos destacar los algoritmos de búsqueda secuencial BSS o *Forward Sequential Selector* (FSS) y los algoritmos genéticos (GA). Estas técnicas son de especial interés en problemas de clasificación supervisada, en los cuales se puede definir una figura de mérito (el error cometido por la red sobre el conjunto de prototipos) que hay que minimizar en función del nuevo vector de características definido. En la extracción de características se suele definir un nuevo vector de características cuyos componentes son funciones del vector de características original. Generalmente la redefinición del nuevo vector de características persigue la minimización de alguna característica como la correlación de los datos de entrada, la independencia, etc. Como ejemplos de estos métodos podemos destacar los métodos clásicos como el análisis en componentes principales (PCA), descomposición en valores singulares (SVD) o la descomposición en serie de Fourier o métodos más actuales como el ICA.

El ICA es una técnica computacional y estadística que se utiliza para extraer información oculta de un conjunto de variables. En dicho modelo se supone que estas variables son mezclas lineales o no lineales de otras variables ocultas. Tanto las variables ocultas como la mezcla de las mismas para obtener las variables originales son desconocidas. La única suposición que hace el modelo es que las variables ocultas son no gaussianas y mutuamente independientes. A estas variables ocultas no gaussianas y mutuamente independientes se les denominan "componentes independientes". La extracción de estos componentes es el objetivo del análisis en componentes independientes, que junto con otras técnicas pueden englobarse en un campo más amplio, el de la separación de fuentes a ciegas, BSS. En este sentido, ICA puede considerarse una extensión del PCA, solo que ICA es una técnica mucho más potente. PCA busca decorrelar las variables utilizando estadísticos de segundo orden (matriz de covarianza), pero la independencia de las fuentes es una propiedad mucho más restrictiva que la decorrelación. Una forma de estimar los componentes independientes consiste en maximizar la no gaussianidad utilizando estadísticos de orden superior como la Kurtosis.

Atendiendo al carácter exploratorio de esta técnica, es necesario tomar conciencia de la posible no utilidad de los resultados obtenidos. Puede darse el caso de que la reducción de la dimensionalidad no dé un resultado fácilmente interpretable o no dé respuesta a las posibles preguntas de investigación formuladas inicialmente. Esta condición es extrapolable al proceso de clasificación, que también está basado en procesos no apriorísticos.

Para la realización del estudio, inicialmente se consideraron 27 variables, a las que se aplicó la estadística descriptiva con la finalidad de obtener las medidas de centralidad y calcular la dispersión de los datos. Asimismo, se aplicó la correlación de Spearman para evaluar la asociación en términos de aumento o

disminución entre las variables empleadas en el estudio. Una vez establecidas las correlaciones, fue necesario normalizar los datos para eliminar el sesgo estadístico, lo que resulta de mucha utilidad cuando se trata de comparar variables que han sido medidas en unidades distintas.

Debido a la cantidad de variables empleadas, los datos presentaron dificultad de interpretación al momento del análisis, no eran todos representativos o estaban altamente correlacionados (lo que suponía redundancia en la información). A tal efecto, y para evitar el ruido estadístico, se aplicó el ICA como una técnica de reducción y simplificación de datos y una manera de minimizar la dependencia estadística entre las nuevas componentes calculadas. Para poder estimar las componentes independientes a partir del modelo ICA, se ha utilizado el algoritmo FastICA, que es uno de los más usados debido a su fácil ejecución y eficiencia computacional (Hyvärinen et al., 2001). La reducción de la dimensionalidad realizada mediante ICA ha permitido determinar 8 componentes independientes que explican el 81% de la varianza original de las 27 variables en estudio.

La utilización de la técnica de clasificación SOM se considera especialmente adecuada cuando se trata de reconocer clusters, a priori desconocidos, dentro de un conjunto de datos (Alfaro et al., 2003). En el presente estudio, este método permite agrupar a los municipios hondureños en función de sus elementos comunes, de forma tal que exista una delimitación de áreas lo más homogéneas posible que faculte el estudio de las características de cada grupo al que pertenecen. El procesamiento de la información se ha realizado a través del software informático de libre uso R-Statistics, donde están implementados los algoritmos para el cálculo del análisis cluster y de reducción de la dimensionalidad. La información generada a través de R-Statistics se puede integrar en un SIG, permitiendo un análisis espacial de los resultados alcanzados en el proceso.

En definitiva, y atendiendo al proceso descrito anteriormente, se ha obtenido una clasificación de los municipios hondureños en cuatro grandes grupos que permite describir las características demográficas y socioeconómicas de cada uno de ellos.

5. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez descrita la metodología utilizada durante la investigación, se procede a representar cartográficamente algunos de los indicadores que son objeto del estudio.

Tomando en consideración el porcentaje de población étnica del país, se ha realizado una clasificación de niveles del 1 al 3. La figura 1, muestra que la mayor parte de los municipios (208 que representan el 69,8%), tiene menos del 5% de población étnica (Nivel 1) y están ubicados principalmente en la zona centro y sur del país; 55 municipios (18%) tienen entre 5,01-80% de población étnica (Nivel 2), ubicados en el noreste y sudoeste del país; y 35 municipios (12%) albergan más del 80,01% de población étnica (Nivel 3) y están ubicados en la zona nor-oriental y sur-occidental del país.

A tenor de lo revelado en el histograma de frecuencias se han determinado los intervalos de población étnica, ya que una clasificación por cuantiles o por rupturas naturales no reflejaría lo que realmente se pretende mostrar, es decir, la dicotomía entre los municipios que muestran un porcentaje muy bajo de población étnica y los que tienen porcentajes muy altos.

La variable población étnica presenta una media de 16,8% con mucha dispersión de los datos y no muestra correlaciones positivas importantes con otros indicadores. Sin embargo, es más común en zonas con necesidades básicas insatisfechas de hacinamiento y en zonas con población de 0-14 años.

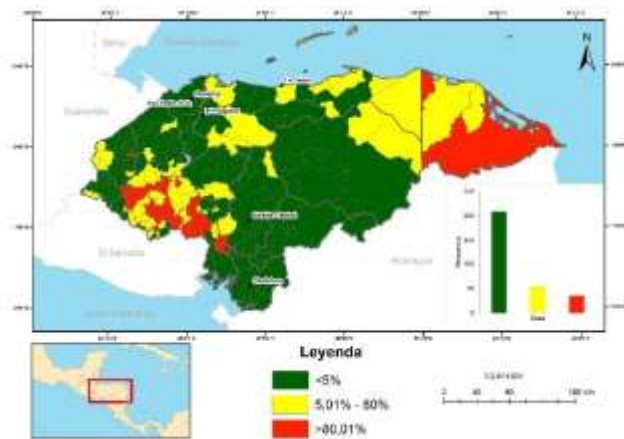


Figura 1. Mapa de población étnica de Honduras por municipios. Fuente: Elaboración propia con datos del INE, Honduras 2013.

A continuación se describen las características que distinguen a cada uno de los grupos en que se ha dividido el territorio hondureño (ver figura 2). Es necesario aclarar que la tipología resulta aproximada en cuanto que existe mucha variación entre los valores de las variables. Para obtener los promedios máximos y mínimos de los indicadores se ha utilizado la media simple como medida de centralidad.

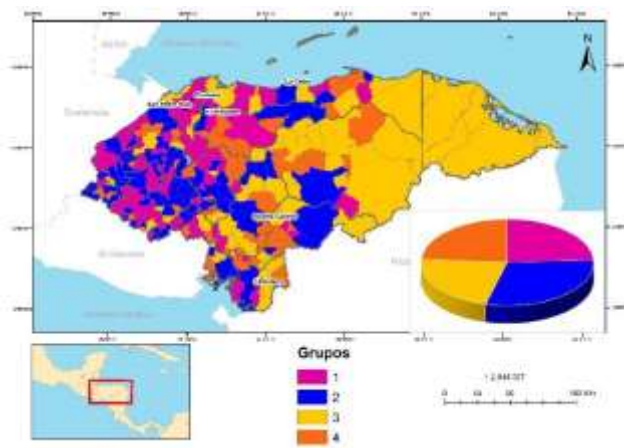


Figura 2. Mapa de clasificación de los municipios de Honduras. Fuente: Elaboración propia con datos del INE, Honduras 2013.

El grupo 1 comprende 72 municipios que se encuentran ubicados principalmente en el oeste y noroeste del país. La actividad económica principal de este conglomerado gira en torno a la industria, especialmente en el departamento de Cortés en los municipios de Choloma, Villanueva, La Lima y San Pedro Sula; y en el municipio de Trinidad en el departamento de Santa Bárbara.

Las variables demográficas indican que la mayor parte de los habitantes de esta zona presentan la tasa promedio de edad más baja del país (24,5 años), una alta tasa de mortalidad infantil (11,7%) y una baja proporción de población mayor de 65 años (5,1%).

El porcentaje promedio de población étnica es de 26,4% y se encuentra por encima del promedio nacional (16,8%), además, pertenecen a este grupo los dos municipios que tienen los mayores porcentajes de población étnica a nivel nacional: El municipio de San Francisco de Opalaca con 98,6% y el municipio de Mapulaca con 98,5%. Otra característica de estos municipios es el bajo porcentaje promedio de población con estudios universitarios (0,94%) y con acceso a internet (2,52%).

Por su parte, el grupo 2 está conformado por 89 municipios que se encuentran principalmente en el oeste, suroeste y centro del país y agrupa a los municipios con mayor densidad demográfica y una proporción de habitantes más numerosa (más de 40.000 como promedio) y alberga al 17,3% de la población étnica del país.

En este grupo se encuentra el Distrito Central, donde está ubicada la ciudad capital, que cuenta con 1.157.509 habitantes y que representa el 13,9% de la población total del país. Este municipio presenta una tasa de desempleo abierta (TDA) de 89,8%, que es la más alta a nivel nacional.

Prevalece el sector comercial, principalmente en el municipio de Nueva Arcadia, en el departamento de Copán, en el que el 23,8% de la población se dedica al comercio.

Los municipios que pertenecen a este grupo presentan el menor promedio en cuanto al índice de pobreza según NBI (60,5%). La mayor parte de la población recibe agua por tubería (88,5%) y, en comparación con el resto de los grupos, un porcentaje relativamente alto recibe agua privada (36%), por lo que la necesidad básica insatisfecha por agua es la más baja.

En cuanto al grupo 3, comprende 66 municipios ubicados en el noreste, centro y sur del país, caracterizados por el mayor índice de pobreza según NBI (69%) y por la escasez en los suministros de agua, alumbrado público y vivienda.

El comercio tiene muy poca presencia en este grupo, destacando el municipio de Tocoa en el departamento de Colón con un 18,5%, siendo el octavo por importancia a nivel nacional. En cuanto al sector secundario, los municipios de Potrerillos y Pimienta representan dos importantes polos de desarrollo en esta zona, siendo segundo y tercero respectivamente a nivel nacional en esta actividad.

Este grupo está integrado por municipios con poca densidad demográfica, principalmente los ubicados en el departamento de Gracias a Dios, en el que cada uno de sus 6 municipios cuenta con una densidad demográfica muy reducida (menos de 18 hab./km²).

Cuenta con un porcentaje de población étnica de 15,8%, mayormente concentrado en los municipios de Ahuas (94,9%), Alubaren (92,7%) y San Marcos de la Sierra (92%).

Finalmente, el grupo 4 está integrado por 71 municipios. Entre sus principales elementos comunes se encuentra un alto promedio de habitantes con estudios universitarios.

Esta agrupación cuenta con la media más alta de población con acceso a internet (4,1%) y que tiene televisor en su vivienda (54,7%).

En cuanto a las variables demográficas, los valores medios más altos se presentan en el promedio de edad (26,5 años), tasa de mortalidad por cada 100.000 habitantes (490,7), población en edad de 15-64 años (57,9%) y población mayor de 65 años (6,47%). En cuanto a formación, tiene amplia cobertura básica (92,8%) y secundaria (66,3%).

Agrupación a los municipios con menor población. Cuenta con el 7,2% de población étnica que es la más baja del país. En este sentido, el 80% de los municipios que pertenecen a este grupo tiene menos del 5% de población étnica.

Para mostrar de una manera más clara la relación que existe entre los grupos obtenidos y el porcentaje de habitantes indígenas y afrodescendientes del país, se muestra la figura 3, en la que se puede observar que los 4 grupos presentan distribuciones con asimetría positiva y con mucha dispersión de los datos, especialmente en el grupo 1. Además, en los 4 gráficos la media está bastante alejada de la mediana, lo que se debe, precisamente a lo que muestra la figura 1: el 70% de los municipios tiene menos del 5% de población étnica y el 12% de los municipios tiene un porcentaje por encima del 80%. Para el resto de grupos, se presentan valores que se encuentran muy distantes del resto de los datos y están representados por los valores atípicos.

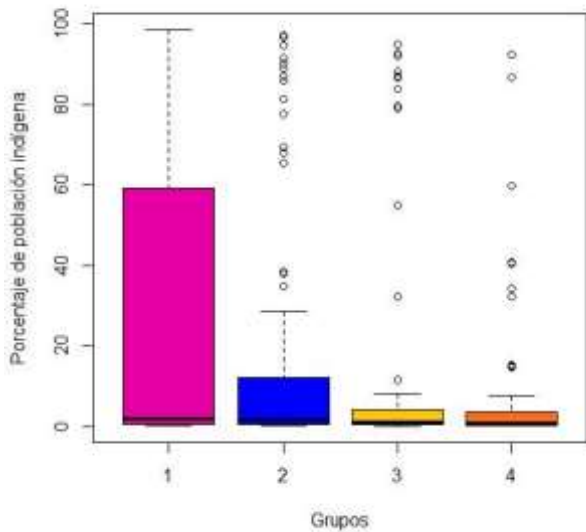


Figura 3. Grupos frente a porcentaje de población étnica.
Fuente: Elaboración propia con datos del INE, Honduras 2013.

6. CONCLUSIONES

De acuerdo con la clasificación obtenida, el territorio hondureño se ha dividido en cuatro grupos, los cuales presentan características similares entre los elementos del mismo grupo pero diferentes del resto. Así, el grupo 1 presenta el mayor porcentaje de población étnica y el menor porcentaje de personas con estudios universitarios y con acceso a servicios de internet, lo que pone de manifiesto lo planteado al inicio del documento: el nivel de educación de los hondureños está condicionado por su origen étnico. Respecto al grupo 2, comprende los municipios que destacan fundamentalmente por su actividad comercial. En cuanto al grupo 3, incluye a algunos de los municipios con mayor actividad económica y con menor densidad de población. Por último, decir que el grupo 4 está integrado por municipios con un elevado porcentaje de personas con estudios universitarios y aquellos con la menor proporción de población étnica.

Una vez establecidas las agrupaciones, se puede visualizar de manera más clara la realidad de los municipios, facilitando la identificación de los problemas comunes y, por ende, el diseño y la aplicación de políticas de desarrollo concretas para cada uno de los conglomerados orientadas a mejorar la calidad de vida de sus habitantes. Se espera que este estudio sirva de herramienta a los decisores políticos encargados del ámbito municipal, que les permita definir las áreas en crecimiento así como aquellas que se encuentran en situación de abandono y planificar de manera más congruente las acciones de desarrollo.

Desde el punto de vista metodológico, la elaboración del presente estudio, a pesar de las limitaciones que puedan tener los algoritmos utilizados, ha evidenciado su efectividad y ha permitido obtener una clasificación de los municipios de Honduras en la que cada agrupación resultante está conformada por unidades territoriales que comparten características similares. En este sentido, los resultados del análisis muestran que las variables seleccionadas representan de forma plausible la situación demográfica y socioeconómica de los municipios que pertenecen a los grupos en que está dividido el territorio hondureño.

El modelo utilizado en esta investigación, también ha permitido la obtención de cartografía temática de resultados muy visuales mediante un SIG y un análisis exploratorio de datos socioeconómicos y demográficos a través de instrumentos estadísticos. Todas las herramientas empleadas han permitido identificar las disparidades territoriales más significativas y las zonas más vulnerables y desfavorecidas del país, principalmente aquellas que cuentan con porcentajes más altos de población étnica (más de 80%).

Por consiguiente, a la luz de los resultados de la investigación, el territorio hondureño presenta inequidades provocadas principalmente por el origen étnico de las personas que, pese a su riqueza cultural e histórica,

representan los segmentos más desfavorecidos de la nación. Para reducir estos desequilibrios se plantea aprovechar el patrimonio con el que cuentan estos grupos, los cuales deben gestionar su propio desarrollo considerando las particularidades históricas y culturales de cada uno, mediante la formación de potenciales agentes de desarrollo local, los cuales deben jugar un papel importante en la incorporación de sus necesidades en la agenda de temas de interés nacional y en la promoción del desarrollo sostenible de la comunidad mediante la gestión de proyectos susceptibles de llevar a cabo en conexión con agencias de cooperación nacional e internacional. En concordancia, el Estado debe reconocer la pluralidad cultural con la que cuenta y establecer políticas públicas específicas y participativas que ayuden a resaltar la importancia de la protección de ese patrimonio cultural. En la misma línea, se plantea la elaboración de un Censo que recoja información socioeconómica específica de los grupos étnicos y no solamente información demográfica, con el fin de realizar un análisis más profundo acerca de la situación por la que atraviesan dichos pueblos.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Alfaro, E., García, N. y Gámez, M. (2003): "Una clasificación socioeconómica de las regiones europeas mediante mapas de Kohonen", Albacete: Universidad de Castilla La Mancha, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales.
2. Ayaviri, N. y Alarcón, S. (2014): "Clasificación socioeconómica de los municipios de Bolivia", *Perspectivas*, 33, pp. 29-55.
3. Banco Mundial. (2016): *Honduras: Panorama General*. <http://www.bancomundial.org/es/country/honduras/overview#1>, 4 de abril de 2016.
4. Cichocki, A., Unbehauen, R. y Rummert, E. (1994): "Robust learning algorithm for blind separation of signals", *Electronics Letters* 30, 17, pp. 1386-1387.
5. Comon, P. (1994): "Independent component analysis, A new concept?" *Signal processing*, 36, pp. 287-314.
6. Cruces, E., García, J. y Sarrión, M. (2010): "Análisis estadístico de la realidad socioeconómica en Andalucía. Una aproximación a escala municipal". *Investigaciones regionales: Journal of Regional Research* 18: 107-140.
7. Cuervo-Arango, F., Huete, T., Pedrazuela, C. y Sacristán R. (2006): "Tipología municipal de la Comunidad de Madrid 2006", Instituto de Estadística, Consejería de Economía e Innovación Tecnológica, Comunidad de Madrid.
8. Domínguez, R. (2009): "Desigualdad y bloqueo al desarrollo en América Latina", *Principios: estudios de economía política*, 13, pp. 5-32.
9. Fuenzalida, M. y Moreno A. (2009): "Desigualdades intra-regionales en el desarrollo de la región de Valparaíso, Chile: una propuesta de análisis espacio-temporal", *Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 9, pp. 1-27.
10. González, J. M. y Vélez, J. (2011): *Ciudadanía juvenil étnica: una aproximación a la realidad de la juventud indígena y afrodescendiente en Honduras (No. 7)*, Estudios sobre Desarrollo Humano. Tegucigalpa: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. http://www.hn.undp.org/content/dam/honduras/docs/publicaciones/HN_072011_Ciudadania_juvenil_e_tnica.pdf, 15 de abril de 2016.
11. Herault, J. y Jutten, C. (1994): "Réseaux neuronaux et traitement du signal". Paris: Hermes.
12. Hyvärinen, A., Karhunen, J. y Oja, E. (2001): *Independent Components Analysis*. New York, USA, Ed. John Wiley & Sons, Inc.
13. Jutten, C. y Herault, J. (1991): "Blind separation of sources, part I: An adaptive algorithm based on neuromimetic architecture", *Signal processing*, 24, 1, pp. 1-10.
14. Karhunen, J. y Joutsensalo J. (1995): "Generalization of principal component analysis, optimization problems and neural networks", *Neural Networks*, 8, 4, pp. 549-562.
15. López, F. y Pastor, I. (2013): "Self-organizing maps as a tool to compare financial macroeconomic imbalances: The European, Spanish and German case", *The Spanish Review of Financial Economics*, 11, pp. 69-84.

16. Lustig, N. (2015): "La mayor desigualdad del mundo", *Revista Finanzas & Desarrollo. Fondo Monetario Internacional*, 52, 3, pp. 14-17.
17. Martínez de Lejarza, I. (2001): "Análisis Socio-económico del Área Metropolitana de Valencia por medio de un Mapa Auto-organizado de Kohonen", *Revista de Estudios Regionales*, 59, pp. 145-167.
18. Rodríguez, V. (1988): "La medición de los desequilibrios territoriales en España", *Estudios Regionales* 21, pp. 97-120.
19. Rúa, A., Redondo, R. y Del Campo, C. (2003): "Distribución municipal de la realidad socioeconómica gallega", *Revista galega de economía*, 12, 2, pp. 243-262.

IDENTIFICACIÓN DEL ESPACIO RESIDENCIAL EN ANDALUCÍA A PARTIR DE DATOS CATASTRALES

M^a Dolores Noguero-Hernández¹, Ismael Vallejo-Villalta², Eduardo Ramírez-Moreno², Ana Ramírez-Torres³

¹Universidad de Sevilla, Departamento de Ingeniería Gráfica, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación. Avda. Reina Mercedes, 4 A, 41012, Sevilla. mnoguero@us.es

²Universidad de Sevilla, Departamento de Geografía Física y AGR, Facultad de Geografía e Historia. C. María de Padilla, s/n, 41004, Sevilla. ivallejo@us.es

³Junta de Andalucía, Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía, C. Leonardo Da Vinci, 21. 41071, Sevilla. ana.ramirez.torres@gmail.com

RESUMEN

El conocimiento y caracterización del parque residencial a cualquier escala (municipal, regional, nacional...) constituye una pieza fundamental para el desarrollo de las diversas políticas que giran en torno al sector de la vivienda, cuya importancia se ha visto amplificadas en los últimos tiempos en relación a problemáticas como la crisis de la construcción, la burbuja inmobiliaria o los desahucios.

A pesar de esta importancia, no resulta fácil contar con fuentes de información que permitan un conocimiento y caracterización exhaustivos, y menos aun cuando se exige que dicha información se presente de modo georreferenciado y abarque ámbitos de importantes dimensiones como es el caso de la Comunidad Autónoma de Andalucía.

Consciente de este problema, el proyecto "Georreferenciación, caracterización estadística y estrategias de difusión del espacio residencial en Andalucía" financiado con fondos FEDER a través de la Consejería de Fomento y Vivienda de la Junta de Andalucía, se ha marcado entre sus objetivos la creación de un Inventario Georreferenciado de Viviendas, que permitiera conocer y localizar la totalidad del espacio residencial de esta comunidad autónoma. En la actualidad, para poder llevar a cabo un inventario con estas características, nivel de detalle y para toda la región, la mejor de las fuentes disponibles es el Catastro Inmobiliario.

En el presente trabajo se describen varios de los procesos que se han seguido para la confección de este inventario, incluyendo la descarga del conjunto de datos (gráficos y alfanuméricos) del Catastro Inmobiliario (urbano y rústico) para todos los municipios de Andalucía, la integración de los mismos en una base de datos espacial (PostgreSQL/PostGIS), así como diferentes ejemplos de explotación de la misma dirigidos a la estimación cuantitativa y a la representación cartográfica de indicadores de vivienda; a este último aspecto se dedica con más profundidad otro trabajo presentado a este mismo congreso (Pérez-Alcántara et al.).

Palabras clave: Inventario residencial, catastro inmobiliario, parcela catastral, POSTGIS

ABSTRACT

Housing inventory and characterization is a key factor at any scale (local, regional, national) in order to a more efficient implementation of housing planning and management. In recent times these activities have gained importance as new problems emerged related to the construction industry crisis, the housing bubble or social problems as evictions.

In spite of this, rigorous and updated data sources about housing are rare, especially if spatial location is demanded as part of the data and vast territories have to be covered as is the case of Andalusia.

Bearing in mind all of this, the project "Georeferencing, statistical characterization and dissemination strategies of housing information in Andalusia" (promoted by the Department of Public Works and Housing – Regional Government of Andalusia – and funded by FEDER-EU), has among its main objectives the creation of a Spatial Housing Inventory, in order to know and locate all the housing units in Andalusia. To accomplish this,

the project has made use of the Spanish Cadastre, as one of the most reliable and detailed source of data to study statistical and spatial aspects of housing.

Keywords: Housing inventory, cadaster, cadastral parcel, POSTGIS.

1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento y caracterización del parque residencial a cualquier escala (municipal, regional, nacional...) constituye una pieza fundamental para la implementación de la política pública de vivienda, así como otras muchas actividades donde este sector juega un importante papel como la planificación territorial y urbanística, el desarrollo económico o las políticas sociales. En los últimos tiempos, la trascendencia del sector de la vivienda se ha visto amplificada en relación a diferentes problemáticas (crisis de la construcción, burbuja inmobiliaria, desahucios, etc), que han llegado a ocupar un lugar central en el debate político (Rullán y Artigues, 2007; Vara-Muñoz. y Vinuesa-Angulo, 2007; Obeso-Muñiz, 2014; López-Colas y Morenés, 2014).

A pesar de esta importancia, no resulta fácil contar con fuentes de información que posibiliten un conocimiento y caracterización exhaustivos (Palacios-García, 2008), y mucho menos cuando se exige que dicha información se presente de modo georreferenciado y abarque ámbitos supramunicipales. Entre las fuentes más idóneas para estos fines hay que referirse al Catastro Inmobiliario, cuya utilización es cada vez más frecuente en temáticas como la desagregación espacial de la población (Gálvez-Salinas et al, 2013; Mora-García y Martín, 2015; Preciados et al, 2015), o en estudios urbanos (Cocero Matesanz et al, 2014), si bien se trata de estudios en los que raramente se supera el ámbito municipal.

En el presente trabajo, vinculado a un Proyecto FEDER con la Agencia de Obra Pública de Andalucía titulado "Georreferenciación, caracterización estadística y estrategias de difusión del espacio residencial en Andalucía", se muestra la metodología propuesta para el desarrollo de un Inventario Georreferenciado del Espacio Residencial de Andalucía, a partir del estudio y la explotación de la información básica disponible en el Catastro Inmobiliario. Este inventario garantiza la identificación de los bienes inmuebles con uso residencial y su localización espacial a escala de detalle, en un ámbito de las dimensiones (87.547 Km²) y complejidad territorial de la Comunidad Autónoma de Andalucía.

Vinculados también al mismo Proyecto FEDER, otros trabajos se han centrado en las estrategias de representación y difusión WEB de este inventario (ver Pérez-Alcántara et al, en este mismo congreso), mientras que otros lo harán en el desarrollo de indicadores a partir de la integración de información residencial y socio-demográfica.

2. OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo consiste en la generación de un Inventario Georreferenciado del Espacio Residencial en Andalucía a partir de los datos del Catastro Inmobiliario; este inventario debe garantizar la extracción de estadísticas, indicadores y cartografía a escalas que comprenden desde el máximo nivel de detalle que permiten las unidades catastrales con representación espacial (manzanas, parcelas y construcciones), hasta los niveles correspondientes a otras entidades administrativas de referencia (secciones censales, municipios o provincias).

Para la consecución de este objetivo general se contemplan una serie de objetivos específicos que incluyen, fundamentalmente, la descarga de toda la información catastral que afecta a la Comunidad Autónoma de Andalucía, la integración de esta información en una base de datos espacial y la explotación de la misma. En relación a este último aspecto, se incide en la elaboración de aquellos indicadores que han permitido extraer, a nivel de parcela catastral, el número de viviendas, sabiendo que para la obtención de este dato puede recurrirse a dos vías; por un lado, se puede tener en cuenta el número de bienes inmuebles de carácter residencial que se deriva de la asignación de un uso principal a cada uno de ellos (indicador PU005), y, por otro lado, desde un punto de vista más realista, se puede considerar el número total de construcciones con destino

vivienda que pueden adscribirse a un mismo bien inmueble, independientemente del uso general que pueda asignarse a este bien (indicador PU029).

3. FUENTES DE DATOS Y METODOLOGÍA

En consonancia con los objetivos específicos que se plantean, la metodología propuesta comprende tres pasos principales que se centran en la descarga de los datos catastrales, el diseño y desarrollo de una base de datos espacial (PostgreSQL/PostGIS) en la que se integran dichos datos, y la explotación y análisis de la misma para la extracción de resultados.

3.1 El Catastro Inmobiliario como fuente principal de información

Aunque la finalidad con la que se crea el Catastro es eminentemente tributaria, los datos que almacena, su continua actualización y su veracidad legal, lo convierten en una valiosa base para la elaboración de infraestructuras de información espacial a escalas de detalle, que las administraciones públicas, las empresas y la propia ciudadanía puede utilizar para muy diversos fines.

Su gestión es competencia de la Dirección General del Catastro y se lleva a cabo a través del Sistema de Información Catastral, que puede definirse como un conjunto de componentes interrelacionados destinado a capturar, almacenar, actualizar y gestionar datos referentes a bienes inmuebles, a fin de procesar y distribuir la información. Este sistema está constantemente mantenido, tanto por las declaraciones realizadas por los titulares catastrales, como por las comunicaciones llevadas a cabo por notarios y registradores, ayuntamientos, así como por la Agencia Estatal de Administración Tributaria y diversos ministerios.

El Catastro Inmobiliario se define en la legislación como un registro administrativo en el que se describen los bienes inmuebles, incluyendo sus características físicas, económicas y jurídicas, entre las que se encuentran: la referencia catastral, la localización, la superficie, el uso o destino, la clase de cultivo o aprovechamiento, la calidad de las construcciones, la representación gráfica, el valor catastral y el titular catastral.

Un Bien Inmueble es la parcela o porción de suelo de una misma naturaleza, enclavada en un término municipal y cerrada por una línea poligonal que delimita, a tales efectos, el ámbito espacial del derecho de propiedad de un propietario o de varios pro indiviso y, en su caso, las construcciones emplazadas en dicho ámbito, cualquiera que sea su dueño, y con independencia de otros derechos que recaigan sobre el inmueble.

Cada uno de los bienes inmuebles está identificado por la Referencia Catastral, que además permite situar inequívocamente los bienes en la cartografía oficial del Catastro. Está compuesto por 20 números y letras de los cuáles los 14 primeros identifican la parcela, los 4 siguientes los distintos bienes inmuebles en ella contenidos y los 2 últimos son dos dígitos de control.

Desde la publicación de la Ley 36/2006, de 29 de noviembre, de medidas para la prevención del fraude fiscal, este identificador adquiere una relevancia fundamental. Al tener carácter oficial y obligatorio debe figurar en todos los instrumentos públicos, mandamientos y resoluciones judiciales, expedientes y resoluciones administrativas y en los documentos donde consten los hechos, actos o negocios de trascendencia real relativos al dominio y demás derechos reales, contratos de arrendamiento o de cesión por cualquier título del uso del inmueble, contratos de suministro de energía eléctrica, proyectos técnicos o cualesquiera otros documentos relativos a los bienes inmuebles que se determinen reglamentariamente, y está actualmente considerado por el legislador como el DNI de los inmuebles (Llombart Bosch,1998).

Entre los datos disponibles ofrecidos a través de la Sede Electrónica del Catastro son de especial relevancia para este estudio los referidos al **Uso Principal** del bien inmueble y el **Destino** de las construcciones. Los primeros se localizan en los datos tipo 15 y los siguientes en los datos tipo 14. Ambos se identifican mediante el código "V" (Residencial) establecido por ley.

3.2 Descarga e integración de datos catastrales

La descarga de los datos públicos se realiza con certificado digital a través de la Sede Electrónica del Catastro, en el portal de la Dirección General del Catastro. (<http://www.catastro.meh.es/>). Una excelente descripción de los datos, su formato y estructura se realiza en Mora-García et al (2015).

La información está disponible para cada municipio individualmente, y tanto los datos alfanuméricos (formato CAT), como los geométricos (formato shape), se vinculan a los ámbitos rústico y urbano. El proceso de descarga se ha repetido para cada uno de los 772 municipios de Andalucía, y posteriormente se han agrupado en una misma capa de información, tal como se describe a continuación:

a) Los datos alfanuméricos son facilitados en fichero de texto plano de contenido alfanumérico de 1.000 caracteres por línea, delimitados por un ancho fijo; estos datos contienen, para cada inmuebles, información relativa a cada finca, unidad constructiva, construcción, inmueble, reparto de elementos comunes y registro de cultivos en su caso, además de los registros de cabecera y cola del fichero. Para el trasvase de los datos planos al Sistema de Gestión de Base de Datos POSTGIS, se ha construido una aplicación en Python que permite la selección y estructuración de los datos en tablas de forma automática para todos los ficheros contenidos en un directorio dado. La herramienta permite importar todos o parte de los datos de interés, indicándose en un fichero de descripción la selección deseada.

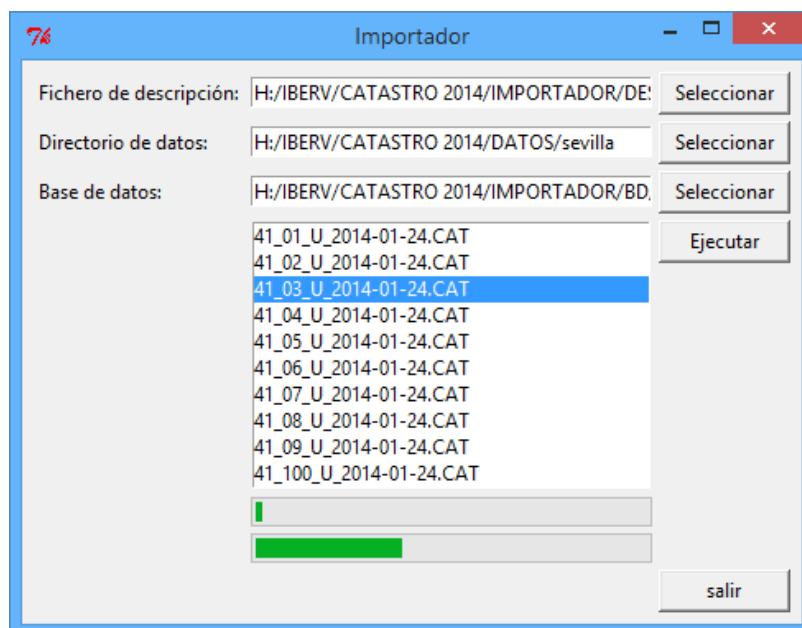


Figura 1. Importador de datos catastrales (CAT) construido para su integración en PosgreSQL/PostGIS.

b) La información gráfica se ha descargado en formato shape y contiene múltiples capas: puntos altimétricos, construcciones, elementos de referencia lineales, elementos de referencia puntuales, subparcelas, ejes viarios, elementos de referencia de textos, hojas planimétricas, mapa, masas catastrales, límites administrativos y parcelas. Esta última capa es la que se va a utilizar como referencia espacial del inventario residencial; este elemento arroja una cifra total de 5.359.253 parcelas en toda Andalucía.

Para la carga, se han diseñado scripts que permiten almacenar la geometría de forma continua en un Sistema de Gestión de Bases de Datos POSTGIS, unificándose el sistema de referencia espacial a ETRS89 UTM30N (EPSG:25830). Así mismo, se ha realizado la transformación de coordenadas en dos municipios (Málaga y Marbella) que se encontraban en EPSG:23030 utilizando la malla PENR2009 del Instituto Geográfico Nacional.

En la figura 2 se recoge el modelo de datos que refleja la estructura de la base de datos finalmente creada.

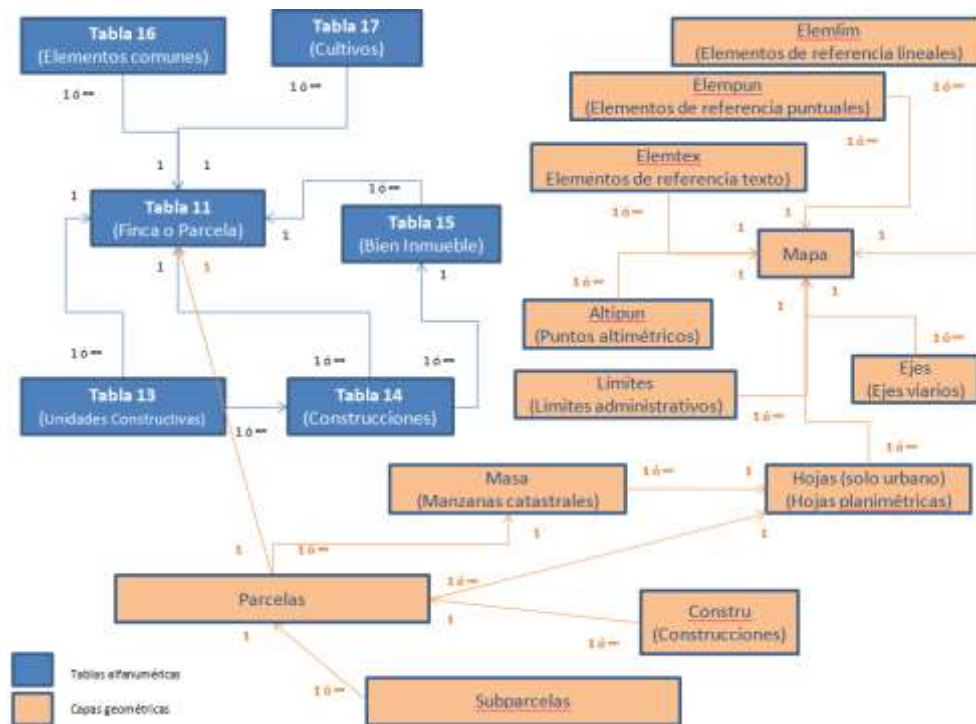


Figura 2. Modelo de datos de la información descargada del Catastro

3.3 Análisis y explotación de la información

Una vez integrada toda la información en la base de datos espacial, se ha procedido a realizar una serie de consultas mediante lenguaje SQL. Centrándonos en el objetivo principal de este trabajo, estas consultas iban dirigidas a la elaboración de dos tipos de indicadores de vivienda (figura 3). El primero de ellos (indicador PU005) se dirige a la extracción, para cada parcela catastral, del número total de inmuebles cuyo uso principal se consigna como residencial en la tabla 15.

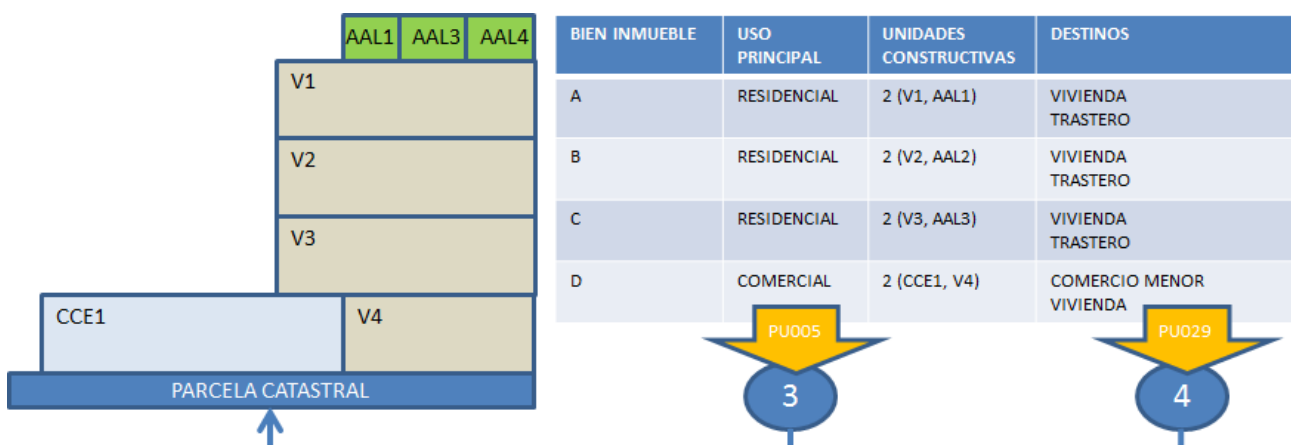


Figura 3. Ejemplo de extracción de los indicadores PU005 y PU029 en un edificio y asignación a la parcela catastral sobre la que se ubica

El segundo de los indicadores (indicador PU029) recoge, igualmente para cada parcela catastral, el número de inmuebles que contienen al menos un elemento constructivo cuyo destino se describe como vivienda en la tabla 14. Con ambos indicadores se pueden extraer distintas estadísticas y cartografías a diferente nivel, que comprenden desde el máximo detalle (parcela catastral) hasta el ámbito municipal, provincial o regional.

4. RESULTADOS

Los resultados globales del inventario residencial arrojan, a nivel provincial, las cifras que se recogen en la tabla 1. Como puede apreciarse los dos indicadores que se extraen muestran unos resultados de 4.283.788 (PU005) y 4.354.748 (PU029) inmuebles, respectivamente, con una diferencia para toda la región de 70.960 inmuebles. Tal como se muestra posteriormente a nivel cartográfico, esta diferencia se vincula especialmente a los ámbitos rurales, en los que lógicamente el bien inmueble suele presentar un uso principal diferente al residencial, pero donde es frecuente que existan construcciones destinadas a vivienda. Por provincias destacan a nivel absoluto los casos de Sevilla y Málaga, siendo esta última la que concentra un mayor número de viviendas independientemente del indicador que se utilice para su cálculo; en el caso de la diferencia entre indicadores, de nuevo es Málaga, seguida de Cádiz, la que presenta un mayor número de construcciones destinadas a vivienda que se vinculan a bienes inmuebles cuyo uso principal no es el residencial.

| | PU005 | PU029 | PU029 -PU005 | CR | PAR(5) | PAR(29) | PAR(29) - PAR(5) |
|------------------|------------------|------------------|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| ALMERÍA | 395.958 | 404.515 | 8.557 | 556.497 | 166.801 | 174.925 | 8.124 |
| CÁDIZ | 581.543 | 592.825 | 11.282 | 868.875 | 203.726 | 213.718 | 9.992 |
| CÓRDOBA | 377.273 | 381.183 | 3.910 | 519.647 | 191.803 | 196.109 | 4.306 |
| GRANADA | 523.946 | 530.662 | 6.716 | 818.431 | 255.488 | 262.228 | 6.740 |
| HUELVA | 299.559 | 304.405 | 4.846 | 420.724 | 132.061 | 135.857 | 3.796 |
| JAÉN | 342.545 | 347.396 | 4.851 | 533.667 | 209.111 | 213.549 | 4.438 |
| MÁLAGA | 923.303 | 945.187 | 21.884 | 1.306.435 | 272.009 | 291.239 | 19.230 |
| SEVILLA | 839.661 | 848.575 | 8.914 | 1.255.285 | 400.709 | 409.181 | 8.472 |
| ANDALUCÍA | 4.283.788 | 4.354.748 | 70.960 | 6.279.561 | 1.831.708 | 1.896.806 | 65.098 |

Tabla 1. Datos extraídos del inventario residencial generado. PU005- Número de bienes inmuebles con uso principal residencial; PU029- Número de bienes inmuebles con al menos una construcción con destino residencial; CR- Número de construcciones con destino residencial; PAR(5)- Número de parcelas con algún bien inmueble de uso principal residencial; PAR(29)- Número de parcelas con bienes inmuebles de uso principal residencial o con alguna construcción con destino residencial. Fuente: Elaboración propia a partir de Catastro, 2013.

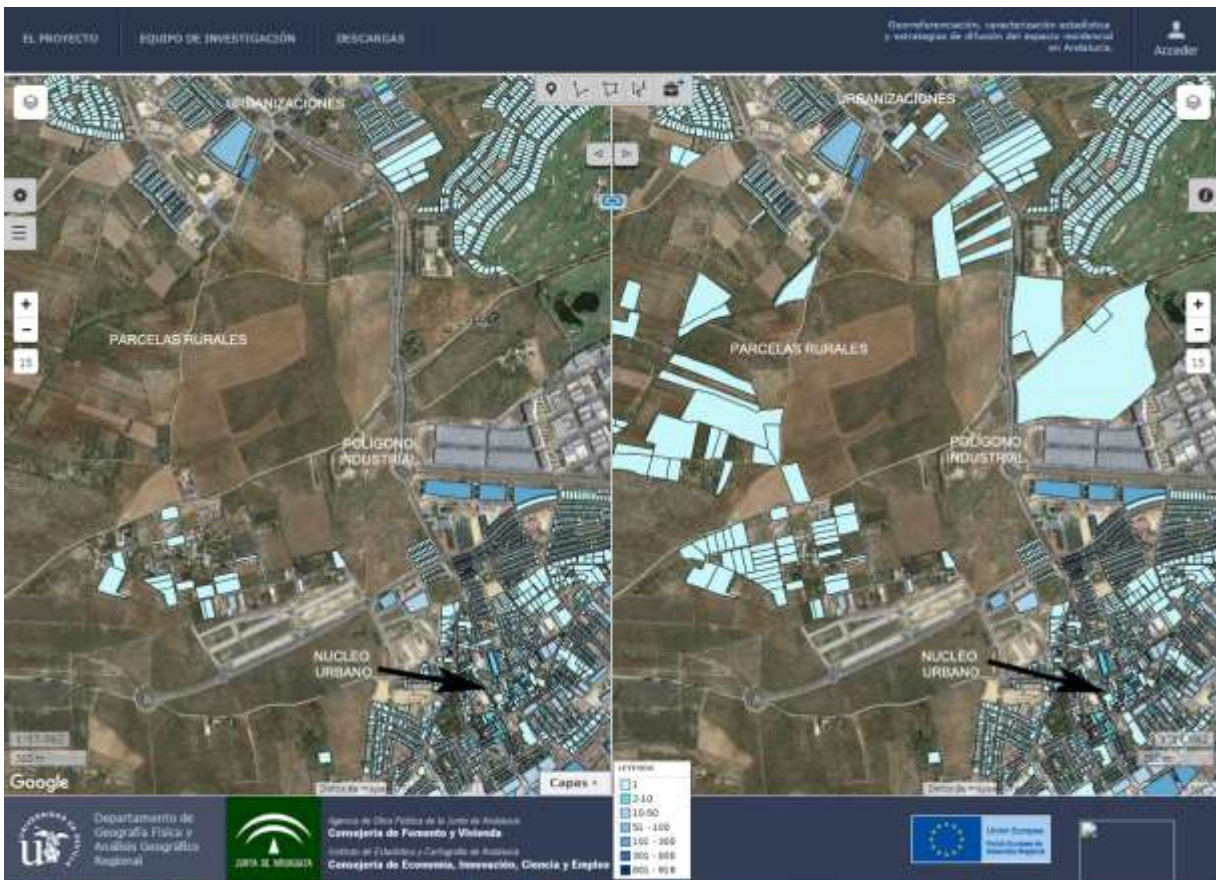


Figura 4. Cartografía a nivel de parcela catastral de los indicadores PU005 (izq) y PU029 (derecha). Puede apreciarse el aumento de parcelas en el ámbito rural, donde aunque los usos principales sean de otro tipo, existen construcciones cuyo destino es la vivienda. Fuente: Elaboración propia a partir de Catastro, 2013.

Tal como se ha comentado en el párrafo anterior, en figura 4 se representan los dos indicadores a nivel de parcela catastral. En la misma puede apreciarse la aparición de un mayor número de parcelas cuando se cartografía el indicador PU029, lo que suele restringirse a los ámbitos rurales; en el conjunto de Andalucía, la diferencia de parcelas entre ambos indicadores es de 65.098, como se recoge en la tabla 1.

Como otro ejemplo de salida cartográfica, la figura 5 muestra una representación del indicador PU029 a nivel municipal, es decir, para cada municipio se recoge el número de inmuebles que presentan al menos una construcción con destino vivienda. Como es lógico, la distribución de viviendas refleja de manera evidente los principales enclaves del poblamiento en la región, con las capitales de provincia y sus áreas metropolitanas como máximos exponentes, junto con los ejes que definen la costa y el valle del Guadalquivir. No obstante, aunque no forma parte de los objetivos de este trabajo, la comparación de estos datos con otros de carácter demográfico, abre interesantes vías de exploración de cuestiones vinculadas a los stocks de viviendas vacías o las segundas residencias, que pretenden ser examinadas en trabajos posteriores.

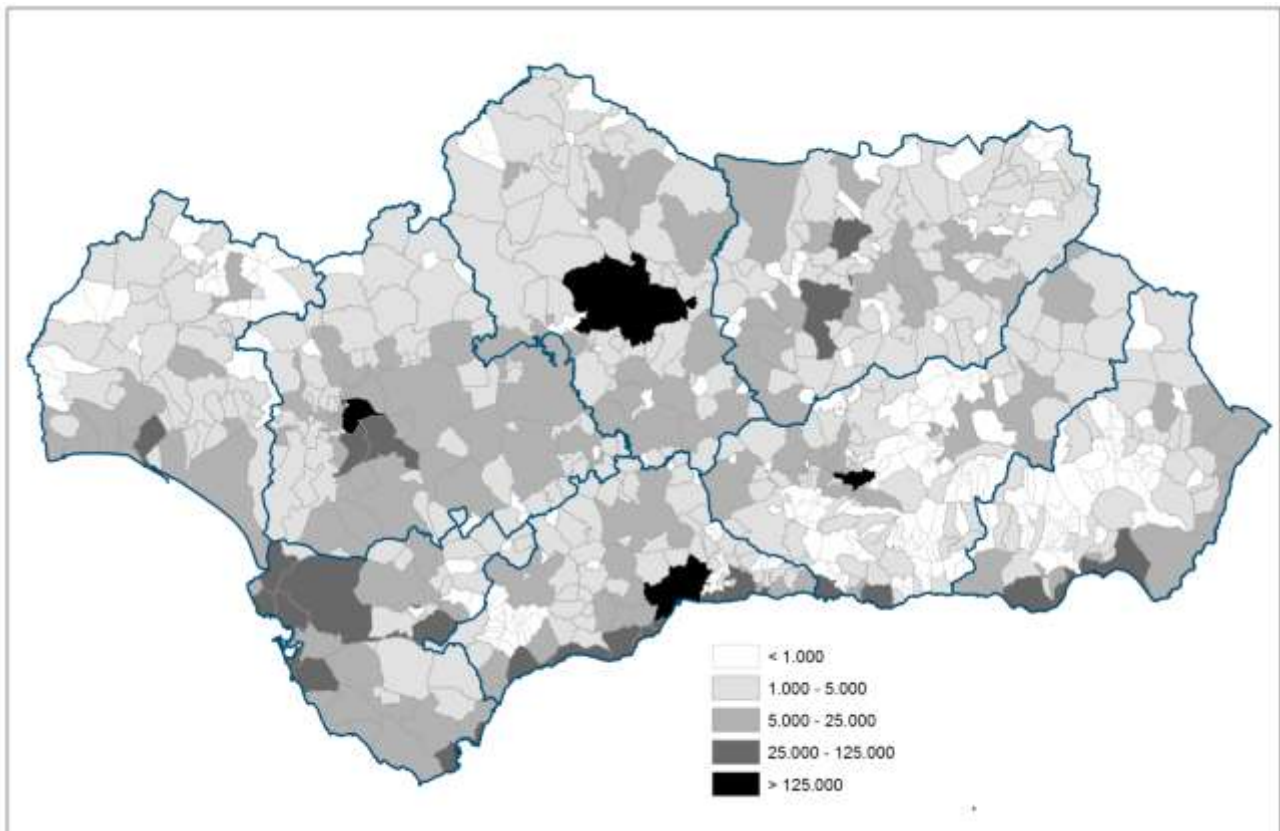


Figura 5. Representación del indicador PU029 (Nº de inmuebles con al menos una construcción con destino vivienda) a nivel municipal.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Para la realización de una comparativa y valoración del grado de similitud y fiabilidad en el número de bienes inmuebles de uso residencial incluidos en este estudio se ha seleccionado como estadística de referencia la Estimación del Parque de Viviendas (año 2013) elaborada por el Ministerio de Fomento.

A nivel nacional, esta estimación se realiza utilizando métodos indirectos basados en la información proporcionada por fuentes administrativas. A partir del número de viviendas procedentes de los Censos de Viviendas de 2001 y 2011, se actualiza el número total de viviendas existentes a 31 de diciembre de los años en curso. Se incorporan las viviendas nuevas construidas y las viviendas creadas por actuaciones de rehabilitación, eliminando todas aquellas viviendas suprimidas.

El parque de viviendas del año correspondiente (t) se define como el conjunto total de viviendas existentes en dicho año.

$$PV_t = PV_{t-1} + VTL_t + VTP_t + VCR_t - VSt$$

siendo:

PV_t el parque de viviendas en el año t

PV_{t-1} el parque de viviendas en el año t-1

VTL_t el número de viviendas libres terminadas en el año t

VTP_t el número de viviendas protegidas terminadas en el año

VCR_t el número de viviendas creadas por rehabilitación en el año t

VSt el número de viviendas suprimidas en el año t

En la tabla 2 se incluyen los datos extraídos para cada uno de los indicadores a nivel provincial, los que ofrece la Estimación del Parque de Viviendas, así como la expresión en porcentaje de los primeros respecto a los segundos. En términos regionales existe una mejor correspondencia entre los datos del Ministerio y los que arroja el indicador PU029; esto es así igualmente para todas las provincias, excepto en los casos de Huelva y Málaga, en los que, curiosamente, el mayor alejamiento de este indicador respecto a la referencia coincide con una sobrestimación de viviendas.

| | P005 | PU029 | FOM | %PU005_FOM | %PU029_FOM |
|------------------|------------------|------------------|------------------|--------------|--------------|
| ALMERÍA | 395.958 | 404.515 | 396.987 | 99,74 | 101,90 |
| CÁDIZ | 581.543 | 592.825 | 623.633 | 93,25 | 95,06 |
| CÓRDOBA | 377.273 | 381.183 | 400.253 | 94,26 | 95,24 |
| GRANADA | 523.946 | 530.662 | 535.247 | 97,89 | 99,14 |
| HUELVA | 299.559 | 304.405 | 290.509 | 103,12 | 104,78 |
| JAÉN | 342.545 | 347.396 | 348.570 | 98,27 | 99,66 |
| MÁLAGA | 923.303 | 945.187 | 905.761 | 101,94 | 104,35 |
| SEVILLA | 839.661 | 848.575 | 893.561 | 93,97 | 94,97 |
| ANDALUCÍA | 4.283.788 | 4.354.748 | 4.394.515 | 97,48 | 99,10 |

Tabla 2. Comparación de los datos extraídos del inventario residencial con los que ofrece el Ministerio de Fomento. PU005- Número de bienes inmuebles con uso principal residencial; PU029-Número de bienes inmuebles con al menos una construcción con destino residencial; FOM- Estimación del Parque de Viviendas del Ministerio de Fomento (2013); %PU005_FOM- Comparación porcentual entre el indicador PU005 y los datos del Ministerio de Fomento; %PU029_FOM- Comparación porcentual entre el indicador PU029 y los datos del Ministerio de Fomento.

A modo de conclusiones parciales ante la necesidad de una explotación más profunda del Inventario Residencia generado a partir de datos catastrales, se pueden realizar las siguientes consideraciones:

-La propuesta metodológica que se presenta es capaz de ofrecer una estimación muy sólida del número de viviendas existentes en un espacio de las dimensiones y complejidad territorial de Andalucía y, por tanto, es reproducible y aplicable a otros ámbitos de mayor o menor escala.

-Lejos de restringirse a la extracción de datos numéricos sobre la vivienda para diferentes ámbitos administrativos (regionales, provinciales, municipales), este inventario permite la generación de las cartografías correspondientes a todos estos niveles y, al apoyarse en una base de datos espacial, derivar otro tipo de cartografía como la que muestra a nivel de parcela catastral, o aquellas otras que se han generado en otro trabajo presentado (ver Pérez-Alcántara et al.).

-En este último sentido, las posibilidades que se abren a la hora de integrar los datos que se derivan de este inventario georreferenciado, con otros conjuntos de datos espaciales a escala de detalle (geocodificación de hogares y servicios, zonas de peligrosidad natural, etc) resultan de un interés indudable.

6. BIBLIOGRAFÍA

Cocero-Matesanz, D. et al (2014): "La utilización en los estudios urbanos de la cartografía catastral y su manejo mediante un SIG: aplicación al municipio de Getafe (Madrid)" *Espacio, tiempo y forma*. Serie VI, Geografía, Tomo 6-7, pp. 47-72.

Gálvez-Salinas, J.A.; Fischer, J. y Valenzuela-Montes, L.M. (2013): "Metodología para la desagregación espacial de la información demográfica, en ámbitos urbanos, mediante la elaboración de unidades espaciales modificables". *GeoFocus*, Vol. 13 (nº1), pp. 337-366.

López-Colas, J. y Morenés, J.A. (2014): "Heterogeneidad sociodemográfica de la calidad de la vivienda: España en comparación europea. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 66, pp. 271-289.

Llombart Bosch, J.M. (1998): "El catastro y su conexión con el Registro de la Propiedad". *Crónica tributaria*, Nº 87, pp. 145-166.

Mora-García, R. y Marti-Ciriquian, P. (2015): "Desagregación poblacional a partir de datos catastrales", en de la Riva, J., Ibarra, P., Montorio, R., Rodrigues, M. (Eds.) 2015: *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación*. Universidad de Zaragoza y AGE, pp. 305-314. XIV Congreso de la Asociación de Geógrafos Españoles, 28-30 de Octubre, Zaragoza. Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación.

Mora-García, R. et al. (2015): "Reutilización de datos catastrales para estudios urbanos", en de la Riva, J., Ibarra, P., Montorio, R., Rodrigues, M. (Eds.) 2015: *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación*. Universidad de Zaragoza y AGE, pp. 295-304. XIV Congreso de la Asociación de Geógrafos Españoles, 28-30 de Octubre, Zaragoza. Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación.

Obeso-Muñiz, I. (2014): "Análisis geográfico de los desahucios en España". *Eria*, 92, pp. 327-342.

Palacios-García, A.J (2008): "Fuentes estadísticas sobre la vivienda en España: un obstáculo para la política de vivienda. *Scripta Nova* (REVISTA ELECTRÓNICA DE GEOGRAFÍA Y CIENCIAS SOCIALES), Vol. XII, núm. 270 (38).

Rullán, O. y Artigues, A.A. (2007): "Estrategias para combatir el encarecimiento de la vivienda en España. ¿Construir más o intervenir en el parque existente? *Scripta Nova* (REVISTA ELECTRÓNICA DE GEOGRAFÍA Y CIENCIAS SOCIALES), Vol. XI, núm. 245 (28).

Santos-Preciado, J.M et al. (2012): "La cartografía catastral urbana y su utilización en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo residencial del sur de Madrid". *Nimbus*, nº 29-30, pp. 671-685.

Vara-Muñoz, J.L. y Vinuesa-Angulo, J. (2007): "El problema de la vivienda en la prensa: entre contradicciones y falacias". *Biblio 3W* (REVISTA BIBLIOGRÁFICA DE GEOGRAFÍA Y CIENCIAS SOCIALES), Vol. XII, nº 760.

CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA POTENCIAL DE LOS CENTROS DE SALUD DE LA CIUDAD DE SEVILLA. APORTACIONES DEL ANÁLISIS ESPACIAL AL MAPA DE ATENCIÓN PRIMARIA

Virginia Rodríguez Díaz¹, Serafín Ojeda Casares¹

¹ Universidad Pablo de Olavide, Departamento de Geografía, Historia y Filosofía, Ctra. de Utrera km. 1,41013, Sevilla, España. vroddia@upo.es, sojecas@upo.es

RESUMEN

La ordenación territorial de la Atención Primaria de Salud en Andalucía precisa de un continuado proceso de actualización como adaptación a los cambios geográficos, demográficos y de comunicaciones que se producen así como a las nuevas necesidades en salud de la población. Dicha actualización resulta más compleja en las grandes capitales de provincia, adscritas a Zonas Básicas de Salud que coinciden con los límites del término municipal y que exigen una mayor desagregación territorial de la información. En este contexto, la comunicación explora la aplicabilidad del análisis espacial en la identificación de la demanda potencial de los centros de salud de la ciudad de Sevilla como alternativa a la información ofertada en el Mapa de Atención Primaria aprobado por el Gobierno autonómico.

Mediante la aplicación de análisis de redes implementado en Sistemas de Información Geográfica se identifican ámbitos de proximidad a los centros de salud que, combinados con la información poblacional al máximo nivel de desagregación disponible (portales asociados a la dirección postal), permite definir la demanda potencial de cada centro asistencial así como caracterizar dicha demanda por grupos de edad.

El resultado aporta información útil y precisa a los procesos de toma de decisiones en planificación sanitaria mejorando la capacidad de adaptación de las estructuras de atención primaria a los cambios poblacionales y en base a los criterios establecidos por la normativa vigente.

Palabras clave: Planificación sanitaria; accesibilidad a centros de atención primaria; desagregación espacial de la población; análisis de redes; SIG.

ABSTRACT

THE POTENTIAL DEMAND AT HEALTH CARE IN SEVILLE. CONTRIBUTIONS OF SPATIAL ANALYSIS TO THE MAP OF PRIMARY CARE

Spatial planning of the primary health care in Andalusia requires a continuous process of updating to adapt to changes taking place in geography, demography and in the means of transport, as well as to new population health needs. This update is more complex in large provincial capitals, where the Basic Areas of Health coincide with the boundaries of the municipality and demand a greater territorial disaggregation of data. In this context, this paper explores the applicability of spatial analysis in the identification of the potential demand of health centres in the city of Seville as an alternative to the information provided on the map of primary care approved by the regional government.

Using networks analysis within geographic information systems, areas close to health centres are identified. Combining this information with the population data at the maximum level of disaggregation available (main building entrances), the potential demand of each health care centre is defined. The demand can also be characterized, for example, by age groups.

The result provides useful and accurate information for decision-making processes in health planning. It also improves the adaptive capacity of structures of primary health care to population changes and criteria determined by health regulations in force.

Keywords: health planning; accessibility to primary health care centres; spatial distribution of the population; network analysis; GIS

1. INTRODUCCIÓN

El acceso a la asistencia sanitaria, como parte fundamental de la Cobertura Sanitaria Universal que define nuestro Sistema Nacional de Salud, requiere un principio de igualdad que debe ser garantizado por los organismos públicos competentes en materia de salud. Desde esta perspectiva, los centros asistenciales son identificados como equipamientos colectivos: “dotaciones que la comunidad entiende como imprescindibles para el funcionamiento de la estructura social, y cuya cobertura, por consiguiente, debe ser garantizada por las administraciones públicas” (Hernández citado en Salado, 2004).

Es por ello que la importancia del acceso a la asistencia sanitaria se constituye como principio en la ordenación territorial de los recursos sanitarios como queda reflejado en la normativa vigente. La Ley 14/1986, de 25 de abril, General de Sanidad establece como eje central del sistema sanitario la cobertura universal, con un acceso a las prestaciones sanitarias en condiciones de igualdad efectiva (artículo 3.2.) garantizada por una política de salud orientada a la superación de desequilibrios territoriales y sociales (artículo 3.3.).

En este contexto normativo, los Gobiernos autonómicos son responsables de garantizar el acceso equitativo a las prestaciones sanitarias. La Administración andaluza articula el principio de igualdad de acceso en la Ley 2/1998, de 15 de junio, de Salud de Andalucía, incorporando en el artículo 2, apartado 1, el principio de “universalización y equidad en los niveles de salud e igualdad efectiva en las condiciones de acceso al Sistema Sanitario Público de Andalucía”.

Como instrumento de garantía de acceso de la población a la asistencia sanitaria, el gobierno autonómico define la ordenación territorial de la Atención Primaria de Salud mediante la normalización de las demarcaciones territoriales (Zonas Básicas de Salud) expresadas en el *Mapa de Atención Primaria de Salud* (Servicio Andaluz de Salud, 2003). Dicha configuración territorial, que organiza el primer nivel de acceso de la población al Sistema Sanitario Público de Andalucía, precisa de un continuado proceso de actualización como adaptación a los cambios geográficos, demográficos y de comunicaciones que se producen así como a las nuevas necesidades en salud de la población. Los procesos de actualización resultan más complejos en las grandes capitales de provincia, adscritas a Zonas Básicas de Salud que coinciden con los límites del término municipal y que requieren una mayor desagregación territorial de la información.

La circunstancia descrita dificulta los ejercicios de asignación oferta-demanda en la ciudad de Sevilla, cuya desagregación territorial de la ordenación sanitaria no se ajusta al comportamiento espacial de la demanda. Esta cuestión, necesaria para las labores de planificación y gestión de recursos sanitarios, puede ser resuelta mediante la combinación de las capacidades analíticas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la disponibilidad de datos de entrada en las operaciones analíticas que presenten una resolución espacial adecuada al ámbito territorial que nos ocupa.

El presente trabajo explora la aplicabilidad del análisis espacial en la identificación de la demanda potencial de los centros de salud de la ciudad de Sevilla como alternativa a la información ofertada en el Mapa de Atención Primaria aprobado por el Gobierno autonómico. De esta forma, mediante la aplicación de análisis de redes de transportes se ajusta la demanda potencial de los centros asistenciales según proximidad de la población. El algoritmo *Service Area Analysis* permite identificar ámbitos de proximidad a los centros de atención primaria a escala urbana que, combinados con la información poblacional al máximo nivel de desagregación disponible (portales asociados a la dirección postal), definen la demanda potencial de cada centro asistencial, incluida su caracterización por grupos de edad.

El resultado aporta información útil y precisa a los procesos de toma de decisiones en planificación sanitaria mejorando de adaptación de las estructuras de atención primaria (equipamientos, infraestructuras y personal) a los cambios poblacionales y en base a los criterios establecidos por la normativa vigente.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

La aplicación de los SIG en el ámbito de la salud puede asociarse con tres posibles líneas: el estudio de patrones de distribución e interacción de los factores de riesgo de enfermedades, los patrones de distribución de la

morbilidad y mortalidad (ambas como campo de estudio de la Geografía Médica) y la distribución espacial, localización, provisión y regionalización de los servicios de salud, que implica el análisis del acceso y los factores relacionados con el acceso y el uso de los mismos (campo de la Geografía de los Servicios) (Wijeyaratne y De Savigny, 1995; Albert et al., 2000; Buzai, 2013).

Situándonos en la dimensión del estudio de la salud relativa al sistema de asistencia médica, la Geografía de los Servicios aborda la resolución de problemas territoriales considerando “los centros de atención médica como puntos de oferta distribuidos entre la población de demanda” (Buzai, 2013). Es por ello que las funcionalidades SIG en asistencia sanitaria se centran en determinar la cobertura de servicios e infraestructuras y la búsqueda de una localización óptima de acuerdo con los problemas y necesidades en salud de la población.

En los trabajos de definición de la demanda juegan un papel fundamental la identificación de umbrales de acceso a los centros asistenciales, así como la delimitación de áreas de influencia, ya sea desde el punto de vista del mercado (atendiendo más a conceptos de accesibilidad de *geomarketing*) o de la equidad en el acceso, en este caso denominadas áreas de servicio.

En una revisión más detallada de los trabajos de evaluación de la accesibilidad a los servicios de salud, se observa una evolución en la complejidad metodológica empleada. Los primeros estudios de determinación de áreas de servicio de centros asistenciales asociadas con la población (asignación de la población a los servicios prestados en instalaciones específicas), aplican como métrica de accesibilidad la distancia lineal o euclidiana. (Alventosa et al., 1993; Basoa y Otero, 1994; Lobato, 2001; Redondo, 2003; Gutiérrez y García, 2002; Villanueva, 2010; Norris et al., 2014).

Las aplicaciones basadas en la distancia euclidiana han dado paso al uso más generalizado de aplicaciones de análisis de redes como base en la detección de desigualdades de acceso, incorporan tanto indicadores de accesibilidad (geográfica, temporal, económica...), como la definición de áreas de mercado o de servicio de los equipamientos sanitarios. Además la forma más común de expresión de accesibilidad es el tiempo de viaje o *travel time* (Kohli et al. citado en Albert et al., 2000; Lovett et al., 2002; Hare y Barcus, 2007; Schuurman et al., 2006; Cinnamon et al., 2008; Prat et al., 2008; Olivet et al., 2008; McGrail y Humphreys, 2012).

En cuanto al empleo de los tiempos de viaje o *travel time*, las aplicaciones son diversas con un elemento común: la prioridad del uso de redes unimodales de transporte y la identificación de costes de viaje según velocidad media especificada para cada tipo de vía. Las variaciones se observan tanto en la caracterización de la demanda potencial (en función de los registros de población consultados o los límites administrativos aplicados), y los parámetros inherentes a la asistencia sanitaria.

3. ÁMBITO DE ESTUDIO

El ámbito de estudio corresponde a la ciudad de Sevilla, por lo que las necesidades de precisión espacial de los datos de origen tienen que presentar un nivel de desagregación territorial adecuada a dicha escala de análisis. A su vez, según un modelo de accesibilidad identificado (flujo de la demanda potencial a pie hacia el centro asistencial) y el algoritmo seleccionado (cálculo de áreas de servicio), el análisis debe contemplar los siguientes elementos definitorios de la accesibilidad: localización geográfica de los centros de oferta (centros de salud), la distribución de población (demanda) y la red de conectividad entre la población demandante y dichos centros. Una vez definidas las áreas de servicios de cada centro de salud, y mediante geoprocésamiento se identifica la demanda potencial para lo cual se trabaja con la localización espacial del lugar de residencia de la población salvando el secreto estadístico inherente a los datos asociados a cada portal.

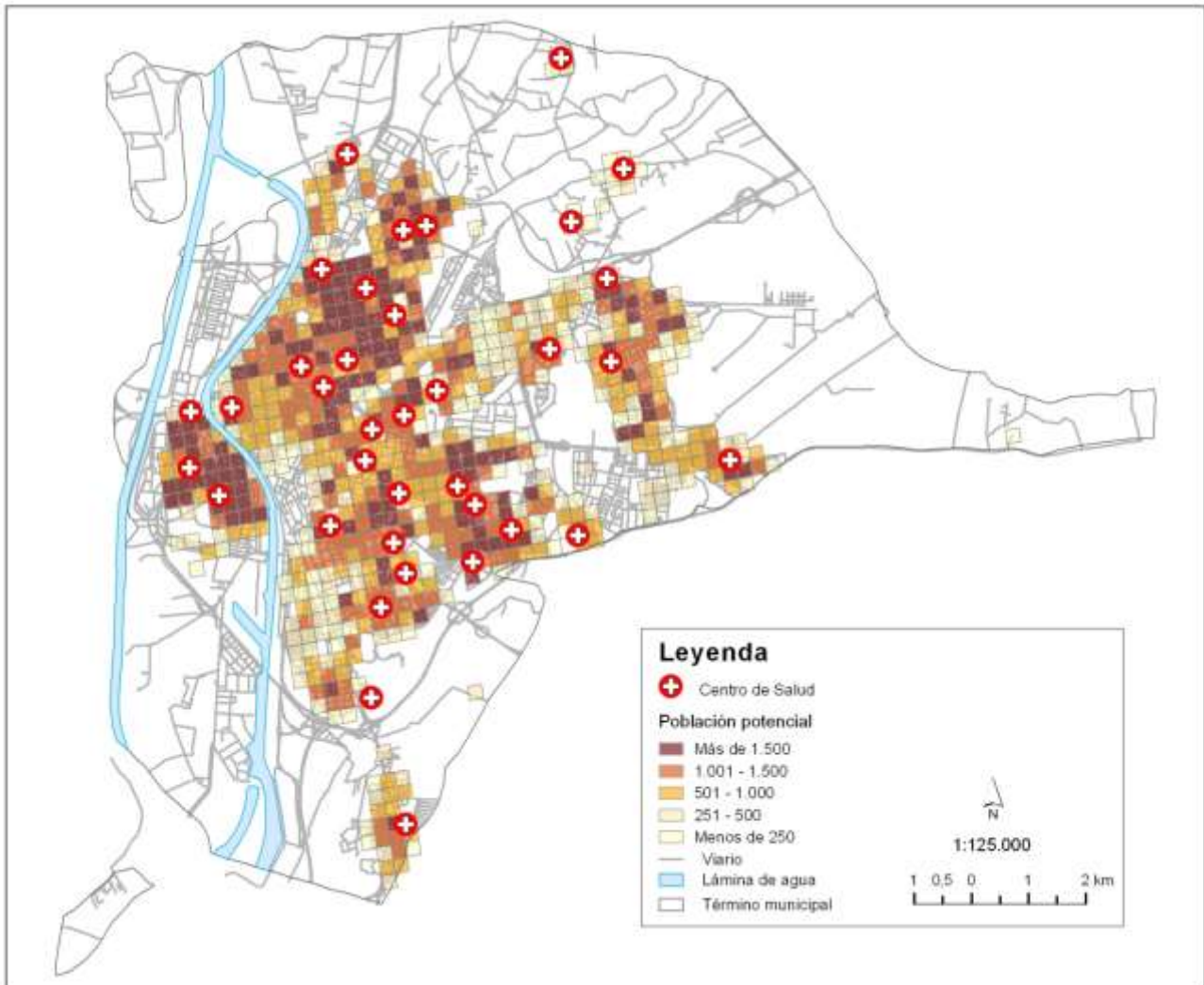


Figura 1. Localización espacial de los elementos definitorios de la accesibilidad para un ámbito local. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Consejería de Salud y el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (2016).

En este contexto, la capacidad de generalización de la accesibilidad de la población a la red de centros de salud de la ciudad de Sevilla será más o menos precisa en función de las características de las fuentes de datos, la precisión geométrica, topológica y temática de los datos espaciales de entrada a las operaciones analíticas y las capacidades de análisis espacial de las herramientas elegidas. Todos estos aspectos deben ser considerados siguiendo un criterio de coste-eficiencia que vendrá definido por la escala de trabajo, en nuestro caso una escala local y que delimita la cobertura espacial tanto de la red de centros, como de la distribución espacial de la población objeto de estudio y de la red de transportes que conecta ambos elementos de accesibilidad. En este sentido, según la *Mapa de Atención Primaria de Salud*, la Zona Básica de Salud de Sevilla (coincidente con el límite del término municipal) define la cobertura espacial de los datos, tal y como se aprecia en la Figura 1.

4. METODOLOGÍA

El éxito de los resultados del proceso metodológico diseñado dependerá tanto del concepto de accesibilidad de partida como de la capacidad de modelización o caracterización de los comportamientos espaciales de los elementos que lo conforman: nodos de demanda, nodos de oferta y la red que conecta ambos.

En dicho modelo, los equipamientos sanitarios se consideran como nodos de destino que sirven a una población demandante, también considerada como nodos relativos a individuos con una localización espacial. Los nodos de oferta y de demanda están conectados mediante una red de transporte que permite modelizar

el movimiento, en nuestro caso de personas. Dicha acepción permite afrontar la métrica de la accesibilidad a partir del tiempo de viaje o *travel time* (tiempo de tránsito o desplazamiento por una calle) que realiza un ciudadano a pie desde un nodo origen (lugar en el que reside) a un nodo de destino (centro de salud) a través del viario urbano. La facilidad de acceso de la población a su centro de salud más cercano estará influenciada por factores que atienden tanto a la estructuración de la red viaria como a la distribución espacial de los nodos (de origen/demanda y destino/oferta).

Desde el punto de vista instrumental, se elige para el desarrollo del trabajo un entorno de trabajo SIG, por lo que se contemplan las siguientes fases metodológicas: diseño e implementación de la base de datos, identificación de la demanda potencial de cada centro de salud mediante el cálculo de áreas de servicio y análisis espacial y caracterización de la demanda potencial frente a la demanda real o efectiva.

4.1 Diseño e implementación de la base de datos:

Las capacidades de automatización de datos permiten generar la base de datos espacial, elemento central del sistema, sobre la que operan el resto de funciones siguiendo una organización específica (modelo de datos). Los mecanismos de entrada de información dependerán de los formatos que presenten la información de partida (incluyendo o no procesos de transformación de los mismos), el formato de almacenamiento elegido y el ámbito territorial de análisis. A su vez deben ser corregidos problemas de calidad de los datos (exactitud posicional, exactitud temática, consistencia lógica y temporalidad) para que los procesos de obtención de la información sean adecuados.

En cuanto a los usuarios de la atención primaria distinguimos dos tipos: la demanda potencial que se obtiene mediante geoproceto a partir de la delimitación de las áreas de servicios resultantes del algoritmo elegido. Para ello es necesario identificar el total de población que se encuentra dentro de cada área de servicio. En este sentido, la fuente de información que permite aumentar el nivel de desagregación territorial en ámbito urbano, frente a la sección censal como fuente habitual, es el producto *Distribución Espacial de la Población de Andalucía* con datos de la *Base de Datos Longitudinal de la Población de Andalucía* (BDLPA) del Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA), con fecha 1 de enero de 2013. Para ello genera una malla regular de 250 m siguiendo las indicaciones derivadas de la experiencia llevada a cabo por el proyecto *Geostat* (ESSnet project Geostat) del Foro Europeo de Geografía y Estadística (EFGS).

Por otro lado la BLDPA proporciona una dirección postal para cada individuo y grupo de individuos (hogares). En el Callejero Digital de Andalucía 7Unificado (CDAU) cada uno de los portales tiene su dirección postal y sus coordenadas geográficas correspondientes. A través de complejas técnicas de enlace, las direcciones postales contenidas en la BDLPA se vinculan con el portal correspondiente del CDAU, asignándole a cada una de ellas una coordenada geográfica. En esta fase se genera una capa de puntos que representa portales a los que se asocia el número de residentes y sus características demográficas. El paso siguiente consiste en la agregación de esa información a cada celda, añadiendo por tanto los datos de portales y población asociada.

En el caso de la demanda efectiva o real se obtiene del *Sistema Integrado de Gestión e Información para la Atención Sanitaria DIRAYA-Primaria* (Servicio Andaluz de Salud, 2015). Dicha información incluye para cada centro de salud la población total adscrita según grupos de edad (con un rango de 5 años) y género.

La información relativa a la red que conecta población potencial y centros de salud se obtiene del *Callejero Digital de Andalucía Unificado* (CDAU) ofertado por el IECA (2016). Dicha información requiere un procedimiento de automatización para su incorporación en el SIG, que deriva en la construcción de un *Datasets de red* en base a la capa de información *viales*.

La identidad de origen, en nuestro caso el viario del CDAU, determina la conectividad de la red de transporte resultante así que es importante realizar un proceso previo de comprobación de la integridad de la información original, con la definición y validación de reglas topológicas (para líneas) que permiten identificar errores topológicos, especialmente de conectividad. Como regla topológica se aplica aquella que define errores de conectividad: "No deben quedar líneas sin conectar" (*must not have dangles*). El proceso de detección de errores según topología de la red de viales permite identificar un total 2.256 errores de conectividad, sobre

un total de 4.465 arcos, aunque hay que tener en cuenta que muchos de los errores se asocian a nodos finales de carreteras que no conectan con otra carretera, por lo que se marcan como excepción.

El grafo de carreteras corregido requiere un proceso de transformación con el fin de generar una red topológica como información básica de entrada en el análisis de redes de transportes con *Network Analyst*, cuyos atributos de circulación y comportamiento pueden consultarse en la Tabla 1. Los flujos en el interior de la red quedan definidos por impedancias de coste, expresando el tiempo que se tarda en realizar un recorrido a pie desde un nodo de origen a uno de destino y tomando como velocidad media de desplazamiento 4,5 km/h (Gutiérrez Puebla et al, 1999).

| Atributo | Tipo de uso | Unidad | Tipo de dato | Uso |
|------------------|-------------|-------------|--------------|---|
| Longitud de arco | Coste | Kilómetros | Doble | impedimento |
| Drive Time | Coste | Minutos | Doble | impedimento |
| Oneway | Restricción | Desconocida | Texto | restricción |
| Tipo de vía | Descriptor | Desconocida | Texto | Discriminar aquellas vía no transitadas a pie |

Tabla 1. Propiedades de la red de transporte generada. Fuente: Elaboración propia

4.2 Identificación de la demanda potencial de los centros de salud mediante el cálculo de áreas de servicio

El proceso de identificación de la demanda potencial de cada centro de salud supone el cálculo de áreas de servicio mediante análisis de redes y el cálculo del centroide de celdilla como identificación de la localización de la demanda potencial según su lugar de residencia. Esta operación es necesaria como método para ajustar la necesidad de desagregación territorial de los datos de demanda potencial y el secreto estadístico de los datos asociado al portal.

Para identificar el área de servicio de los centros de salud se emplea el algoritmo *Service Area Analysis* de la extensión *Network Analyst* de ArcGIS Desktop (versión 10.). Además, se establece como rango de impedimento el área de servicio de los 30 minutos, entendidos éstos como la accesibilidad límite desde un lugar de residencia al centro de salud más cercano, que coincide con la accesibilidad definida por normativa para la atención primaria (Decreto 195/1985, de 28 de agosto, sobre ordenación de los servicios de Atención Primaria de Salud de Andalucía). Los resultados de la aplicación del algoritmo, un total de 36 áreas, pueden consultarse en la Figura 2.

Una vez obtenidas las áreas de servicio se asigna la población potencial (ver Figura 3). La información de uso público que difunde el IECA sobre distribución de la población está agregada a la celda de 250 m. En el presente estudio se ha asignado a cada área de servicio la población correspondiente mediante una operación de unión por localización de punto a polígono. Se ha utilizado el centroide de cada celda y se ha localizado en el polígono que le corresponde dentro de la capa de áreas de servicio. La relación topológica es de inclusión (estar completamente dentro de) y se han sumado todos los datos de población de las celdas que se incluyen dentro de cada área de servicio. Al utilizar el centroide de las celdas se han dado una serie de casos en los que algunos de estos centroides quedan fuera de las áreas de servicios de los centros de salud. Estos casos se han dado lógicamente sólo en áreas periféricas del municipio, afectando a un número reducido de habitantes, que no superan las 13.000 personas.

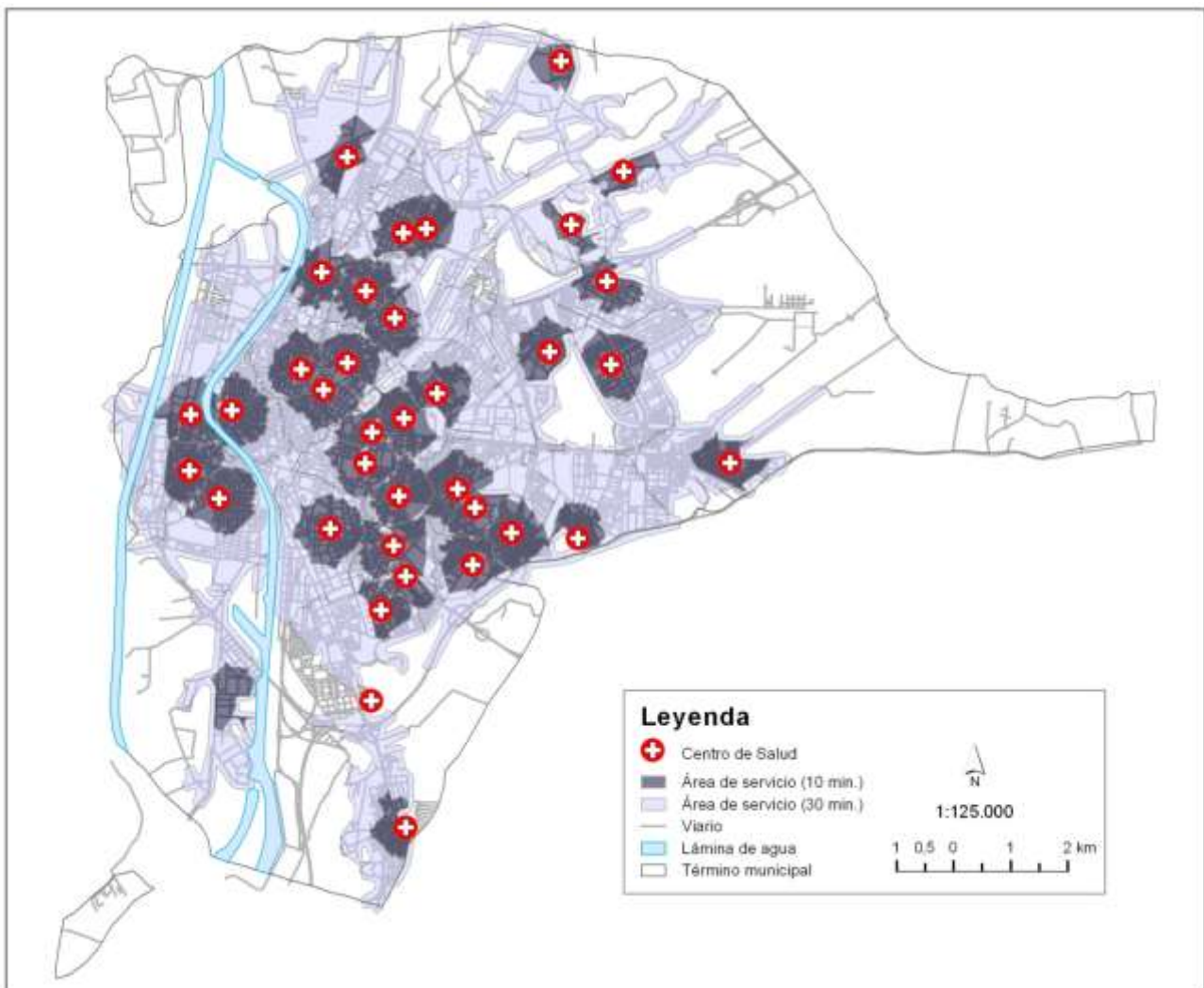


Figura 2. Mapa de áreas de servicio de los 10/30 minutos por centro de salud. Fuente: Elaboración propia.

4.3 Análisis espacial y caracterización de la demanda potencial frente a la demanda real o efectiva

Los datos derivados del proceso de obtención de la demanda potencial permiten analizar tanto el comportamiento espacial de la demanda según umbral de accesibilidad definido como su caracterización demográfica. Dicha información, considerada como los resultados del procedimiento metodológico, supone información útil y precisa frente a la delimitación actual de la Zona Básica de Salud así como a los datos de demanda efectiva o real disponibles para cada centro de salud.

5. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Realizadas las operaciones de análisis espacial descritas en los apartados anteriores se obtienen resultados que permiten identificar la demanda potencial para cada centro de salud en función del umbral de accesibilidad establecido, ofertando información de gran utilidad para las labores de planificación y gestión de los servicios de atención primaria en la ciudad de Sevilla.

En la Tabla 2 se aprecia una distribución de población potencial relativamente homogénea teniendo en cuenta la heterogeneidad en la distribución por zonas de la población y en los criterios de localización de los centros de salud. Dejando a un lado los centros de salud periféricos, El Gordillo, Valdeorras, Aeropuerto Viejo y Palmete, las áreas de servicio establecidas para una distancia de 30 minutos cuentan con una población potencial que va de los 10.000 habitantes a alrededor de 40.000, caso estos últimos de los centros de salud

de Virgen de África en Los Remedios y de Fuensanta Pérez de Quirós en Sevilla Este, zonas de fuerte densidad demográfica.

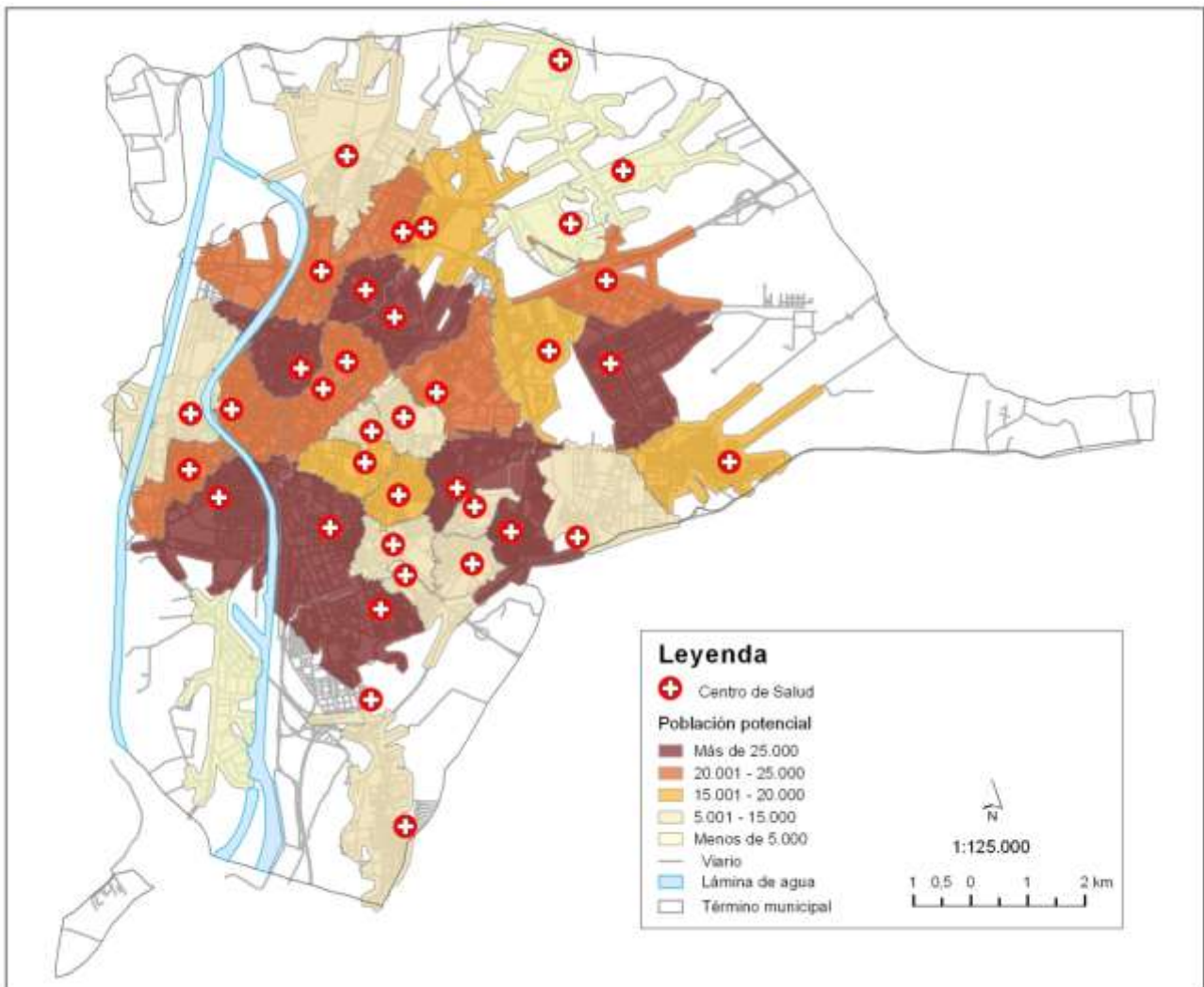


Figura 3. Mapa de demanda potencial adscrita por proximidad a cada centro de salud (30 minutos). Fuente: Elaboración propia.

Hay que citar el caso concreto del centro de salud Los Bermejales cuyos datos de asignación de demanda potencial (un total de 22 habitantes) se deben a un claro error de conectividad en la fuente de datos de origen de la red de transportes que distorsionan los resultados obtenidos.

Hay que tener en cuenta que el trazado que se ha hecho de las áreas de servicio es excluyente, es decir, que en los casos de solapamiento de más de un área se ha optado por asignar la población al centro de salud más cercano para evitar duplicidades en los datos de habitantes. De este modo se puede observar que los dos centros de salud citados no cuentan con otros centros que le hagan “competencia” desde el punto de vista de la población potencial que se le asigna, ya que el primero acoge a toda la población de Los Remedios y una parte significativa de Triana y en el segundo caso su área de influencia abarca una parte muy amplia de Sevilla Este.

En el caso opuesto se encuentran algunos centros que, aunque se encuentran en zonas de fuerte densidad demográfica, tienen la competencia de otros centros. Es el caso de Las Letanías, con el centro del Polígono Sur y el de El Juncal. Otros casos similares serían el del centro de Salud de la calle Mallén, que comparte espacio con el de El Greco y el de Huerta del Rey, así como el de Amate en una zona con una de las mayores densidades de población de la ciudad, que comparte territorio con los centros de La Candelaria y La Plata. En todos estos casos las distancias entre los distintos centros de salud no superan tampoco los 1.000 m.

| Centro de Salud | Población total | Menores 16 años | De 16 a 64 años | Mayores 64 años | Afiliación Seguridad Social | Población extranjera |
|-------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|----------------------|
| Aeropuerto Viejo | 582 | 79 | 372 | 87 | 128 | 10 |
| Alamillo | 23.342 | 3.229 | 15.305 | 4.805 | 6.211 | 3.179 |
| Alcosa Mercedes Navarro | 20.775 | 3.550 | 14.237 | 2.979 | 6.406 | 660 |
| Amante Laffón | 22.754 | 2.914 | 14.181 | 5.659 | 6.466 | 968 |
| Amate | 12.252 | 1.738 | 7.774 | 2.740 | 3.081 | 624 |
| Bellavista | 14.813 | 2.780 | 9.836 | 2.139 | 4.592 | 761 |
| Cerro del Águila | 12.799 | 2.026 | 8.572 | 2.185 | 3.344 | 654 |
| Cisneo Alto-Las Naciones | 31.302 | 4.216 | 21.900 | 5.186 | 9.838 | 905 |
| El Cachorro | 11.019 | 1.630 | 7.115 | 2.274 | 3.316 | 453 |
| El Gordillo | 573 | 59 | 382 | 56 | 152 | 6 |
| El Greco | 14.870 | 2.066 | 9.247 | 3.557 | 4.125 | 806 |
| El Juncal | 14.090 | 1.842 | 8.823 | 3.410 | 3.834 | 618 |
| El Porvenir | 26.993 | 4.574 | 17.367 | 5.036 | 7.907 | 790 |
| Esperanza Macarena | 24.469 | 3.206 | 16.638 | 4.625 | 7.709 | 1.451 |
| Huerta Del Rey | 17.140 | 2.709 | 10.954 | 3.477 | 5.145 | 424 |
| La Candelaria | 34.456 | 5.137 | 23.178 | 6.108 | 8.321 | 2.440 |
| La Plata | 26.273 | 5.127 | 17.769 | 3.376 | 7.213 | 1.506 |
| Las Letanías Dra. Inmaculada Vieira | 9.420 | 1.829 | 5.976 | 1.615 | 1.744 | 374 |
| Las Palmeritas | 16.864 | 2.094 | 10.031 | 4.739 | 4.636 | 564 |
| Los Bermejales | 52 | 0 | 36 | 0 | 7 | 14 |
| Mallen | 10.569 | 1.551 | 6.957 | 2.061 | 3.263 | 275 |
| María Fuensanta Pérez Quirós | 44.685 | 10.735 | 31.174 | 2.745 | 15.691 | 831 |
| Marqués de Paradas | 21.596 | 2.826 | 14.322 | 4.448 | 6.993 | 1.267 |
| Palmete | 6.050 | 1.236 | 4.108 | 622 | 1.592 | 316 |
| Pino Montano A | 18.899 | 2.955 | 13.715 | 2.183 | 6.120 | 415 |
| Pino Montano B | 22.116 | 4.494 | 16.041 | 1.569 | 7.785 | 405 |
| Polígono Norte | 32.192 | 4.666 | 21.090 | 6.436 | 8.156 | 2.904 |
| Polígono Sur | 25.248 | 4.758 | 16.245 | 4.236 | 5.801 | 963 |
| Puerta Este Dr. Pedro Vallina | 17.702 | 3.091 | 12.713 | 1.893 | 5.720 | 798 |
| Ronda Histórica | 24.429 | 3.465 | 15.692 | 5.272 | 7.318 | 1.055 |
| San Jerónimo | 9.775 | 1.672 | 6.468 | 1.614 | 2.597 | 440 |
| San Luis | 30.863 | 4.028 | 21.280 | 5.554 | 9.802 | 2.266 |
| San Pablo | 22.471 | 2.881 | 14.339 | 5.233 | 5.780 | 644 |
| Torreblanca | 19.505 | 3.890 | 12.834 | 2.729 | 4.347 | 595 |
| Valdezorras | 2.696 | 419 | 1.851 | 396 | 801 | 96 |
| Virgen de África | 39.871 | 5.601 | 24.553 | 9.692 | 11.459 | 1.847 |

Tabla 2. Caracterización de la demanda potencial (Área Servicio 0-30 min).

De la información con la que se ha trabajado es muy interesante también observar la distribución de la población según grupos de edad. Así quedan reflejados los procesos de crecimiento y de consolidación urbana. La presencia de población joven es mucho mayor en los dos centros de salud de Sevilla Este y en el de Pino Montano B. Es también destacable el caso de Torreblanca, que aunque es un barrio antiguo y muy consolidado, con población ya envejecida, toma parte de su población potencial de la parte sur de Sevilla Este. Por el contrario, los centros de salud con menor presencia de población joven y mayor presencia de población mayor de 65 años son los de Las Palmeritas en Nervión, El Juncal en el distrito Sur, Amante Laffón y Virgen de África en Triana y Los Remedios, respectivamente, así como San Pablo y El Greco en la zona del Polígono de San Pablo.

En la comparativa de datos de demanda potencial total y demanda efectiva por centro de salud (ver Tabla 4) se observan ciertas diferencias apreciables, destacando los centros de salud con más usuarios reales que los que les correspondería según accesibilidad, pero es más interesante destacar los resultados obtenidos de la distribución de la población por grupos de edad, según la demanda potencial asignada en el análisis de este trabajo, y los de la demanda efectiva según datos de la Consejería de Salud. De este modo, como se puede

observar en la Tabla 3, son muy significativos los datos de población menor de 16 años, según demanda real, para algunos centros de salud. Es el caso del Aeropuerto Viejo, Huerta del Rey, Esperanza Macarena y El Juncal, con muy escasa población joven, en torno al 1% sobre el total de población de su ámbito, cuando su población joven potencial en realidad se encuentra entre el 13 y el 15%. Esto puede deberse a la posibilidad de libre elección de médico.

| Centro de Salud | Demanda potencial | | | | Demanda efectiva | | | |
|---------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Poblac. total | Menores 16 años | De 16 a 64 años | Mayores 64 años | Poblac. total | Menores 16 años | De 16 a 64 años | Mayores 64 años |
| Aeropuerto Viejo | 582 | 79 | 372 | 87 | 764 | 17 | 573 | 174 |
| Alamillo | 23.342 | 3.229 | 15.305 | 4.805 | 26.180 | 3.343 | 17.422 | 5.415 |
| Alcosa M. Navarro | 20.775 | 3.550 | 14.237 | 2.979 | 24.453 | 4.126 | 16.716 | 3.611 |
| Amante Laffón | 22.754 | 2.914 | 14.181 | 5.659 | 24.704 | 3.162 | 16.051 | 5.491 |
| Amate | 12.252 | 1.738 | 7.774 | 2.740 | 22.565 | 2.784 | 15.374 | 4.407 |
| Bellavista | 14.813 | 2.780 | 9.836 | 2.139 | 13.760 | 2.351 | 9.206 | 2.203 |
| Cerro del Águila | 12.799 | 2.026 | 8.572 | 2.185 | 16.817 | 2.327 | 11.457 | 3.033 |
| Cisneo Alto-Las Naciones | 31.302 | 4.216 | 21.900 | 5.186 | 21.572 | 2.887 | 15.574 | 3.111 |
| El Cachorro | 11.019 | 1.630 | 7.115 | 2.274 | 17.907 | 2.464 | 12.033 | 3.410 |
| El Gordillo | 573 | 59 | 382 | 56 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| El Greco | 14.870 | 2.066 | 9.247 | 3.557 | 25.854 | 3.220 | 16.960 | 5.674 |
| El Juncal | 14.090 | 1.842 | 8.823 | 3.410 | 11.165 | 89 | 8.085 | 2.991 |
| El Porvenir | 26.993 | 4.574 | 17.367 | 5.036 | 31.577 | 5.301 | 20.843 | 5.433 |
| Esperanza Macarena | 24.469 | 3.206 | 16.638 | 4.625 | 30.388 | 216 | 22.871 | 7.301 |
| Huerta del Rey | 17.140 | 2.709 | 10.954 | 3.477 | 12.827 | 121 | 9.708 | 2.998 |
| La Candelaria | 34.456 | 5.137 | 23.178 | 6.108 | 20.564 | 3.523 | 13.997 | 3.044 |
| La Plata | 26.273 | 5.127 | 17.769 | 3.376 | 21.011 | 3.823 | 14.158 | 3.030 |
| Las Letanías Dra. Inmac. Vieira | 9.420 | 1.829 | 5.976 | 1.615 | 13.629 | 2.411 | 8.907 | 2.311 |
| Las Palmeritas | 16.864 | 2.094 | 10.031 | 4.739 | 18.377 | 3.162 | 10.822 | 4.393 |
| Los Bermejales | 52 | 0 | 36 | 0 | 23.402 | 5.101 | 15.374 | 2.927 |
| Mallén | 10.569 | 1.551 | 6.957 | 2.061 | 12.921 | 3.644 | 7.363 | 1.914 |
| María Fuensanta Pérez Quirós | 44.685 | 10.735 | 31.174 | 2.745 | 34.293 | 7.328 | 24.402 | 2.563 |
| Marqués de Paradas | 21.596 | 2.826 | 14.322 | 4.448 | 24.886 | 3.207 | 16.191 | 5.488 |
| Palmete | 6.050 | 1.236 | 4.108 | 622 | 5.139 | 942 | 3.511 | 686 |
| Pino Montano A | 18.899 | 2.955 | 13.715 | 2.183 | 15.562 | 2.189 | 11.383 | 1.990 |
| Pino Montano B | 22.116 | 4.494 | 16.041 | 1.569 | 20.799 | 3.891 | 15.274 | 1.634 |
| Polígono Norte | 32.192 | 4.666 | 21.090 | 6.436 | 28.030 | 4.011 | 18.984 | 5.035 |
| Polígono Sur | 25.248 | 4.758 | 16.245 | 4.236 | 13.465 | 2.826 | 9.127 | 1.512 |
| Puerta Este Dr. Pedro Vallina | 17.702 | 3.091 | 12.713 | 1.893 | 22.182 | 4.304 | 15.990 | 1.888 |
| Ronda Histórica | 24.429 | 3.465 | 15.692 | 5.272 | 31.908 | 7.174 | 19.161 | 5.573 |
| San Jerónimo | 9.775 | 1.672 | 6.468 | 1.614 | 11.108 | 1.725 | 7.396 | 1.987 |
| San Luis | 30.863 | 4.028 | 21.280 | 5.554 | 24.866 | 2.996 | 17.965 | 3.905 |
| San Pablo | 22.471 | 2.881 | 14.339 | 5.233 | 19.269 | 2.564 | 12.457 | 4.248 |
| Torreblanca | 19.505 | 3.890 | 12.834 | 2.729 | 20.620 | 3.830 | 13.829 | 2.961 |
| Valdezorras | 2.696 | 419 | 1.851 | 396 | 3.017 | 447 | 2.130 | 440 |
| Virgen de África | 39.871 | 5.601 | 24.553 | 9.692 | 32.500 | 4.576 | 21.106 | 6.818 |

Tabla 3. Análisis comparado de los datos estimados y la demanda efectiva.

6. CONCLUSIONES

La utilización de información con la distribución espacial de la población en una estructura de datos regular y en un nivel alto de desagregación permite un acercamiento más fiel a la realidad y ayuda en la realización de tareas de planificación de servicios públicos. En esta línea, el trabajo abordado permite prescindir de los límites del término municipal (coincidentes con la Zona Básica de Salud de Sevilla, según el Mapa de Atención Primaria) en las labores de planificación de los recursos de atención primaria y ajustar la oferta a una distribución territorial de la población demandante más realista.

Es por ello que hay que destacar la posibilidad de disponer de fuentes de datos que permiten conocer la distribución de la población en un nivel de desagregación lo más detallado posible. Hoy en día esto se puede llevar a cabo y es una tendencia en desarrollo a lo largo de los últimos años en la práctica totalidad de los países europeos. El salto cualitativo que se da al utilizar una celda regular y de tamaño reducido permite una mayor precisión en la identificación del lugar de residencia de la población.

Por otro lado, una dificultad constante en la mayoría de las aplicaciones de análisis de redes en ámbitos urbanos es las carencias de la información geográfica de partida, principalmente de la red de carreteras con problemas habituales de conectividad. Muchos de los autores analizan expresamente dichos problemas de conectividad, aportando soluciones para la mejora de la información de input en la utilización de algoritmos de análisis de redes (Prat et al. 2008). En el estudio realizado se ha apreciado errores de conectividad que distorsionan los resultados como queda patente en el caso del área de servicio del centro de salud Los Bermejales. Estos errores deben ser corregidos mediante labores de edición que permitan mejorar la calidad topológica de la fuente origen.

La mejora de en la calidad de los datos de partida y la posibilidad de trabajar asignando a cada persona residente las coordenadas que le corresponden a nivel de portal, mejorarían sin duda los resultados obtenidos en este análisis. No obstante, hay que tener en cuenta las limitaciones en este sentido debido a restricciones impuestas por motivos de confidencialidad de la información estadística.

7. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación ha sido financiada por el Grupo de Investigación ADINA (HUM-750), perteneciente al Plan Andaluz de Investigación, Desarrollo e Innovación de la Junta de Andalucía. Los autores agradecen al Servicio de Información y Evaluación la Consejería de Salud y al Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía el acceso a las fuentes de datos fundamentales para el desarrollo del trabajo.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Salado García, M.J. (2004): "Localización de los equipamientos colectivos, accesibilidad y bienestar social", en: Bosque Sendra, J. y Moreno Jiménez, A. (coord.). *Sistemas de información geográfica y localización óptima de instalaciones y equipamientos*. Madrid, Ra-Ma, pp. 17-51.
- Wijeyaratne, P. y De Savigny, D. (1995): *GIS for Health and the Environment*. Ottawa, International Development Research Centre.
- Albert, D.P., Gesler, W.M. y Levergood, B. (Eds.) (2000): *Spatial analysis, GIS, and remote sensing applications in the health sciences*. Chelsea, Michigan, Ann Arbor Press.
- Buzai, G.D. (Dir.) (2013): "Sistemas de Información Geográficas aplicados en Salud Líneas de investigación", en *XIV Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica (CONFIBSIG)*, 3-5 de julio, Universidad Nacional Autónoma de Honduras, pp. 1-9.
- Lovett, A., Haynes, R., Sünnerberg, G. y Gale, S. (2002): "Car travel time and accessibility by bus to general practitioner services: a study using patient registers and GIS", *Social Science & Medicine*, 55, pp. 97-111.
- Hare, T.S. y Barcus, H.R. (2007): "Geographical accesibility and Kentucky's heart-related hospital services", *Applied Geography*, 27, pp. 181-205.
- Alventosa, C., Paniagua, E. y Vicent, D. (1993): *Isocronas sanitarias: accesibilidad geográfica a los recursos de la Red Sanitaria Pública en la Comunidad de Madrid*. Madrid, Consejería de Salud, Comunidad de Madrid.
- Basoa Rivas, G. y Otero Puime, A. (1994): "Accesibilidad geográfica a los centros de salud y planeamiento urbanístico en Fuenlabrada (Madrid)", *Revista de Sanidad e Higiene Pública*, 4, pp. 503-511.
- Lobato, I. (2001): "Progroma VISIG para la georreferenciación delas oficinas de farmacia de la Comunidad de Madrid", *Geosanidad*, septiembre, pp. 1-3.

- Redondo, J.C. (2003): "Estudio de accesibilidad y cobertura de la red de asistencia sanitaria de la Comunidad de Madrid", *Geosanidad*, 10, pp. 1-8.
- Gutiérrez Puebla, J. y García Palomares, J.C. (2002): "Accesibilidad peatonal a la red sanitaria de asistencia primaria en Madrid", *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, vol. extraordinario, pp. 296-280.
- Villanueva, A. (2010): "Accesibilidad geográfica a los sistemas de salud y educación. Análisis espacial de las localidades de Necochea y Quequén", *Revista Transporte y Territorio*, 2, pp. 136-157.
- Norris, P., Horsburgh, S., Sides, G., Ram, S. y Fraser, J. (2014): "Geographical access to community pharmacies in New Zealand", *Health & Place*, 29, pp. 140-145.
- Schuurman, N., Fiedler, R.S., Grzybowski, S.C. y Grund, D. (2006): "Defining rational hospital catchments for non-urban areas based on travel-time", *International journal of health geographics*, 5, pp. 43.
- Cinnamon, J., Schuurman, N. y Crooks, V.A. (2008): "A method to determine spatial access to specialized palliative care services using GIS", *BMC Health Services Research*, 8, pp. 140.
- Prat, E., Sánchez, J., Pesquer, L., Olivet, M., Aloy, J., Fusté, J. y Pons, X. (2008): "Estudio sobre la accesibilidad de los centros sanitarios públicos de Cataluña", en Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.) *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*, 15 y 19 de septiembre de 2008, Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la Universidad de Las Palmas de Gran Canarias, pp. 396-411.
- Olivet, M., Aloy, J., Prat, E. y Pons, X. (2008): "Oferta de servicios de salud y accesibilidad geográfica", *Medicina Clínica*, 131(4), pp. 16-22.
- McGrail, M.R. y Humphreys, J.S. (2009): "Measuring spatial accessibility to primary care in rural areas: Improving the effectiveness of the two-step floating catchment area method", *Applied Geography*, 29, pp. 533-541.
- Gutiérrez Puebla, J. (1998): "Redes, espacio y tiempo", *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 18, pp. 65-86.

FILTRADO DE DATOS TWITTER PARA CAPTURAR PATRONES DE MOVILIDAD DE UN ÁREA METROPOLITANA. APLICACIÓN AL ÁREA DE VALENCIA

Carmen Zornoza-Gallego¹, Julia Salom-Carrasco¹, Ignacio Maestro-Cano¹

¹ Instituto de Desarrollo Local, Departamento de Geografía, Universidad de Valencia. Avda. Blasco Ibáñez, 28. 46010. Valencia, España. carmen.zornoza@uv.es; Julia.Salom@uv.es; igmaeca@gmail.com

RESUMEN

Este trabajo pretende aproximarnos al empleo de datos provenientes de Big Data para obtener información sobre la movilidad de los habitantes de un área determinada. En este caso se empleará la red social Twitter por la amplia disponibilidad de datos georreferenciados.

La principal aportación se basa en el estudio de las características de la fuente y en su validez para estudiar la movilidad de un área. Se elabora una propuesta metodológica para el filtrado de los datos con el fin de adecuarlos a la obtención patrones de movilidad empleando Sistemas de Información Geográfica (SIG).

La aplicación práctica se centra en la provincia de Valencia como una primera aproximación al estudio del Área Metropolitana de Valencia. La validación de la fuente de datos se ha centrado en la obtención del lugar de residencia de los usuarios y en su comparación con el padrón municipal. Los resultados obtenidos presentan una fuerte correlación, indicando que la metodología es adecuada y que las posibilidades de uso de esta información son amplias.

Palabras clave: Big Data; Movilidad; Sistemas de Información Geográfica.

ABSTRACT

The aim of this paper is to study the possible use of data from Big Data to obtain information about the mobility of a community. The social network we have chosen is Twitter due to the great range and easy accessible geo-referenced data it provides.

The main contribution of the investigation is based on the analysis of the source characteristics and its possibilities for being used as valid information for a mobility study. A methodological proposal was created to filter raw data with the objective to obtain any patterns of mobility, utilizing Geographical Information Systems.

In the initial approach we collected data of the entire province of Valencia in order to allow a further study of the Valencian Metropolitan Area. We validate the source comparing the results of the home locations detected by Twitter and the census. The results show a strong correlation, indicating that the methodology is appropriate and that the possibilities of this information are vast.

Keywords: Big Data; Mobility; Geographical Information Systems

1. INTRODUCCIÓN

El acceso a nuevas fuentes de información, sean de tipo colaborativo, aportadas por el usuario, o derivadas de la gestión inteligente de las ciudades, combinadas con las herramientas TIG y la cartografía permite abordar nuevos análisis que proporcionan una información que en ocasiones suplementa las limitaciones de algunas de las fuentes tradicionales. Sin embargo, exige una depuración de los datos, un mecanismo de control de resultados y un tratamiento previo en combinación con nuevos marcos teóricos y estrategias metodológicas para poder extraer todas sus potencialidades. En esta comunicación pretendemos realizar una aportación en esta línea de trabajo proponiendo un proceso de filtrado de datos procedentes de fuentes sociales, en este

caso Twitter, para analizar patrones de movilidad de la población en un AM. Se elige dicha plataforma porque permite descargar información geolocalizada de sus usuarios y por ser una de las redes sociales más utilizada.

El interés de este trabajo es amplio, ya que aúna dos campos de estudio, la movilidad metropolitana y el análisis de las posibilidades que ofrecen los Big Data. Tradicionalmente la generación de la información para un estudio de movilidad ha sido una parte compleja y costosa, dependiente de trabajos específicos (realización de aforos, encuestas...). Actualmente el uso de redes sociales posibilita recabar información en tiempo real y sin coste específico para la investigación, aunque partiendo de la base de que los datos se han producido con otro objetivo, por lo que se requerirá un amplio esfuerzo de detección y extracción de aquellos válidos para el fin propuesto. Por otro lado, el estudio de las posibilidades del Big Data en sí mismo es un campo novedoso y con gran interés para la Geografía. Se trata de información hasta ahora inexistente, donde millones de usuarios generan rastros de sus actividades cotidianas que pueden contener información sobre diversas esferas de su vida. El valor de esta información puede ser excepcional bajo una correcta gestión y es específicamente ahí donde se enmarca la finalidad de la presente comunicación.

El trabajo que se presenta forma parte de un estudio más amplio que se está llevando a cabo en la actualidad, por lo que son muchas las líneas de trabajo abiertas que se están desarrollando. En la presente comunicación nos centramos en el conocimiento de la fuente y las características de los datos que contiene, pudiendo así determinar su validez para según qué trabajos, así como en la identificación del lugar de residencia de la persona que emite los mensajes, con el fin de realizar "a posteriori" un seguimiento de sus desplazamientos en base al lugar de emisión.

De forma específica, los objetivos principales del trabajo son:

1. Conocer la naturaleza de los datos geolocalizados que provienen de Twitter
2. Elaborar una propuesta metodológica para el filtrado de los datos con el fin de capturar patrones de movilidad
3. Analizar la validez de esta fuente para capturar dichos patrones, centrándonos en la detección de su lugar de residencia como punto base.

El trabajo se presenta empleando una estructura convencional, partiendo de la revisión del estado de la cuestión que ofrece diferentes enfoques y la detección de posibles problemáticas a tratar. A partir de esta revisión y de un trabajo de análisis específico se expone la metodología propuesta, sobre la que se trabaja con la muestra de datos obtenida. El análisis de los resultados para la provincia de Valencia ofrece una visión clara de la validez de la fuente y del uso que se puede hacer de la misma.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

La revisión de trabajos anteriores es la base para plantear el trabajo actual, posibilitando un estudio fundamentado y comparado. En este apartado se señalarán únicamente los trabajos que se emplean como referentes para definir la metodología propuesta.

Uno de los trabajos de referencia es el de Haung et al (2015), en donde se analizan las pautas de movilidad humana empleando una perspectiva individual espaciotemporal a partir de datos Twitter. En ese trabajo, la recopilación de datos durante un amplio periodo de tiempo les permitió obtener la evolución temporal de las posiciones individuales, reconociendo patrones regulares e irregulares de desplazamiento. La forma de abordar este análisis de movilidad se basa en los estudios de Kwan (1999), quien afirmó que las pautas comunes de movilidad pueden reconocerse a través de múltiples trayectorias individuales. Sin embargo, el

estudio de Haung antes citado basa su filtrado de datos en seleccionar usuarios con gran número de tweets geolocalizados y en eliminar manualmente aquellos que corresponden a organizaciones, lo que no se ajusta estrictamente al trabajo que aquí desea desarrollarse.

Más interesante desde nuestra perspectiva es el trabajo de Jurdak et al (2015), cuyos resultados concluyen la existencia de correlación entre el lugar desde donde más tweets realiza un usuario, que denominaremos posición dominante, y su residencia, lo que constituye la hipótesis de partida de la presente comunicación. En ese trabajo se emplean diversos procedimientos de filtrado de datos orientados a conocer y eliminar sesgos provenientes de la información. En primer lugar, a partir de distintas funciones, definen una distancia de 100 m como umbral máximo para determinar movimientos realizados dentro lo que consideran un mismo lugar. Por otra parte, partiendo de la idea de que los 140 caracteres que contiene un tweet puedan ser escasos para que un usuario se exprese, consideran la posibilidad de que algunos de ellos realicen tweets consecutivos desde una misma ubicación, lo que sesgará el cálculo de posiciones dominantes. Esta posibilidad se incrementa ante ciertos eventos que aumentan el uso de Twitter en un momento determinado (deportivos, políticos, sociales...). Para eliminar el impacto de estas actitudes se integrará un filtrado específico.

En el presente trabajo se adopta la perspectiva de obtener pautas generales a partir de las individuales de Kwan (1999) y Haung et al. (2015), desarrollando la hipótesis de Jurdak et al. (2015) para la identificación del lugar de residencia del usuario. Por otra parte, tomamos el límite de los 100m definido por Jurdak et al. (2015) como distancia mínima para considerar que se ha producido movimiento. Por el contrario, a diferencia de los autores mencionados, la selección de usuarios se realizará teniendo en cuenta cantidad de posiciones diferentes, no un número mínimo de tweets. Finalmente, de los trabajos de Hasan (2013) y Gabrielli et al (2014), que combinan datos de Twitter y Foursquare para caracterizar los desplazamientos urbanos en función a la finalidad de los mismos, recogemos la idea de la importancia de diferenciar las tipologías de las posiciones observadas. Es decir, que la fuente de datos contiene información de diversas actividades y es necesario reconocer el motivo del desplazamiento para obtener buenos resultados.

3. ÁMBITO DE ESTUDIO

La presente investigación se enmarca en el estudio de la movilidad en el ámbito del Área Metropolitana de Valencia, si bien en esta primera aproximación se han tomado datos referentes a la provincia de Valencia. Por un lado, de esta forma la cantidad de municipios testeados aumenta y permite ver qué ocurre en las zonas más rurales con menor población. Por otro lado, tendremos así la posibilidad de trabajar con las distintas delimitaciones del AMV, observando si los patrones de movilidad marcados por Twitter responden mejor a unas delimitaciones u otras, e incluso dejando abierta la posibilidad de trazar un área nueva. La dimensión del área de estudio condiciona los resultados, ya que su tamaño es mediano en relación a los ámbitos tratados en estudios de otros autores, por lo que la generación de datos de este tipo es menor a la de otros entornos analizados desde esta perspectiva. La recogida de datos se enmarca entre las fechas 5/06/2015 y 21/02/2016, habiendo sido posible recabar información de 146 días, 22.641 usuarios y un total de 177.675 tweets.

4. METODOLOGÍA

El punto de partida es la programación de la API de Twitter para la descarga en tiempo real de la información georreferenciada que se produce en el área seleccionada. Tras el acopio de un periodo de tiempo amplio (146 días), se procede a realizar este primer análisis de datos empleando como herramienta fundamental los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Debido a que el trabajo es en sí un análisis de la fuente, será más representativo para su exposición explicar el procedimiento de filtrado conforme se vaya conociendo la fuente, por lo que en este punto se presenta un esquema básico de la metodología y será en el apartado de resultados donde se encuentre en detalle el

proceso. La propuesta metodológica para el uso de Twitter como fuente de datos para capturar patrones de movilidad es la siguiente:

1. Estudio de la fuente:
 - a. Datos contenidos
 - b. Generación de la información y precisión espacial asociada
2. Filtrado de los datos para obtener información de movilidad:
 - a. Filtrado de usuarios por fuente: Se eliminan los datos que no han sido generados por personas individuales
 - b. Filtrado de tweets por comportamiento: Se eliminan los tweets masivos
 - c. Filtrado de usuarios según movilidad reflejada: Se eliminan los usuarios con movilidad poco representativa.
3. Detección del lugar de residencia y validación con el padrón.
4. Conclusiones

5. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Estudio de la fuente:

a. Datos contenidos:

Los datos procedentes de la API de Twitter que se pueden descargar para cada tweet georreferenciado y que utilizaremos para estudiar la fuente son los siguientes:

- Latitud, Longitud (Datum WGS84)
- Fecha y hora de producción del Tweet
- Identificador único del usuario
- Nombre de usuario
- Localización: seleccionada por el usuario, no tiene por qué corresponderse con una localización real.
- Idioma: seleccionado por el usuario, no tiene por qué corresponderse al utilizado en la generación de tweets.
- Fuente del tweet: Twitter, Instagram, Foursquare, Endomondo, etc. Permite conocer el tipo de datos que comparte y además constituye la base para conocer la forma en que se generan las posiciones y su precisión espacial.
- Identificador único del Tweet
- Texto del Tweet

A partir de estos datos se crean las unidades puntuales que localizan en el tiempo y el espacio cada tweet y su información asociada.

b. Cómo se generan los puntos de posición

La primera característica a tener en cuenta es que la información georreferenciada de la que hacemos uso no proviene únicamente de la propia plataforma de Twitter, sino que son muchas otras las que la utilizan para enlazar sus propios datos. Es decir, que otras redes sociales tienen la opción de conectar con la cuenta Twitter

del usuario para volcar también sus contenidos. En nuestro caso de estudio, las fuentes de datos con más de 100 tweets registrados se distribuyen de la siguiente forma:

| Fuente | Tweets | Porcentaje | Válidas Movilidad |
|-------------------------|--------|------------|-------------------|
| Instagram | 80.254 | 45,39% | si |
| Twitter | 65.368 | 36,97% | si |
| Foursquare | 7.725 | 4,37% | si |
| Tráfico | 6.341 | 3,59% | no |
| Tendencias | 6.089 | 3,44% | no |
| Tiempo | 5.391 | 3,05% | no |
| Deporte | 1.844 | 1,04% | si |
| Plataforma externa | 1.795 | 1,02% | si |
| Foros de localidades | 1.411 | 0,80% | no |
| Hoteles, atracciones... | 361 | 0,20% | si |
| Juegos | 224 | 0,13% | no |

Tabla 1. Fuente inicial de los tweets. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la API Twitter

A través la tabla 1 es posible reconocer las principales fuentes que vuelcan información en Twitter; de ellas, las tres principales, Instagram, Twitter y Foursquare, contienen el 86,73% del total. De esto se deriva también que el 63,03% de los tweets provienen inicialmente de plataformas distintas a Twitter. La importancia de este dato es que cada una de ellas georreferencian la información bajo sus propios parámetros, por lo que se debe conocer cuál es su funcionamiento básico. Haremos un recorrido por las principales:

En **Twitter** hay dos maneras de usar servicios de ubicación:

- Pulsando el marcador de “localización” al redactar el tweet y seleccionando de forma manual a partir del listado que ofrecen la localización que se desea etiquetar
- Activando el botón específico de “Compartir localización exacta”, de forma que la aplicación accede al GPS y comparte la latitud y longitud con la precisión del dispositivo GPS del móvil.

La API no incluye información del procedimiento por el que se ha geolocalizado el tweet, por lo que tenemos datos de distinta precisión que provienen de la misma fuente.

En **Instagram**, plataforma que produce más tweets geolocalizados que el propio Twitter, los servicios de ubicación funcionan como la primera opción de Twitter, de forma que es el usuario quien selecciona su posición a partir de un listado específico. Este listado no contiene una gran base de datos con el callejero, sino que principalmente contiene municipios, barrios, comercios o lugares emblemáticos. Se ha eliminado la opción directa de crear un lugar nuevo desde Instagram, debiendo emplear otras plataformas para ello y dificultando así este trabajo. Esto hace que las posiciones reveladas desde Instagram sean más generales, ya que no permite usar la localización GPS del usuario ni contiene un buen callejero. En consecuencia, será complicado establecer lugares de residencia con precisión a través de tweets generados desde esta plataforma.

La utilización de **Foursquare** es similar a Instagram, pero con sus propios listados de direcciones. Es decir, se seleccionan lugares específicos, pero sus coordenadas no coinciden con las de Instagram ni con las de Twitter.

Como se ha visto, la precisión de los datos es distinta según su procedencia y, sobre todo, según la forma de interactuar de cada usuario. Esto supone que la precisión del GPS de los dispositivos no sea crucial para este trabajo, pero sí lo sea reconocer el tipo de información que cada usuario decide mostrar de sí mismo. Es decir, un usuario que crea un tweet geolocalizado pero que selecciona como opción de localización en su listado

“Comunidad Valenciana” o “Valencia” no muestra una información válida para el estudio. Inicialmente se ha obviado este hecho, con el fin de reconocer si tiene impacto o no tras los filtrados inicialmente propuestos. Como se podrá ver en los resultados, sí lo tiene y debe ser objeto de tratamiento específico en este tipo de trabajos.

5.2. Filtrado de los datos para obtener patrones de movilidad

a. Filtrado por fuente

Twitter es una plataforma que se utiliza para múltiples propósitos, entre ellos ofrecer información del estado del tráfico, meteorología, tendencias, foros, etc. Las posiciones que revelan este tipo de datos, la mayoría provenientes de sensores, no encierran información sobre la movilidad de los ciudadanos, por lo que deben ser eliminadas. En la Tabla 1 se ha realizado una primera agrupación de fuentes en función del tipo de datos y de si éstos son *a priori* válidos para representar la movilidad humana (3ª columna). Esta información será objeto del primer filtrado a realizar, cuyo resultado se encuentra en la Tabla 2. Aquí vemos que 14 usuarios han generado 19.456 tweets no válidos.

b. Filtrado por comportamiento:

Como se ha comentado, el comportamiento que tenga un usuario dentro de la red social varía en función a ciertos eventos de su vida, que pueden corresponderse o no con eventos generales. En consecuencia, si en un momento dado un usuario realiza muchos tweets desde una misma posición, podemos obtener una posición dominante afectada por este momento puntual. Para eliminar el efecto de las actitudes planteadas, se filtrarán los tweets generados en un intervalo menor a tres horas, que puede relacionarse con un evento específico, y en una distancia de 100m. Tras analizar los resultados de este paso, se ha decidido modificar el máximo de tres horas por un día completo, ya que se observa que hay usuarios mucho más compulsivos de lo esperado. El resultado se encuentra en la Tabla 2, donde se puede observar que el número de tweets se reduce en un 35%, mientras el número de usuarios se mantiene, como era de esperar.

c. Filtrado por movilidad reflejada

En este punto se eliminan los usuarios con movilidad poco representativa. Para ello se hace una diferenciación entre la cantidad de posiciones diferentes que muestra cada usuario y el periodo de tiempo sobre el que han hecho uso de la plataforma. Dado que en este caso interesa conocer la movilidad de la población residente, se eliminarán los usuarios que puedan corresponder a turistas utilizando las fechas de sus tweets. En este tercer filtrado se quedarían fuera también negocios o instituciones que se publiciten en Twitter, ya que estos lugares suelen tener su propia dirección en el listado, por lo que los puntos se localizarán siempre en el mismo lugar. En la tabla 2 se recogen los dos filtrados anteriores y las diferentes posibilidades del tercer filtrado, con el fin de observar cómo responden los datos a las restricciones de posiciones y tiempo aplicadas:

| Filtrado | Tweets | Usuarios |
|--|---------------|-----------------|
| 0. Ninguno | 177.675 | 22.641 |
| 1. No humanos por fuente | 158.219 | 22.627 |
| 2. Comportamiento | 103.518 | 22.627 |
| 3. Sin movilidad o poco representativa | | |
| 3.1. Sólo 1 posición | 13.105 | 11.423 |
| 3.2. Entre 2 y 4 posiciones | 21.824 | 6.905 |
| 3.3. Más de 5 posiciones | 68.589 | 4.299 |
| 3.3.1. Diferencia >= 15 días | 66.722 | 3.882 |
| 3.3.2. Diferencia >= 60 días | 56.378 | 3.007 |

Tabla 2. Filtrado de tweets. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la API Twitter

El desglose de los datos para realizar el tercer filtrado muestra características muy interesantes de la fuente, como por ejemplo que los usuarios que sólo tienen una posición registrada suponen el 50,5% del total (Punto 3.1). Aquí se agrupan principalmente los usuarios esporádicos de la plataforma y aquellos que twitteen desde un negocio o institución. Se considera que un usuario que revela un mínimo de 5 posiciones diferentes es un usuario avanzado que permite realizar un buen seguimiento de sus rutinas y sobre el que se puede localizar con mayor fiabilidad su lugar de residencia, por lo que se tomará como primera restricción. A su vez, dentro de los usuarios que cumplen esta condición, y con el fin de eliminar los no residentes habituales que realizan una estancia puntual en el área, se aplica la restricción de haber realizado tweets separados en el tiempo por un mínimo de 60 días. Por tanto, al final del proceso se cuenta con 3.007 usuarios adecuados para calcular su lugar de residencia, partiendo de la suposición que la posición dominante desde la que twitteen es su residencia, como ya se ha comentado.

5.3. Obtención de resultados

Como ya se ha mencionado, para conocer el lugar de residencia de cada usuario se parte del supuesto de que se corresponde con el lugar desde el que se emplea más la plataforma, por lo que se calcula la posición dominante de cada uno de ellos. Este cálculo se hace empleando el radio de 100 metros propuesto por Jurdak (2015) y ya empleado anteriormente para el filtrado de tweets compulsivos. Se selecciona la posición más repetida por usuario, que debe ser mayor a 1. El cálculo muestra que de los 3.007 usuarios 362 nunca repiten ubicación, por lo que no será posible realizar esta asignación. Obtenemos así un total de 2.645 usuarios, que denominaremos “trazables”, a los que se les ha asignado un lugar de residencia.

Para validar esta información se realiza un Test de correlación de Pearson que compara la cantidad de usuarios localizados en cada municipio a través de Twitter y el número de habitantes según los datos del padrón municipal 2015. Se utiliza la escala municipal salvo en el caso del municipio de Valencia, que, debido a su tamaño demográfico, se divide en distritos.

El resultado inicial ofrece un coeficiente de correlación $R= 0,72$, lo cual quiere decir que el padrón y los residentes detectados por Twitter se encuentran bien correlacionados. No obstante, el análisis del diagrama de dispersión (figura 1) muestra tres puntos que no siguen el patrón marcado por los demás. Estos tres puntos son los dos distritos centrales del municipio de Valencia y el distrito del puerto del mismo municipio.

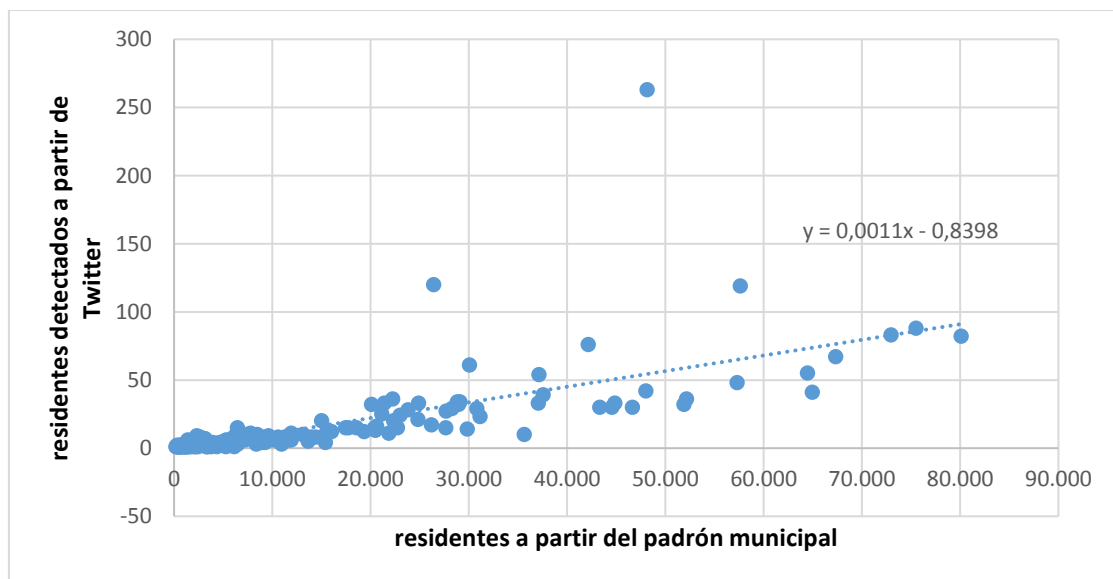


Figura 1. Resultado primera detección de residencias y comparación con el padrón 2015

Un análisis de detalle de estos tres distritos atípicos revela el impacto del uso de las localizaciones generales que describíamos en el punto 5.1 b). En el caso de los distritos del centro, se detecta que Instagram, Twitter y Foursquare colocan aquí a los usuarios que marcan “Valencia” en su listado de lugares, una localización general que no tiene la precisión suficiente para hacer una detección de lugar de residencia o un análisis de movilidad, lo cual induce a error. En el caso de la zona del puerto, la explicación parece estar en el fuerte impacto que tiene la localización de lugares de ocio nocturno y la realización de eventos en la emisión de tweets. Este resultado muestra la necesidad de filtrar las posiciones sin precisión espacial suficiente y de detectar eventos que puedan ser tenidos en cuenta para analizar la pauta de movilidad de un usuario, pero no para localizar su residencia. Con ello, se realiza un filtrado final de estos puntos, obteniendo así un resultado en el Test de Pearson de una adecuación $R= 0,88$, lo que indica una fuerte correlación de variables (ver figura 2). Los resultados no muestran sesgos importantes para los distintos grupos de población por edades y sexo, tal y como se muestra en la tabla 3, aunque sí un coeficiente de correlación ligeramente superior en el caso de la población entre 25 y 34 años.

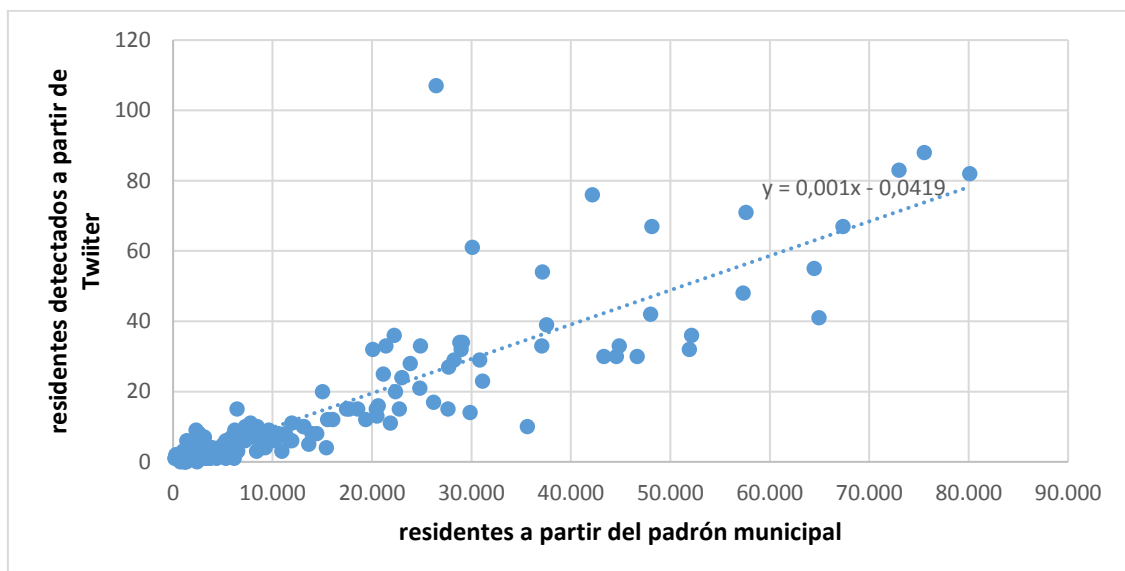


Figura 2. Resultado detección de residencias y comparación con el padrón 2015

| Población 2015 | Coficiente R |
|--------------------|--------------|
| Hombres | 0,874670 |
| Entre 15 y 24 años | 0,865535 |
| Entre 25 y 34 | 0,879550 |
| Entre 35 y 44 | 0,865312 |
| Mujeres | 0,883120 |
| Entre 15 y 24 años | 0,871964 |
| Entre 25 y 34 | 0,884486 |
| Entre 35 y 44 | 0,867366 |
| Total Población | 0,879374 |

Tabla 3. Coeficiente de correlación entre el número de localizaciones residenciales y distintos grupos de población

Estos datos corroboran que la tendencia de los usuarios a usar Twitter desde su lugar de residencia es alta, según indicó Jurdak (2015). Pero no todos los usuarios siguen este patrón, y en algunos casos la posición dominante se ha detectado en lugares que se corresponden con espacios de ocio. Los efectos se observan

tanto en la figura 2, en donde el punto que no sigue la pauta marcada por los demás corresponde al distrito centro del Ayuntamiento y barrio del Carmen, lugares habituales para realizar actividades de ocio; como en la figura 3, en donde los mayores valores de residuales positivos corresponden a los espacios urbanos, en particular aquéllos con importantes actividades de ocio, tales como Gandía o Cullera. Este dato nos recuerda el origen social de los datos con los que se trabaja y la clara influencia de estas actividades.

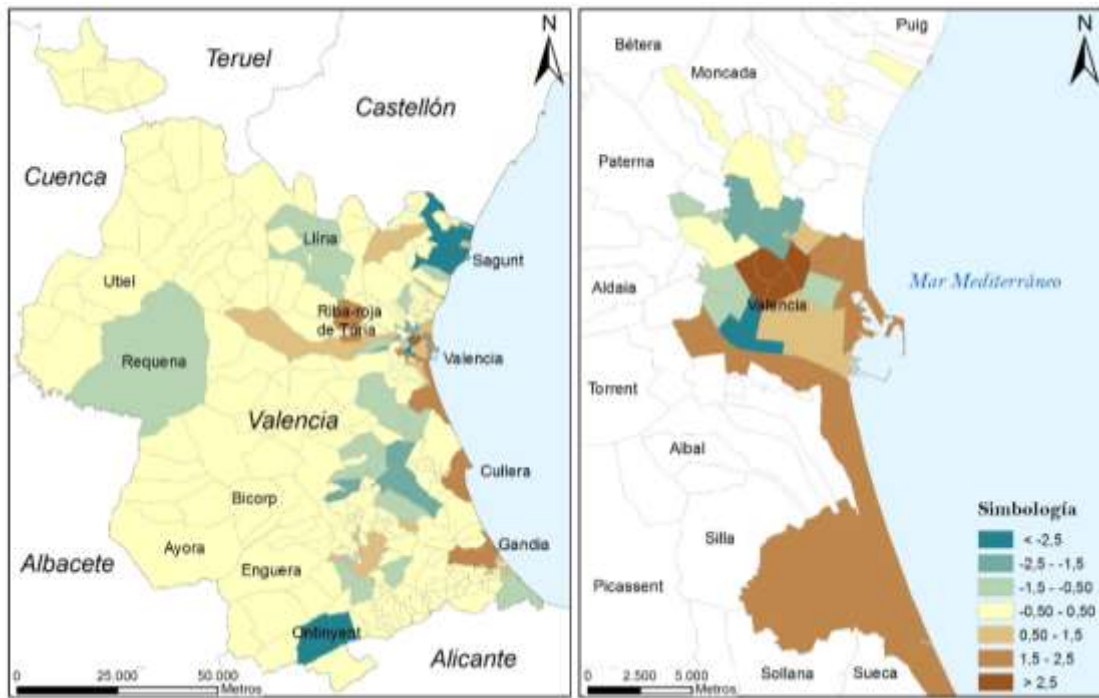


Figura 3. Residuales estandarizados de la regresión entre número de habitantes en 2015 y número de residencias detectadas. Fuente: INE y elaboración propia

6. CONCLUSIONES

Los objetivos planteados en el trabajo se han desarrollado de forma satisfactoria. El estudio de la naturaleza de los datos geolocalizados de Twitter ha permitido plantear una metodología válida para su filtrado y para el cálculo de los lugares dominantes asociados con lugares de residencia. Dicho estudio nos ha posibilitado comprender las desviaciones y los datos que modificaban el modelo erróneamente, marcando requerimientos de filtrado no propuestos inicialmente en la metodología. Se ha obtenido también una orientación sobre la posibilidad de mejorar la detección de lugares residenciales empleando nuevos parámetros como momentos temporales o palabras clave. En la actualidad se siguen recabando datos que nos ofrecerán una muestra mayor y posibilitarán refinar el modelo y obtener una mayor significación.

7. AGRADECIMIENTOS

Esta comunicación se ha elaborado en el marco del proyecto de investigación "Sostenibilidad y competitividad urbanas en un contexto global. El Área Metropolitana de Valencia" (CSO2013-46863-C3-1-R) financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad dentro del Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación Orientada a los Retos de la Sociedad, modalidad 1, "Retos Investigación": Proyectos de I+D+I; Carmen Zornoza cuenta con una ayuda para contratos predoctorales para la formación de doctores (BES-2014-067846) dentro del Subprograma Estatal de Formación del Programa Estatal de Promoción del Talento y su Empleabilidad, en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2013-2016, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y cofinanciado por el Fondo Social Europeo.

8. BIBLIOGRAFÍA

Gabrielli, L., Rinzivillo, S., Ronzano, F., & Villatoro, D. (2014): "From Tweets to Semantic Trajectories: Mining Anomalous Urban Mobility Patterns", Jordi Nin, Daniel Villatoro (Ed.): *"Citizen in Sensor Networks"*. Switzerland, Springer International Publishing. pp.26-35

Hasan, S., Zhan, X., & Ukkusuri, S. V. (2013): "Understanding urban human activity and mobility patterns using large-scale location-based data from online social media". *Proceedings of the 2nd ACM SIGKDD international workshop on urban computing*, Agosto 2013, Chicago, USA.

Jurdak, R., Zhao, K., Liu, J., AbouJaoude, M., Cameron, M., & Newth, D. (2015): "Understanding human mobility from Twitter". *PloS one*, 10(7), e0131469.

Kwan, M. P. (1999): "Gender, the home-work link, and space-time patterns of nonemployment activities". *Economic geography*, 75(4), pp. 370-394.

Song, C., Qu, Z., Blumm, N., & Barabási, A. L. (2010): "Limits of predictability in human mobility". *Science*, 327(5968), pp. 1018-1021.

LÍNEA TEMÁTICA 3

Geomática y geotecnologías

SMALL DATA PARA EDUCACIÓN: MÁS DE UN MILLÓN DE PIRÁMIDES DE POBLACIÓN DE ESPAÑA

Benito M. Zaragoza- Zaragoza¹, José Torres-Prieto¹, Antonio Belda-Antolí¹, Andrea Rosado-Abad¹, Carlos Cortés-Samper¹, Alfredo Ramón-Morte¹

¹Universidad de Alicante, Instituto Interuniversitario de Geografía, Carr. San Vicente del Raspeig, s/n, 03690 Sant Vicent del Raspeig, Alicante, España

benito.zaragozi@ua.es

RESUMEN

La visualización de datos es una disciplina transversal que utiliza el inmenso poder de comunicación de las imágenes para explicar de manera comprensible los patrones que se pueden encontrar entre los grandes volúmenes de datos que generan los procesos científicos y sociales de hoy en día. El auge del *Big Data* y la creciente conciencia de su gran potencial en el mundo de los negocios han propiciado un mayor desarrollo de la visualización como disciplina. Las técnicas de visualización de datos también han sido aplicadas como apoyo a metodologías de aprendizaje constructivistas. Los estudiantes suelen ser más comprometidos en un aprendizaje activo de lo que son en los enfoques tradicionales, pero el impacto de estos enfoques sobre el aprendizaje no está claro y se carece de estudios suficientes. El mayor impedimento para la adopción de estas técnicas por parte de los docentes es el tiempo necesario para encontrar buenos ejemplos, aprender, instalar, desarrollar visualizaciones y luego integrarlas en un curso. Esta comunicación presenta los avances realizados en una propuesta tecnológica que ayuda a resolver los problemas mencionados.

Palabras clave: aplicación web; pirámides de población; constructivismo; aprendizaje interactivo; small data;

ABSTRACT

Data visualization is a cross cutting discipline that uses the immense power of images to understandably communicate and explain the patterns that can be found among the large volumes of data generated by scientific and social processes. The rise of Big Data and the growing awareness of its great potential in the business world have led to further development of visualization as a discipline. Data visualization techniques have also been applied to support constructivist learning methodologies. Students tend to be more engaged in active learning than they are in traditional learning approaches, but the impact of these teaching approaches is unclear and lacks of enough studies. The biggest pitfall to the adoption of these techniques by teachers is the time to find good examples, learn, install, develop visualizations and then integrate them into a course. This communication presents the progress made on a technology proposal that helps in overcoming the above mentioned problems.

Keywords: web app; population pyramids; constructivism; interactive learning; small data;

1. INTRODUCCIÓN

Las técnicas de visualización de datos han sido aplicadas como apoyo a metodologías de aprendizaje constructivistas (Day, 2012). La mayor parte de las visualizaciones se utilizan en un marco en el que los alumnos construyen el conocimiento de forma que tenga sentido para ellos. La teoría constructivista es la base para una amplia gama de enfoques de aprendizaje activo, como el aprendizaje basado en la investigación y el aprendizaje basado en problemas (Beringer, 2007). Estos enfoques inductivos se basan en que los estudiantes construyan teoría y generalizaciones a partir de estudios de caso y ejemplos, en lugar de enfoques más tradicionales en los que los estudiantes aprenden la teoría y luego estudian un pequeño conjunto de ejemplos. Se considera que los estudiantes suelen ser más comprometidos en su aprendizaje activo de lo que son en los

enfoques tradicionales, pero el impacto de estos enfoques sobre el aprendizaje no está claro y se carece de estudios suficientes (Day, 2012).

Principalmente, el impacto educativo de los métodos de visualización depende de dos componentes: (1) la mejora que las visualizaciones pueden producir en la formación de los alumnos y (2) el despliegue de la visualización en el aula. En estudios anteriores se ha comprobado que hay una desconexión significativa entre la creencia intuitiva de que la visualización mejora el aprendizaje de los estudiantes y la voluntad y capacidad de los docentes para desplegar la visualización en sus aulas (Naps *et al.*, 2003). Sin embargo, para poder comprobar si se dan mejoras educativas, primero es necesario tener la capacidad de utilizar las visualizaciones en el aula.

Según Price *et al.* (1998), existen cuatro roles distintos en el despliegue de técnicas de visualización en el proceso educativo: desarrolladores, diseñadores, docentes y estudiantes. Cada uno de estos roles desarrolla funciones específicas en las visualizaciones. Por ejemplo, los desarrolladores de herramientas de visualización están interesados en optimizar sus desarrollos para los otros tres roles. Los diseñadores de visualización se esfuerzan por lograr visualizaciones que sean valiosas para una gran audiencia. Los docentes quieren integrar las visualizaciones entre sus materiales, siempre que estas sean capaces de mejorar su enseñanza y la motivar el aprendizaje de los estudiantes. Finalmente, los estudiantes esperan aprender los conceptos mejor y de una manera más divertida.

Naps *et al.* (2003) indican que la mayor parte de los estudios sobre herramientas de visualización se han centrado en los roles del desarrollador y diseñador, mientras que la investigación en ciencias sociales se ha centrado en la efectividad de la visualización para mejorar el aprendizaje de los estudiantes. En cambio, hay pocas investigaciones que se hayan centrado en las necesidades del docente. Por ejemplo, según Shaffer *et al.* (2011), las encuestas anuales realizadas en el SIGCSE'10 indicaron que, a pesar de la opinión positiva de la mayor parte de los profesores encuestados (90%), solamente el 10% confirmaron haber utilizado frecuentemente las visualizaciones entre sus materiales. En cambio, un porcentaje más amplio indicó haber utilizado estas técnicas de una manera ocasional (50-75%). Según los encuestados, los principales impedimentos para la integración de las visualizaciones en el aula serían:

1. Problemas para encontrar buenos ejemplos
2. Aprender a utilizar nuevas herramientas
3. Carencia de herramientas de desarrollo efectivas
4. El tiempo necesario para integrar las visualizaciones dentro de los contenidos de un curso más amplio.
5. Dudas respecto al valor pedagógico de las visualizaciones.
6. Limitaciones tecnológicas en las aulas.

En su conjunto, el mayor impedimento para la adopción de estas técnicas por parte de los docentes es el tiempo necesario para encontrar buenos ejemplos, aprender, instalar y desarrollar visualizaciones y luego integrarlas en un curso. Así pues, el impacto global de las visualizaciones en el aula será mínimo hasta que más docentes opten por integrar estas técnicas en sus clases. Finalmente, queda por aportar evidencias que respalden los beneficios de las distintas visualizaciones en el aprendizaje, pero los estudios basados en encuestas son costosos y difíciles de mantener en el tiempo.

Estrechamente relacionado con el impacto de estas tecnologías en el aula, se ha apuntado que el uso de datos locales en las lecciones facilita que los estudiantes participen más activamente en el aprendizaje (Keiper 1999; Liu *et al.*, 2010). Los estudiantes muestran una curiosidad natural acerca de sus áreas locales (Doering y Veletsianos 2007). Por ejemplo, según Audet y Abegg (1996) el uso de datos locales es fundamental para implementar con éxito los SIG en la educación secundaria. Por este motivo, no basta con generar buenas visualizaciones, sino que estas deben incorporar datos locales de un modo sencillo y fácil de explotar. No obstante, la falta de estándares y la multitud de medios para compartir los datos públicos dificultan esto y

requieren el 80% del tiempo necesario (Extracción, Transformación y Carga) para preparar medios de estas características (Maimon & K, 2010).

Esta comunicación presenta los últimos avances en el desarrollo de una plataforma de aplicaciones web que pretende superar los mencionados obstáculos (Zaragoz *et al.* 2015). Evidentemente, tratándose de aplicaciones web, no serán necesarios procesos de instalación, ni conocimientos tecnológicos específicos y se trata de una plataforma donde podrían participar los 4 roles mencionados por Price *et al.* (desarrolladores, diseñadores, docentes y estudiantes). Las mejoras planteadas en este trabajo tienen que ver con facilitar el despliegue y escalabilidad de esta plataforma, así como facilitar el proceso de incorporación de nuevos datos. Finalmente, la referencia en el título a “más de un millón de pirámides de población” indica el próximo objetivo a cumplir.

2. PIRÁMIDES DE POBLACIÓN

Las pirámides de población fueron seleccionadas como un punto de partida excelente para generar visualizaciones, ya que no es necesario diseñar una nueva visualización y su integración entre los materiales de un curso de Ciencias Sociales no será complicada. Las pirámides de población tienen un gran poder explicativo y se han utilizado durante varias décadas en la enseñanza de la estructura de la población.

Dada su amplia difusión, no faltan ejemplos de visualizaciones interactivas de pirámides de población. Entre otras visualizaciones, es posible encontrar desarrollos en Javascript, visualizaciones en la plataforma Tableau y también publicadas con Shiny. En la página web de populationpyramid.net se pueden consultar un gran número de pirámides de población a partir de los datos del Banco Mundial. En esta web se pueden consultar las pirámides nacionales y regionales, entre 1950 y 2100 (previsiones), siendo en su mayor parte datos estimados por dicho organismo. En la plataforma Tableau Public es posible encontrar dos tipos de paneles interactivos, uno más tradicional y una visualización más moderna que muestra una mayor cantidad de datos en un único vistazo (Figura 1). Finalmente, también existen visualizaciones de pirámides de población desarrolladas con R y Shiny, para estudiar la población de Italia o de Cataluña (<http://www.showmeshiny.com/?s=pyrami>).

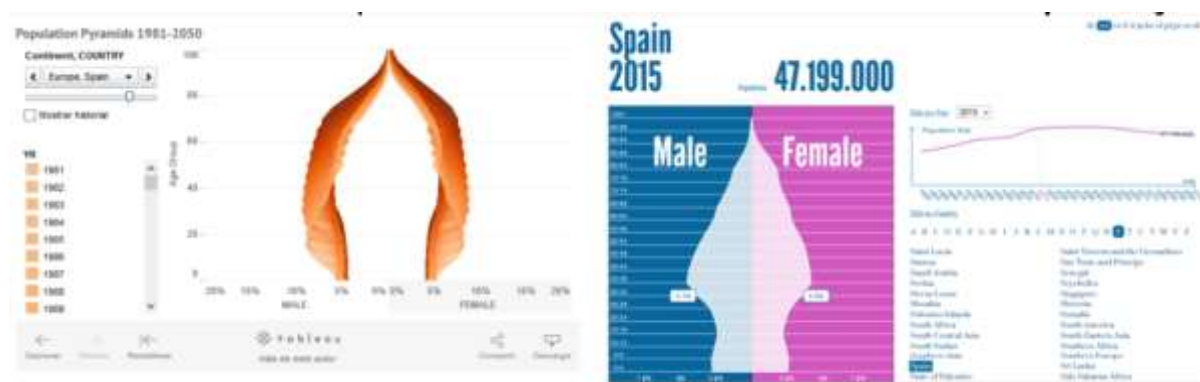


Figura 1. Pirámides de población multitemporales con Tableau (izquierda) y populationpyramid.net (derecha).

Como se ha mencionado, existe una cierta variedad de visualizaciones de pirámides desarrolladas con distintas tecnologías. Sin embargo, el único factor limitante en todas esas propuestas es el acceso a los datos, ya que estos proceden de múltiples orígenes, formatos y proporcionan distintos niveles de agregación temporal (p.

ej. datos por año o datos por grupos de edad), o espacial (p. ej. escala nacional, municipal y/o inframunicipal). Además, como consecuencia de las tecnologías utilizadas para el desarrollo de estas visualizaciones (“lado del servidor/lado del cliente”), no es posible conocer el uso que se hace de éstas (p. ej. gráficas más consultadas, selección por áreas geográficas, interés por las estructuras atípicas, entre otras opciones). Así pues, para poder crear una única plataforma en la que consultar pirámides de distintos orígenes se evidenció la necesidad de implementar un almacén de datos (datawarehouse) con herramientas específicas que faciliten la importación, gestión, explotación y representación de datos de población de distintas fuentes.

3. SMALL DATA, BIG DATA

En esta sección se describe la plataforma web desarrollada para explorar las pirámides de población de España (<http://www.chichinabo.org/>). Efectivamente, en esta plataforma se publican servicios de datos de chichinabo, minimalistas y sencillos de utilizar, pero que cobran importancia con la incorporación de nuevos datos y con el análisis que se haga de las estadísticas de uso. “*Small data*” ha sido definido como aquellos datos que son lo suficientemente pequeños como para ser comprensibles para un ser humano. El “*Small Data*” utiliza distintas técnicas para lograr conectar, organizar, empaquetar (habitualmente mediante visualizaciones) y añadir valor a los datos. Según el *Small Data Group*, el objetivo del *Small Data* es que los datos sean accesibles. En cambio, en el *Big Data* el foco no estaría en las personas, sino en la capacidad de proceso y en las grandes compañías.

La plataforma propuesta ofrece visualizaciones de los datos de estructura de la población (small) y, gracias al mantenimiento de un registro de actividad, se genera automáticamente una base conocimiento sobre cómo se leen los mapas o cómo los alumnos aprenden determinados conceptos sobre estructura de la población. Dicho de otro modo, cada clic o cada acción del usuario sobre la aplicación web quedaría registrada para ser analizada con posterioridad (big).

4. “EMPAQUETADO” DEL ALMACÉN DE DATOS EN DOCKERS

El elemento fundamental de la plataforma chichinabo.org es su almacén de datos o Data Warehouse (DW), que es un repositorio central de datos integrados de una o más fuentes dispares. Los datos almacenados en el DW provienen de distintos orígenes, pero también se pueden derivar en el mismo proceso en el que se generan las pirámides de población (p. ej. porcentajes, categorización por formas, etc). En Zaragoza *et al.* (2015) se describe la estructura de un DW pensado para almacenar datos de población con los que crear pirámides de población. Este diseño está pensado para ser extensible y escalable, lo que implica que los datos de población pueden estar distribuidos en dos o más servidores de bases de datos, o en “la nube”. Por este motivo, el desarrollo propuesto en Zaragoza *et al.* (2015) ha tenido que adaptarse a estas necesidades.

La filosofía colaborativa de la plataforma propuesta en Zaragoza *et al.* (2015) implica que será necesario coordinar a distintos grupos, cuyos miembros trabajen en diversas instituciones, tanto en tareas de desarrollo, diseño y uso de las visualizaciones. En este contexto, es fundamental preservar la reproducibilidad de los experimentos de forma que cada investigador tenga autonomía suficiente como para comprobar y realizar modificaciones sobre el trabajo previo de otros componentes del grupo, así como difundir distintos hitos de la investigación de forma coherente. Para ello se empleará la virtualización a nivel de sistema operativo mediante contenedores Docker, tal y como ya se hizo con éxito en otras experiencias previas (Navarro *et al.* 2016). La tecnología Docker sirve de elemento cohesionador de esta plataforma de *Small Data*, dado que en principio requiere únicamente de la disponibilidad de PCs convencionales y sistemas huésped Linux con kernel 3.10 o superior. En un artículo muy reciente sobre investigación operativa (Boettiger, 2015) se evalúan los criterios objetivos por los que el uso de contenedores Docker es relevante para la reproducibilidad en la investigación, y que resumimos a continuación:

- **Portabilidad.** Los experimentos se podrán reproducir en máquinas con distribuciones Linux dispares, dado que se despliegan mediante un contenedor que comparte los recursos del kernel.
- **Empaquetado.** Tanto el software como los datos requeridos para un experimento, que el investigador ha desplegado mediante un contenedor, se podrán compilar en una imagen binaria para su posterior distribución. Estas imágenes son mucho menos voluminosas que las tradicionales imágenes de máquina virtual puesto que no replican un sistema operativo completo.
- **Reutilización de componentes.** En las distintas baterías de experimentos se utilizarán diferentes SGBD e incluso es posible que distintas versiones de un mismo SGBD. En algunos casos puede que no exista un paquete binario de la versión del producto a testear y sea necesario compilar a partir del código fuente. Una vez compilada la imagen del contenedor, el investigador la distribuye al resto de miembros del grupo sin necesidad de que ellos repitan todos esos pasos intermedios. Es más, se puede compilar una nueva imagen a partir de una imagen anterior, bien añadiendo software, bien añadiendo datos o ambas cosas.
- **Distribución.** Las imágenes Docker pueden distribirse mediante la plataforma de acceso público Docker Hub, o bien creando una infraestructura privada de distribución para los miembros del grupo de investigación.
- **Versionado.** Los experimentos que requieran desarrollos propios (por ejemplo, una extensión de PostgreSQL), podrán desplegarse en sus diferentes versiones conforme evolucione el código de dichos desarrollos. En este sentido, los desarrolladores pueden integrar su sistema de control de versiones con la plataforma de distribución de imágenes Docker para automatizar las tareas de compilación.

Utilizando esta tecnología, se ha distribuido una imagen docker de la última versión del software necesario para instalar todo el DW de esta plataforma de manera íntegra, tanto código fuente de la extensión de PostgreSQL (github; <https://github.com/chichinabo>) como configuraciones del SO, versiones de las bases de datos, extensiones, puertos, etc (dockerhub; <https://hub.docker.com/u/chichinabo/>). Con todo ello resulta sencillo para un desarrollador crear clones funcionales del DW de pirámides de población en un sencillo paso (docker pull). Complementariamente, se ha desarrollado otra imagen docker que contiene un conjunto de aplicaciones web (Shiny server), las cuales permiten consultar las bases de datos de pirámides de población de distintos modos, siempre que el navegador de internet esté actualizado y permita el uso de *Web Sockets*. Estas aplicaciones cuentan con una base de código común, por lo que todas tendrán la apariencia de un catálogo de recursos geográficos, con distintas opciones para filtrar y consultar la base de datos. Gracias a esta base común, resultará muy sencillo integrar nuevos flujos de consulta ideados por diseñadores, profesores o incluso alumnos. En definitiva, estas tecnologías sirven para ayudar a crear una comunidad de desarrolladores y diseñadores.

5. IMPORTACIÓN DE NUEVOS DATOS

En España, los datos necesarios para preparar pirámides de población son los proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística (INE). Es posible componer pirámides de población municipales utilizando los datos de los Censos de Población (1981, 1991, 2001 y 2011) y los Padrones de Población (1996-2014). Además, a partir de 2004 se pueden crear pirámides inframunicipales utilizando datos de secciones censales. El INE facilita el acceso a estos datos alfanuméricos de carácter público a través de servicios web para consultas personalizadas o también mediante la descarga de ficheros de intercambio PC-Axis (*.px).

La existencia de múltiples formatos de intercambio débilmente estandarizados dificulta aún más la tarea de los desarrolladores, diseñadores y docentes, en cuanto a la creación y despliegue de visualizaciones de datos en el aula. Esto es aún más complicado cuando los datos recogidos por una misma fuente cambian en el tiempo. Por ejemplo, municipios que se disgregan, desaparecen o cambios de regionalización. También se dan

casos de datos homólogos que son publicados por organizaciones a distintos niveles jerárquicos (ayuntamientos, diputaciones, comunidades autónomas, INE, Eurostat, etc). Todos estos aspectos son los que se solucionan en las etapas de integración (ver Figura 2).

2.1.1

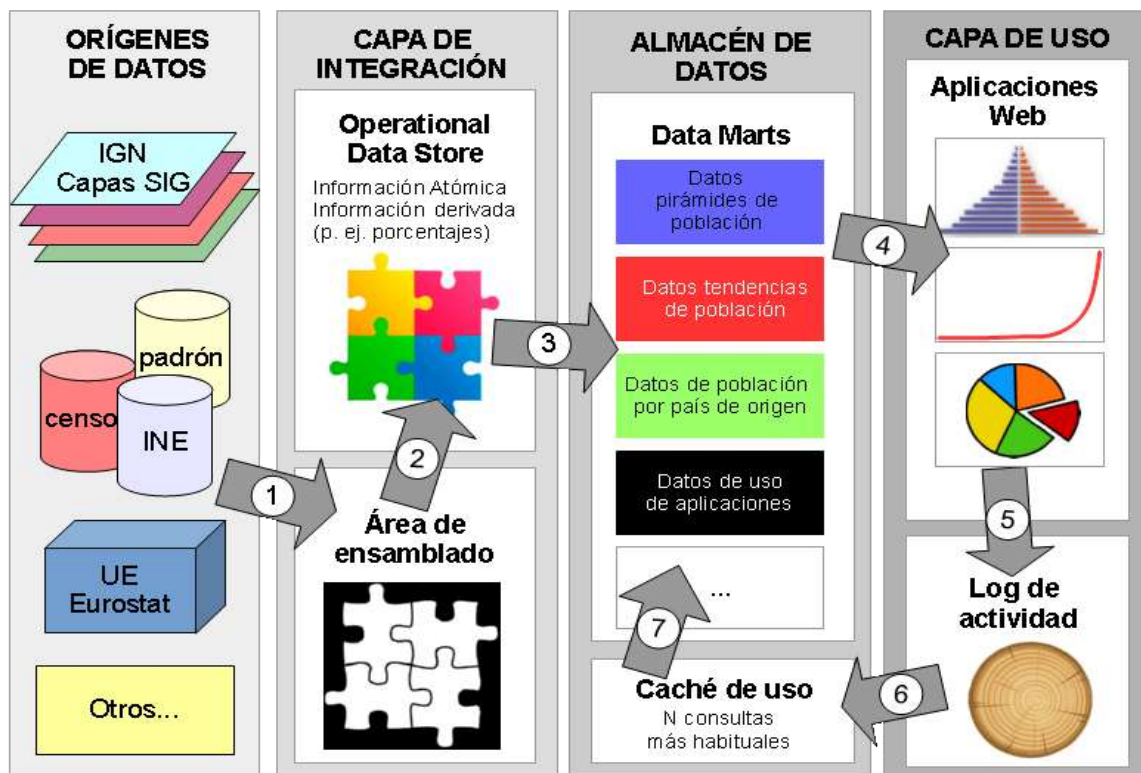


Figura 2. Plataforma tecnológica propuesta como servicio de consulta de pirámides de población (Zaragozí *et al.* 2015).

En la Figura 2 se describe conceptualmente la arquitectura de la plataforma tecnológica propuesta en Zaragozaí *et al.* (2015). PostgreSQL es el Sistema Gestor de Bases de Datos escogido para la integración de los datos del INE, el mantenimiento de un registro de uso de la aplicación y un sistema de cacheado de las consultas más habituales. R GNU es el entorno para diseñar la visualización (también HTML5 y JS) y R Shiny se ha utilizado como servidor de aplicaciones. Finalmente, Leaflet.js es el visor de mapas que permite filtrar las pirámides de población mostradas mediante una selección espacial.

En esta fase de desarrollo se ha creado una función de ensamblado de los datos (*stage area*, en terminología DW) de provenientes del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) y del INE. En el caso español, se ha considerado que es mejor no trabajar con las capas de información geográfica disponibles en la página web del INE, puesto que estas son utilizadas para generar salidas cartográficas y no reúnen las características necesarias para servir un catálogo espacial (EPSG desconocido, Canarias desplazado de sus coordenadas, Ceuta y Melilla incluyen zona franca, etc). Gracias a esta nueva función, el proceso necesario para preparar los datos con los que crear las pirámides de población se simplifica enormemente, siendo viable que un usuario medio de SIG pueda importar nuevos datos, o pudiendo incluso pensar en crear servicios de carga en línea.

6. DISCUSIÓN Y TRABAJO FUTURO

El desarrollo de una aplicación web interactiva y minimalista disminuye la curva de aprendizaje y no intimida a los alumnos (Henry y Semple 2012). Aunque los temas relativos a la estructura de la población ocupan una parte importante de la enseñanza de la Geografía, no existe una herramienta web adaptada para examinar estos temas en detalle y con datos locales (Lee *et al.* 2008). Por lo tanto, consideramos que continuar extendiendo esta plataforma puede ser una solución para hacer frente a esta carencia y proponer nuevas visualizaciones que se puedan ajustar a la infraestructura propuesta.

En este primer prototipo se trabaja exclusivamente con datos públicos del Instituto Nacional de Estadística (INE), agregados a distintas escalas (autonómica, provincial, municipal y censal) y para distintas fechas (censo y padrones). No obstante, la base de datos contiene ya cerca de un millón de registros distintos, con los que poder crear gráficas.

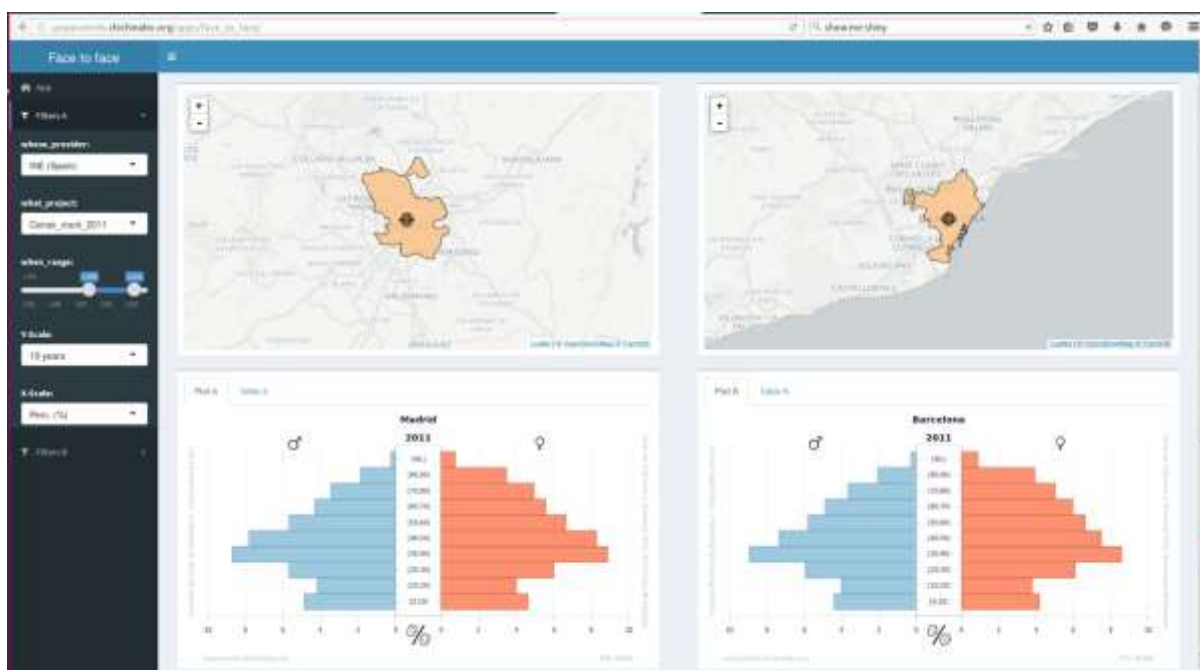


Figura 3. Captura de pantalla del IU de una de las aplicaciones web, denominada "Face to face" (www.chichinabo.org).

En la Figura 3 se ven los distintos componentes presentes en algunas de las aplicaciones web generadas sobre el DW. El usuario puede filtrar las pirámides de población mediante sencillos controles (entre ellos destaca un mapa) y después puede personalizar las gráficas con varias opciones. Sin embargo, por motivos de escalabilidad, únicamente se muestran un número limitado de resultados. Por ejemplo, las primeras n gráficas que cumplen los parámetros especificados ordenadas por población total. Dichas consultas se irán modificando para adaptarlas mejor a las preferencias que muestren los usuarios, manteniendo siempre un reducido número de opciones disponibles (centenares).

En el diseño de Chichinabo.org se ha optado por una arquitectura de microservicios con el objetivo fundamental de mejorar la experiencia de usuario, lo cual es esencial en una propuesta de *Small Data*. Este tipo de plataforma, que facilita el desarrollo mediante el uso de dockers y extensiones, también favorece que aparezcan nuevos desarrolladores y diseñadores, con la posibilidad de generar comunidades de los distintos roles mencionados en la introducción.

La plataforma tecnológica desarrollada ha servido para comprobar dos aspectos importantes: (1) que hay datos abiertos en abundancia para el estudio de la estructura de la población en España y (2) que la solución

tecnológica escogida permite crear un interfaz de usuario dinámico y un Spatial Data Warehouse escalable. Esto será decisivo en cuanto se incorporen nuevos orígenes de datos y aumente el número de usuarios simultáneos.

Las distintas opciones de registro de actividad permiten plantear varios tipos de experiencias docentes como las mencionadas en la introducción. Las principales preguntas que se puede plantear pasan por (1) evaluar el uso de visualizaciones como apoyo para metodologías constructivistas de aprendizaje y (2) comprobar los patrones geográficos de las consultas de pirámides de población. La opción más directa para explorar estas cuestiones es analizar el registro de actividad de la base de datos mediante técnicas de Minería de Datos. Así pues, el elemento clave de esta plataforma es precisamente ese registro de actividad (*Big Data*).

Siguiendo con las líneas marcadas en esta comunicación, el trabajo futuro de esta iniciativa pasa por incorporar nuevos usuarios y nuevos orígenes de datos que cumplan los requisitos planteados en las secciones anteriores. Simultáneamente, es posible derivar nuevos datos a partir de los datos de estructura de la población (tendencias de población, clasificación de las pirámides según sus formas, sex-ratios, entre otras). Estos nuevos datos se podrían compartir con cada gráfica consultada, o utilizarse para introducir nuevos controles de filtrado para consultar las pirámides de población.

Finalmente, esta primera experiencia piloto ha servido para definir mejor los objetivos de esta plataforma tecnológica (*chichinabo.org*), entre el *Small Data* y el *Big Data*. Se pretende proporcionar acceso a datos públicos, pero procesados de modo que estos sean comprensibles para un humano. En este sentido la generación de visualizaciones y gráficos juega un papel fundamental. El registro de actividad que los usuarios generan en la plataforma será objeto de estudio para metodologías de *Big Data*, en las que se investigará cómo se entienden y cómo se utilizan los mapas digitales. En este sentido, utilizando las mismas tecnologías ya empleadas aquí, se ampliará el número de aplicaciones web para ofrecer mucho más que pirámides de población. Las ideas más importantes que se han barajado hasta el momento van desde la generación de climogramas, rosas de los vientos, hasta un comparador de superficies de elementos geográficos.

7. BIBLIOGRAFÍA

Beringer, J. (2007): "Application of Problem Based Learning through Research Investigation". *Journal of Geography in Higher Education*, 31(3), 445–457.

doi: 10.1080/03098260701514033

Boettiger, C. (2015): "An introduction to Docker for reproducible research". *ACM SIGOPS Operating Systems Review*, 49(1), 71–79. <http://doi.org/10.1145/2723872.2723882>

Day, T. (2012): "Undergraduate teaching and learning in physical geography". *Progress in Physical Geography*, 36(3), 305–332. doi: 10.1177/0309133312442521

Henry, P., & Semple, H. (2012): "Integrating Online GIS into the K–12 Curricula: Lessons from the Development of a Collaborative GIS in Michigan". *Journal of Geography*, 111(1), 3–14. doi:10.1080/00221341.2011.549237

Kim, M., Kim, K., & Lee, S.-I. S.-I. (2013): "Pedagogical Potential of a Web-Based GIS Application for Migration Data: A Preliminary Investigation in the Context of South Korea". *Journal of Geography*, 112(3), 97–107. doi:10.1080/00221341.2012.709261

Lin, H. (2012): "Design and implementation of a mobile application for personal learning analytics", 15, 58–76. Retrieved from http://etd.lib.nsysu.edu.tw/ETD-db/ETD-search/view_etd?URN=etd-0118112-120714

Liu, S., & Zhu, X. (2008): "Designing a Structured and Interactive Learning Environment Based on GIS for Secondary Geography Education". *Journal of Geography*, 107(1), 12–19. doi: 10.1080/00221340801944425

Maimon, O., & Rokach, L. (2010): "Data Mining and Knowledge Discovery Handbook" (2nd ed.). New York: Springer New York. doi: 10.1007/978-0-387-09823-4

Naps, T. L., Rodger, S., Velázquez-Iturbide, J. Á., Rößling, G., Almstrum, V., Dann, W., McNally, M. (2003): "Exploring the role of visualization and engagement in computer science education". *ACM SIGCSE Bulletin*, 35(2), 131. doi:10.1145/782941.782998

Naps, T., Ross, R. J., Anderson, J., Fleischer, R., Kuittinen, M., McNally, M.,... Rantakokko, J. (2003): "Evaluating the educational impact of visualization". *ACM SIGCSE Bulletin*, 35(4), 124. doi:10.1145/960492.960540

Navarro-Carrión, J.T., Zaragozaí, B., Ramón-Morte, A. & Valcárcel-Sanz, N. (2016): "Should EU land use and land cover data be managed with a NoSQL document store?" *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics* (Accepted)

Shaffer, C. a, Akbar, M., Alon, A. J. D., Stewart, M., & Edwards, S. H. (2011): "Getting algorithm visualizations into the classroom". *Proceedings of the 42nd ACM Technical Symposium on Computer Science Education - SIGCSE '11*, 129. doi:10.1145/1953163.1953204

Zaragozaí, B., Torres-Prieto, J., Navarro-Carrión, J.T., Fernández-Moreno, M., Mira-Martínez, J.M., Belda-Antolí, A. y Ramón-Morte, A. (2015): "Propuesta de una plataforma web para aplicar técnicas de visualización en didáctica de la Geografía", en R. Sebastián Alcaraz y E.M. Tonda Monllor (Eds.): *Investigar para innovar en la enseñanza de la Geografía. VII Congreso Ibérico de Didáctica de la Geografía*. Asociación de Geógrafos Españoles (AGE), pp 52-62. 20-22 noviembre de 2015.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LA TOPOGRAFÍA CONVENCIONAL Y LA DERIVADA DE LIDAR AÉREO PARA EL CÁLCULO DE ÁREAS DE INUNDACIÓN EN ZONAS URBANAS

Jairo Escobar-Villanueva¹, Luis Iglesias-Martínez², María Castro³

¹Universidad de La Guajira, Grupo de Investigación GISA, Facultad de Ingeniería, 440001, Km 5 Vía a Maicao, Riohacha-Colombia. jrescobar@uniguajira.edu.co

²E.T.S.I. de Minas y Energía Universidad Politécnica de Madrid. Dept. Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas. C/ Ríos Rosas, 21. 28003. Madrid, España. luis.iglesias@upm.es

³E.T.S.I. de Canales Caminos y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid. Dept. de Transportes. Prof. Aranguren s/n, 28040-Madrid, España. maria.castro@upm.es

RESUMEN

El propósito de este trabajo, enmarcado en el estudio de inundaciones urbanas, fue realizar un análisis de sensibilidad comparativo entre modelos digitales del terreno (MDT) obtenidos de fuentes diferentes: a) datos LiDAR aerotransportado, MDT_(LiDAR), y b) Topografía Convencional, MDT_(Top); mediante el cálculo del volumen y área de inundación dado un evento histórico extremo de precipitación ("La niña" Septiembre 2011) en una ciudad del Caribe Colombiano. La determinación del área de inundación en zonas urbanas es de suma importancia en países en vías de desarrollo, si además existe el agravante de una fuerte predisposición a eventos extremos de precipitación, altas tasas de crecimiento urbano no planificado, y escasez de información del terreno (elevación) para el análisis y toma de decisiones. Los resultados obtenidos mostraron una fiabilidad global mayor del MDT_(LiDAR) en el cálculo del área de inundación que el MDT_(Top), aunque las diferencias encontradas no son lo suficientemente marcadas dentro de la zona bajo estudio. Esto sugiere que, para un contexto urbano de similares características, ambos modelos poseen aproximadamente las mismas prestaciones para calcular las inundaciones de un evento extremo de inundación si la escala de trabajo no es exigente. Así la topografía LiDAR puede ser usada en zonas de actuación prioritaria de área reducida, previamente identificadas con fuentes topográficas convencionales de menor detalle.

Palabras clave: INUNDACIONES URBANAS; ANÁLISIS SENSIBILIDAD; MDT; LIDAR; TOPOGRAFÍA; CARIBE COLOMBIANO

ABSTRACT

The purpose of this paper, framed in the study of urban flooding, was to conduct a comparative sensitivity analysis between digital terrain models (DTM) obtained from different sources: a) airborne LiDAR data, DTM_(LiDAR), and b) Conventional Topography, MDT_(Top); by calculating the volume and area flood given an historical extreme precipitation event ("La niña" September 2011) in a Colombian Caribbean city. Is very important in developing countries determining flooding area in an urban environment, also is there further aggravated by a strong predisposition to extreme precipitation events, unplanned urban high growth rate, and in addition the lack of terrain information (elevation) for analysis and decision making. The results showed a higher overall reliability MDT_(LiDAR) in the calculation of flood area compared to MDT_(Top), although the differences are not sufficiently strong within the area of interest. This suggests that, for an urban context with similar characteristics, both models have approximately the same performance to calculate an extreme flood event of flooding if the scale is not demanding. Then, LiDAR data can be used in priority action reduced area, previously identified with conventional coarse resolution surveying sources.

Keywords: URBAN FLOODING; SENSITIVITY ANALYSIS; MDT; LIDAR; SURVEYING; COLOMBIAN CARIBBEAN

1. INTRODUCCIÓN

En países en vías de desarrollo el rápido crecimiento poblacional obliga a afrontar apropiadamente presiones socioeconómicas y medioambientales elevadas (Ezheet *et al.*, 2012). En zonas urbanas, el crecimiento acelerado y desordenado incrementa el riesgo de inundación, lo que se ve acrecentado por el nuevo escenario mundial de cambio climático, requiriéndose una visión equilibrada y global de los factores que determinan el riesgo (Bertoni *et al.*, 2006). Aunque el actual cambio climático que se experimenta puede llegar a ser importante, el factor espacial de urbanización en zonas propensas a inundación juega un papel determinante durante la ocurrencia de eventos extremos, como la pasada ola invernal 2010-2011 en el caso de Colombia (Hoyos *et al.*, 2013; Sedano-Cruz *et al.*, 2013).

Por otro lado, en la actualidad existe una amplia oferta de modelos hidráulicos bidimensionales (2D) y capacidades computacionales asequibles para desarrollar simulaciones de eventos extremos de inundación. Sin embargo, a la hora de llevarlas a cabo la ausencia de datos (hidrología y cartografía) puede resultar limitante. En este punto, la elección del nivel de detalle óptimo de la fuente de información topográfica es crucial en el mapeo de inundaciones, dado los costes asociados al área, complejidad en la adquisición de datos y disponibilidad de información secundaria (Casas *et al.*, 2006). Este trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto que puede tener el nivel de detalle u origen de datos de elevación del terreno en la determinación de áreas inundadas en zonas urbanas con escasez de datos. Se ha tomado como caso de estudio la ciudad de Riohacha (Caribe Colombiano) y la batería de datos del proyecto “Adaptación Urbana Verde”, proyecto financiado por la fundación CREACUA (2015) y ganador en tercer lugar a nivel nacional de propuestas innovadoras de gestión del riesgo local (UNGRD 2013).

Para desarrollar el trabajo se trazaron los siguientes objetivos: 1.) comparar descriptivamente a nivel de modelos digitales del terreno (MDT) dos fuentes distintas (Topografía convencional MDT_(TOP) y LIDAR MDT_(LIDAR), 2.) Calcular el volumen (Vol) y área (A) en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para cada MDT_(TOP) y MDT_(LIDAR) considerando un evento histórico de inundación extremo en la zona de estudio, 3.) Evaluar la validez de las áreas de inundación determinadas.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El estudio de la representación de la morfología del terreno a través de modelos digitales para fines de modelación hidráulica de inundaciones es una línea ampliamente estudiada. Sin embargo, es una línea dinámica por el constante desarrollo y mejora de los sensores y plataformas (aéreas, terrestres) que redundan en modelos más representativos de la realidad. Diferentes estudios escalares multicomparativos llegan a la conclusión de que la naturaleza y detalle MDT afecta a la estimación de profundidades y la extensión de inundaciones tanto en ámbitos urbanos, periurbanos o rurales (Witt, 2015; Guillin 2015; Casas *et al.*, 2006; Sanders 2007).

Otro aspecto clave es la elección y calibración de un modelo apropiado que represente la complejidad del tejido urbano, de forma asequible y con un coste computacional asumible. Existen en el mercado muchos softwares, como los populares IBER 2.3.2, HEC-RAS 5.02D, InfoWorks ICM o Flood Modeller Pro. La mayoría son de pago y algunos de uso libre, pero en cualquier caso, orientados a zonas rurales, canales o ríos. El enfoque urbano requiere un tratamiento especial, en este sentido el modelo hidráulico bidimensional brasileño MODCEL (Migues, *et al.*, 2009; Migues y Mascarenhas 2002), ha sido usado como herramienta en el contexto de crecimiento urbano rápido y clima extremo característico del ámbito latinoamericano. MODCEL es un software libre que contiene una familia de modelos hidráulicos con la capacidad de poder representar diferentes casos de escorrentía urbana/periurbana discretizando el tejido urbano en microcuencas denominadas celdas. MODCEL se eligió en el marco del proyecto “Adaptación Urbana Verde” para evaluar un paquete de simulaciones de alternativas de solución contra inundaciones locales.

Uno de los planteamientos derivados del proyecto fue examinar el efecto que tendría el usar topografía de mayor resolución en la generación de la extensión de inundación con MODCEL. La hipótesis de partida basada en la bibliografía, es que efectivamente a mayor detalle, mayor precisión en los resultados. Sin embargo,

conocer el punto óptimo de detalle topográfico para representar inundaciones en un contexto determinado, hace más eficiente el uso de recursos económicos, computacionales, humanos y la limitada oferta de información en países en vías de desarrollo como Colombia.

3. ÁMBITO DE ESTUDIO

El área de estudio está concentrada en 93.92 hectáreas de un sector urbano de Riohacha sometido a fuertes eventos de inundación y que además interactúa con el delta del Rio Ranchería (Figura 1). Esta área fue delimitada por ser el espacio común entre los datos disponibles LiDAR (S.I.G DIMAR, 2008), y datos de elevación del terreno derivados del Plan Maestro de Alcantarillado municipal del año 2000. Se puede observar en color rojo los contornos de celdas o divisorias de aguas trazados para cada microcuenca urbana bajo estudio con los códigos respectivos: 506, 603, 703, 704 y 705 (CREACUA, 2014). El punto de menor elevación del terreno de cada celda (Centro de Celda), se representa con igual color (rojo).

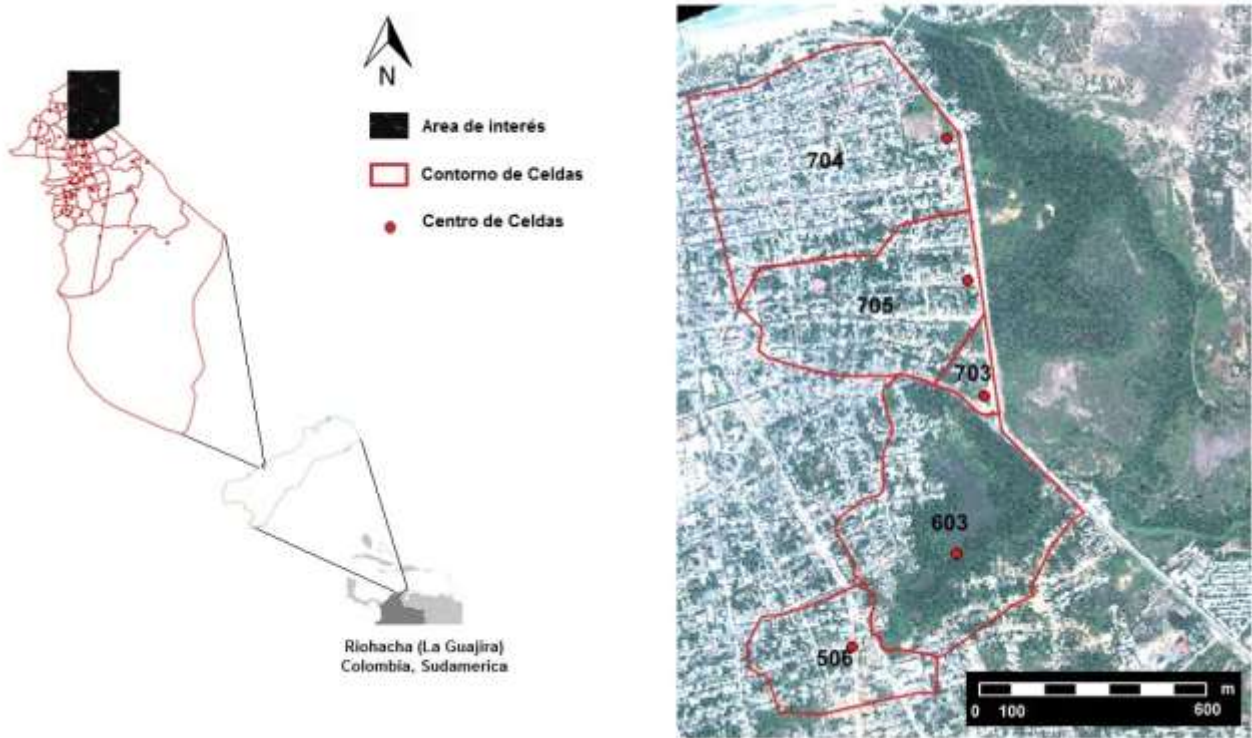


Figura 1. Ubicación general (izquierda) y ámbito del caso de estudio en la ciudad costera de Riohacha, La Guajira (Colombia). Fuente: Elaboración con base en en los datos del proyecto “Adaptación Urbana Verde” de CREACUA (2014).

4. METODOLOGÍA

Los datos de la zona bajo estudio y detalles técnicos para la obtención del modelo del terreno adquirido por topografía convencional son tipo vector de curvas de nivel ($MDT_{(TOP)}$). Estas provienen del informe técnico del proyecto “Adaptación Urbana Verde” liderado por CREACUA (2014). Para consultar la metodología de obtención del modelo digital del terreno de la escena LIDAR ($MDT_{(LIDAR)}$) se remite al lector revisar el trabajo de Escobar *et al.* (2015).

El $MDT_{(TOP)}$ fue obtenido a partir de datos vectoriales (curvas de nivel) provenientes del informe técnico del proyecto “Adaptación Urbana Verde” liderado por CREACUA (2014). Para consultar la metodología de obtención del modelo digital del terreno de la escena LIDAR ($MDT_{(LIDAR)}$) se remite al lector al trabajo de Escobar *et al.*, (2015).

| Modelo Digital del Terreno MDT Raster (*.TIF) | Resolución espacial (m) | Origen de datos | Tamaño archivo (Mb) |
|--|----------------------------|---|------------------------|
| MDT _(Top) TOPOGRAFICO | 5,5* | Vector: Curvas de Nivel topografía convencional | 3.640 |
| MDT _(LiDAR) LiDAR** | 1,1 | Vector: Nube de puntos clasificada LiDAR | 1.162 |

Tabla 1. Características generales de los MDT bajo estudio. *El MDT_(Top) fue construido a partir de información secundaria de curvas de nivel extraídas de los diseños del plan maestro de alcantarillado municipal a una escala de 1:10'000 a partir de interpolación lineal con Kriging de 5 metros (CREACUA 2014). **LiDAR acrónimo del inglés Light Detection and Ranging.

- *Comparación descriptiva entre los MDT_(Top) y MDT_(LiDAR)*

En primer lugar, se procedió a una comparación descriptiva en SIG de los datos de elevación para el MDT_(Top) y MDT_(LiDAR). Un mapa de diferencias de elevación Z a partir de los MDT_(Top) y MDT_(LiDAR) fue generado mediante calculadora SIG raster. La función de cálculo se describe a continuación (Ecuación 1):

$$\text{Mapa } Z_{Top} - Z_{LiDAR} = |MDT_{(Top)} - MDT_{(LiDAR)}|^2 \text{ Ec 1}$$

Como indicador visual descriptivo de comparación, el producto obtenido es un mapa de similitud en el cual se muestran zonas en tres clases homogéneas: Muy Similar, Medianamente similar y Muy diferente.

- *Cálculo de A y Vol para el evento histórico más extremo*

En este apartado se utilizó el módulo de modelación hidrológica “r.lake.xy” en GRASS Tools de QGIS (GRASS., 2016). Esta función llena un lago, en este caso cada celda bajo estudio, para un nivel de agua determinado desde un punto especificado. Ejecutado el módulo desde el centro de celda se obtiene un mapa raster de inundación con profundidades desde 0 hasta valores máximos, y el cálculo del área (A)/volumen inundado (Vol) por celda. Para ejecutar el módulo se requiere los siguientes parámetros de entrada:

- “dem=name”: cargado del MDT_(Top) y MDT_(LiDAR) correspondiente para cada uno de las 5 celdas. Las elevaciones Z de cada modelo del terreno son ortométricas (marco de geográfico de referencia Magna Sirgas Bogotá)
- “xy=east,north” = punto de coordenadas X, Y de origen en cada centro de celda bajo estudio.
- “wl=float”: valor de altitud del nivel de agua H, o cota de agua en el centro de celda y se define en la ecuación 2 como:

$$H = Z + h \quad \text{Ec 2}$$

Donde (Z) es la elevación del terreno en el centro de celda y (h) la profundidad de la columna de agua en el mismo punto.

Se tomaron las salidas de simulación de alturas (h) máximas generadas con el modelo MODCEL calibrado y validado para el nivel de referencia base (ALT_0) del evento histórico más extremo, que fue estimado con un tiempo de retorno (TR) de 84 años (Nardini y Miguez, 2016; CREACUA 2014). Dicho evento extremo observado se produjo durante el mes de septiembre de 2011, en el periodo denominado “Ola Invernal 2010-2011”, en el cual se generaron significativos daños materiales y sociales en la zona de estudio (Sedano-Cruz et al., 2013; El Informador, 2011). En la Tabla 1 se reflejan los datos de profundidad h.

| Celda | X (m) | Y (m) | Z (m.s.n.m) | h (m) | H (Z+h) (m) |
|-------|-------------|-------------|----------------|----------|----------------|
| 506 | 1127943.892 | 1768164.586 | 3.10 | 1.12 | 4.22 |

| | | | | | |
|-----|-------------|-------------|------|------|------|
| 603 | 1128228.320 | 1768415.941 | 0.88 | 1.63 | 2.51 |
| 703 | 1128281.237 | 1768812.816 | 0.00 | 1.78 | 1.78 |
| 704 | 1128188.632 | 1769513.964 | 0.27 | 1.22 | 1.49 |
| 705 | 1128248.164 | 1769117.088 | 1.36 | 0.29 | 1.65 |

Tabla 2. Ubicación X, Y; elevación del terreno Z; profundidad máxima h y Nivel de agua H para cada de centro de celda a inundar. Fuente: CREACUA (2015); Nardini y Miguez (2016). Marco de referencia Geográfico: Magna Sirgas Bogotá.

- *Análisis de sensibilidad y calculo RMSE mapa raster inundaciones generado.*

El análisis de sensibilidad se ejecuta para cada celda bajo estudio como la diferencia porcentual del cálculo de A y Vol en el apartado anterior para cada $MDT_{(Top)}$ y $MDT_{(LiDAR)}$.

Con el fin de evaluar la capacidad de predicción de (h) para $MDT_{(Top)}$ y $MDT_{(LiDAR)}$ del evento extremo de TR 84, se estimó la Raíz del Error Cuadrático Medio RMSE (RMSE por su acrónimo inglés). El RMSE (Ec. 3), muestra cómo difieren los datos estimados de profundidad (h_{MDT}) de aquellos encuestados (asumidos como verdaderos) ($h_{Encuestado}$).

$$RMSE = \sqrt{\left[n^{-1} \sum_{i=-1}^n (h_{Encuestado} - h_{MDT})^2 \right]} \quad Ec. 3$$

Los valores de $h_{Encuestado}$ disponibles (6 puntos de muestra), provienen de la encuesta efectuada por CREACUA (2014) en las Celdas 503 y 603. Se determinó mediante consulta SIG el valor de h_{MDT} en el raster de inundaciones para el mismo lugar de la encuesta tanto en $MDT_{(Top)}$ como en $MDT_{(LiDAR)}$.

5. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

- *Comparación descriptiva entre los $MDT_{(Top)}$ y $MDT_{(LiDAR)}$*

Visualmente se observan aparentes diferencias entre $MDT_{(Top)}$ y $MDT_{(LiDAR)}$ como se aprecia comparando las Figuras 2a y 2b. La Figura 2c representa los resultados de aplicar la ecuación 1. Las áreas con fuertes discrepancias, mostradas en color rojo (0.897 – 4.778 m), no ocupan una superficie considerable en el mapa. Las diferencias menos marcadas en color verde y amarillo ocupan la mayor parte de la escena de la Fig 2c. Cuantitativamente, del mapa se obtuvieron diferencias de media $X= 0.369$ m; desviación estándar $S= 0.361$ m para un coeficiente de variación $CV = 97.83$ %.

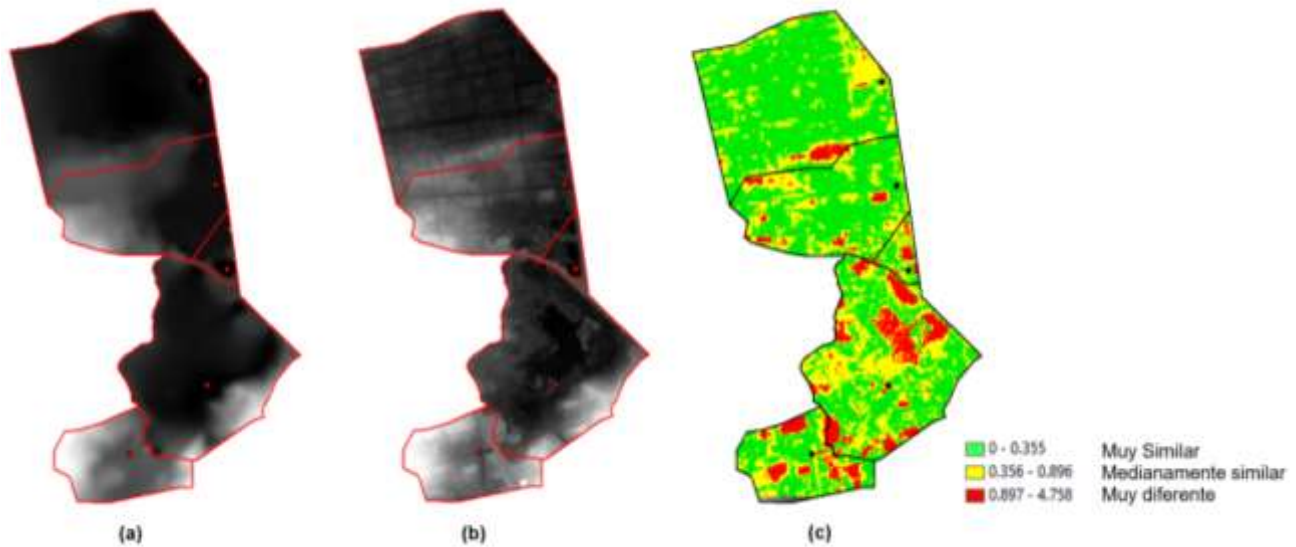


Figura 2. (a) $MDT_{(Top)}$ (b) $MDT_{(LiDAR)}$ y (c) Mapa resultantes de diferencias de Elevación (Ec 1). Fuente: Elaboración propia.

- *Calculo de A y Vol para el evento histórico más extremo y Análisis de sensibilidad*

Los resultados de aplicar el modulo “r.lake.xy” para el cálculo de A y Vol del evento extremo de TR 84 en cada celda bajo estudio se resumen en la tabla 3.

| Celda | Área(m ²) | | % Var | Volumen (m ³) | | % Var |
|--------------|-----------------------|------------------|--------------|---------------------------|-----------------|-------------|
| | $MDT_{(top)}$ | $MDT_{(LiDAR)}$ | | $MDT_{(top)}$ | $MDT_{(LiDAR)}$ | |
| 506 | 52050.00 | 40506.00 | 22.17 | 39602.61 | 29565.94 | 25.34 |
| 603 | 232225.00 | 202670.00 | 12.72 | 206449.00 | 234507.22 | 11.96 |
| 703 | 17425.00 | 16079.00 | 7.72 | 8833.42 | 12603.24 | 28.91 |
| 704 | 194850.00 | 168035.00 | 13.76 | 55685.99 | 69751.57 | 25.25 |
| 705 | 67300.00 | 48181.00 | 28.4 | 18589.98 | 17047.63 | 8.29 |
| Total | 563850.00 | 475471.00 | 15.67 | 329161.0 | 363475.6 | 9.44 |

Tabla 3. Calculo de área, volumen y porcentaje de variación para $MDT_{(Top)}$ y $MDT_{(LiDAR)}$ para el evento extremo de TR 84 años (septiembre de 2011). Fuente: Elaboración propia.

Se observan diferencias porcentuales mínimas para el caso del cálculo del A en la celda 703 con 7.72 %. Lo mismo para Vol en la celda 705 con un 8.29 de diferencia. En todos casos las diferencias no pasan del 29% y no son menores del 7 %. Destaca el gran volumen correspondiente a la celda 603 que representa la ronda perimetral de la Laguna *Salada*, estimado en 206449 m³.

A continuación, en las figuras 3a hasta la 3j se muestran los mapas de inundación para el evento extremo TR 84 en ambos modelos bajo estudio.



Figura 3. A MDT_(top) Celda 503



Figura 3. B MDT_(LiDAR) Celda 503



Figura 3. C MDT_(top) Celda 603



Figura 3. D MDT_(LiDAR) Celda 603



Figura 3. E MDT_(top) Celda 705

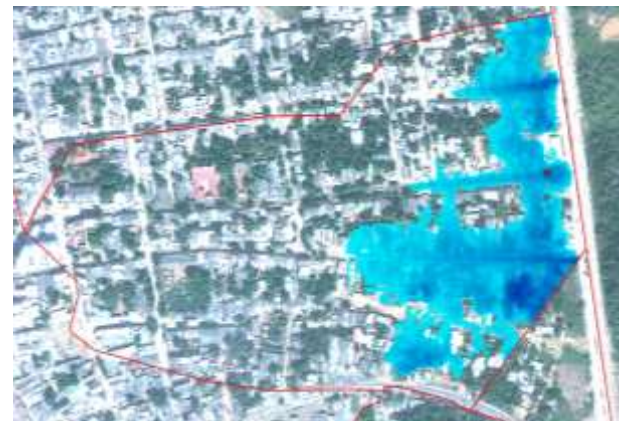


Figura 3. F MDT_(LiDAR) Celda 705



Figura 3. G MDT_(top) Celda 705



Figura 3. H MDT_(LiDAR) Celda 705



Figura 3. IMDT_(top) Celda 704

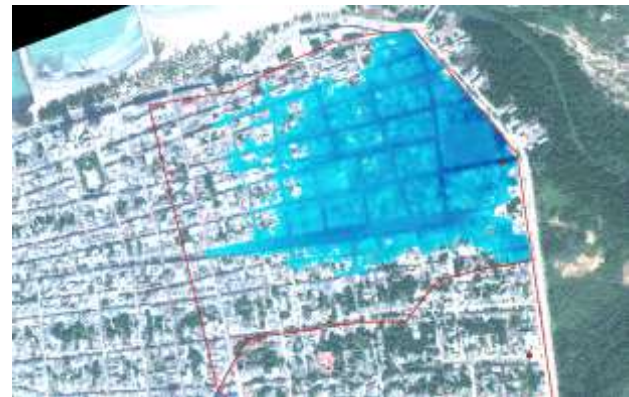


Figura 3. JMDT_(LiDAR) Celda 704

Como se aprecia, la delimitación y alcance de la extensión de la inundación son visualmente casi similares, sin embargo el MDT_(LiDAR) hace una proyección de la inundación mucho más realista que el MDT_(top), de corte más conceptual y menos rigurosa.

- *Calculo RMSE mapa raster inundaciones generado (Validación).*

Se refleja en la Tabla 4 la validación de los mapas de inundación generados en el apartado anterior. Los resultados de la estimación de (h) para cada modelo (h MDT_(top), h MDT_(LiDAR)) y los valores de h_{Encuestado} se representan gráficamente y tabulan para el cálculo del RMSE y el posterior análisis comparativo.

| Punto | h Encuestado (m) | h MDT _(LiDAR) (m) | h MDT _(Top) (m) | Gráficos comparativos |
|-------------|------------------------|------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| 1 Celda 506 | 0.980 | 1.186 | 1.105 | |
| 2 Celda 506 | 1.580 | 1.184 | 1.092 | |
| 3 Celda 506 | 1.950 | 1.497 | 0.943 | |
| 4 Celda 603 | 1.230 | 0.364 | 0.926 | |
| 5 Celda 603 | 0.735 | 0.864 | 1.134 | |
| 6 Celda 603 | 1.080 | 0.784 | 1.135 | |
| MAE | | 0.254 | 0.210 | |
| RMSE | | 0.458 | 0.504 | |

Tabla 4. Cálculo MAE (Error medio absoluto) y RMSE (Raíz del error cuadrático medio) entre la profundidad máxima h_{Encuestado} para evento extremo histórico de TR 84 (Sept 2011) y su comparación con h MDT estimada en la extensión de inundación generadas para el mismo evento. Fuente: Datos Encuesta CREACUA (2014).

6. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se pueden observar diferencias notables en algunos sectores como resultado de la comparación descriptiva entre MDT_(Top) y MDT_(LiDAR). Los modelos en las celdas 704 y 705 no difieren pronunciadamente como en el caso de la celda 603 (*Laguna Salaá*), donde se encuentran diferencias muy marcadas. En los sectores donde no se dan diferencias profundas se sugiere una homogeneidad que se propaga en 704 y 705, esto puede ser por lo regular de la configuración urbana (Calles y Carreras). Esta zona se caracteriza por ser relativamente plana por su proximidad a la planicie de inundación del delta del Río Ranchería.

Las zonas donde aparecen grandes diferencias, como en la celda 603, pueden ser explicadas por la presencia de vegetación considerable y las discrepancias de los modelos en caracterizar la extensión de la lámina de

agua en la laguna (Interpolación de curvas de nivel y no retorno de laser en LiDAR). Del análisis global se puede decir que, aunque diferentes, al menos ambos modelos son consistentes y no difieren marcadamente entre sí. Los resultados siguen confirmando la literatura en cuanto al mayor aporte de detalle del LiDAR con respecto a otras fuentes.

Del análisis de sensibilidad efectuado del cálculo de área y volumen de inundación para el evento TR 85, se puede decir que las diferencias de $MDT_{(Top)}$ y $MDT_{(LiDAR)}$ no son tan notorias como se esperaba. El $MDT_{(Top)}$ produce una mayor de área que el $MDT_{(LiDAR)}$ con una variación de 15.6 %. Esto debido a la resolución espacial. Al ser el pixel mucho más grande en el $MDT_{(Top)}$, se tiende a sobreestimar la extensión de la inundación con respecto al $MDT_{(LiDAR)}$. El modelo LiDAR aporta un mayor realismo en la representación del evento extremo analizado.

Lo opuesto ocurre con respecto al volumen estimado, que para el $MDT_{(LiDAR)}$ es ligeramente mayor (9.44 %) que para el $MDT_{(Top)}$. Esto puede deberse al mayor detalle en términos de elevación dada la forma automatizada y masiva de un levantamiento tipo LiDAR que imprime un mayor detalle de la realidad. Sin embargo, no es suficiente para que el cálculo volumétrico llegue a ser muy diferente (al menos $\leq 50\%$). Con respecto a los mapas de inundación generados, es evidente el $MDT_{(LiDAR)}$ aporta mayor realismo que el $MDT_{(Top)}$, lo que implica que este último puede considerarse como una representación más conceptual del área de inundación sobre el terreno. Teniendo en cuenta la escasez de información a escalas de detalle en el contexto latinoamericano, como es el presente caso de estudio, la definición de la escala de trabajo puede ser determinante en la elección del MDT. A la luz de los resultados, si se requiere trabajar con escalas de detalle del orden de 1: 5,000 o menor, lo recomendable es elegir a $MDT_{(LiDAR)}$. Sin embargo, para estudios entorno a escalas de 1: 10,000 podría ser suficiente el $MDT_{(Top)}$ con su ventaja en costos y relativa facilidad de adquisición de primera mano, o de fuentes secundarias (empresa local de alcantarillado).

El RMSE para la extensión de inundación en $MDT_{(Top)}$ y $MDT_{(LiDAR)}$ no mostró en términos generales diferencias notables con un 9.1 % en los 6 puntos evaluados. El menor RMSE lo obtuvo el $MDT_{(LiDAR)}$ con un valor de 0.458 m frente a los 0.504 m del $MDT_{(Top)}$. En los puntos evaluados el $MDT_{(Top)}$ tendió a producir profundidades mayores que el $MDT_{(LiDAR)}$. Los valores encuestados se mostraron casi siempre mayores con respecto a los estimados en la extensión de inundación, esto puede ser debido a un vago recuerdo de los niveles de agua durante el evento histórico por parte de los encuestados. Pero es de recalcar que los datos encuestados y estimados tienden a comportarse similar en términos relativos, dando certidumbre a los resultados de la simulación de la inundación y su proyección en el espacio.

Es importante recalcar que para comparaciones fiables la referencia altimétrica debe ser la misma para evitar errores de interpretación. En este estudio todas las alturas fueron referidas en metros sobre el nivel del mar (ortométricas), cualquier otro modelo procedente de otra fuente geomática debe tener el mismo modelo del geoide terrestre local para evitar discrepancias. Por otro lado, hay que destacar lo cambiante que puede ser la morfología de un terreno en un entorno urbano, lo que puede explicar, en parte, las discrepancias encontradas.

Es recomendable para estudios posteriores: 1.) corroborar con levantamientos en campo las alturas reflejadas en los modelos con un número considerable de puntos para estimar el error y evaluar su comportamiento. 2.) También es necesario un mayor número de encuestas en el área de estudio para tener mayor confianza estadística en cuanto al cálculo del RMSE para ambos modelos. 3.) Realizar comparativas con modelos del terreno actualizados procedente de otras fuentes o técnicas de adquisición como Drones o UAV's. 4.) Efectuar un estudio de detección de cambios en periodos cortos para determinar si pueden darse cambios fuertes con respecto a los modelos disponibles.

7. CONCLUSIONES

- En el presente trabajo se ha realizado una comparación entre dos modelos digitales del terreno (LiDAR y Topografía Convencional), una estimación del volumen, área y RMSE para un evento extremo de inundación en una ciudad costera del caribe colombiano.
- Para el evento extremo estudiado de inundación y área analizada, las diferencias entre modelos no fueron tan acusadas como se esperaba. El modelo topográfico tiene a sobrestimar la extensión de inundación ligeramente con respecto al LiDAR.
- El modelo LiDAR y de Topografía difieren entre sí, aunque son consistentes. El modelo topográfico se puede definir como conceptual a nivel de detalle, mientras el LiDAR se podría calificar como realista, confirmando como el estándar de máximo resolución espacial según la literatura.
- El área y el volumen de la extensión de inundación no mostraron diferencias muy importantes entre sí, pudiendo usarse el modelo de topografía convencional a una escala de trabajo de detalle mediano (> 1: 10,000). A este nivel de detalle, el efecto de ambos modelos sobre la representación de la inundación no es suficientemente acusado.
- El modelo LiDAR puede explicar con mejor precisión las profundidades de inundación que el modelo topográfico para el evento de septiembre de 2011, aunque ambos coinciden en subestimar las profundidades de inundación para dicho evento.
- Se puede decir que, para un contexto urbano de similar área, ambos modelos pueden tener casi las mismas prestaciones para analizar inundaciones de un evento extremo si la escala de trabajo no es exigente.
- Para las condiciones económicas y la información cartográfica existente en los países latinoamericanos, así como para grandes extensiones urbanas, se puede considerar que el modelo obtenido a partir de topografía convencional tiene un nivel de detalle óptimo. Puede ser utilizado para representar apropiadamente las inundaciones extremas bajo el contexto local frente al LiDAR, más costoso y menos asequible, aunque más realista. Este último (Modelo LiDAR) puede ser usado para escalas de trabajo de 1:5,000 y áreas pequeñas (30 ha), por ejemplo, en zonas consideradas de actuación prioritaria frente a inundaciones.
- La topografía LiDAR puede ser usada en zonas de actuación prioritaria de área reducida, y previamente identificadas con fuentes topográficas convencionales de menor detalle.

8. BIBLIOGRAFÍA

Bertoni, J. C., Tchiguirinskaia, J., Thein, K. N. N., & Hubert, P. (2006). Urban floods in Latin America: reflections on the role of risk factors. *Frontiers in flood research*, 123-141.

Casas, A., Benito, G., Thorndycraft, V. R., & Rico, M. (2006). The topographic data source of digital terrain models as a key element in the accuracy of hydraulic flood modelling. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31(4), 444-456.

CREACUA, Centro de Recuperación de Ecosistemas Acuáticos, F. (2014). *Caracterización hidráulico -territorial de la subcuenca urbana* [online]. Available at: <http://modcelrhcdatos.wix.com/modcel-riohacha#!avance/cco> [Accessed 18 Apr. 2016].

CREACUA, Centro de Recuperación de Ecosistemas Acuáticos, F. (2015) Proyecto: "Adaptación Urbana Verde frente a inundaciones con el soporte de la modelación matemática y del software MODCEL en Riohacha, La Guajira, Colombia"; *Convenio de cooperación N° 9677-04-1047-2013*. [online] Available at: <http://modcelrhcdatos.wix.com/modcel-riohacha#!avance/cco> [Accessed 18 Apr. 2016].

DIMAR, Dirección General Marítima de Colombia. (2008). *Sistema Web de Administración de Metadatos Interinstitucional SWAMI*. [online] Available at: <http://sig.dimar.mil.co/swami/> [Accessed 18 Apr. 2016].

El Informador. (2011). *Centenares de familias damnificadas en Riohacha*. [online] Available at: <http://www.elinformador.com.co/index.php/region-caribe/77-la-guajira/24753-centenares-de-familias-damnificadas-en-riohacha> [Accessed 20 Apr. 2016].

Escobar Villanueva, J., Nardini, A. and Iglesias, L. (2015). Evaluación del uso de topografía LiDAR en el modelado de inundaciones urbanas con MODCEL©. Aplicación a la ciudad costera de Riohacha, La Guajira (Caribe Colombiano). In: *Teledetección: Humedales y Espacios Protegidos*. [online] Sevilla (España): J. Bustamante, R. Díaz-Delgado, D. Aragonés, I. Afán y D. García, pp.383-386. Available at: <http://ocs.ebd.csic.es/index.php/AET/2015/paper/download/62/278> [Accessed 18 Apr. 2016].

Ezeh, A. C., Bongaarts, J., & Mberu, B. (2012). Family planning 1: Global population trends and policy options. *The Lancet*, 380(9837), 142-8.

Gillin, C. P., Bailey, S. W., McGuire, K. J., & Prisleyt, S. P. (2015). Evaluation of LiDAR-derived DEMs through terrain analysis and field comparison. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(5), 387-396.

Grass.osgeo.org. (2016). *GRASS GIS manual: r.lake*. [online] Available at: <https://grass.osgeo.org/grass64/manuals/r.lake.html> [Accessed 19 Apr. 2016].

Hoyos, N., et al. "Impact of the 2010–2011 La Niña phenomenon in Colombia, South America: the human toll of an extreme weather event." *Applied Geography* 39 (2013): 16-25.

Mascarenhas, F. C. B., & Miguez, M. G. (2002). Urban flood control through a mathematical cell model. *Water international*, 27(2), 208-218.

Mason, D. C., Horritt, M. S., Hunter, N. M., & Bates, P. D. (2007). Use of fused airborne scanning laser altimetry and digital map data for urban flood modelling. *Hydrological Processes*, 21(11), 1436-1447.

Miguez, M. G., Mascarenhas, F. C. B., Canedo de Magalhães, L. P., & D'Alterio, C. F. V. (2009). Planning and design of urban flood control measures: Assessing effects combination. *Journal of Urban Planning and Development*, 135(3), 100-109.

Sanders, B. F. (2007). Evaluation of on-line DEMs for flood inundation modeling. *Advances in Water Resources*, 30(8), 1831-1843.

Sedano-Cruz, K. A. R. I. M. E., Carvajal-Escobar, Y. E. S. I. D., & Díaz, Á. J. Á. (2013). Análisis de aspectos que incrementan el riesgo de inundaciones en Colombia. *Revista. Luna. azul*, 37, 219-238.

UNGRD, Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres de Colombia (2014). *Informe de Rendición de cuentas 2013-2014*. [online] Portal.gestiondelriesgo.gov.co. Available at: http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/Informes-de-Gestion/informe_tecnico_rendicion_2013_2014.pdf. [Accessed 21 Apr. 2016].

Witt, E. C. (2015). Evaluation of the US Geological Survey standard elevation products in a two-dimensional hydraulic modeling application for a low relief coastal floodplain. *Journal of Hydrology*, 531, 759-767.

9. AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a la Fundación CREACUA por ceder los datos del proyecto "Adaptación Urbana Verde". Al Programa de Formación de Alto Nivel de la Universidad de La Guajira (Colombia) que hace posible la dedicación exclusiva para la producción y divulgación científica del autor principal.

PLATAFORMA TECNOLÓGICA PARA EL CONTROL DE LA PLAGA DE LA MOSCA DEL OLIVO

José Francisco Feliu de la Peña-Pons¹, Mauricio Ruiz-Pérez¹, Ferran Valdes-Crespí² Bartomeu Alorda– Ladaira², Carlos Barcelo-Seguí³, Mar Leza-Salord³, Miguel Ángel Miranda-Chueca³

¹Servicio de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección, (Universitat de les Illes Balears, Cra. Valldemossa Km 7,5 07122. Palma de Mallorca España) josefeliu@gmail.com, maurici.ruiz@uib.es

²Servicio de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección, (Universitat de les Illes Balears, Cra. Departamento Física (Universitat de les Illes Balears) ferran@fvcengineering.com, tomeu.alorda@uib.es

³Laboratorio de Zoología, (Universitat de les Illes Balears) carlos.barcelo@uib.es, mar.leza@uib.es, ma.miranda@uib.es

RESUMEN

Se presenta el desarrollo de una plataforma tecnológica piloto para el control de la productividad, el análisis de riesgos de la plaga de la mosca y la optimización del tratamiento insecticida de los olivares mediterráneos. La plataforma cuenta con los siguientes elementos: red de sensores (temperatura, humedad, cámara), base de datos georeferenciada, aplicaciones de consulta-monitorización y sistema de apoyo a la decisión para la gestión de la plaga. La red de sensores ha sido diseñada *ad-hoc* para ser instalada en una plantación y proporcionar información *on-line* de diversas variables meteorológicas y de la evolución de la plaga de la mosca del olivo. Son sensores con autonomía energética que incorporan una tarjeta de comunicaciones y envían los datos de forma continua a un servidor de bases de datos, donde son almacenados. Su localización estratégica en el campo de cultivo permite la generación de mapas temáticos de las variables monitorizadas mediante procesos interactivos de interpolación. La plataforma se ha realizado con la financiación de la Unión Europea (*ENPI CBC Mediterranean Sea Basin Programme*) en el marco del proyecto *FruiFlyNet*, finalizado en diciembre del 2015.

Palabras clave: Agricultura de precisión, sensores, plataformas tecnológicas, *Batrocea Oleae*.

ABSTRACT

The development of a technology platform for improve productivity, pest risk analysis and optimization of insecticide treatment of Mediterranean olive groves is presented here. The platform has the following elements: a network of sensors (temperature, humidity, camera), georeferenced database, query applications system-monitoring and decision support for the management of the pest. The sensor network has been designed *ad-hoc* to be installed on a plantation and provide information online both climatic variables, such as photographs of traps for olive fly. They are traps that work with solar energy and incorporate a communication card to send data continuously to a database server where they are stored. Its strategic location in the olives grove allows the generation of thematic maps of the monitored variables through interactive interpolation processes. The platform was made with funding from the European Union (*ENPI CBC Mediterranean Sea Basin Programme*) under the *FruiFlyNet* project, completed in December 2015.

Keywords: Precision farming, sensing, technologic platforms;

1. INTRODUCCIÓN

Se presenta el desarrollo de una plataforma tecnológica integrada, basada en el uso de las tecnologías de información geográfica, para el control de la mosca del olivo (*Bactrocera oleae*), principal plaga que afecta al cultivo de la *olea europea* (olivo). El trabajo, desarrollado en el marco del proyecto *FruitFlyNet*, tiene como principal objetivo desarrollar un sistema de detección y localización de la mosca del olivo basado en trampas electrónicas dotadas con cámaras y sensores que permiten registrar la evolución de la población de la mosca y las diferentes variables ambientales que se han dado en la parcela. Estos datos quedan registrados automáticamente en un servidor de base de datos, permitiendo un control más efectivo de la plaga. *FruitFlyNet* es un proyecto que ha sido financiado por la Unión Europea mediante el *ENPI*, *ENPI CBC Mediterranean Sea Basin*

La mosca del olivo tiene un ciclo de vida aproximadamente de cinco semanas, y cuando las condiciones meteorológicas le son propicias constituye una plaga que daña a gran parte de los frutos, la mosca pone su huevo en la oliva, y la larva crece dentro alimentándose de la fruta, provocando generalmente la caída del fruto y/o una mayor acidez del mismo. Así pues, la plaga provoca una disminución de la cantidad y la calidad de la producción, que se traduce en importantes pérdidas económicas para los productores. Para hacer frente a la plaga, tradicionalmente, se ha recurrido a los tratamientos químicos, que, a corto plazo, provocan la muerte de las moscas y las larvas, pero, a largo plazo, no sólo suponen un importante gasto económico, sino que también son ambientalmente poco sostenibles, porque contaminan las zonas fumigadas y acaban eliminando otras especies de insectos del olivar.

El prototipo desarrollado permite identificar, con una periodicidad diaria, aquéllas zonas del olivar donde la mosca presenta una mayor densidad poblacional. Así se definen las zonas donde es necesario realizar un tratamiento químico. Los diferentes dispositivos repartidos por toda la extensión del olivar ayudan a valorar, con gran nivel de exactitud, en qué momento la mosca se convierte en un peligro para la cosecha y cuál es la forma más adecuada de actuar. Así, el sistema permite reducir el número y el volumen de las fumigaciones utilizadas en el control de esta plaga, lo que reduce el impacto negativo sobre las poblaciones de parásitos naturales de la mosca –que podrían ayudar a controlar la plaga– y otras especies inocuas, a la vez que se generan menos residuos y se ahorra dinero, especialmente en las grandes explotaciones. Por último, el seguimiento de grandes extensiones de olivar se puede realizar sin tener la necesidad de desplazarse.

El principal objetivo de este artículo es explicar el desarrollo de la plataforma tecnológica *Olive Fly Net* (OFN) desarrollada para dar apoyo a la gestión y optimización de los cultivos de olivos centrándose especialmente en la gestión de la plaga de la mosca del olivo. OFN facilita la integración de datos de diversas fuentes (sensorización, GPS, ortofotografía, cartografía temática, etc.), incorporando las siguientes funcionalidades básicas:

- **Monitorización ambiental del cultivo.** Se desarrolla una aplicación de control y vigilancia ambiental del cultivo basada en la información proporcionada por una red de *Smart sensors* instalada. La aplicación proporciona información actualizada (*on-line*) de diversas variables meteorológicas (temperatura, precipitación, índice humedad, viento, etc.).
- **Diagnóstico de la plaga y su evolución.** El sistema de monitorización se complementa con funcionalidades para el control de la plaga de moscas. Para ello se ha diseñado una trampa/sensorizada que permite disponer de información actualizada del grado de infestación de cada árbol (foto).
- **Sistema de Ayuda a la Decisión para la optimización del tratamiento insecticida.** A partir de la información ambiental y del grado de infestación, se calcula el riesgo de picada para cada árbol de la explotación, permitiendo definir las áreas donde se recomienda un tratamiento insecticida preventivo. También se incorpora un registro temporal del tratamiento de pesticida realizado para cada árbol que servirá al agricultor para optimizar el proceso de fumigación.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

La agricultura de precisión (*Precision Farming*) constituye un área de aplicación de las TIG en las cuales se ha experimentado en el último decenio un desarrollo considerable (Cox, 2002; Neményi, 2003; Seelan et al, 2003; Zhang et al 2002). Su aplicación práctica se orienta a tres objetivos: la reducción de recursos económicos necesarios para el mantenimiento de las explotaciones agrícolas, un incremento en la productividad agrícola (dónde sembrar, cuánto regar) y la reducción de los impactos sobre el medio ambiente derivados del consumo excesivo de agua o la contaminación asociada al uso masivo de insecticidas y fertilizantes.

Para hacer referencia a esta tecnología se utiliza habitualmente el acrónimo FIS (*Farm Information Systems*), señalando así la integración de los sistemas de información en la explotación de una granja. Otro acrónimo utilizado para referirse al nivel de precisión del sistema es *Field-Level Geographic Information Systems* (Zhang

et al., 1999). Los FIS destacan por su capacidad integradora de distintos tipos de datos y formatos en tiempo real. Entre los componentes de un FIS se incluyen los componentes básicos de los SIG (*hardware, software, datos, procesos de análisis y modelización, sistemas de representación cartográfica*), así como los componentes básicos de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Estos incluyen también a las redes de sensores especializados (*Smart sensors*), que permiten la captura de información en el campo (temperatura, humedad, conductividad, viento, grado de infestación, etc.) y que facilitan la monitorización ambiental de la explotación y la automatización de determinados procesos de la explotación.

Los FIS pueden incluir sistemas de guiado automatizado de maquinaria agrícola mediante GPS de alta precisión (*Automated guidance systems*) (Earl, Thomas et al, 2000). Con ello se permite la realización de sembrado automatizado y la realización de tratamientos personalizados a las plantas en función de la información ambiental de su localización. Los FIS incluyen también funcionalidades de simulación y optimización que permiten dar apoyo a la toma de decisión a niveles operativos, estratégicos y tácticos para la gestión de la explotación agrícola. En definitiva, los FIS integran diversas fases de explotación agraria en su utilización: preparación del sustrato (*Precision Soil Preparation*), siembra (*Precision seeding*), gestión integrada de los cultivos (*Precision Crop Management*) y cosecha de alto rendimiento (*Precision Harvesting*).

Existen algunos productos comerciales en el mercado (*SST software, SMS, SGIS Topcon, MapShots, etc*). Sin embargo, en la mayoría de casos, suelen desarrollarse productos personalizados que integran diversas soluciones tecnológicas.

En relación a los FIS, la comunidad científica ha orientado su actividad en distintos ámbitos:

- La mejora de la conectividad de los SIG con productos de simulación para la optimización de los cultivos (Rao et al., 2000).
- Aceptabilidad en la implantación de los FIS (Aubert et al., 2012; Mims et al., 2005).
- El uso de la teledetección como instrumento de apoyo para el diagnóstico de los cultivos, disponibilidad de agua, la eliminación de malas hierbas, la optimización de los cultivos al tipo de suelo, detección de daños derivados de fenómenos naturales adversos (Cochard et al., 2008; Lamb et al, 2001; Seelan et al., 2003).
- Impacto económico de la aplicación de los FIS a la explotación de cultivos (Batte et al, 2003; El-kader et al, 2013; Godwin, et al, 2003).
- Mejora en los sistemas sensores de la agricultura de precisión (Adamchuk et al, 2004).
- Optimización en los sistemas de irrigación (Nahry et al, 2011).
- Impacto en la calidad de los suelos (Schloter et al, 2003).
- Impactos en la erosión de la tierra (Ramos et al, 2007).
- Diseño de sensores y aplicaciones específicas (Zheng et al., 2011).

La agricultura puede verse favorecida sustancialmente por la utilización de los sistemas FIS, especialmente al reducir el uso de plaguicidas, siendo este el fin último de este proyecto. Sin embargo existe el riesgo creciente de que el uso de los FIS se oriente más hacia a la fertilización y productividad asociada (Auernhammer, 2001).

Los precedentes en el control de la mosca del olivo mediante herramientas de tecnologías de información son los estudios realizados por Ponitkakos et al (2010, 2012) donde establecían una herramienta para el control de la mosca.

3. PARCELAS DE ENSAYO

La implantación del FIS Olive Fruit Fly NET en Baleares se realizó en la finca de Son Llopart Nou, ubicada en el término municipal de Palma (Baleares). Se trata de una explotación de 17,8 hectáreas y que incluye 3.304

olivos (Figura 1), repartidos entre tres variedades: Picual, Empeltre (mallorquina) y Arbequina. El aceite se comercializa mediante la marca comercial WENGUÉ (<http://www.oliswengue.com>).

Se definieron tres parcelas de una hectárea con alrededor de 200 árboles para la realización del ensayo. En cada una de ellas se instalaron cinco trampas electrónicas (por lo que en total se instalaron quince trampas en toda la explotación).

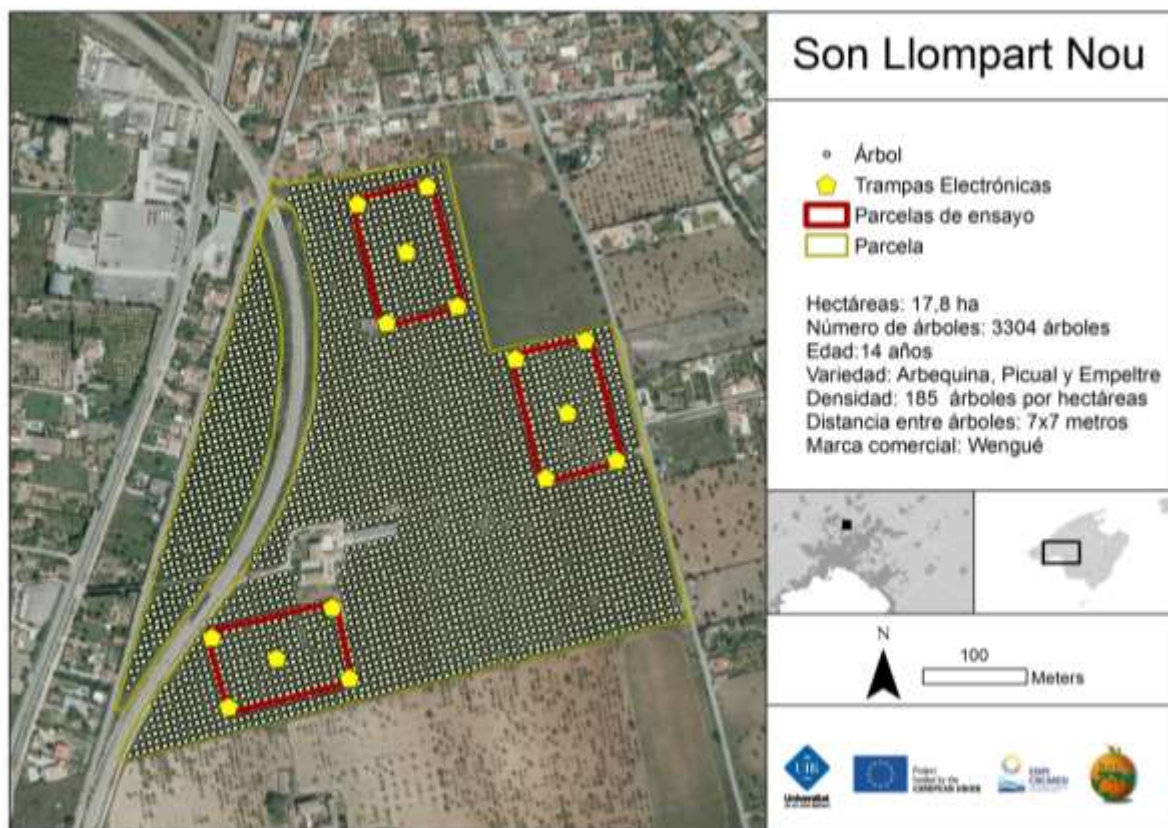


Figura1: Finca Son Llopart Nou. Fuente: Elaboración propia.

4. METODOLOGÍA

4.1 Diseño de la red de sensores / trampa

El primer paso ha sido el diseño de un dispositivo electrónico de monitorización (DEMO) que (Figura 2, 3) incluye un sensor de temperatura, un sensor de humedad, la trampa química de la mosca y una cámara USB que la enfoca y toma fotografía de la mosca.

- Sensores: El DHT22 es el sensor seleccionado para proporcionar los valores de temperatura y humedad y transmite la información a un servidor central con una periodicidad horaria.
- Trampas: El sistema de monitoreo tradicional para la mosca del olivo se basa en las trampas comerciales cebadas ya sea con atrayentes sólido (feromona y / o bicarbonato de amonio) y líquido (difosfato de amonio) (Eliopoulos 2007; Martínez et al, 2007; Burrack et al, 2008). Estas trampas atrapan machos o hembras dependiendo del atrayente utilizado y las capturas deben recogerse manualmente, para el correspondiente conteo e identificación. El número de moscas atrapadas se comprueba por lo general cada semana durante la temporada de mosca de la fruta y luego cada dos semanas durante los meses de invierno. Por consiguiente, la actividad de monitoreo mosca del olivo resulta ser muy lento. Esta frecuencia de muestreo no es adecuada para detectar una infestación. Gracias a la cámara instaladas en el DEMO basada en el sensor CMOS Omnivision 5647 se dispone de una imagen cada 24 horas de las trampas que son enviados a un servidor central donde serán

analizadas convenientemente e identificadas (Figura 4)

A partir de los DEMO se ha desarrollado una red de sensorización (Wireless Sensor Network –WSN) que incluye tres capas principales: el nodo de supervisión electrónica, el coordinador del nodo y el servidor receptor. La red está basada en el protocolo ZigBee. El diseño de WSN se ha realizado teniendo en cuenta un bajo consumo de energía (solar) y la utilización de equipos electrónicos de bajo coste (Figura 3 y Figura 5). Los nodos de supervisión están representados por los DEMO distribuidos sistemáticamente en la plantación (Figura 1). El nodo coordinación recibe los datos periódicamente de los DEMO y los envía a través de GPRS a la base de datos central (servidor receptor) utilizando un servicio RESTful (Figura 4).



Figura2: Trampa experimental.
Fuente: Elaboración propia



Figura3: Localización de la trampa en el olivo.
Fuente: Elaboración propia



Figura4: Funcionamiento de la coordinación.
Fuente: Elaboración propia



Figura5: Componentes electrónicos de la trampa

4.2 Diseño de la base de datos

La base de datos se estructura en torno a dos tablas clave: el árbol y el DEMO o Nodo (trampa). Al árbol se le asocia información diversa: especie, imágenes, tratamientos realizados o spray, Observaciones, Muestreos, Acciones realizadas y nivel de riesgo de infestación. Las trampas o DEMO's incorporan los valores recopilados por los sensores ambientales (sensores) y de las capturas.

Además se incorpora información sobre los usuarios de la aplicación y datos derivados de cartografías del campo de cultivo (Región) y de las parcelas de experimentación (Polígono).

4.3 Diseño de la arquitectura tecnológica de la aplicación

La arquitectura tecnológica cuenta con tres servidores (Figura6):

- Servidor de base de datos. Se utiliza el sistema gestor de bases de datos relacional Oracle 11g junto a la tecnología ArcSDE para el almacenamiento y la gestión de la información alfanumérica y geográfica. El sistema se abre al exterior a través de la habilitación de servicios RESTful que facilitan la agregación automática y remota de la información recopilada por la red WSN.
- Servidor de servicios cartográficos (Web Map Services). Mediante este servidor se generan servicios cartográficos interoperables WMS a partir de la información geográfica y alfanumérica asociada contenida en la base de datos. Para esta funcionalidad se utiliza el programa ArcGIS Server 10.1.
- Servidor WEB de aplicaciones. Este servidor facilita la ejecución de la aplicación WEB y cuenta con un

servicio *FireWall* para la protección del sistema.

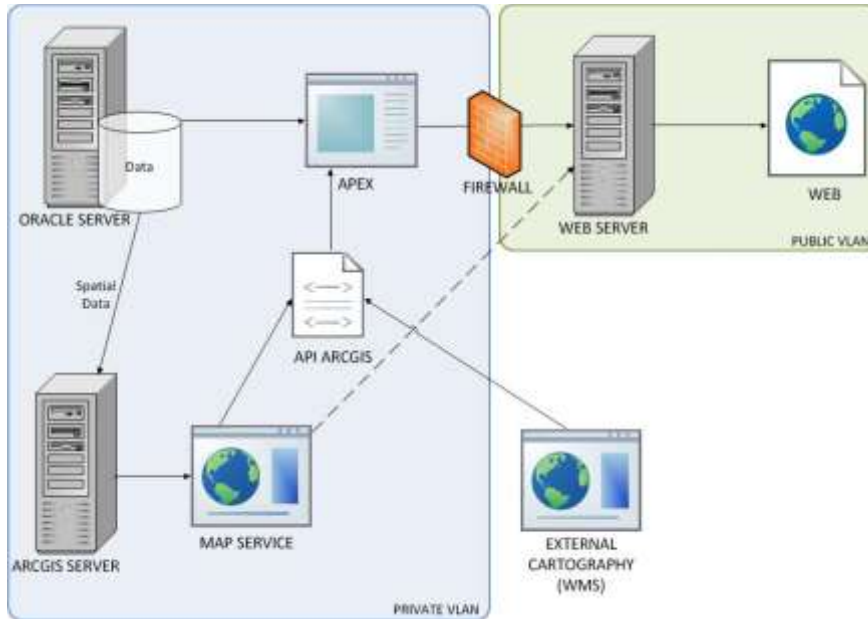


Figura 6: Arquitectura tecnológica. Elaboración propia

4.4 Desarrollo de la aplicación, implementación de funcionalidades, interface gráfica.

La aplicación *Web* se ha desarrollado utilizando la tecnología *Oracle Application Express* o APEX, una herramienta de Desarrollo Rápido de Aplicaciones que permite la integración de diversos lenguajes de programación y herramientas: PL/SQL (lenguaje de base de datos), HTML/CSS (lenguaje de páginas web), *JavaScript* (lenguaje orientado a objetos), *Dojo* (librería de JavaScript) y el *API ArcGIS Server* (API desarrollado por ESRI). La aplicación es posible ejecutarla tanto desde ordenadores personales como mediante el uso de *Tablets* o teléfonos móviles con conexión a internet.

El programa se estructura en un conjunto de pestañas seleccionables que permiten acceder a las distintas funcionalidades del aplicativo que a continuación describimos:

- **Panel de control de Árboles** (Pestaña *Tree Report* y Pestaña *Tree Detail*)

En el panel *Tree Report*, la interfaz presenta una tabla alfanumérica y un mapa. En ellos se puede realizar filtros en función de las características del árbol y se verán representados automáticamente en el mapa. El usuario puede seleccionar un árbol y obtener la información asociada al mismo a través del panel (*Tree Detail*).

El panel *Tree Detail* (figura7) proporciona la evolución temporal de toda la información asociada a ese árbol: Acciones realizadas, tratamientos insecticidas (*Spray*), riesgo infestación, imágenes asociadas, mapa de Localización, muestreos realizados, comentarios, etc.

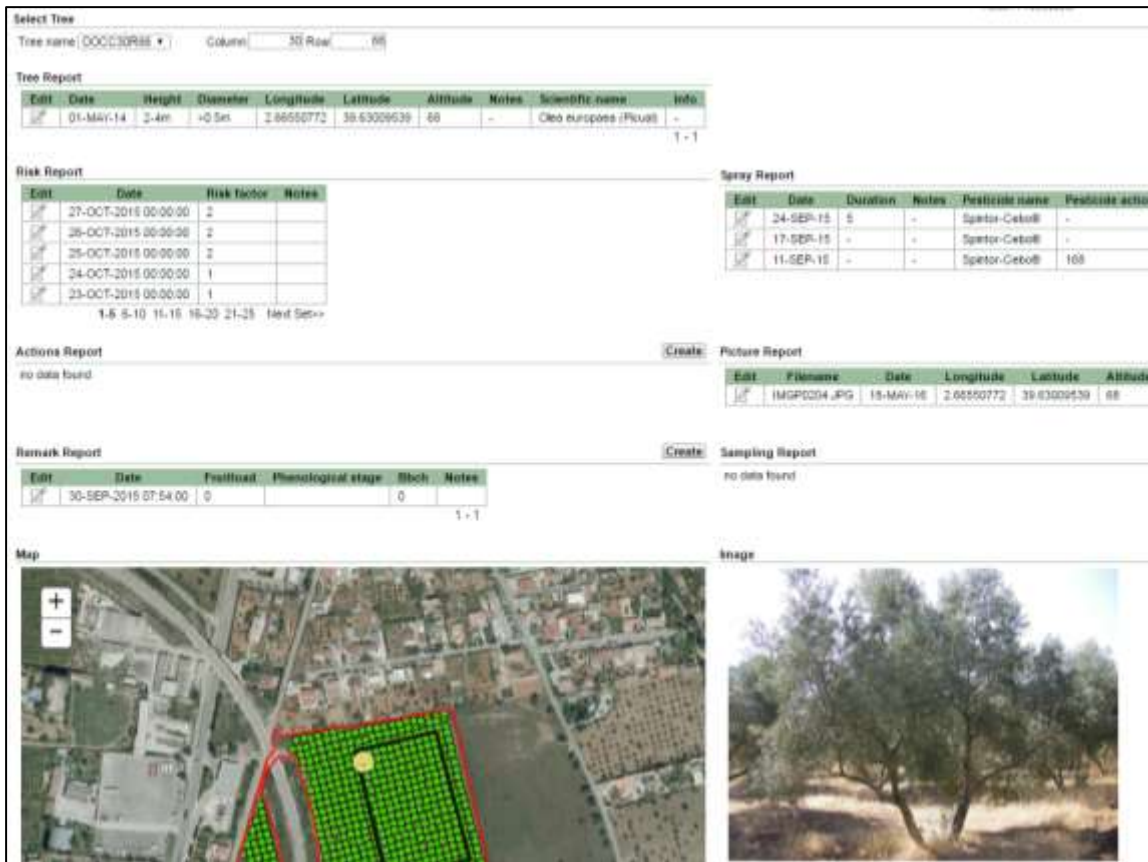


Figura 7: Detalle de la pestaña de Tree Detail



Figura 8: Detalle de la pestaña de Trap Detail

- Panel de control de Trampas (Pestaña Trap Report y Pestaña Trap Detail)

El Panel Trap Report facilita el acceso a los datos ambientales captados por la red de sensores y las capturas de las trampas. La selección de uno de los DEMo proporciona información detallada a través

del acceso al *Trap Detail*(Figura7). Así, se pueden observar las fotos recogidas en cada trampa para los distintos días y proceder al recuento on-line de las moscas.

- **Panel de control de Riesgo** (Pestaña *Risk Report*)

Panel de Riesgo (*Risk Pannel*) proporciona acceso a las interpolaciones de temperatura, humedad, número de moscas y el riesgo de infestación del cultivo por árbol (Figura 9).

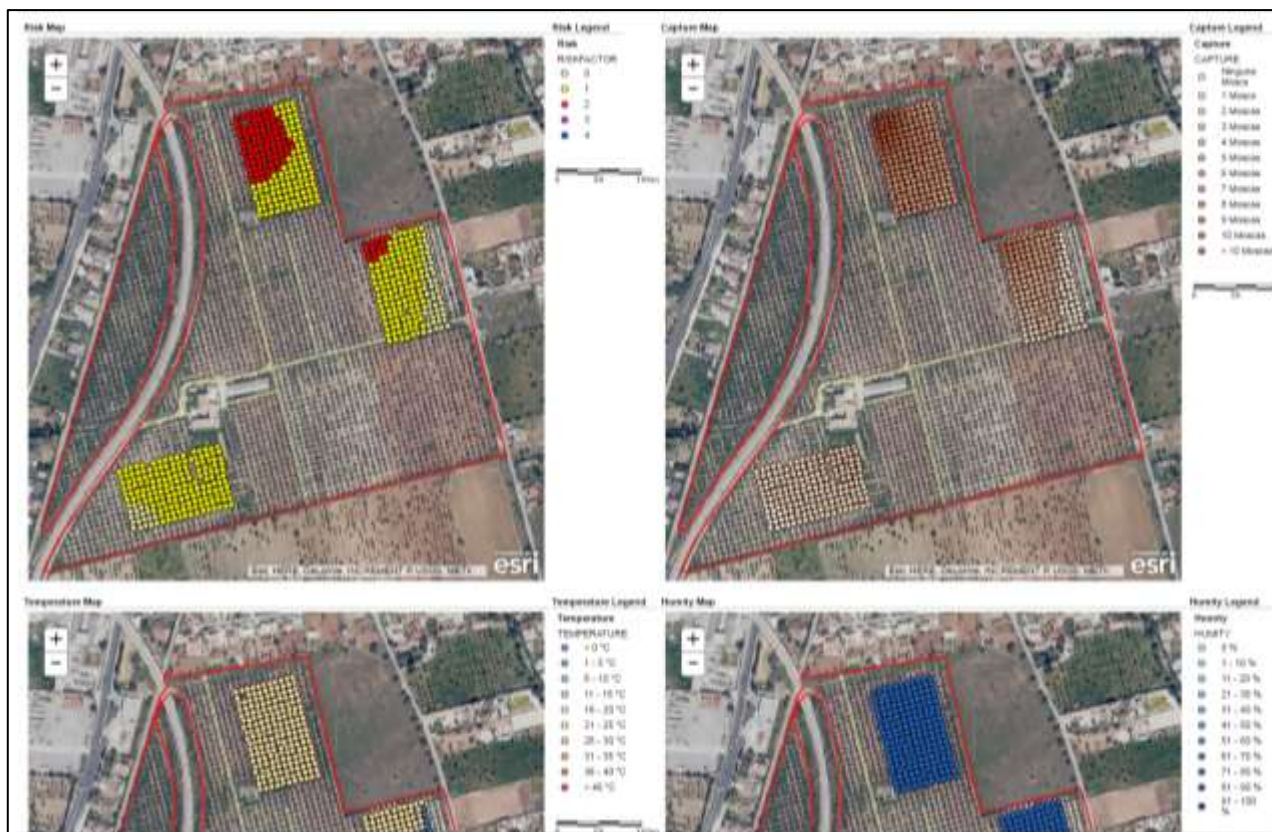


Figura 9: Detalle de la pestaña de Risk Detail

5. RESULTADOS

La plataforma estuvo en funcionamiento durante 61 días, desde el 28 agosto al 27 de octubre de 2015. Se recopilaron un total de 57.000 registros procedentes de los sensores de temperatura y humedad, además se tomaron 849 fotografías de las trampas (a partir de las cuales se realizó el conteo diario de número de moscas nuevas que habían caído en ellas). A partir de esta información de base se realizaron interpolaciones diarias de cada factor analizado que cubrían toda la extensión de la finca (media de temperaturas, media de humedades, número de moscas esperadas). De esa forma fue posible el cálculo del riesgo de infestación para cada árbol incluido en las parcelas experimentales (La figura 9 a modo de ejemplo muestra la pestaña *Risk Detail* con el resultado de las interpolaciones realizadas el día 19 de septiembre). Dicho nivel de riesgo sirvió de base para el tratamiento insecticida personalizado de cada árbol.

Consideramos que la aplicación web OliveFlynet constituye un instrumento eficiente para la monitorización del cultivo del olivo y dar apoyo a la gestión de plaga de la mosca que:

- Facilita la integración de distintas fuentes de información del cultivo del olivo: Datos obtenidos de los sensores, fotografías de las trampas, información recogida de los árboles mediante muestreos, etc.
- Constituye una plataforma de consulta gráfica y alfanumérica on-line del cultivo que permite disponer de información relevante de la situación de la plaga de la mosca y su evolución sin necesidad de desplazarse hasta la finca.

- Proporciona información relevante para la aplicación de tratamientos preventivos personalizados para cada árbol del cultivo.

6. CONCLUSIONES

La agricultura de precisión basada en el uso de tecnologías de la información geográfica aplicada a el ámbito mediterráneo sobre cultivos extensivos de olivera puede constituir una tecnología de gran eficacia para incrementar la eficiencia y productividad de las explotaciones, así como de reducir los efectos ambientales de los insecticidas mejorando la sostenibilidad de la actividad agraria y contribuyendo al mantenimiento de los paisajes naturales mediterráneos. La plataforma OliveFlyNet constituye un instrumento tecnológico pionero en este ámbito que ha resuelto de forma eficiente los requerimientos establecidos y constituye un resultado destacable de transferencia de la investigación científica de un equipo multidisciplinar.

Agradecimientos: Este trabajo se enmarca en proyecto FruitFlyNet, “A Location-aware System for Fruit Fly Monitoring and Pest Management Control”. Tiene un presupuesto total 1.662.872,32€ del cual la Unión Europea financia el 90% a través del programa ENPI CBC Mediterranean Sea basin Programme lo que supone un total financiado de 1.496.585,09€.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Adamchuk, V. I., Hummel, J. W., Morgan, M. T., & Upadhyaya, S. K. (2004). “On-the-go soil sensors for precision agriculture”, 44, 71–91. <http://doi.org/10.1016/j.compag.2004.03.002>
- Aubert, B. A., Schroeder, A., & Grimaudo, J. (2012). “IT as enabler of sustainable farming : An empirical analysis of farmers’ adoption decision of precision agriculture technology”. *Decision Support Systems*, 54(1), 510–520. <http://doi.org/10.1016/j.dss.2012.07.002>
- Auernhammer, H. (2001). “Precision farming — the environmental challenge”, 30, 31–43.
- Batte, T., & Arnholt, M. W. (2003). “Precision farming adoption and use in Ohio : case studies of six leading-edge adopters”, 38.
- Burrack, H.J., Connell, J.H. and Frank G. Zalom, F.G. 2008. “Comparison of olive fruit fly (*Bactrocera oleae* (Gmelin)) (Diptera: Tephritidae) captures in several commercial traps in California”. *International Journal of Pest Management* Vol. 54, No. 3, 227–234
- Cochard, R., Ranamukhaarachchi, S. L., Shivakoti, G. P., Shipin, O. V., Edwards, P. J., & Seeland, K. T. (2008). “The 2004 tsunami in Aceh and Southern Thailand: A review on coastal ecosystems, wave hazards and vulnerability. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*”, 10(1), 3–40. <http://doi.org/10.1016/j.ppees.2007.11.001>
- Cox, S. (2002). “Information technology : the global key to precision agriculture and sustainability”, 36, 93–111.
- Earl, R., Thomas, G., & Blackmore, B. S. (2000). “The potential role of GIS in autonomous field operations”, 25, 107–120.
- Eliopoulos P. A. (2007) “Evaluation of commercial traps of various designs for capturing the olive fruit fly *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae)”, *International Journal of Pest Management*, 53:3, 245-252
- El-kader, S. M. A., & El-basioni, B. M. M. (2013). “Precision farming solution in Egypt using the wireless sensor network technology”. *Egyptian Informatics Journal*, 14(3), 221–233. <http://doi.org/10.1016/j.eij.2013.06.004>
- Godwin, R. J., Richards, T. E., Wood, G. A., Welsh, J. P., & Knight, S. M. (2003). “An Economic Analysis of the Potential for Precision Farming in UK Cereal Production”, 84, 533–545. [http://doi.org/10.1016/S1537-5110\(02\)00282-9](http://doi.org/10.1016/S1537-5110(02)00282-9)

- Lamb, D. W., & Brown, R. B. (2001). "Remote-Sensing and Mapping of Weeds in Crops", 78. <http://doi.org/10.1006/jaer.2000.0630>
- Martínez, E., Miranda, M.A, Monerris, M., Alemany, A.2007. "Comparative field studies of various traps and attractants for the olive fruit fly, *Bactrocera oleae* in the Balearic Islands. In: Development of improved attractants and their integration into fruit fly sit management programmes". IAEA, Vienna, 2007. IAEA-TECDOC-1574. ISBN 978-92-0-109407-0. ISSN 1011-4289
- Mims, A., Norwood, S. H., &Mask, P. L. (2005). "Producers perceptions and attitudes toward precision agriculture technologies", 48, 256-271. <http://doi.org/10.1016/j.compag.2005.04.004>
- Nahry, A. H. El, Ali, R. R., & Baroudy, A. A. El. (2011)." An approach for precision farming under pivot irrigation system using remote sensing and GIS techniques". *Agricultural Water Management*, 98(4), 517-531. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.09.012>
- Neményi, M. et al. (2003). "The role of GIS and GPS in precision farming". *Computers and Electronics in Agriculture*, 40, 45-55. [http://doi.org/10.1016/S0168-1699\(03\)00010-3](http://doi.org/10.1016/S0168-1699(03)00010-3)
- Pontikakos, C., Tsilgiridis, T., Yialouris, C. y Kontodimas, D. (2012) "*Pest management control of olive fruit fly (Bactrocera oleae) based on a location-aware agro-environmental system*". *Computers and Electronics in Agriculture* 87 39-50
- Pontikakos, C. , Tsilgiridis, T. y Drougka, M. (2010)"Location-aware system for olive fruit fly spray control" *Computers and Electronics in Agriculture* 70 355-368.
- Ramos, M. I., Gil, A. J., Feito, F. R., & Garc, A. (2007). "Using GPS and GIS tools to monitor olive tree movements", 57, 135-148. <http://doi.org/10.1016/j.compag.2007.03.003>
- Rao, M. N., Waits, D. A., & Neilsen, M. L. (2000). "A GIS-based modeling approach for implementation of sustainable farm management practices", 15, 745-753.
- Schloter, M., Bach, H., Metz, S., Sehy, U., & Munch, J. C. (2003). "Influence of precision farming on the microbial community structure and functions in nitrogen turnover", 98, 295-304. [http://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00089-6](http://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00089-6)
- Seelan, S. K., Laguette, S., Casady, G. M., & Seielstad, G. A. (2003)." Remote sensing applications for precision agriculture : A learning community approach", 88, 157-169. <http://doi.org/10.1016/j.rse.2003.04.007>
- Zhang, N., Runquist, E., Schrock, M., Havlin, J., Kluitenburg, G., & Redulla, C. (1999)." Making GIS a versatile analytical tool for research in precision farming", 22, 221-231.
- Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). "Precision agriculture * a worldwide overview", 36, 113-132.
- Zheng, L., Li, M., Wu, C., Ye, H., Ji, R., & Deng, X. (2011). "Development of a smart mobile farming service system. Mathematical and Computer Modelling", 54(3-4), 1194-1203. <http://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.11.053>

LA ESFEROIMAGEN COMO TÉCNICA DE VIRTUALIZACIÓN DEL ENTORNO Y CONSTRUCCIÓN DE SIMULADORES VIRTUALES GEOGRÁFICOS PROYECTO DYCAM-SEG SVgVS

Abelardo López-Palacios¹, Humberto Martínez-Barbera²

¹ Doctor en Geografía. (Skeye2k-f - <http://www.skeye2k.org>), abelardo.lopez@um.es / abelardo.lopez@skeye2k.org

² Grupo de Investigación de Ingeniería Aplicada. (Facultad de Informática. Universidad de Murcia. Campus Universitario de Espinardo. 30100 Murcia). humberto@um.es

RESUMEN

Las Geotecnologías, tanto en su componente hardware como software, permiten la obtención y procesado de imágenes esféricas –*esferoimágenes* –con cobertura horizontal de 360° y 180° vertical.

La concatenación de secuencias de esferoimágenes permite la virtualización de entornos geográficos reproducibles en dispositivos computacionales, siendo uno de los ejemplos más populares Street View, tecnología promovida y propietaria de la mercantil Alphabet Inc.

El empleo de *Vehículos –Sistemas Aéreos Pilotados Remotamente* permite la obtención de una “Información Geográfica Digital” –IGD –especialmente valiosa debido, entre otras razones, a las características y prestaciones que aportan dichos sistemas, como es el caso de los RPAS de ala rotatoria, despegue vertical y vuelo estacionario.

El desarrollo de estas Geotecnologías, sustentando un proceso de virtualización del entorno y conformación de Simuladores Virtuales Geográficos en los que integrar IGD de otras fuentes, junto a su vinculación con la Realidad Virtual –VR –y otros recursos, ofrecen nuevas posibilidades para la investigación geográfica, adquiriendo especial relevancia como instrumento de apoyo a la toma de decisiones.

En el Proyecto DYCAM-SEG se han empleado estas Geotecnologías en la ejecución de un itinerario en la Vega Media del Segura. Las esferoimágenes obtenidas han permitido virtualizar el entorno y, manejadas a través del Simulador Virtual Geográfico desarrollado en el marco del citado proyecto, han facilitado el estudio del trazado meandriforme del río Segura y el reconocimiento de distintas geoformas asociadas al mismo.

Palabras clave: Esferoimagen; Entono Virtual; Simulador Virtual; RPAS; Visión por Computadora.

ABSTRACT

The *Geotechnologies*, regarding both its hardware and software, allow us to obtain and process spherical images - *spheroimages* – with a 360° horizontal coverage and a 180° vertical coverage.

The concatenation of *spheroimages* sequences allows the virtualization of geographical environments that can be reproduced in computational devices. Street View is one of the most popular examples, a promoted and owned technology by Alphabet Inc.

The use of *Vehicles –Remotely Piloted Air Systems* allows us to obtain "Geographical Digital Information" – GDI –, especially valuable due, among other reasons, to the characteristics and performances that these systems can offer, as in the case of the rotary-wing RPAS with vertical takeoff and hover flight.

These *Geotechnologies*, that sustains an environment virtualization process and the configuration of Geographical Virtual Simulators in which we can integrate GDI from other sources, together with their link with Virtual Reality and other resources, offer new possibilities for geographical research and acquire special relevancy as an instrument of decision-making support.

In the DYCAM-SEG Project, these *Geotechnologies* have been used in the elaboration of an itinerary in Vega Media del Segura, Murcia (Spain). The obtained *spheroimages* allow us to virtualize the environment and, handled by means of the Geographical Virtual Simulator developed in the frame of the mentioned project, they ease the study of the Segura River meandering reaches and the recognition of different *geoforms* associated with them.

Keywords: *Spheroimages*; Virtual Environment; Virtual Simulator; RPAs; Computer Vision.

1. INTRODUCCIÓN

Las capacidades tecnológicas desarrolladas durante los últimos decenios, tanto en la componente software como hardware, permiten “presentar con exactitud el relieve” de las geoformas, modelar el espacio geográfico aportando, en función de elementos matemáticos y computacionales, una “visión modelística de la realidad” (Buzai, 2004).

Una realidad virtualizada, un modelo digital del mundo real conformado por la integración de una información visual, esferoimágenes, ubicadas de modo que se cubra la totalidad de área de estudio, actuando como proceso digitalizador y generando el conjunto una modelización del espacio abarcado, un “paisaje digital fotográfico”, a modo de “escenario”, en el que se desarrollan los fenómenos a analizar.

El resultado es la obtención de un paisaje digital con capacidad de realismo inmersivo, base de un Simulador Virtual Geográfico dotado de las capacidades de fiabilidad propias de una Información Geográfica Digital, lo que constituye un claro avance hacia la definición de una “Realidad Virtual inmersiva e informacional”.

Estas capacidades, usadas en un modo holístico, según el concepto de “Gestión Integral de la Información Geográfica”, como se propone y defiende en tesis doctoral de López-Palacios (2016), supone un tratamiento interdisciplinar de la Información Geográfica Digital, una tendencia propia de las Tecnologías de la Información Geográfica Digital, ya irreversible e incuestionable en estos albores del Siglo XXI.

Entre las numerosas aplicaciones posibles de este tipo de tecnología cabe destacar las siguientes:

En primer lugar, los métodos y técnicas empleados para la obtención, procesado y publicación de esferoimágenes así como su integración en un “Simulador Virtual geografic Virtuasl Simulator”, de modo que se obtenga un modelo del espacio de estudio.

En segundo lugar, la interacción con Información Geográfica Digital -IGD- procedente de otras fuentes, de modo que pueda utilizarse como dispositivo de información dentro de los ámbitos de investigación, formativo y de divulgación.

Una tercera aplicación consistiría en su integración como soporte de la realidad geográfica en el que poder desarrollar procesos de simulación numérica.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

La determinación de escenarios, espacios virtuales en que desarrollar diversas acciones, forma parte de diferentes enfoques que, en la presente comunicación, se consideran englobados en el término “Modelización y Simulación”, M&S por sus siglas en Inglés, “Modeling and Simulation” (Wikipedia contributors, 2016).

En la acepción general de Modelo o acción de Modelizar, tal y como refiere la R.A.E., se entiende “Construir el modelo o esquema teórico de algo”, o como define el “US Congressional Modeling and Simulation Caucus”, “Modeling involves complex computer models to create these artificial environments”.

En ambos casos se orienta hacia una construcción artificial, teórica, de un entorno en el que poder aplicar posteriores procesos de simulación, procesos y técnicas numéricas desarrolladas en sistemas computacionales.

El recurso a la imagen, como fiel reflejo de la realidad existente en un lugar y en un momento determinado, evita la artificialidad del modelo, aportando, por contra, un “escenario real”, un entorno que supone un fiel reflejo de esa realidad en ese momento, una realidad “virtualizada”, digitalizada, un *Virtual Geographic Environment* (Huang., 2010), accesible, igualmente, en entornos computacionales.

En este contexto, se propone el uso de esferoimágenes como base y soporte para la definición de los espacios geográficos, los entornos en lo que poder desarrollar y/o integrar, posteriormente, procesos de simulación, una propuesta sobre la que apenas se tiene referencias, salvo lo tratado por López Palacios (2016). No obstante, el uso de la Realidad Virtual, asumida con diferentes nombres, en diferentes momentos, y desarrollada con diferentes objetivos, como “*Virtual Reality for Education*”, el acceso a mundos virtuales –

ActiveWorlds, *SeconLife* –o publicaciones que se citan en Bibliografía, forman parte de unas tendencias existentes casi desde el nacimiento y popularización de los sistemas digitales.

Así, el desarrollo de las tecnologías de representación de la realidad en 3D, como forma de representación del entorno, el denominado *Virtual Environment* (Ellis, 1994), ha sido uno de los objetivos tecnológicos perseguidos casi permanentemente, habiendo adquirido una fase de “explosión” en el presente, con el desarrollo de las gafas de realidad virtual o HMD (del inglés head-mounted display) y las tecnologías software adecuadas para la definición de los entornos virtuales accesibles en esos dispositivos, permitiendo una “inmersión” en el Entorno Virtual, como se presenta en esta comunicación.

3. ÁMBITO DE ESTUDIO

El ámbito de estudio se circunscribe al tramo alto de la Vega Media del Río Segura (Fig. 1), área en que se desarrolla el Proyecto de Investigación “*Dinámica y cambios morfológicos recientes del Bajo Segura (Vega Media)*” (DYCAM-SEG).



Figura 1. Área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

En el desarrollo de este itinerario se cubren unos 7 kilómetros, desde el paraje conocido como Contraparada hacia aguas abajo del Río Segura, hasta la pedanía de La Raya, Término Municipal de Murcia (Fig 2),



Figura 2. Situación de esferaimágenes.

Fuente: Elaboración propia.

Esta distancia correspondería a la determinada por los puntos – coordenadas – de obtención de las esferofotos, en un procedimiento asimilable a procesos de *Mobile Mapping* (Wikipedia contributors, 2016), siendo la de cobertura visual, con aprovechamiento en distintos usos y aplicaciones, muy superior, como se puede observar y analizar en su Wiki <http://wikimas.atika.um.es/tai2k/dycam-seg>,

4. METODOLOGÍA

4.1 Esferofoto

Se entiende por esferofoto o esferaimagen aquella composición de imágenes que unidas, “ensambladas”, conforman una imagen esférica con el foco, el punto de vista, situado en el centro de una esfera georreferenciada y que, gestionada en soportes computacionales adecuados, permite la visualización de la totalidad del entorno que rodea al observador, en una cobertura de 360° en visión horizontal y 180° en visión vertical.

Así, se obtiene una proyección equirectangular central o cónica, (Fig. 3) manteniendo una relación entre anchura y altura de $360/180=2$, siendo esta relación, en píxeles, proporcional al ángulo FOV, *Fiel of View*, situándose éstos en un sistema de coordenadas Latitud/Longitud/eLevación –L, L, L–local, trasladables a un Sistema de Referencia Geográfico absoluto.



Figura 3. El área de La Contraparada en proyección equirectangular. Fuente: Elaboración propia.

La obtención y explotación de estas esferofotos se convierte en una capacidad tecnológica innovadora, capacidad propia de un momento en que las herramientas software y hardware permiten su uso de manera generalizada. De este modo, pasan a constituir una fuente básica en que fundamentar la definición de los “Espacios Geográficos Virtuales”, *Virtual Geographic Environments* (Gong, 2001), entendidos como “escenarios” en que se desarrolla la vida. Unos escenarios producto de la captación directa de esa realidad reflejada por las imágenes, las fotografías, coadyuvando, las múltiples posibilidades de visualización, a un análisis espacial más completo e intuitivo de los mismos.

Unas capacidades que permiten vincular la *Realidad Virtual* con la Geografía (Fisher, 2001).

La Figura 4 muestra el área de La Contraparada en proyección esférica, con visión en “*Vista de Planeta Pequeño*”, formato que permite apreciar la fidelidad de la imagen, con los relieves en el horizonte, Sierra de Carrascoy en el centro derecha y Puerto de la Cadena en el centro izquierda.

Evidentemente, esta visión, al igual que la observada en “*Fig. 3 – El área de La Contraparada en proyección equirectangular*”, tiene una aplicación en sistemas impresos, como modo de expresión, incluso de promoción,

resultando poco explícitas, salvo para personas conocedoras del territorio y de los procesos representativos. De hecho, su “estado natural” de expresión corresponde a los sistemas computacionales, algo característico y propio de los recursos virtuales, de la Geoinformática, algo que subyace en esta comunicación.



Figura 4. El área de La Contraparada en proyección esférica.
Fuente: Elaboración propia

4.2 Captación

La captación de las imágenes que componen estas esferofotos aéreas se ha realizado con un “Sistema Aéreo Pilotado Remotamente”, RPAS por las siglas en inglés de “Remotely Piloted Aircraft System”.

La característica de ala rotatoria del RPAS empleado permite el despegue y aterrizaje en áreas pequeñas y no acondicionadas, así como el vuelo estacionario (López-Palacios, 2016).

La planificación del vuelo del “drone” modelo MD4-1000, mostrado en Figura 5, permite la determinación del punto de estabilización del vuelo, punto que asume la condición de “atalaya” desde la que se realiza la secuencia de toma de imágenes, también programada, en función de solapes horizontales y verticales, actuando en modo robótico.



Figura 5. RPAS MD4-1000 y Centro de Interpretación de La Contraparada. Fuente: Elaboración propia.

Para la generación de cada esferoimagen se requieren unas 46 imágenes convencionales, cantidad de imágenes que generan una semi-esfera que alcanza, aproximadamente, hasta los 70°.

Así mismo, este RPAS genera una información de telemetría que, entre otros parámetros, determina la posición de toma de cada imagen con sus valores posicionales –Tim, Lat, Lon, Lev– así como Cabeceo, Alabeo y Guiñada –Roll, Pitch y Yaw–. Dichos parámetros permiten, en procesos de cálculo apropiados, la determinación posicional de la esferafoto, su orientación y elementos representados, y facilitan los cálculos para su ensamblaje.

4.3 Procesado

El procesado de la información obtenida, tanto de imágenes como de telemetría, se concretan en el ensamblaje o unión de las imágenes, unas 46 de media, en un proceso basado en aplicaciones de software adecuado, con la finalidad de obtener la escena esférica que represente el territorio desde el punto de vista central de la esfera, punto central establecido mediante parámetros de telemetría.

Existen varios recursos para el procesado de imágenes adyacentes, siendo la mayoría de ellos orientados a imágenes cenitales, propias de la fotogrametría aérea, y/o continuas, como en el caso de las visiones panorámicas. El caso de las fotosferas requiere del empleo de aplicaciones específicas orientadas a la geometría esférica, resultando una representación plana en un primer estadio de los avances, independiente de la sensación óptica, tendiendo, en fases sucesivas, a aplicaciones para determinación de espacios 3D.

El software empleado, en la fase de ensamblaje, ha sido Kolor Autopano, software propietario usado bajo licencia cedida por Skeye2k-foundation, depositaria de la misma. En la fase de construcción del “*Simulador Virtual geografic Virtual Simulator DYCAM-SEG*” se ha empleado la aplicación Panotour de Kolor, software igualmente propietario, usando licencia cedida por Skeye2k-f.

4.4 Edición

Por su naturaleza, la Información Geográfica Digital requiere del uso y empleo de medios computacionales, siendo este su “hábitat natural”, resultando compleja su exposición en entornos analógicos, como esta comunicación.

Para ello, y como recurso que puede ser considerado como fundamental en los ámbitos de las Tecnologías de la Información Geográfica Digital, se ha habilitado un Sitio Web (<http://www.um.es/dycam-seg>) en el que exponer las características de este proyecto, así como un espacio en formato Wiki (<http://wikimas.atica.um.es/tai2k/dycam-seg>) en el que poder acceder al SVgVS DYCAM-SEG, en modo *no inmersivo*, utilizar sus distintas opciones y conocer sus singularidades (Fig. 6).

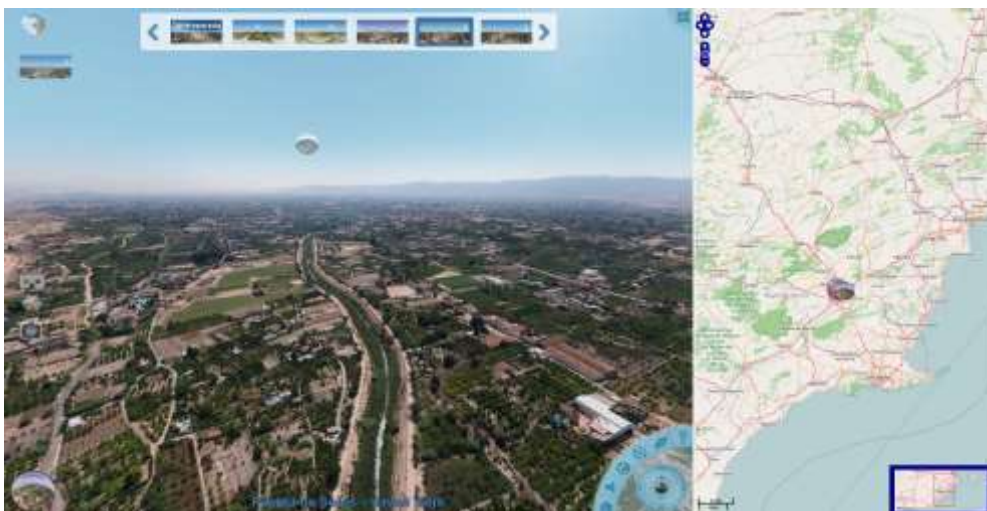


Figura 6. DYCAM-SEG VSgVS. Fuente: Producción propia.

En una segunda fase de edición, conexas con diversos sistemas de procesado (Fig. 7), se conforma el SVgVS DYCAM-SEG en forma *inmersiva*, una opción que permite su acceso en modo de Realidad Virtual,

obteniéndose una visión estereoscópica (Fig 8) en soportes adecuados, lo que, junto a diversas capacidades interactivas, permiten vincular la *Realidad Virtual* con la Geografía (Fisher, 2001).



Figura 7. Diseño y Evaluación de Realidad Virtual geográfica - RVgVR. Fuente: Producción propia.



Figura 8. SVgVS DYCAM-SEG en visión estereoscópica y Realidad Virtual. Fuente: Producción propia

5. RESULTADOS Y PERSPECTIVAS

La integración de Información Geográfica Digital en diferentes recursos computacionales aporta nuevas capacidades de gestión y conocimiento del territorio. Una de ellas, ya de amplio uso y aplicación en los estudios geográficos actuales, es la capacidad de virtualización del territorio dentro del entorno computacional (Uparella, 2007), y que, sin duda, está generando nuevas y prometedoras posibilidades de aplicación en distintos campos científicos y técnicos.

En ese contexto, la propuesta del empleo de Simuladores Virtuales en estudios geográficos, incluido el análisis territorial y del paisaje, supone una decidida apuesta por el empleo de las Tecnologías de la Información Geográfica Digital aplicadas a un mejor conocimiento de nuestro hábitat, su mantenimiento y explotación.

Como muestra de estas capacidades, el "*Simulador Virtual geografic Virtual Simualtor*" del Proyecto DYCAM-SEG ha contribuido a reconocer distintas unidades aluviales asociadas a la geometría en planta del río Segura (Conesa-García, 2016), mostrando cada una de ellas desde distintos ángulos y facilitando la obtención de datos

morfométricos. Falta, no obstante, integrar un sistema interactivo de información específica relativa a dichas geoformas (datos sobre textura de los depósitos, estructuras sedimentarias, espesor, etcétera), con el que pueda realizarse un análisis de la evolución fluvial reciente (Conesa, 2012).

Como avance de las diferentes líneas de trabajo y opciones que se están desarrollando actualmente, cabe mencionar la incorporación de Información Geográfica Digital procedente de otras fuentes. Por ejemplo, en la esferoimagen que representa el área de La Contraparada (Alcantarilla) han sido incorporadas las curvas de nivel tomando como fondo la propia esferofoto (Fig. 7). Dicha composición puede consultarse en el SVgVS DYCAM-SEG, en el enlace Wiki ya mencionado - <http://wikimas.ati.um.es/tai2k/dycam-seg>.



Figura 7. Integración de IGD - Curvas de Nivel. Fuente: Producción propia.

Los resultados obtenidos hasta la fecha, coincidentes con un avance significativo en las capacidades de los dispositivos computacionales y software relacionado, se consideran óptimos y adecuados a las expectativas depositadas en este recurso. No obstante, el recurso está aún en fase de desarrollo, con vistas a mejorar sus prestaciones. En concreto, se continúa trabajando en la interacción de bases de datos asociadas a elementos puntuales (e.g. sondeos geológicos) y áreas (e.g. geoformas) representadas en las esferoimágenes.

Para ello, debe tenerse en cuenta, como una de las características relevantes de estos dispositivos, los SVgVS, su escalabilidad, capacidad que se viene explotando en diferentes fases de este estudio. Unas posibilidades que permitirían, por ejemplo, integrar Información Geográfica Digital obtenida con distintos sensores, no solo ópticos (Fig. 8), permitiendo el acceso a imágenes que muestran *IGD no accesible al ojo humano*,

La integración de otra IGD de interés, nuevas esferofotos, aéreas, terrestre y/o vinculadas, ha de permitir dotar de mayor capacidad y aplicabilidad a este tipo de dispositivos, acorde con la creciente pujanza de las Tecnologías de la Información Geográfica Digital y sus aplicaciones, pudiendo constituir una muestra del uso y aplicación de estos recursos el “*Simulador Virtual del Puerto de Cartagena*”, instalación singular con claros componentes geográficos, en el que se visualizan todos los elementos que integran sus instalaciones y servicios, proyecto dirigido y desarrollado por López Palacios a lo largo del año 2012, al cual se puede acceder en <http://simulador.apc.es>.



Figura 8. RPAS MD4-1000 con cámara multispectral de seis canales. Fuente: Producción propia.

6. CONCLUSIONES

Las conclusiones que se pueden extraer, en este estadio del proyecto, resultan altamente esperanzadoras, con perspectivas, ya realidades, de transición de “Simulador Virtual no inmersivo” a su acceso en forma inmersiva en entornos de la Realidad Virtual, algo cada vez más popularizado. A ello ha contribuido, de forma notoria, la existencia de recursos y dispositivos, cada vez más adecuados y accesibles, para representar y acceder a la Realidad Virtual.

Esta capacidad, sin duda a desarrollarse y perfeccionarse en los próximos años, junto con la integración de IGD de otras fuentes, ha de posibilitar una interacción inmersiva entre el personal investigador, y los usuarios en general, con la Información Geográfica Digital, permitiendo así el acceso a su conocimiento en entornos propios de la Nueva Realidad en la que hoy en día se desenvuelve la sociedad, el Nuevo Observador.

Su desarrollo ha de crear, ya crea, nuevos horizontes en el campo laboral y de la investigación, propiciando una cooperación con distintos recursos cada vez más innovadores y presentes, en particular con los avances sobre la Realidad Aumentada, dotándola de capacidad “informacional”. De este modo, lo que hoy puede ser considerado como “*Visita Virtual*” podrá pasar a ser un “*Simulador Virtual Geográfico*” con capacidades métricas e interactuable, sobre los escenarios reales, con procesos de Simulación Numérica (Pérez, 2014) conformando un todo informacional y de conocimiento, lo que ha de permitir mejorar las posibilidades de acceso y adquisición de esa información, del conocimiento que permita un *desarrollo económico sostenible*,

Unas capacidades vinculadas y potenciadas con los recursos encuadrados en la denominada *Visión Artificial* Visión por Computador (Wikipedia contributors, 2016)... como sistemas computacionales que permitan el acceso a opciones de reconocimiento de geoformas y otros elementos singulares. Procesos y vías de desarrollo a coordinar con otras ciencias, especialmente las computacionales, robóticas, la *Inteligencia Artificial*. Ésto requiere de un progreso armónico en el que las Tecnologías de la Información Geográfica Digital han de tener, como ya viene sucediendo, una relevancia cada vez mayor, constituyendo una base fundamental de información y conocimiento como soporte, entre otras aplicaciones, para la toma de decisiones en muy diversos campos, incluido el entrenamiento y aprendizaje (Hu-Au, 2016) en entornos geográficos virtualizados, la simulación en entornos geográficos o el “juego” (Zyda, 2005), los conocidos como “*Serious Game*”, Serious Game (Rufat, 2012) cuyo escenario sea la realidad virtualizada.

7. AGRADECIMIENTOS

El presente artículo ha sido realizado en el marco del proyecto DYCAM-SEG, “Dinámica y cambios morfológicos recientes del Bajo Segura (Vega Media)”, con la financiación de la Fundación SENECA, Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia, España, Referencia 15224/PI/10, del cual ha formado parte López Palacios, por invitación de su Investigador Principal.

Así mismo, se hace extensivo el agradecimiento a la Fundación innovadora de Base Tecnológica Skeye2k-foundation, en fase de constitución, por su contribución en el soporte de licencias de software, equipamiento computacional y de recursos fotográficos, fundamentales para la obtención de los objetivos propuestos en el presente estudio.

8. BIBLIOGRAFÍA

Buzai, G. D. (2004) *Geografía y tecnologías digitales del siglo XXI: una aproximación a las nuevas visiones del mundo y sus impactos científicos-tecnológicos* Barcelona: Universidad de Barcelona. Geo Crítica / Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales. Vol. VIII, núm. 170-58. <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-170-58.htm> [ISSN: 1138-9788]

Conesa-García, C. et al. (2016). *Deformational behaviours of alluvial units detected by Advanced Radar Interferometry in the Vega Media of the Segura River, southeast Spain*. Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography, DOI:10.1111/geoa.12121. URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/geoa.12121/pdf>

- Conesa García, Carmelo et al. (2012) *Cambios históricos recientes de cauces y llanuras aluviales inducidos por la acción del hombre*. Nimbus: Revista de climatología, meteorología y paisaje. URL: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4375581.pdf>
- Ellis, Stephen R. (1994) *What are virtual environments?*, IEEE Computer Graphics and Applications archive Los Alamitos, CA, USA. Volume 14 Issue 1, Page 17-22. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=182231>
- Fisher, Peter and Unwin, David (2001). *Virtual Reality in Geography*. London and New York: Taylor & Francis Print. ISBN: 978-0-7484-0905-1.
- Gong, J. y Lin, H. (2001) *Virtual Geographic Environments—A Geographic Perspective on Online Virtual Reality*. High Education Press, Beijing
- Huang, Fengru et al. (2010) *Development of Virtual Geographic Environments and Geography Research*, Center for Multimedia in Education and Research (MuLF), Technische Universität Berlin
- Hu-Au, Elliot (2016) *Virtual Reality for Education*. Columbia University - New York. En línea. URL: <http://virtualrealityforeducation.com>
- Lopez-Palacios, Abelardo (2016). *Una Nueva Realidad para un Nuevo Observador. La Geografía en el S. XXI*, Tesis Doctoral Virtual PhD Thesis. En línea. Accesible en <http://wikimas.atca.um.es/tai2k/tesisalp>.
- Lopez-Palacios, Abelardo (2016). *“Tecnología, Usos y Aplicaciones de Sistemas Aéreos Pilotados Remotamente (RPAS)”*. En línea. Accesible en <http://rpas.skeye2k.org/doku.php?id=inicio&rev=1455815718>.
- Pérez Cutillas, Pedro (2014). *“Modelización de propiedades físicas del suelo a escala regional. Casos de estudio en el Sureste Ibérico”*. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. URL: <https://digitum.um.es/xmlui/handle/10201/37810>
- Rufat, Samuel et Minassian, Hovig Ter. (2012). *“Video games and urban simulation: new tools or new tricks?”* Cybergeog : European Journal of Geography [En línea], Science et Toile, document 622, mis en ligne le 19 octobre 2012, consulté le 17 mai 2016. URL: <http://cybergeog.revues.org/25561> ; DOI: 10.4000/cybergeog.25561
- Uparella, Jairo (2007) *“Simulación Virtual Interactiva. Aspectos teóricos para el desarrollo de Simulaciones de Nivel Virtual”*. Cartagena D.T. Y C., Colombia. URL: <https://es.scribd.com/doc/44167909/Simulacion-Virtual-Interactiva>
- Wikipedia contributors. (2016): *“Computer vision”*. Wikipedia, The Free Encyclopedia. Available at: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Computer_vision&oldid=718550268. Accessed May 12, 2016.
- Wikipedia contributors. (2016): *“Modeling and simulation”*. Wikipedia, The Free Encyclopedia. Available at: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Modeling_and_simulation&oldid=718992361. Accessed May 9, 2016.
- Wikipedia contributors, (2016) *“Mobile mapping”*, Wikipedia, The Free Encyclopedia, Available at: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Mobile_mapping&oldid=708742964 . Accessed 4 June 2016,
- Zyda, M (2005) *“From visual simulation to virtual reality to games,”* in *Computer*, vol. 38, no. 9, pp. 25-32, URL: <http://gamepipe.usc.edu/~zyda/resources/pubs/Zyda-IEEE-Computer-Sept2005.pdf>

DISEÑO DE UN GEOPORTAL WEB PARA EL CÁLCULO DE COSTES DE CARBURANTE EN EL TRANSPORTE DE LA COSECHA DE ACEITUNA

Sergio Lorente-Sánchez¹, Ángel Marqués-Mateu¹, Gaspar Mora-Navarro¹

¹Universitat Politècnica de València, Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría, Camino de Vera, S/N, 46022, Valencia. España. serlosan@topo.upv.es, amarques@cgf.upv.es, joamona@cgf.upv.es.

RESUMEN

La reducción en el coste del transporte de la cosecha de aceituna desde la parcela de recolección hasta la almazara repercute directamente en un mayor o menor beneficio económico para el agricultor de olivar en el momento de la transacción final con la almazara. En esta comunicación se propone la creación de un geoportal web con el que puede calcularse la ruta de menor gasto desde el punto de recolección hasta una almazara. La solución proporciona el mínimo coste en el transporte de la cosecha y por tanto un mayor beneficio al agricultor en la transacción final. El geoportal web interactúa internamente con una base de datos espacial diseñada previamente para establecer el coste final que supone el transporte en la ruta obtenida. A partir del modelo de emisiones COPERT, que establece la agencia europea de medio ambiente (EEA), y teniendo en cuenta las anteriores variables, se calcularán los litros de combustible necesarios para realizar la ruta de menor coste. Las tareas de computación realizadas por el geoportal se ejecutan de manera transparente en un entorno multiusuario. Asimismo, el acceso al geoportal se puede realizar desde cualquier dispositivo, fijo o móvil, capaz de procesar documentos HTML.

Palabras clave: Geoportal; Sistema de Información Geográfica; Rutas; Coste; Olivar

ABSTRACT

The olive harvest transport's cost, from the collection point to the oil press plant, directly affects the olive farmer in a greater or lesser economic benefits on the final transaction moment with the oil press plant chief. This study proposes a geoportal web that can obtain the minimum cost route, from the collection point to an oil press plant. The solution gives the lowest cost route on olive harvest transport and consequently, a highest benefit for the farmer on the final transaction. The geoportal web internally interacts with a previously spatial database designed for determine the final cost that transport supposes on the obtained route. Starting from emissions model COPERT, that Europe Environment Agency (EEA) establishes, and the previous variables, it shall calculate the necessary fuel consumption litres for doing the minimum cost route. The geoportal computation tasks will run in a transparent multiuser environment. Moreover, it is posible to access to the geoportal web through the use of fixed or mobile devices that can processes HTML documents.

Keywords: Geoportal; GIS; Routes; Cost; Olive;

1. INTRODUCCIÓN

El 80% de la producción total de aceituna en España se produce en Andalucía (Junta de Andalucía, 2013). Es por tanto, un sector económico de gran importancia en esta comunidad y un factor clave para el conjunto de actividades relacionadas con el olivar, ya sean económicas, laborales o sociales. A nivel local se estima que la población que depende directa o indirectamente del cultivo del olivar se sitúa de media en un 60% en tareas relacionadas con la recogida, transporte o cuidados de este. Se estima que un total de 300 municipios andaluces, tienen como principal actividad económica el cultivo del olivar (Villalba et al. 2014). El presente estudio pretende contribuir a la optimización de una parte de estas tareas y se centra en estimar la ruta de menor coste de transporte de la cosecha de aceituna desde la parcela de recolección a la almazara, lo cual repercute en un mayor beneficio para el agricultor en la transacción con la almazara. Este aspecto puede llegar a suponer para el agricultor un ahorro al final de la temporada de la recogida de hasta 2 litros de combustible por jornada.

La intención del estudio es la creación de una herramienta de acceso libre mediante la realización de un geoportal web. El geoportal web interactúa de forma interna con el sistema de información geográfica (SIG) y con los datos de localización que introduce el usuario, obteniéndose posteriormente la ruta de menor coste de transporte a la almazara de forma gráfica y el coste de forma descriptiva. Esta herramienta permite a cualquier usuario acceder a este servicio y obtener la ruta de menor coste desde su parcela de olivar.

2. BREVE REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El cálculo de rutas óptimas es un problema clásico en computación y existen multitud de estudios acerca del tema. Dijkstra (1959) ideó un algoritmo para el cálculo del camino más corto entre los nodos de una estructura de datos de tipo grafo. El algoritmo de Dijkstra como se conoce actualmente es probablemente el primer intento moderno de cálculo de rutas óptimas a través de redes de comunicación que el autor planteó en forma genérica, estimulado probablemente por algunos estudios previos y por el incipiente nacimiento de las redes de ordenadores de la época. Posteriormente han aparecido otros algoritmos más modernos y adaptados a casos especiales, pero el algoritmo de Dijkstra todavía se utiliza en la actualidad en todo tipo de aplicaciones, incluyendo el cálculo de rutas para transporte que es el tema de interés en este trabajo. Los algoritmos modernos de cálculo de rutas están basados en mayor o menor medida en la propuesta de Dijkstra. Los lectores interesados en los avances realizados en esta disciplina pueden obtener más información de diversas fuentes bibliográficas recientes (Li and Klette, 2011; Feng and Watanabe, 2015)

En el caso particular del gasto de combustible en los transportes por carretera la bibliografía no es tan extensa. La herramienta descrita en esta comunicación se ha inspirado en el trabajo de Tavares et al. (2008) quienes proponen un estudio de cálculo de rutas de mínimo coste para el transporte de residuos sólidos urbanos en diferentes ciudades. La precisión de este estudio, no queda evidenciada, pudiendo no ajustarse a la realidad. En cuanto a modelos de emisión y consumo de combustible, existen varios estudios que se aplican en el cálculo de rutas, entre ellos COPERT (Ntziachristos and Samaras, 2000), que estima el consumo de combustible teniendo en cuenta diferentes variables tales como la carga, la pendiente y la velocidad. Por otra parte, el marco legislativo europeo EURO III legislation class (European Commission, 2000), establece la normativa aplicable a cada tipo de vehículo en los transportes de mercancías.

En cuanto a la integración de información geográfica en geoportales existen diferentes estudios como Resch y Zimmer (2013) o Ganning et al. (2014) donde integran diferentes herramientas en entornos web de acceso público y con capacidad de interacción con el usuario. En el primer caso los autores realizan un estudio acerca de los geoportales más usados por la comunidad de usuarios y las características visuales que relacionan a todos ellos, y que por tanto aconseja que cualquier geoportal debería tener. Realiza un gran hincapié en aspectos gráficos de la interfaz del geoportal y como éstas afectan al usuario. Por otra parte, Ganning et al. (2014) establecen un diseño de geoportales web que trabajan internamente con herramientas GIS y que interactúan además con el usuario que está usando el servicio web. La interacción del geoportal web con el usuario, obliga a que la comunicación entre estos dos elementos sea continua y supone una automatización de todos los componentes que componen la arquitectura del geoportal web.

3. ÁMBITO DE ESTUDIO

La zona de estudio se sitúa en la parte nororiental de Andalucía, provincia de Jaén concretamente en las comarcas de Sierra de Segura, Sierra de Cazorla y las Villas. Esta zona, está formada por relieves variables que van desde extensos valles fértiles a grandes picos y cadenas montañosas, como las Sierras de Segura y Cazorla. Tiene una elevada altitud media, con un 70% de su superficie por encima de los 800 m, lo que le confiere una acusada personalidad geográfica, donde destacan cumbres que rozan los 2.000 m. A parte de las grandes extensiones de masa forestal, el cultivo del olivar de montaña predomina en el lugar. Aproximadamente, 100.000 hectáreas son de olivar aportando una cantidad de hasta 80 millones de kg de aceite. Entre el 60% y el 70% de la población vive directamente del cultivo del olivar, lo que supone un medio de vida para la población de la zona. Resulta por tanto interesante, el estudio del cálculo de rutas en estas zonas con un relieve variado, y que suponen un medio de vida para 60.000 personas en la zona.



Figura 1. Mapa de situación de las comarcas de Sierra de Segura, Cazorla y Las Villas, provincia de Jaén

4. METODOLOGÍA

En este estudio se propone una aplicación SIG en red especializada en el cálculo de rutas que interactúa con el usuario (que especifica el punto de origen) y con el SIG que proporciona la funcionalidad para el cálculo en sí de la ruta. Todo ello, ha de realizarse de forma automática a partir de unos datos que el propio usuario debe introducir.

El conjunto de datos fundamental para el análisis de rutas es la red de carreteras que a nivel lógico se representa mediante un grafo. Así la red se convierte en un conjunto de nodos conectados entre sí a través de una serie de arcos. A los elementos básicos de la red, arcos y nodos, se les puede asignar una serie de atributos, tanto literales como numéricos, que definen las características de la misma. Cualquiera de estos atributos puede considerarse como impedancia para realizar una ruta.

Por otra parte la integración de esta aplicación SIG en un sitio web, supone la implementación de toda la arquitectura de esta herramienta en un servidor. De esta forma se asegura la disponibilidad de la herramienta en cualquier momento, y la automatización de todos los procesos de cálculo.

El desarrollo de esta herramienta se ha realizado en una serie de pasos que se han integrado conjuntamente. Así la metodología puede dividirse en las fases que se describen a continuación.

4.1 Preparación de la cartografía base

En primer lugar se preparó la cartografía necesaria para el funcionamiento de la herramienta. Así se descargó la información cartográfica referente a la red de carreteras de la zona y a los límites municipales existentes en el sistema de referencia ETRS89 y proyección UTM tal y como establece la normativa actual. Los datos se descargaron de la "Infraestructura de datos espaciales de Andalucía" (ideandalucia.es), que proporciona capas de polilíneas que representan la red de carreteras. A partir de los datos iniciales se realizó un recorte de las carreteras de la zona indicando un área de influencia de 20km alrededor de los municipios existentes. También, se descargaron los modelos digitales del terreno (MDT) con tamaño de celda de 5 metros. A la red de carreteras se le realizó un análisis topológico para detectar y en su caso corregir tramos sin intersectar, tramos duplicados o tramos con longitud menor a un valor mínimo que se estableció en 1m.

Por otra parte se debían obtener datos de geolocalización de las almazaras de la zona. Al no haber sido posible su obtención, se buscaron en las plataformas web de los consejos reguladores de Sierra de Segura y Sierra de Cazorla las direcciones postales de cada una de ellas. Posteriormente, y a partir de un proceso de geocodificación directa se obtuvieron las coordenadas de todas las almazaras de la zona, almacenándose todas ellas en un *Shapefile* de tipo punto. El proceso de geocodificación se automatizó a través de un script en lenguaje de programación Python y el módulo *geopy* 0.9.3 que permite realizar operaciones de geocodificación directa e inversa.

Posteriormente se dividieron las polilíneas originales que formaban la red de carreteras en tramos con longitudes máximas de 50 metros. A continuación, a partir de la combinación de las polilíneas con el MDT de la zona se transformó la red de carreteras en una capa de polilíneas tridimensionales. Es evidente que la división de las polilíneas en segmentos cortos aumenta el volumen de almacenamiento, pero es una operación necesaria para cuantificar la variable de pendiente del terreno de manera que quede reflejada la variabilidad de la elevación del terreno con suficiente resolución.

Por último, para la posterior realización del análisis de rutas es necesario establecer un punto de salida del vehículo. El geoportal web se ha diseñado para que el punto origen sea el centroide de la parcela catastral del usuario, que se obtendrá a partir de la introducción de la referencia catastral. Este proceso se describirá más explícitamente en el apartado 4.3 de esta comunicación. El resultado es un *Shapefile* de tipo punto, con el punto de salida del vehículo.

4.2 Cálculo de Rutas y consumo de combustible

La cartografía base debidamente preparada permite proceder con el estudio del cálculo de rutas. Este proceso se realizó con las herramientas existentes en el entorno de trabajo de ArcGIS, específicamente con la extensión *Network Analyst*. En este punto fue necesario crear un conjunto de datos especiales denominado *Network dataset* con toda la red de carreteras de la zona para realizar el cálculo de la ruta, donde se tendría como impedancia el coste o cantidad de litros consumidos de combustible.

Para establecer el consumo de combustible se utilizó el método COPERT (Ntziachristos and Samaras, 2000), que tiene en cuenta diferentes variables tales como la velocidad, la pendiente del terreno y la carga. La formulación indicada en el resto de este apartado proviene de este trabajo.

El consumo de combustible básicamente se establece en función de la velocidad del vehículo. El estudio tiene en cuenta que el vehículo ha de tener gran capacidad de carga, establecido entre 7.5 y 16 toneladas, diesel, teniendo en cuenta la legislación vigente en EURO III legislation class (European Commission, 1999). Así la expresión inicial del consumo de combustible es la siguiente:

$$FCS = 1068.4 \cdot V^{-0.4905}$$

Donde:

FCS: es el consumo de combustible en g/km

V: es la velocidad media de la vía en km/h

Teniendo en cuenta los diferentes tipos de viales existentes en la red de carreteras, los cuales vienen definidos literalmente en la tabla de atributos de la capa de polilíneas, se les ha asignado una velocidad determinada. Los tipos de vía pueden ser 'Caminos', 'Vías urbanas' y 'Vías interurbanas' a los cuales se les ha asignado unas velocidades de 40, 30 y 60km/h respectivamente.

Sin embargo, para la estimación del consumo de combustible, es necesario tener en cuenta otras variables que afectan al tráfico de vehículos. Entre ellos se encuentran la capacidad de carga del vehículo y la pendiente del terreno. Estos efectos con correctores adimensionales de la expresión inicial del consumo por lo que la expresión ya corregida del consumo sería la siguiente:

$$fc = FCS * LCF * GrCf$$

Donde:

fc: Consumo de combustible corregido

FCS: Consumo de combustible inicial

LCF: Efecto de la carga del vehículo

GrCf: Efecto de la pendiente del terreno

4.2.1 Efecto de la carga del vehículo

En la estimación del consumo de combustible de un vehículo es evidente que la carga del vehículo supone un aumento en el mismo. Por ello ha de tenerse en cuenta la carga de transporte, que en el caso particular de este trabajo es la cosecha de aceituna que ha de llevarse a la almazara de destino.

El factor corrector de la carga para vehículos pesados se establecerá según la siguiente fórmula:

$$LCF = 1 + 0.36 \frac{(LP - 50)}{100}$$

Donde:

LCF: Coeficiente corrector por efecto de la carga del vehículo.

LP: Porcentaje que expresa la cantidad de carga con relación a la capacidad del vehículo. Se tiene en cuenta que el usuario, con la intención de realizar el menor número de viajes posible, aprovechará al máximo la capacidad de carga del vehículo, por lo que este término siempre adquiere valor 100%.

4.2.2 Efecto de la pendiente de la vía

El coeficiente corrector por pendiente de la vía crece o decrece según cuando la pendiente de la vía es positiva o negativa respectivamente. Este coeficiente supone un corrector de magnitud considerable, puesto que ha de recordarse que nos encontramos dentro de la categoría de vehículos altamente pesados con gran capacidad de carga que se encuentran con grandes resistencias a la tracción. El efecto de la pendiente de la vía se obtiene con la siguiente expresión:

$$GrCf = 0.41 * e^{0.18x}$$

Donde:

GrCf: Coeficiente corrector por efecto de la pendiente de la vía

x: Pendiente del terreno en porcentaje. El valor ha de estar entre -15% y +15%

El conjunto de datos de red (*Network dataset*) reseñado en el punto 4.2 permite obtener la pendiente de la vía ya que anteriormente se han transformado las polilíneas de la red de carreteras a polilíneas 3D. Además también diferencia los sentidos de avance en la vía, de tal forma que establece correctamente si en el sentido de avance la pendiente es negativa o por contra positiva.

4.2.3 Asignación del consumo de combustible a cada segmento

Una vez obtenidos todos los coeficientes correctores y por tanto el consumo de carburante ya corregido (fc), resta asignar a cada segmento o tramo de la vía el consumo de combustible necesario para recorrerlo. Tal y como se indicó anteriormente, las polilíneas originales se dividieron en tramos (segmentos rectos) de vía de tal forma que ninguno de ellos fuera mayor de 50m, lo que supone un aumento en la precisión del cálculo del consumo de combustible. La expresión que determina el consumo de combustible en cada tramo es la siguiente:

$$FC = Lseg * fc$$

Donde:

FC: Consumo de combustible para un tramo.

Lseg: Longitud 3D del tramo en Km.

fc: Consumo de combustible corregido.

4.2.4 Obtención de la ruta de menor coste

Obtenido el consumo para cada segmento, restaría obtener la ruta de menor coste (de menor consumo de carburante) desde la parcela de recolección a cualquier almazara de la zona. La ruta de menor coste se obtiene por la expresión:

$$TFC = \min \left(\sum_{k=1}^m FC_k \right)$$

Donde:

TFC: Consumo total de carburante en la ruta.

FC_k: Consumo de combustible en cada tramo

m: número de tramos en la ruta

La extensión *Network Analyst* de ArcGIS realiza este último cálculo de forma automática e interna, estableciendo como impedancia el coste, es decir el consumo de carburante, en cada tramo de la ruta. Tras el cálculo, el software devuelve una capa de líneas en formato *Shapefile* con la ruta de menor coste junto con información acerca del coste necesario para recorrerla. Es necesario para ello establecer anteriormente el punto de salida como punto de incidencia y la capa de almazaras como posibles puntos de instalación de destino en el análisis de rutas.

Todos los procedimientos y cálculos descritos en el presente apartado 4.2 se recogieron en un *script* en el lenguaje de programación Python para que el proceso quedase automatizado y que este pueda interactuar internamente con el geoportal web y por consiguiente con el usuario.

El software ArcGIS a partir del archivo dataset, realiza un estudio acerca de las posibles rutas junto con el coste que supondría la realización de ésta. Es en este archivo donde se encuentra toda la información del coste de todas las posibles rutas. Así tras la localización de la parcela catastral, se procede al estudio de las posibles rutas existentes determinando finalmente la de menor coste.

Con esto cada vez que el usuario introduzca la referencia catastral de la parcela de recolección, el script Python recolectará los datos introducidos por el usuario y realizará todo el cálculo anterior para finalmente mostrar la ruta de menor coste a seguir hasta una de las almazaras.

4.3 Creación del geoportal Web

El objetivo de realizar una herramienta abierta para cualquier usuario supuso la creación de un geoportal Web. El geoportal debe interactuar internamente con el SIG que realiza el cálculo de rutas para posteriormente mostrar al usuario la ruta de menor coste. Debe por tanto ser un proceso automático que devuelva los resultados esperados. En el diseño del geoportal web destacan dos elementos principales: la interfaz de la herramienta web (Figura 2) y el servidor web http. El diagrama de bloques con los elementos de la herramienta se observa en la Figura 3.



Figura 2. Interfaz gráfica de usuario de la aplicación. Fuente: Elaboración propia.

4.3.1 Interface de la web

El interfaz web viene definido por los lenguajes HTML y CSS, tal y como es habitual en la actualidad. A través de estos lenguajes se diseñan los aspectos gráficos. Así se diseñan los diferentes cuadros de texto, con diferentes tonalidades de color, botones y marcos con contenidos. También se integran en este código las diferentes imágenes que pueden aparecer de la web.

Por otra parte, la representación de la cartografía, correspondiente con la ruta de menor coste, se realiza teniendo como base cartográfica WMS de las ortofotos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) y de la Dirección Nacional del Catastro. La visualización de la cartografía en el navegador del usuario se ha llevado a cabo con una librería de JavaScript denominada OpenLayers (Hazzard, 2011; Perez, 2012) a partir de la cual pueden mostrarse los anteriores servicios WMS y capas con diferentes tipos de geometrías, en este caso la ruta de menor coste.

4.3.2 Servidor web HTTP

La interconexión entre el usuario, el SIG que calcula la ruta y el geoportal web requiere la función de un servidor HTTP que escuche las peticiones y ejecute acciones en consecuencia. En este caso toda la arquitectura del geoportal web se apoya en un servidor web denominado Apache. Este servidor web HTTP utiliza código abierto y se utiliza en varias plataformas como Unix o Windows. Para el funcionamiento de servidor fue necesario configurar el módulo WSGI que permite la creación de entornos web dinámicos a partir del lenguaje de programación Python. Es por tanto necesario configurar y programar el servidor para que recoja los datos que el usuario envía y a continuación se ejecuten los procesos necesarios. Los procesos (*scripts*) que se programaron fueron los siguientes:

a) Petición de coordenadas de la parcela catastral

Se escribió un *script* Python para obtener las coordenadas del centroide de la parcela catastral a partir de la referencia catastral que introdujera el usuario mediante una consulta al servidor del catastro. Este *script* ejecuta la petición y espera hasta obtener respuesta del servidor. Con las coordenadas que este devuelva se crea una geometría de tipo punto que resultará ser el punto de salida del vehículo en la ruta de menor coste.

Además, con dichas coordenadas realiza un zoom en el mapa donde se representará gráficamente la geometría de la ruta de menor coste, de manera que el usuario pueda confirmar que la referencia catastral introducida es correcta.

b) Cálculo de rutas

Este *script* es la piedra angular en la que se fundamenta toda la herramienta. Es capaz de realizar el estudio de la ruta que resulte del menor coste en transporte, a partir de la referencia catastral que el usuario haya introducido que resultará ser el punto de salida.

El *script* importa el módulo *arcpy* que contiene funciones para ejecutar las herramientas existentes en el entorno de trabajo de ArcGIS. El *script* realiza el estudio de las posibles rutas hasta determinar la de menor coste. Este proceso, devuelve la geometría de menor coste en un *Shapefile*, automatizando así el proceso de cálculo de la ruta de menor coste.

c) Transformación de la geometría a GeoJSON

El tercer *script* que se diseñó realiza la transformación de la geometría de la ruta de menor coste a formato GeoJSON. Se trata de un formato abierto diseñado para representar elementos geográficos y sus atributos de forma rápida y sencilla basado en el esquema JavaScript Object Notation, comúnmente conocido como JSON (Basset, 2015). Este formato se está convirtiendo en la actualidad en un estándar *de facto* para la distribución de información geográfica en redes de comunicación. Como anteriormente se ha dicho, ArcGIS realiza el cálculo de la ruta óptima devolviendo una geometría de tipo polilínea que debe representarse en el mapa diseñado con la biblioteca OpenLayers. A partir de la conversión a GeoJSON fue posible representar de la manera más efectiva la ruta de menor coste sobre el mapa. El *script* transforma la geometría de la ruta de menor coste de formato ArcGIS a GeoJSON y la envía al cliente, donde es recogida por OpenLayers y dibujada en el navegador para que el usuario pueda visualizarla.

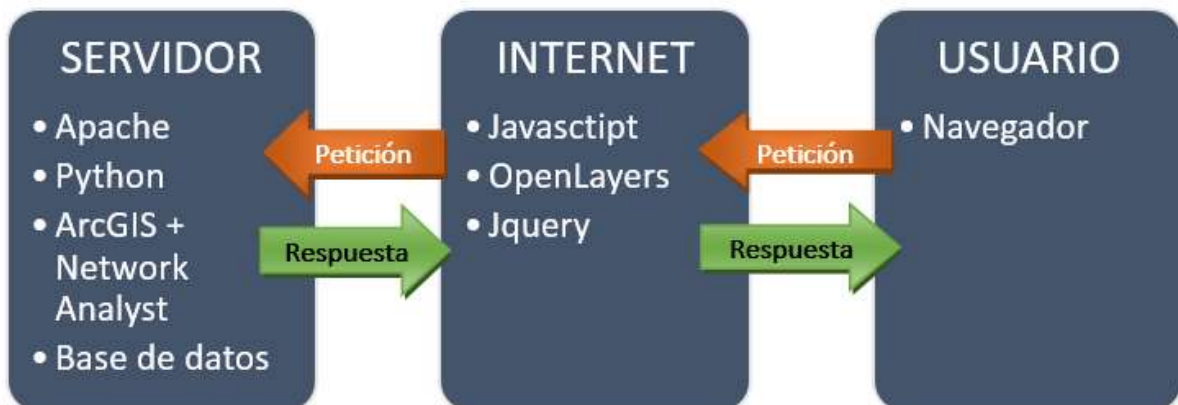


Figura 3. Diagrama de bloques de la aplicación. Fuente: elaboración propia.

5. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El resultado que se obtiene con esta herramienta es la representación gráfica de la ruta de menor coste junto con la información del coste que supone esta ruta en formato de texto. El valor numérico del coste según el modelo matemático COPERT se obtiene en gramos de combustible consumidos. Para tener una medida del consumo en una unidad más conocida, se pensó en transformar el consumo de combustible a litros. Esta transformación es inmediata teniendo en cuenta que el gasoil tiene una densidad de 0.84 kg/l. A continuación, se presenta como ejemplo el resultado de una ruta existente en la zona de estudio.

El primer paso por parte del usuario es introducir la referencia catastral de la parcela de origen (Figura 2). A partir de una referencia catastral arbitraria, siempre y cuando se encuentre dentro la zona de estudio (por ejemplo "23065A00200262") la aplicación obtendrá la ruta de menor coste a una de las almazaras almacenadas en la capa de puntos correspondiente. Así introduciendo dicha referencia catastral, el servidor

devuelve la representación gráfica de la ruta de menor coste a una almazara de la zona, así como el coste que supone recorrerla.

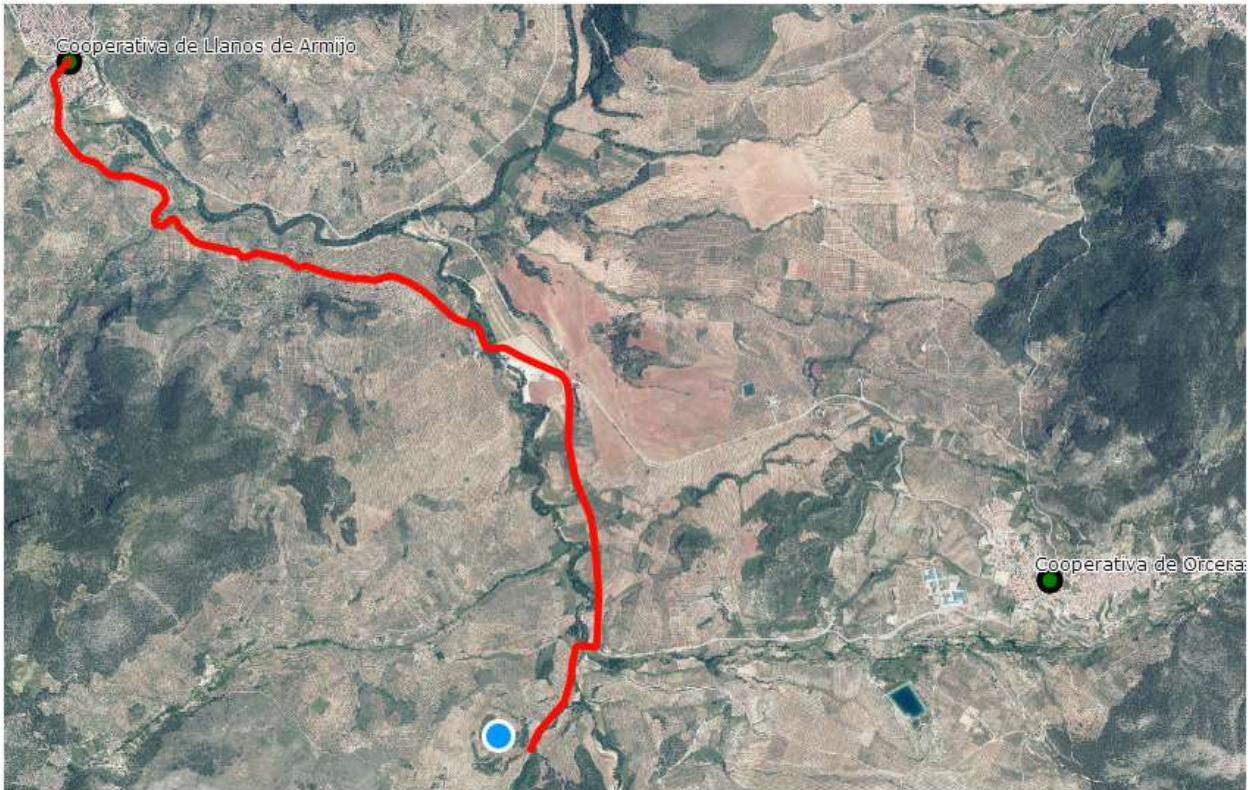


Figura 4. Ruta de menor coste entre dos puntos. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4 se aprecia el recorrido de la ruta desde la parcela catastral hasta una almazara de la zona localizada en una población cercana a 7.1 km. Se observa la alineación exacta entre la capa de carreteras y la ortofoto usada como fondo ya que en todo momento la ruta recorre las carreteras presentes en la imagen aérea. Se comprueba asimismo como el modelo matemático se aplica correctamente, puesto que la ruta tomada como ejemplo, acaba en una almazara de la zona, discurriendo por zonas muy llanas sin grandes pendientes que aumenten el consumo de carburante. La validez del procedimiento se confirma si se tiene en cuenta la existencia de una almazara más cercana situada a 6km de distancia, pero que sin embargo, es necesario recorrer grandes pendientes que aumentan el consumo y que por tanto el análisis ha descartado.

Además de la ruta de coste mínimo, la herramienta devuelve un mensaje con el coste de combustible necesario para recorrerla. En este caso particular, la herramienta devuelve un consumo de 0.72 litros de gasoil, mientras que el consumo para llegar a la cooperativa más cercana espacialmente situada a 6 km que se ha citado anteriormente es de 0.96 l de gasoil según la aplicación.

Se corrobora por tanto, que los scripts, el servidor y la herramienta en su conjunto funcionan correctamente desde el punto de vista del cálculo de rutas con coste mínimo. El primer script devuelve las coordenadas del centroide de la parcela a partir de la referencia catastral indicada en el formulario. En segundo lugar, el script que calcula la ruta de mínimo coste devuelve una geometría con la ruta de mínimo coste junto con el consumo de carburante. Finalmente, el script que transforma la geometría de la ruta a formato GeoJSON también funciona al representarlo gráficamente en el mapa mediante la biblioteca OpenLayers.

6. CONCLUSIONES

El objetivo de este estudio era realizar un geoportal web para el cálculo de rutas de coste mínimo en el transporte de la cosecha de la aceituna. Uno de los aspectos más importantes es crear a partir de este estudio una herramienta abierta a cualquier usuario conectado a Internet que quiera hacer uso de ella.

Se ha conseguido que el geoportal web interactúe con el usuario y con el SIG para realizar el cálculo de rutas. La automatización de esta interacción ha hecho de esta herramienta un mecanismo eficiente y automático, que devuelve los resultados adecuados y que está disponible en cualquier momento para los usuarios interesados.

Al analizarse los resultados obtenidos en el cálculo de rutas, se corrobora cómo el modelo matemático de consumo aplicado proporciona una solución correcta y factible para el usuario. En este punto hay que hacer constar que el factor pendiente de la vía es determinante en la obtención de la solución final para el usuario.

El interfaz del sitio web resulta agradable, cómodo y fácil de entender para el usuario, lo que supone que la herramienta puede ser utilizada por cualquier usuario, independientemente de sus conocimientos informáticos o técnicos.

Está previsto valorar la posibilidad de recopilar las rutas resultantes en la base de datos, junto con algunos datos de los usuarios, parcelas implicadas, fechas y horas de consulta, características de la propiedad a través de la referencia catastral, etc... Así, tras el funcionamiento del geoportal durante un periodo de tiempo, se podrían hacer trabajos de investigación muy interesantes, incluso minería de datos, para obtener conocimiento geográfico de la manera en que los olivares usan la herramienta y planifican sus transportes, con resultados que podrían ser muy interesantes para la administración pública y los agentes sociales-económicos implicados.

Esta herramienta contribuye a conseguir unos de los objetivos más importantes para el agricultor, que es la obtención de mayores beneficios económicos o al menos, un menor gasto en los costes de producción. Teniendo en cuenta el ejemplo presentado en el punto 5, la utilización de esta herramienta por el agricultor supondría para este un ahorro de aproximadamente 200 ml de gasoil por transporte, lo que a final de una temporada de recolección puede llegar a suponer hasta 30 litros de gasoil ahorrados.

Por último, debe tenerse en cuenta, que cuanto mayor sea la distancia desde una parcela de recolección a cualquier almazara, debido a la desigual distribución de estas instalaciones, mayor será el coste en el transporte de la cosecha. Por tanto, la utilización de esta herramienta puede llegar a ser muy importante para el agricultor.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Basset, L. (2015). *Introduction to JavaScript Object Notation*. Sebastopol, O'Reilly.
- Dijkstra, E.W. (1956): "A note on two problems on in connexion with graphs", *Numerische Mathematik*, 1, pp. 269-271.
- European Commission (2000): "Directive 1999/96/EC of the European Parliament and of the Council", *Official Journal of the European Communities*, L44, pp. 1-155.
- Feng, J., Watanabe, T. (2015): "*Index and query methods in road networks*". Cham, Springer
- Ganning, J.P., Coffin, S.L., McCall, B. y Carson, K. (2014): "Goals, Challenges, and Capacity of Regional Data Portals in the United States: An Updated Understanding of Long-Standing Discussions", *Journal of Urban Technology*, 21, 4, pp. 125-139.
- Hazzard, E. (2011): *OpenLayers 2.10 beginner's guide*. Birmingham, Packt Publishing.
- Junta de Andalucía (2013). *Productos industriales: aceite de oliva*. <http://www.juntadeandalucia.es/>, 09/04/2016.
- Li F. y Klette R. (2011): "*Euclidean shortest paths. Exact or approximate algorithms*". London, Springer.
- Ntziachristos L., Samaras Z. (2000): "*COPERT III. Computer programme to calculate emissions from road transport*". Copenhagen, European Environment Agency.
- Perez, A.S. (2012): "*OpenLayers cookbook*". Birmingham, Packt Publishing.

Resch, B. y Zimmer, B. (2013): “User Experience Design in Professional Map-Based Geo-Portals”, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2, 4, pp. 1015–1037.

Tavares G., Zsigraiova Z., Semiao V. y Carvalho, M.G. (2009): “Optimisation of MSW collection routes for minimum fuel consumption using 3D GIS modelling”, *Waste Management*, 29, 3, pp. 1176–1185.

Villalba Cabello F., Becerra Benítez F. y Expósito Maestre E. (2014): “Aspectos socioeconómicos del aceite de oliva en Andalucía”.

