

# **Estimación de la concentración de peligros por actividades antrópicas para la contaminación de las aguas subterráneas en la provincia de Málaga.**

## **Estimation of hazards concentration, by human activities, for the groundwater pollution in Malaga province.**

Referencia Secretaría:

Tema: Peligrosidad de las actividades humanas para la contaminación de las aguas subterráneas

---

Trabajo Fin de Grado en Ciencias Ambientales

Autor: María Romero Ruiz

Tutor: Jesús Vías Martínez

Área de conocimiento y/o departamento: Geografía

Fecha de presentación: junio 2019



## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DEL TFG

Dña. María Romero Ruiz, estudiante del Grado en Ciencias Ambientales de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Málaga,

**DECLARO:**

Que he realizado el Trabajo Fin de Grado titulado “Estimación de la concentración de peligros por actividades antrópicas para la contaminación de las aguas subterráneas en la provincia de Málaga” y que lo presento para su evaluación. Dicho trabajo es original y todas las fuentes bibliográficas utilizadas para su realización han sido debidamente citadas en el mismo.

Para que así conste, firmo la presente en Málaga, el 21-06-2019

A handwritten signature in purple ink, reading "María Romero Ruiz". The signature is written in a cursive style with a horizontal line underneath.

## Índice

Resumen.....	5
Abstract .....	6
1. Introducción.....	7
2. Objetivos .....	9
3. Área de estudio.....	10
4. Material y métodos.....	14
4.1. Sistemas de información geográfica .....	14
4.2. Recopilación de información de las actividades contaminantes .....	14
4.3. Método de estimación de la concentración de peligros. Índice C-P .....	16
5. Resultados .....	18
6. Discusiones .....	20
6.1. Índice C-P en acuíferos. ....	20
6.2. Índice C-P en las unidades territoriales. ....	24
7. Conclusiones.....	27
Bibliografía .....	29

## **Estimación de la concentración de peligros por actividades antrópicas para la contaminación de las aguas subterráneas en la provincia de Málaga.**

### **Resumen**

El riesgo de contaminación de aguas subterráneas se puede determinar a partir de muchas metodologías en las que se incluyen la combinación de la peligrosidad, la exposición y la vulnerabilidad. En este trabajo, la metodología ha sido aplicada para la provincia de Málaga y consiste en obtener un índice de concentración únicamente de los peligros potencialmente contaminantes para determinar qué presiones se ejercen sobre el medio, como consecuencia de las actividades antrópicas.

Palabras clave:

- Riesgo, contaminación, aguas subterráneas, peligros, actividades antrópicas, sistemas de información geográfica (SIG), Málaga.

## **Estimation of hazards concentration, by human activities, for the groundwater pollution in Málaga province.**

### **Abstract**

The risk of contamination of groundwater can be determined from many methods that include the combination of the danger of human activities, the exposure of the population and the aquifer vulnerability. In this work, the method has been applied for the province of Malaga and consists of obtaining a concentration index only of the hazards to determine what pressures are exerted on the environment, as a consequence of humans activities.

Key words:

- Risk, contamination, groundwater, hazard, human activities, geographic information system (GIS), Málaga.

## 1. Introducción

El agua es un elemento natural importante para la vida. Cubre aproximadamente el 70% de la superficie de la Tierra. El 97% es agua salada y sólo un pequeño porcentaje es agua dulce. La mayor parte de ésta queda almacenada en glaciares, icebergs o simplemente, nieve. El resto se encuentra repartida en aguas superficiales; en estanques, lagos, ríos o en acuíferos.

El agua que fluye por los acuíferos son las denominadas aguas subterráneas y La Directiva Marco del Agua las define como “todas las aguas que se encuentran bajo la superficie del suelo en la zona de saturación y en contacto directo con el suelo o el subsuelo”. Por lo tanto, son aquellas procedentes de la infiltración de las precipitaciones en forma de lluvia, nieve o granizo, en el terreno y en las rocas que forman la superficie de la Tierra.

Las aguas subterráneas son reservas de agua que tienen especial importancia, puesto que se consideran las reservas estratégicas de los recursos hídricos. Son usadas como fuentes de suministro a partir de los pozos o manantiales para el uso doméstico, o en los sectores de la agricultura, ganadería y la industria. A pesar de tener varios usos, no implica que estén en riesgo de contaminación, puesto que éste dependería de la acumulación de peligros que pueda presentar a su alrededor.

Olcina y Ayala (2002) definieron el concepto de riesgo como la probabilidad de daño o pérdida esperable a consecuencia de la acción de un peligro sobre un bien a preservar, sea la vida humana, los bienes económicos o el entorno natural. En el caso del presente trabajo, se entiende como aquello que puede producir un impacto sobre las aguas subterráneas puesto que, generalmente, están expuestas a cualquiera de los peligros que generan contaminación, ya sea de manera natural o antrópica.

El valor cuantitativo del riesgo definido por Varnes (1984), se expresa a partir del producto del peligro, la exposición y la vulnerabilidad, ya que no existiría el riesgo si no se dieran los tres factores. En este caso, para abordar el riesgo de contaminación, se hablaría del peligro que puede ser potencialmente contaminante para las aguas subterráneas, la exposición, es decir, las

personas que pueden ser afectadas, y la vulnerabilidad del acuífero.

Muchos autores han abordado el concepto de riesgo de contaminación de aguas subterráneas basándose en estos tres factores.

$$\text{Riesgo} = P' \times V_F' \times V_H$$

Vías (2005) tuvo que superponer el resultado de este índice para cada uno de los tipos de peligros según la geometría establecida en el sistema de información geográfica (puntos, líneas y polígonos). Sin embargo, en este trabajo se analizan las actividades antrópicas que puedan resultar potencialmente contaminantes para las aguas subterráneas con una única geometría.

Para determinar qué actividades antrópicas resultan ser peligros de contaminación, Foster e Hirata (1988), proponen un sistema sencillo para el estudio de actividades potencialmente contaminantes.

Entre los peligros que puedan contaminar las aguas subterráneas, destacan:

- Contaminación urbana y doméstica

Principalmente hay dos peligros que afectan la calidad de las aguas subterráneas, los residuos sólidos urbanos y las aguas residuales, además de las superficies artificiales o de construcción.

Los líquidos que proceden de los residuos sólidos urbanos o del vertido de las aguas residuales llegan a alcanzar la superficie freática de manera que arrastran todo tipo de contaminantes: orgánicos, inorgánicos, detergentes, nitratos, bacterias y virus.

- Contaminación agrícola y ganadera

Una de las causas más importantes de contaminación de las aguas subterráneas por parte de las acciones humanas es el uso de productos tóxicos a la hora de mantener los cultivos en la agricultura. Se trata de una contaminación difusa en grandes extensiones, por lo que es muy difícil de controlar.

Los principales tóxicos empleados en las actividades agrícolas son los fertilizantes, que aportan al agua compuestos de nitrógeno, fósforo y potasio, y los plaguicidas donde se incluyen los insecticidas y los herbicidas.



Los vertidos de los residuos de animales (purines) de los que proceden compuestos nitrogenados, fosfatos, cloruros y bacterias, en lugares como las granjas porcinas, representan una grave preocupación respecto a la consecuente contaminación.

Estas fuentes de contaminación se pueden detectar por derrames de fertilizantes y pesticidas durante el manejo, por la utilización de un equipo tóxico de aplicación o por el uso de químicos en áreas no protegidas del viento y la lluvia, o almacenados en lugares donde el agua fluye de manera que arrastra los contaminantes químicos a los pozos.

- Contaminación industrial

La contaminación de las aguas subterráneas procedente de las actividades de origen industrial puede deberse a una gran variedad de sustancias químicas que pueden ser filtradas a través del suelo, y pueden tener mayor o menor importancia, según el tipo de industria que se trate.

Los principales agentes contaminantes resultan de las pérdidas de sustancias químicas e incluso peligrosas durante el periodo de almacenamiento o transporte, accidentes en balsas o tanques, o a partir de la lluvia infiltrada en el terreno.

## **2. Objetivos**

El objetivo de este trabajo es cartografiar los peligros resultantes de las actividades humanas que puedan contaminar las aguas subterráneas de la provincia de Málaga, a partir de la creación de un sistema de información geográfica en el que se pueda analizar la concentración de los peligros potencialmente contaminantes.

Otro objetivo que se pretende conseguir con la realización de dicho trabajo, es exponer las pautas y las prácticas empleadas para obtener el índice diseñado para evaluar la concentración de peligros y así conocer las amenazas o presiones que se ejercen sobre una localización determinada, para que pueda ser utilizado posteriormente en el análisis de cualquier otra zona.

### **3. Área de estudio**

La zona de estudio correspondiente al análisis de los peligros contaminantes de los acuíferos, realizado en este trabajo, es la provincia de Málaga y su ubicación se encuentra comprendida entre los paralelos 37° 17' y 36° 18' de latitud norte y los meridianos 3° 47' y 5° 37' de longitud oeste.

Se trata de una de las provincias que forman la comunidad autónoma de Andalucía y presenta una superficie de 7308 km<sup>2</sup> de la que se componen 103 municipios distribuidos en 5 unidades territoriales según el Plan de Ordenación del Territorio de Andalucía.

La provincia de Málaga está caracterizada por la presencia de una importante cadena montañosa. Se encuentra en los Sistemas Béticos, donde la cordillera Penibética transcurre de forma paralela a la línea de costa, compuesta por un conjunto de sierras litorales que suelen sobrepasar los 1000 metros de altitud.

Las sierras en la zona litoral occidental están formadas por La Sierra de Mijas, Sierra Blanca y Sierra Bermeja, dejando al norte de la Penibética, la Depresión de Ronda y la Sierra de las Nieves. En la zona comprendida por la costa oriental se localizan los Montes de Málaga constituyendo el entorno montañoso junto a las Sierras de Tejeda y Almajara, además de la Depresión de Antequera distribuida en la zona norte de la provincia (Figura 1).



Figura 1: Mapa topográfico de la provincia de Málaga. Fuente: [www.maps-for-free.com](http://www.maps-for-free.com)

A partir de dicha información sobre el entorno montañoso de la provincia de Málaga se puede determinar la razón de la distribución de la población en determinados municipios que forman la provincia.

La ciudad de Málaga, al tratarse del área metropolitana y, por tanto, la capital de la provincia, es el municipio más habitado con un total de 571.026 habitantes. Seguida de ésta, los municipios que presentan mayor número de habitantes son los que componen la Costa del Sol, desde Estepona hasta Torremolinos; además de los municipios de la costa oriental como el Rincón de la Victoria, Vélez – Málaga y Nerja.

El motivo que ratifica la alta población de estos municipios se basa en el conjunto montañoso que presenta la provincia de Málaga puesto que dichos municipios se encuentran en terrenos llanos en los que la población ha ido habitando a lo largo de la historia. De esta manera, también los municipios que constituyen el Valle del Guadalhorce, en la zona del interior, son aquellos que han experimentado un gran crecimiento de la población debido a la accesibilidad resultante de las características del terreno.

Sin embargo, por otro lado, los municipios situados alrededor de sierras como Sierra de Tejada y Sierra de Almijara, al este de la provincia, presentan un número de habitantes menor dada la complejidad del terreno y la dificultad de los accesos.

También presentan este patrón los municipios del interior localizados a los alrededores de la Sierra de las Nieves y la Serranía de Ronda, como el municipio de Igualeja con un número de 762 habitantes.

Otra de las características de gran importancia de la provincia de Málaga es su riqueza en aguas subterráneas. Esto se debe a su diversidad geológica puesto que en Málaga existen una serie de terrenos con alta porosidad y alta permeabilidad que, coincidiendo con el tipo de entorno montañoso, permiten la formación de diferentes acuíferos.

Existen dos grandes tipos de acuíferos, según la litología del suelo:

#### 1. Acuíferos carbonatados

Son aquellos que se encuentran sobre formaciones rocosas compuestas de materiales como calizas, dolomías, yesos, mármoles y margocalizas.

Presentan una permeabilidad secundaria basada en la relación con su red de fracturación y diaclasado, por lo que el agua de lluvia se infiltra muy rápidamente por las dolinas y sumideros superficiales. La circulación del agua se debe a la infiltración de esta a través de las fisuras, los conductos o las cavernas existentes en el subsuelo.

Generalmente, son acuíferos donde la calidad del agua es buena ya que hay abundantes recursos hídricos. El Torcal y Sierra Almajara, por ejemplo, se encuentran entre los acuíferos carbonatados de la provincia de Málaga.

#### 2. Acuíferos detríticos

Se encuentran sobre sedimentos no consolidados compuestos por partículas como arenas, gravas, areniscas y conglomerados.

Su permeabilidad es alta y es debida a la porosidad intergranular ya que el agua fluye entre los granos. Suelen corresponder a depósitos someros, es decir, cercanos a la superficie.

Están situados en zonas de gran demanda hídrica ya sea para uso doméstico, agrícola e industrial. Por esta razón, tienen facilidad para contaminarse al igual que, generalmente, por el propio material detrítico, tienen facilidad para recuperar la calidad de sus aguas.

La Depresión de Ronda y La Depresión del Bajo Guadalhorce son dos de los acuíferos detríticos que existen en la provincia.

Las aguas subterráneas encontradas en los acuíferos tanto carbonatados como detríticos de la provincia de Málaga, hacen de ésta una de las ejemplares en cuanto a la estrategia de los recursos hídricos, en épocas de ausencia de precipitaciones.

La provincia de Málaga presenta un clima mediterráneo cálido y seco, es decir, inviernos cortos y suaves con temperatura media de 13°C, y veranos largos, secos y calurosos, con temperatura media de 28°C. Por ello, las precipitaciones son escasas, aproximadamente 520 mm de media en la capital, concentrándose en los meses de otoño e invierno (Figura 2).

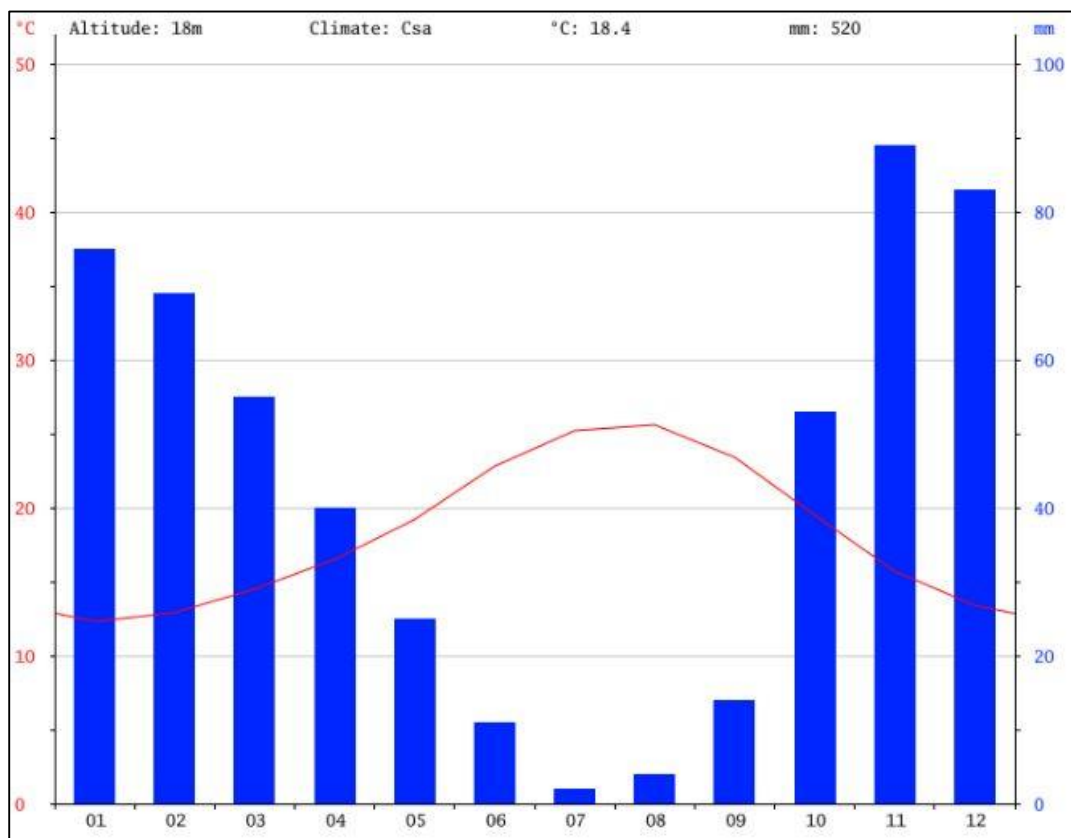


Figura 2: Climograma de Málaga capital. Fuente: [www.climate-data.org](http://www.climate-data.org)

Como se puede observar en la figura adjunta, las precipitaciones son iguales al doble de las temperaturas medias mensuales en °C, por lo que, aunque se den precipitaciones más frecuentes y de más cantidad en algunos municipios de la provincia, según el índice de Gaussen, Málaga se considera una provincia que presenta un clima árido en los meses de verano.

Por ello tienen tanta importancia los acuíferos y las aguas subterráneas de la provincia, puesto que son aguas de buena calidad que permitirían el continuo uso de las otras aguas cuando éstas falten. De esta manera, se debe ser responsable con su mantenimiento y cuidado, puesto que nunca se sabe cuándo van a resultar necesarias.

#### **4. Material y métodos**

##### 4.1. Sistemas de información geográfica

Los sistemas de información geográfica se definen como un conjunto de componentes específicos que constituyen las herramientas más precisas para la investigación de un territorio, a partir de la gestión de los datos espaciales. Son sistemas informáticos capaces de analizar y representar un tipo de información geográfica referenciada. Dicha información procede de un componente espacial, así como de la información cualitativa que ofrezca más detalle sobre el área a estudiar.

Los sistemas de información geográfica (SIG) funcionan como una base de datos en la que se permite la separación de la información en distintas capas diferenciadas según el tipo y el tema, y las almacena de forma independiente, para así poder trabajar con ellas con rapidez y de manera ordenada, con el fin de que se puedan relacionar capas de información existentes con la propia creación de otras capas.

##### 4.2. Recopilación de información de las actividades contaminantes

Es una tarea compleja establecer cuáles son las actividades antrópicas capaces de generar un peligro de contaminación para las aguas subterráneas. Diversos trabajos, como los de Foster e Hirata (1988), Civita y De Maio (1997), Darmendrail (2001) y De Ketelaere et al (2004), estudiaron los peligros de contaminación de las aguas subterráneas generados por actividades antrópicas.

La determinación de los peligros, en este trabajo, se realizó según los criterios establecidos por Foster e Hirata (1988). Estos autores clasifican las fuentes potencialmente contaminantes a partir del estudio del origen de la actividad o del contaminante.

La localización de los peligros contaminantes resultantes de las actividades antrópicas, en la zona de estudio, según los criterios de Foster e Hirata (1988), se obtuvo de diversas fuentes, pero fundamentalmente del repositorio de datos espaciales de referencia de Andalucía (DERA), del Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía (IECA). En primer lugar, se descargaron los datos de las divisiones administrativas para añadir, concretamente, la capa de la provincia de Málaga. A partir de ahí, se obtuvo la descarga de datos en capas representadas por líneas, puntos y polígonos (Tabla 1).

Geodato	Geometría	Fuente	URL
Usos del suelo	Polígono	Datos Espaciales de Referencia de Andalucía a escala 1:10.000	<a href="http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia">www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia</a>
Carreteras	Línea		
Ferrocarriles			
Gasoductos			
Oleoductos			
Colectores de saneamiento			
Cementerios	Punto		
EDAR			
ITV			
RSU			
Desguaces		La Guía de Desguaces de España	<a href="http://www.desguaces.eu">www.desguaces.eu</a>
Gasolineras	Punto a partir de coordenada	Ministerio para la Transición Ecológica	<a href="http://www.geoportalgasolineras.es">www.geoportalgasolineras.es</a>
Actividades industriales		Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes de España	<a href="http://www.prtr-es.es">http://www.prtr-es.es</a>

Tabla 1: Datos de las actividades antrópicas potencialmente contaminantes.

Sin embargo, no todos los datos se han encontrado en dicha página. La información de las gasolineras fue descargada de la página oficial del Ministerio para la Transición Ecológica (Geoportal) y aquellos datos relacionados con la actividad industrial se han recogido del Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes de España. Se recopiló las coordenadas, en grados de longitud y latitud, de cada una de las actividades de la provincia de Málaga en una hoja de Excel, para poder convertir dichas actividades industriales, distinguidas según el tipo, en distintas capas de puntos.

Para ello, se convirtió una ubicación expresada en un dato numérico (database) en un geodato que, finalmente, se puede observar como una capa en el sistema de información geográfica.

La información de los desguaces se obtuvo a partir del listado de desguaces de la provincia de Málaga en la web: [www.desguaces.eu/desguaces-malaga/](http://www.desguaces.eu/desguaces-malaga/). La información de cada desguace fue trasladada a My maps (una aplicación de Google para hacer mapas), donde se creó un mapa con dicha información. A partir de éste, que localiza cada desguace con sus respectivas coordenadas, se exportó como KML y a continuación, con un conversor se transformó la capa guardada como KML a una capa de shapefile (shp) que fue introducida en el sistema de información geográfica.

Una vez obtenida toda la información de los datos de las actividades antrópicas potencialmente contaminantes para las aguas subterráneas, de acuerdo a los peligros establecidos por Foster e Hirata (1988), se producen geodatos vectoriales diferenciados en polígonos, líneas y puntos.

Según su representatividad a la escala utilizada, se añadieron los datos de las distintas actividades antrópicas con el objetivo de obtener la unión de estas en función de su geometría, es decir, datos de los peligros diferenciados en polígonos, líneas y puntos. A partir de esta unión, se obtenía una única capa de información geográfica en la que se muestran todos los peligros.

#### 4.3. Método de estimación de la concentración de peligros. Índice C-P

El índice que se ha desarrollado en este TFG, sirve para analizar las amenazas y presiones antrópicas que hay sobre los acuíferos. Para ello, se ha estimado la concentración de peligros en el territorio para determinar, de forma indirecta, la



acumulación de peligros en una zona y, con ello, las amenazas sobre las aguas subterráneas generadas por la acción antrópica.

La primera etapa consistió en localizar los peligros, con la dificultad añadida de la variada geometría para representarlos que existe: polígonos, líneas o puntos. Para ello, respecto al caso de los polígonos, usos del suelo, se agruparon los usos no contaminantes representados por las superficies de agua y las superficies forestales, asignándoles un valor 0 de no presencia de peligros. Por otro lado, se agruparon las superficies agrícolas y las superficies artificiales, considerados contaminantes, y se les asignó un valor 1 de presencia de peligros.

Para estimar la concentración de peligros cartografiados como líneas y como puntos, se utilizó la herramienta Density de Spatial Analyst. El análisis de densidad muestra dónde se concentran las entidades de punto o línea. La herramienta calcula la magnitud por unidad de área desde entidades de puntos o líneas que se encuentran dentro del radio alrededor de cada celda en píxeles. El radio tomado para realizar el cálculo en este TFG fue 3530 metros, el valor que daba el programa en función de la extensión de la capa. El cálculo de la densidad se hace de manera independiente. Por un lado, se realizó la densidad de los puntos y por otro, la densidad de las líneas.

Una vez estimada la densidad, se puntuaron las zonas con diferente concentración de peligros en función de la agrupación que hace el programa ArcMap, mediante el método del intervalo geométrico dividido en tres clases. La separación en tres clases, para las capas de puntos y líneas, se clasificó en valores de ausencia de peligros (0), baja abundancia de peligros (1) y alta acumulación de peligros (2). La razón de la elección de dicho método fue porque la concentración de los puntos y de las líneas se veía más cercana a la realidad.

Una vez obtenida la concentración de las diferentes capas de peligros de polígonos, líneas y puntos se tuvo que unificar el modelo de datos siendo elegido el vectorial. A partir de dicha conversión, el SIG contenía tres capas de peligros en polígonos que medían la concentración de peligros representados originalmente con distinta geometría.

El siguiente paso consistía en superponer las tres capas de peligros, cada una con un único atributo en la tabla, representado por los valores de concentración de peligros, en una sola capa compuesta por los tres atributos y sus respectivos valores de

presencia de peligros. Una vez resuelta esta tarea se calcula el índice de concentración de peligros a partir de la suma de los valores de concentración de cada actividad para obtener un único valor de concentración que variará entre 0 y 5.

La clasificación del índice de concentración de peligros se establece, a partir de los cinco valores originarios, en cuatro intervalos, donde 0 representa la concentración nula de peligros, 1-2 la concentración baja, 3-4 equivale al valor intermedio de concentración y 5 es la representación de una concentración alta de peligros.

<b>Índice C-P</b>	<b>Concentración</b>
0	Nula
1 - 2	Baja
3 - 4	Intermedia
5	Alta

Tabla 2: Clasificación de los valores de concentración establecidos a partir del índice C-P.

## **5. Resultados**

El resultado obtenido de aplicar el método anteriormente descrito, para la selección de los peligros contaminantes procedentes de las actividades antrópicas (Figura 3) y el índice C-P para establecer la concentración de dichos peligros (Figura 4), permite observar la gran cantidad de zonas de la provincia de Málaga que podrían estar en peligro de contaminación de las aguas subterráneas, debido a la alta acumulación de actividades antrópicas de su alrededor.

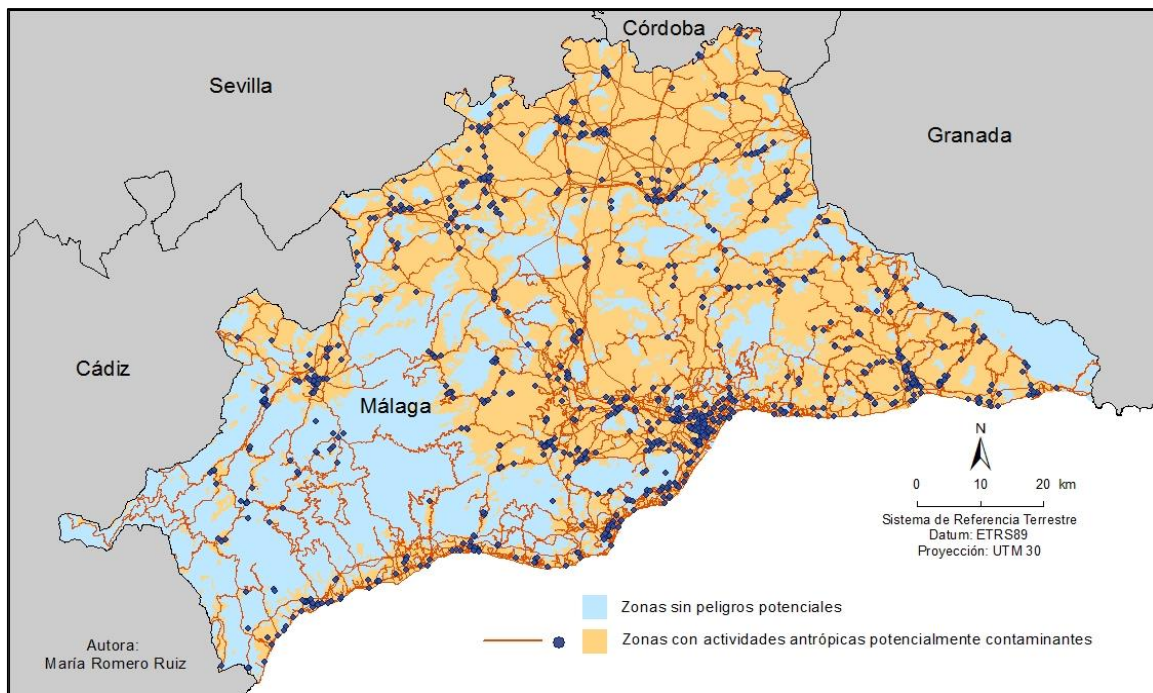


Figura 3: Mapa de localización de los peligros potencialmente contaminantes, generados por las actividades antrópicas

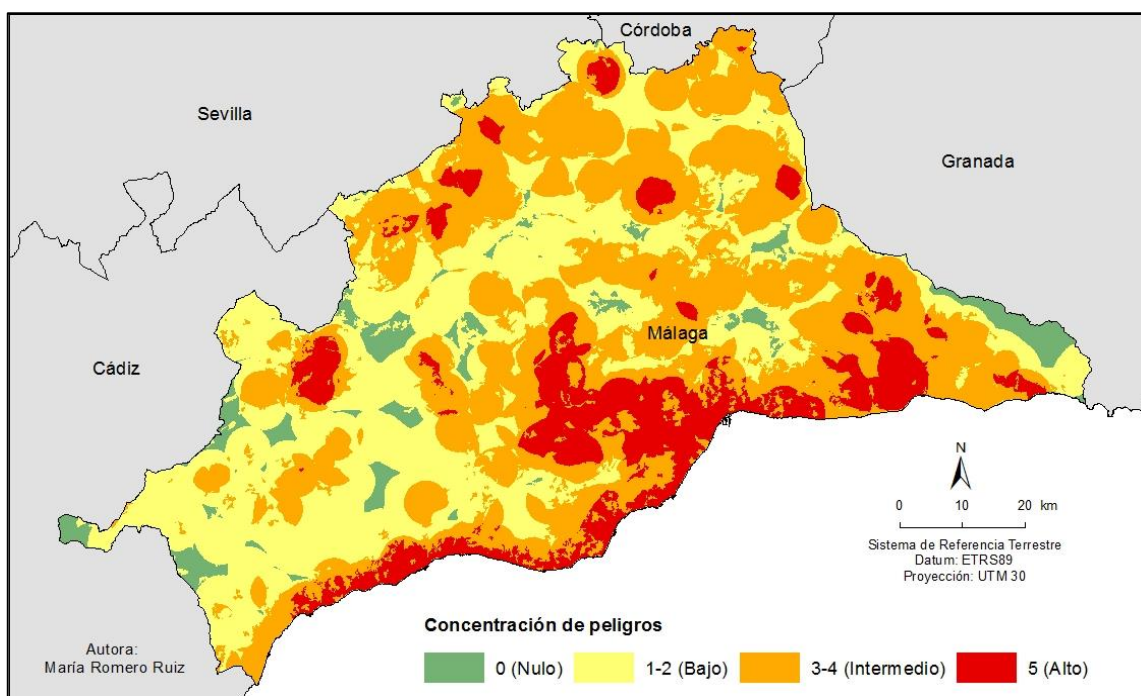


Figura 4: Mapa del índice de concentración de peligros potencialmente contaminantes.

A partir de ambos mapas se puede determinar cuáles son las zonas que podrían estar amenazadas por la contaminación de las aguas subterráneas debido a la abundancia de peligros potencialmente contaminantes.

Se observa que la zona donde existe una alta concentración de peligros contaminantes es la zona sur de la provincia, coincidiendo con la capital, donde la población es mayor y lo que esto conlleva, es decir, mayor presión urbanística como consecuencia de las actividades antrópicas. Otro motivo de ser la zona con más abundancia de presiones a nivel antrópico puede ser la gran presencia de turistas durante todo el año y principalmente en verano que visitan la provincia, por lo que aumentan el número de la población original y con ello, el número de emisiones y fuentes contaminantes relacionadas con el núcleo urbano que puedan perturbar las aguas subterráneas, generalmente en zonas como la Costa del Sol.

Por otro lado, la zona oeste de la provincia es la que tiene menor presión por parte de los peligros contaminantes ya que es una zona compuesta por un entorno montañoso constituido por sierras donde abundan las zonas forestales, generalmente bosques de frondosas y bosques de coníferas, y zonas de vegetación natural que crece de forma arbustiva o herbácea, mayormente vegetación esclerófila y pastizales naturales. Por lo tanto, se trata de una zona que precisa una concentración menor de los peligros dado que es una zona natural y no habitable. Sin embargo, se puede determinar que no es una zona sin presencia de peligros, existe una concentración baja de peligros puesto que, entre la vegetación natural comentada anteriormente, se pueden encontrar algunas vías como las carreteras e incluso algunos cultivos permanentes capaces de contaminar las aguas subterráneas.

También se puede observar en la parte del extremo este, colindando con la provincia de Granada, una zona de concentración nula de peligros puesto que se trata de un área formada únicamente por sierras, concretamente Sierra Tejeda y Sierra Almirajara.

## **6. Discusiones**

### **6.1. Índice C-P en acuíferos.**

A partir de la superposición cartográfica del índice C-P con los acuíferos, se puede establecer cuál o cuáles podrían ser los acuíferos que tienen más peligro de contaminación por parte de la acumulación de los peligros, es decir, cuáles son los

acuíferos de la provincia de Málaga que están más amenazados por la contaminación de aguas subterráneas debido a la alta concentración de actividades antrópicas a su alrededor (Figura 5 y tabla 3).

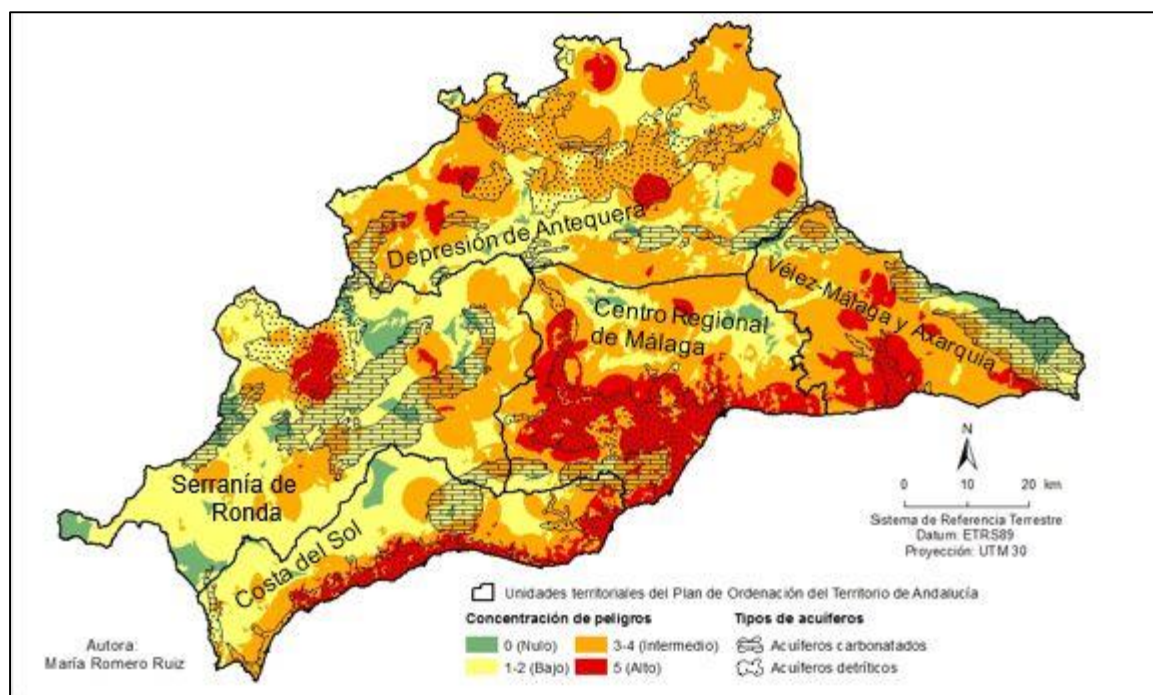


Figura 5: Mapa del índice C-P en acuíferos y unidades territoriales de la provincia de Málaga.

Tipos de acuíferos	Índice de concentración de peligros	Área en km <sup>2</sup>	Porcentaje (%)
Carbonatados	Alto	19,25	2,036
	Intermedio	294,06	31,103
	Bajo	496,59	52,525
	Nulo	135,54	14,336
Detríticos	Alto	469,09	41,073
	Intermedio	486,02	42,554
	Bajo	178,22	15,605
	Nulo	8,77	0,768

Tabla 3: Porcentajes de superficie según el índice de concentración de peligros, para cada tipo de acuífero.

De forma cuantitativa se ha realizado un análisis en el que se puede medir, en metros cuadrados, el área total que ocupa cada valor del índice de concentración para cada tipo de acuífero, ya sea detrítico o carbonatado. A partir de esta medición, se realiza

un cálculo para obtener el porcentaje que representa cada uno de los valores de concentración de peligros en los dos tipos de acuíferos (Tabla 3).

Los acuíferos detríticos presentan, a su alrededor, mayor acumulación de actividades antrópicas que puedan generar contaminación, ya que la mayor parte de los acuíferos detríticos se encuentran sobre terrenos que presentan una alta concentración de los peligros según el índice establecido.

La aplicación del cálculo nombrado anteriormente, permite obtener resultados coincidentes con los valores del índice de concentración del mapa, puesto que se deduce que el 41% de los acuíferos detríticos presentan un valor alto de concentración de los peligros, representado mayormente en los acuíferos situados en la costa, desde la Costa del Sol hasta La Axarquía, incluyendo el acuífero de Málaga capital.

Por el contrario, los acuíferos carbonatados de la provincia de Málaga presentan mayormente un índice de concentración bajo de los peligros potencialmente contaminantes, por lo que se puede considerar que los acuíferos carbonatados se encuentran menos amenazados por la contaminación de aguas subterráneas resultante de la acumulación de actividades antrópicas.

De la misma forma, a partir de los datos cuantitativos se puede deducir que los acuíferos carbonatados presentan un porcentaje muy bajo de alta concentración de peligros, mientras que, por otro lado, presentan un alto porcentaje de baja concentración de los mismos. Ambos porcentajes concuerdan con los detalles del mapa obtenido como resultado del índice de concentración.

También es importante destacar que la presencia nula de concentración de peligros únicamente se da en los acuíferos carbonatados, ya que el valor de ésta en los acuíferos detríticos resulta insignificante.

Los motivos por los que se dan estos resultados respecto a los acuíferos pueden estar basados en la litología de sus materiales y consecuente geología sobre la que se encuentran. El entorno montañoso que se puede encontrar en los acuíferos detríticos coincide con aquellos terrenos compuestos por materiales entre los que destacan las gravas y los conglomerados, en los que existe buena accesibilidad y, por tanto, facilidad para llevar a cabo proyectos relacionados con la construcción. Por ello, al tratarse de terrenos llanos con alta porosidad y alta permeabilidad, se pueden

encontrar acuíferos de carácter detrítico, aquellos que se asocian a zonas donde existe mayor presión urbanística y, por tanto, mayor riesgo de contaminación de las aguas subterráneas por parte de las actividades antrópicas. El acuífero de Málaga, situado en el Valle del Guadalhorce, es un claro ejemplo de acuífero detrítico rodeado de una alta concentración de peligros, desde la ocupación por el urbanismo hasta el mantenimiento de cultivos agrícolas.

Sin embargo, en el caso de los acuíferos carbonatados, debido a los materiales que los forman y su correspondiente entorno montañoso, son acuíferos situados en zonas a las que resulta de gran dificultad acceder. Por ello, son zonas poco habitadas y, por tanto, menos amenazadas por los peligros resultantes de las actividades antrópicas, puesto que, al tratarse de sierras y terrenos con zonas de importante vegetación, no son aptas para los cultivos ni para el urbanismo, de modo que, por ejemplo, el acuífero Sierra Almijara y Sierra Lujar, de carácter carbonatado, resulta ser un acuífero muy poco amenazado por la contaminación de las aguas subterráneas.

Como se ha comentado anteriormente, la accesibilidad que puede tener un terreno en función del relieve es un factor importante a la hora de establecer la razón de la acumulación de los peligros potencialmente contaminantes en una determinada zona. De esta manera, los terrenos de fácil acceso han permitido, a lo largo de los años, la continua edificación como consecuencia de la ocupación por parte de la población. Por ello, en estas zonas, el número de habitantes es mucho mayor y, por tanto, el número de actividades antrópicas capaces de generar contaminación, también.

Existe una clara coincidencia entre los municipios que presentan mayor número de habitantes y los municipios que presentan los acuíferos más amenazados por la contaminación de las aguas subterráneas, concretamente acuíferos detríticos. Ronda, por ejemplo, es un municipio de interior que, al situarse en la Depresión de Ronda, es decir, un terreno de fácil acceso, presenta un gran número de habitantes y, por tanto, presenta una alta concentración de los peligros a su alrededor basados, generalmente, en los cultivos.

Respecto a los municipios de la costa, también habría que tener en cuenta la gran cantidad de población extranjera que habita estas zonas, principalmente la Costa del Sol. Son municipios que tienen un alto número de habitantes locales, pero también de

habitantes extranjeros. La razón del continuo aumento de la población en estas zonas se debe, además del terreno llano y apto para la construcción, al clima mediterráneo.

Según un artículo del periódico La Opinión de Málaga: “Málaga reúne casi el 40% de los extranjeros y el 30% de los trabajadores”. “La lista está encabezada por Málaga capital (42.133 extranjeros residentes), y Marbella (33.228), con lugares también destacados para Fuengirola (23.746, sexta de la lista), Mijas (24.567, séptima), Benalmádena (18.038, novena), Estepona (14.559, décima), Torremolinos (13.113, duodécima), Vélez Málaga (7.079, decimoséptima)”.

Como se puede observar en el artículo periodístico, la Costa del Sol sigue siendo la zona elegida para la población extranjera, mientras que la zona de la Axarquía, es decir, la costa este de la provincia, no presenta una población extranjera tan extensa ya que únicamente tienen como vía de acceso las carreteras, las cuales no se encuentran en muy buen estado.

Por lo tanto, se puede establecer que zonas menos habitadas como las situadas por encima de la Cordillera de Antequera, presentan menor acumulación de actividades antrópicas, de manera que ejercen menor presión sobre el acuífero detrítico que en zonas como Málaga capital o la Costa del Sol.

## 6.2. Índice C-P en las unidades territoriales.

De la misma forma que se puede determinar qué acuífero puede recibir mayores presiones y amenazas antrópicas capaces de contaminar las aguas subterráneas en función de la concentración de peligros de su alrededor, también se puede determinar cuál es la unidad territorial del Plan de Ordenación del Territorio de la provincia de Málaga que puede resultar en riesgo de contaminación debido a la alta acumulación de actividades antrópicas.

Para ello, se ha realizado el mismo cálculo explicado anteriormente para determinar el porcentaje de ocupación de cada valor de concentración en las comarcas de la provincia. De esta forma, se puede establecer qué unidad territorial presenta más amenazas y presiones antrópicas, basándose en los valores cuantitativos, además de en los resultados obtenidos a partir del índice C-P (Tabla 4).



Unidad Territorial	Índice de Concentración de peligros	Área en km <sup>2</sup>	Porcentaje (%)
Costa del Sol	Alto	154,13	16,374
	Intermedio	328,39	34,886
	Bajo	431,09	45,796
	Nulo	27,72	2,944
Centro Regional de Málaga	Alto	453,89	34,111
	Intermedio	575,82	43,275
	Bajo	270,56	20,333
	Nulo	30,35	2,281
Serranía de Ronda	Alto	65,97	3,482
	Intermedio	530,22	27,983
	Bajo	1114,22	58,804
	Nulo	184,38	9,731
Depresión de Antequera	Alto	116,87	5,429
	Intermedio	1246,77	57,917
	Bajo	760,95	35,349
	Nulo	28,09	1,305
Vélez - Málaga y Axarquía	Alto	175	17,763
	Intermedio	550,67	55,894
	Bajo	175,95	17,859
	Nulo	83,58	8,484

Tabla 4: Porcentaje de superficie según el índice de concentración de acuíferos, para cada unidad territorial.

La primera impresión que se tiene al observar el mapa (Figura 5) es el índice de concentración de peligros que presenta la unidad territorial del Centro Regional de Málaga dado que, mayormente, presenta un índice de concentración alto. De manera cuantitativa, se puede confirmar que presenta un porcentaje de ocupación de amenazas y presiones antrópicas alto. Estos resultados podrían coincidir con la realidad puesto que se trata de la comarca en la que se encuentra la capital de la provincia y lo que esto conlleva, es decir, mayor presión urbanística, debido al gran número de habitantes, y mayor porcentaje de actividades a nivel industrial. También sitúa el Valle del Guadalhorce, por lo que otro porcentaje de presiones antrópicas puede ser representado por la actividad agrícola que se refleja en dicha comarca, que podría contaminar las aguas subterráneas como consecuencia de los fertilizantes y plaguicidas.

La unidad territorial de la Costa del Sol resulta interesante puesto que es la que presenta, junto a la comarca de Serranía de Ronda, un porcentaje muy alto de baja concentración de los peligros. En el caso de ésta última, no resulta extraño ya que se trata de una comarca de interior en la que, debido al entorno montañoso de la provincia de Málaga, está formada por terrenos compuestos por sierras en los que no está permitida la continua construcción. El caso de la Costa del Sol resulta impactante puesto que se trata de una de las comarcas más explotadas a nivel de construcción y donde residen numerosos habitantes, la gran mayoría extranjeros. Sin embargo, a nivel de unidad territorial no presenta un valor alto de concentración de los peligros, debido a que ésta únicamente se da en los municipios de costa, pero la comarca comprende más municipios de interior en los que el único peligro resulta de la actividad agrícola.

Si se observa la zona este de la provincia de Málaga, se puede determinar que la comarca de Vélez – Málaga y Axarquía presenta un alto grado de concentración de los peligros puesto que se trata de una unidad territorial situada en la costa y como consecuencia más presionada a nivel urbanístico. Por lo tanto, aun teniendo La Sierra Tejeda y Almirajara, se considera una comarca amenazada por la contaminación de las aguas subterráneas generada por las actividades antrópicas.

A diferencia con el caso de los acuíferos, la unidad territorial de la Costa del Sol está menos amenazada por los peligros potencialmente contaminantes que la de Vélez-Málaga y Axarquía, ya que ésta última se encuentra sobre terrenos caracterizados por materiales sobre los que se puede construir, mientras que la comarca de la Costa del Sol presenta municipios de interior rodeados de sierras y terrenos con pendientes libres de manipulación antrópica.

Por la zona de interior, la comarca de la Depresión de Antequera presenta un gran porcentaje de ocupación de actividades antrópicas que puedan generar contaminación de las aguas subterráneas, principalmente de tipo agrícola y ganadera, ya que es la comarca en la que se encuentran los municipios como Campillos, donde la actividad primaria está basada en las granjas, es decir, en instalaciones destinadas a la cría intensiva de cerdos.

## 7. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos mediante la aplicación del índice C-P para determinar la concentración de los peligros potencialmente contaminantes de las aguas subterráneas, se puede establecer, de forma genérica, que la zona que comprende la Serranía de Ronda y el Arco Calizo, es la zona que presenta menor acumulación de actividades antrópicas que puedan ejercer presión sobre el medio y, por tanto, menos concentración de los peligros.

De esta manera, coincidiendo con dicha zona, se determina que los acuíferos carbonatados presentan un riesgo menor por concentración de los peligros que los acuíferos detríticos. Debido a la dificultad para acceder a estos terrenos, los primeros son aquellos que soportan menor presencia de amenazas por parte de las actividades antrópicas que puedan contaminar las aguas subterráneas.

Sin embargo, los acuíferos detríticos, debido a los materiales que los componen, son acuíferos que presentan más probabilidad de contaminación de aguas subterráneas por parte de la gran acumulación de los peligros que se encuentran a su alrededor, como consecuencia del funcionamiento de las actividades humanas.

A su vez, los acuíferos detríticos presentan una gran explotación de sus recursos por parte de la población y se encuentran en zonas donde existe un gran número de habitantes. Las unidades territoriales más amenazadas por la contaminación de las aguas subterráneas, del Plan de Ordenación del Territorio de Andalucía, son aquellas coincidentes con la presencia de dichos acuíferos. De esta manera, las comarcas desde La Costa del Sol hasta Vélez – Málaga y Axarquía, incluyendo la del Centro Regional de Málaga, son aquellas que presentan mayor acumulación de peligros y se encuentran sometidas a mayor presión por parte de las actividades antrópicas.

La metodología aplicada en este trabajo ha resultado ser una novedad en el campo del peligro de contaminación de aguas subterráneas puesto que el índice C-P propuesto para establecer la concentración de peligros potencialmente contaminantes a causa de las actividades antrópicas, no se había tratado anteriormente. El método utilizado puede ser aplicado fácilmente a otra zona determinada porque permite representar el peligro de contaminación en una sola capa para poder introducirla en un sistema de información geográfica.

En un futuro cercano, sería interesante seguir investigando en temas relacionados con el riesgo de contaminación de aguas subterráneas, por lo que la investigación realizada en este TFG puede servir como punto de inicio de futuros estudios en la temática de riesgos.

## Bibliografía

- Referencias bibliográficas empleadas:

Civitta, M. y De Maio, M. (1997a). Assessing groundwater contamination risk using Arcinfo via grid function. *Proceedings of ESRI conference*, San Diego, 33 p.

Darmendrail, D. (2001). *The French approach to contaminated-land management*. BRGM/RP- 51098-FR, 150 p.

De Ketelaere, D.; Hötzl, H.; Neukum, C.; Civitta, M. y Sappa, G. (2004). Hazard analysis and mapping. En F. Zwahlen (ed), *Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers*. Informe final de la Acción COST 620, EUR 20912, European Commission, Directorate General for Research, Luxembourg, pp 86-105.

Directiva Marco del Agua. Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Artículo 2.

Foster, S. e Hirata, R. (1988). Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data.

Olcina, J. y Ayala, F. (2002). Riesgos naturales. Conceptos fundamentales y clasificación. En F.J. Ayala y J. Olcina (eds.), *Riesgos naturales*. Ariel, Barcelona, pp 41-73.

Rodríguez, J.V. (2018, agosto 28). Málaga reúne casi el 40% de los extranjeros de Andalucía y el 30% de los trabajadores. *La Opinión de Málaga*. Recuperado el 14/05/2019 de:

<https://www.laopiniondemalaga.es/malaga/2018/08/28/malaga-reune-40-extranjeros-andalucia/1029314.html>

Varnes, D.J. (1984). Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. *Natural Hazards*, nº 3, UNESCO, 63 p.

Vías Martínez, J. (2005). Desarrollo metodológico para la estimación y cartografía del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas mediante SIG. Aplicación en acuíferos del sur de España.

- Referencias bibliográficas consultadas:

Alcón, J.L.; Jiménez, M.T.; Morea, M.L; Avila, M.J. (2014). Planes de Acción Municipal para la prevención – reducción de la contaminación de aguas subterráneas en la Comarca de Antequera. Proyecto Protecting Groundwater.

Vías Martínez, J. (2003). Vulnerabilidad y peligro de contaminación en el acuífero carbonatado de Torremolinos (Málaga).

- Enlaces web

Andalucía-web. *El clima en Málaga*. Recuperado el 28/04/2019 de: [http://www.andalucia-web.net/clima\\_malaga.htm](http://www.andalucia-web.net/clima_malaga.htm)

Aquasain (2019). *Los tipos de acuíferos y sus manantiales*. Recuperado el 15/04/2019 de: <https://aquasain.com/blog/los-tipos-acuiferos-manantiales/>

Climate-Data. *Climograma de Málaga*. Recuperado el 28/04/2019 de: <https://es.climate-data.org/europe/espana/andalucia/malaga-122/>

Desguaces.eu (2018). *Desguaces de la provincia de Málaga*. Recuperados el 26/03/2019 de: <https://www.desguaces.eu/desguaces-malaga/>

Envirosoil (2014). *El agua subterránea y su importancia*. Recuperado el 14/04/2019 de: <https://www.envirosoil.es/el-agua-subterranea-y-su-importancia/>

ESRI (2019). *Sistemas de información geográfica. ¿Qué es un SIG*. Recuperado el 17/04/2019 de: <https://www.esri.es/descubre-los-gis/>

Hispagua. Sistema Español de Información sobre el Agua. *Hidrogeología. Tipos de acuíferos*. Recuperado el 15/04/2019 de: <http://hispagua.cedex.es/datos/hidrogeologia>

Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. *Datos Espaciales de Referencia de Andalucía (DERA)*. Recuperados el 20/01/2019 de: <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/>

Instituto Nacional de Estadística (INE). (2019). *Población de la provincia de Málaga*. Recuperado el 28/04/2019 de: <http://www.ine.es/>

Malaga@digital (2018). *Provincia de Málaga. Relieve*. Recuperado el 04/05/2018 de: <http://malagadigital.online/provincia-de-malaga-relieve/>

Ministerio para la Transición Ecológica. *Gasolineras de España*. Recuperado el 11/02/2019 de: <https://geoportalgasolineras.es/#/Descargas>

OpenStreetMap. *Mapa topográfico de la provincia de Málaga*. Recuperado el 04/05/2019 de: <https://maps-for-free.com/>

Registro Estatal de Fuentes y Emisiones de España. *Actividades industriales*. Recuperados el 19/03/2019 de:  
<http://www.prtr-es.es/informes/inventarioinstalacionesippc.aspx>

Sánchez, F.J. (2017). *Hidrología Superficial y Subterránea. Contaminación de las aguas subterráneas*. Recuperado el 25/04/2019 de La Universidad de Salamanca, Departamento de Geología: <http://hidrologia.usal.es/temas/contaminacion.pdf>