

# AGUA SUBTERRÁNEA, MEDIO AMBIENTE, SALUD Y PATRIMONIO

Congreso Ibérico sobre Agua subterránea, medio ambiente, salud y patrimonio

12-15 de noviembre de 2018 - Salamanca



Asociación Internacional de Hidrogeólogos  
Grupo Español



Asociación Internacional de Hidrogeólogos  
Grupo Portugués



IMGA-España



PMG  
Portuguese  
Chapter  
on Medical  
Geology



INSTITUTO  
UNIVERSITARIO DE ESTUDIOS  
DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA



UNIVERSIDAD  
DE SALAMANCA

## Patrocinan:



GOBIERNO  
DE ESPAÑA



MINISTERIO  
DE CIENCIA, INNOVACIÓN  
Y UNIVERSIDADES



Instituto Geológico  
y Minero de España



CEHYUMA  
CENTRO DE HIDROGEOLOGÍA  
DE LA UNIVERSIDAD DE MÁLAGA



Diputación  
de Salamanca



GOBIERNO  
DE ESPAÑA



MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA



CONFEDERACIÓN  
HIDROGRÁFICA  
DEL DUERO



FCIHS  
FUNDACIÓN CENTRO INTERNACIONAL  
DE HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA



TURISMO de  
SALAMANCA



Junta de  
Castilla y León

## Colaboran:



**AFORMHIDRO**  
aforos y mantenimientos hidráulicos, s.a.



acuria

sondeos  
martínez



testificación  
geofísica

**Civicons**  
CONSTRUCCIONES



aqualia

**Facsa**  
ciclo integral del agua



Fariña

Grupo Español de la AIH y Grupo Español de IMGA

Bartolomé Andreo Navarro, Elena Giménez Forcada y

Juan José Durán Valsero (editores)

# Agua subterránea, medio ambiente, salud y patrimonio

Comunicaciones presentadas al “Congreso Ibérico sobre Agua subterránea, medio ambiente, salud y patrimonio”  
Salamanca, 12-15 de noviembre de 2018

## **Autor:**

*Asociación Internacional de Hidrogeólogos – Grupo Español*

## Editores:

*Bartolomé Andreo Navarro*  
*Elena Giménez Forcada*  
*Juan José Durán Valseiro*

## Asistente editorial:

*José Manuel Nieto López*

© 2018 Asociación Internacional de Hidrogeólogos – Grupo Español  
Gran Capitán s/n, 08034 – Barcelona  
Edición digital, octubre de 2018. Edición electrónica: [www.aih-ge.org](http://www.aih-ge.org)  
ISBN: 978-84-938046-6-4



# CONGRESO IBÉRICO SOBRE AGUA SUBTERRÁNEA, MEDIO AMBIENTE, SALUD Y PATRIMONIO

Salamanca, 12-15 noviembre 2018

## Organizan:

Asociación Internacional de Hidrogeólogos - Grupo Español y Grupo Portugués

Asociación Internacional de Geología Médica – Grupo Español y Grupo Portugués



Asociación Internacional de Hidrogeólogos  
Grupo Español



Asociación Internacional de Hidrogeólogos  
Grupo Portugués



UNIVERSIDAD  
DE SALAMANCA

## Patrocinan:



## Con la colaboración de:





## **Organización del Congreso**

El Congreso ha sido promovido conjuntamente por los Grupos Español y Portugués de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH) y de la Asociación Internacional de Geología Médica (IMGA), que han delegado parte de la organización en el Comité Organizador. Se ha contado con la colaboración de miembros del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Centro de Hidrogeología de la Universidad de Málaga (CEHIUMA), Confederación Hidrográfica del Duero (CHD), Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea (FCIHS), Ayuntamiento y Diputación de Salamanca y de la Junta de Castilla y León.

### **Comité Organizador:**

#### *Grupo Español:*

Bartolomé Andreo Navarro (CEHIUMA)  
Juan José Durán Valsero (IGME)  
Teresa Carceller Layel (CHE)  
Margarida Valverde Ferreiro (FCIHS)  
Jaime Gómez Hernández (UPV)  
José Benavente Herrera (UGR)  
Jorge José Molinero Huguet (Amphos 21 Consulting, S.L.)  
Luis Martínez Cortina (MITECO)  
Carolina Guardiola Albert (IGME)  
Elena Giménez Forcada (IGME)  
M<sup>a</sup> Dolores Pereira García (USAL)

#### *Grupo Portugués:*

António Chambel (UÉv)  
Raquel Sousa (AIH-GP)  
José Paulo Monteiro (UAlg)  
José Manuel Marques (IST)  
Manuel Abrunhosa (AIH-GP)  
Carla Patinha (UA)  
Eduardo Ferreira da Silva (UA)

## **Comité Local:**

Elena Giménez Forcada (IGME)  
M<sup>a</sup> Dolores Pereira García (USAL)  
Santiago M. López García (USAL)  
Víctor del Barrio Beato (CHD)  
Esther Rodríguez Jiménez (CHD)  
José Luis Molina González (USAL)  
Marta Moreno Gómez (JCyL)  
M<sup>a</sup> Carmen García Macías (USAL)  
Miriam Pérez Veneros (USAL)  
Santiago Gutiérrez Broncano (UCLM)  
M<sup>a</sup> Pilar Pena Búa (ULoyola)  
M<sup>a</sup> Elena Galindo Rodríguez (IGME)  
Mercedes Delgado Pascual (USAL)  
Antonio Martínez Graña (USAL)  
M<sup>a</sup> Antonia García Jiménez (MITECO)  
Natalia García Bravo (IGME)  
Almudena de la Losa Román (IGME)  
Raquel Morales García (IGME)  
José Manuel Nieto López (CEHIUMA)  
Jorge Prieto Mera (CEHIUMA)  
José Manuel Gil Márquez (CEHIUMA)  
Matías Mudarra Martínez (CEHIUMA)  
Juan Antonio Barberá Fornell (CEHIUMA)  
Pedro Huerta Hurtado (USAL)  
Guillermo Simón Porcar (IMGA)

## **Comité Científico:**

José Miguel Andreu Rodes (UA)  
María Aurora Armienta (UNAM)  
Juan Antonio Barberá Fornell (UMA)  
Irene de Bustamante Gutiérrez (IMDEA)  
M<sup>a</sup> Carmen Cabrera Santana (ULPGC)  
M<sup>a</sup> Luisa Calvache Quesada (UGR)  
Lucila Candela Lledó (UPC)  
Paula Carreira (UL)  
M<sup>a</sup> Isabel Carretero León (USE)  
José Antonio Centeno (FDA)  
Hélder Chaminé (ISEP)  
Rafael Delgado Calvo-Flores (UGR)  
José Ángel Díaz Muñoz (IGME)  
Juan José Durán Valsero (IGME)  
Francisco Javier Elorza Tenreiro (UPM)  
M<sup>a</sup> Virginia Fernández González (UGR)  
Eduardo Ferreira da Silva (UA)  
Saverio Fiore (UNIBA)  
Diego Fridman (FCEI)  
Juan José Gómez Alday (UCLM)  
María Izquierdo Ramonet (CSIC)  
Juan A. Luque Espinar (IGME)  
Nelly Mañay (URM)  
José Manuel Marques (UL)  
José Martins Carvalho (TARH)  
Marisol Manzano Arellano (UPCT)  
Pedro Martínez Santos (UCM)  
Sergio Martos Rosillo (IGME)  
Josep Mas Pla (UdG)  
Rosa Mejjide Faílde (UDC)  
M<sup>a</sup> do Rosario Melo Da Costa (UTAD)  
José Paulo Monteiro (UALG)  
Carla Patinha (UA)  
Esperanza Montero González (UCM)  
Ignacio Morell Evangelista (UJI)  
Matías Mudarra Martínez (UMA)  
Manuel Olías Álvarez (UHU)  
Manuel Pozo Rodríguez (UAM)



Miguel Rodríguez Rodríguez (UPO)  
Javier Samper Calvete (UDC)  
Alcino Sousa Oliveira (UTAD)  
Iñaki Vadillo Pérez (UMA)  
Ángela Vallejos Izquierdo (UAL)  
Juana Vegas Salamanca (IGME)

### **Patrocinadores y Colaboradores:**

Los siguientes organismos, entidades y empresas públicas y privadas han apoyado económica y técnicamente la realización del Congreso.

- Ayuntamiento de Salamanca
- Diputación de Salamanca
- Universidad de Salamanca (USAL) – ECYT
- Instituto Geológico y Minero de España (IGME)
- Confederación Hidrográfica del Duero (CHD)
- Junta de Castilla y León (JCyL)
- Centro de Hidrogeología de la Universidad de Málaga (CEHIUMA)
- Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea (FCIHS)
- Aformhidro
- Sondeos Martínez
- Civicons
- Aqualia
- Bodegas Fariña
- Fomento Agrícola Castellonense, S.A. - FACSA

## **Índice de contenidos**

<b>Presentación</b> .....	17
<b>Ponencias del Congreso</b>	
Humedales y aguas subterráneas: una visión hidrogeológica <i>Emilio Custodio</i> .....	21
Minería e hidrogeología: interacciones <i>Rafael Fernández Rubio</i> .....	33
Propuesta realizada por la AIH-GE: estándares mínimos para una correcta ejecución de pozos <i>Alfredo Barón Pérez</i> .....	47
Calidad y contaminación de aguas subterráneas. Afecciones al medio ambiente <i>Jesús Carrera Ramírez</i> .....	57
Calidad del agua de consumo y salud <i>Cristina Villanueva Belmonte</i> .....	59
Importancia de los elementos geogénicos traza en los estudios de Geología Médica <i>Elena Giménez Forcada</i> .....	61
Aguas minero medicinales, termales y peloides: aspectos beneficiosos en la salud <i>Rosa Meijide Faílde</i> .....	67
Contaminantes emergentes en las aguas subterráneas y su incidencia en la salud <i>Josep Mas Pla</i> .....	77
Patrimonio hidrogeológico: métodos de estudio y estrategias de conservación <i>Raquel Morales García</i> .....	89
Hidrogeología de espacios naturales protegidos <i>Juan José Durán Valseo</i> .....	97
Aguas subterráneas y patrimonio cultural e histórico <i>Sergio Martos Rosillo</i> .....	103
Técnicas y aplicaciones de la hidrogeología a la gestión de residuos radioactivos <i>Elena Abarca Cameo</i> .....	113

## Comunicaciones libres

### **Tema 1. Agua subterránea y medio ambiente**

#### **Sesión 1.1. Humedales y aguas subterráneas**

- Caracterización hidrogeológica del acuífero del Suevo: implicaciones en el cálculo del coeficiente de agotamiento  
*J. Fernández Ortega, M. Meléndez Asensio y M. Jiménez Sánchez* ..... 123
- Estimación de tiempos de tránsito en acuíferos kársticos de alta montaña del pirineo oriental mediante isótopos ambientales. El macizo del Port del Comte (Lleida, España)  
*I. Herms, J. Jódar, J. Lambán, S. Martos Rosillo, J. Jorge, I. Vadillo, A. Soler y E. Custodio* ..... 135
- Evaluación del impacto de la recarga artificial en la zona no saturada (ZNS) mediante modelación numérica: masa de agua subterránea de Medina del Campo, España  
*P. Valle, H. Aguilera, J. Heredia, J.A. de la Orden, A. de la Hera y V. del Barrio Beato* .... 145
- Contexto hidrogeológico y aproximación al balance hídrico de las lagunas Amarga y de los Jarales (Lucena, Córdoba)  
*J.M. Gil Márquez, B. Andreo Navarro, M. Mudarra Martínez y L. Linares Girela*..... 155
- Hidroquímica y parámetros físicos potencialmente relacionados con la ausencia de vegetación sumergida en las Tablas de Daimiel  
*J. M. Ruíz Hernández, E. Santofimia Pastor, E. López Pamo y M. Mejías Moreno*..... 165
- Modelización hidrológica y análisis de tendencias en las lagunas peridunares de Doñana  
*M. Rodríguez Rodríguez, A. Jaén, A. Fernández Ayuso y F. Moral* ..... 177
- Aspectos generales de los humedales costeros mediterráneos españoles vinculados al agua subterránea: el informe SASMIE  
*E. Custodio* ..... 187
- Estudio del funcionamiento hidráulico de la Llacuna de la Ricarda y propuestas de gestión a partir de un modelo numérico de flujo  
*J. Massana y E. Queralt* ..... 197
- Hidrogeología histórica de las Lagunas Reales de Medina del Campo (Cuenca del Duero, España)  
*A. de la Hera Portillo, J. López Gutiérrez, R. Mediavilla López, V. Borrueal Abadía, M. Llorente Isidro, M.D. Bejarano y T. Orozco Cuenca*..... 207

#### **Sesión 1.2. Minería e Hidrogeología: interacciones**

- Marco hidrogeológico de los yacimientos uraníferos de Retortillo-Santidad (Salamanca)  
*J. Velasco Ventura, R. Fernández Rubio, D. Lorca Fernández, C. González Garrido, J. Verdejo Serrano, J.M. Montero González, L.J. Pérez Rodríguez y J. Pohl*..... 219
- La modelización numérica hidrogeológica, como herramienta de gestión de las aguas subterráneas en minería. Aplicación al proyecto Salamanca (Berkeley Minera España)  
*J. Verdejo Serrano, M. Mallo Rodrigo, C. González Garrido, J.M. Montero González, J. Velasco Ventura, R. Fernández Rubio y D. Lorca Fernández*..... 231

Diseño de una red de drenaje de aguas subterráneas mediante sondeos verticales en la corta minera de Retortillo Sur (Salamanca) <i>A. Barrera García, J.M. Montero González, J. Velasco Ventura, M. Mallo Rodrigo, A. Ramírez Bermúdez, S. Bueso Sánchez y A. Cantudo Muñoz</i> .....	241
Modelo hidrogeológico preliminar aplicado al estudio de los flujos regionales de la Cuenca Carbonífera Central Asturiana <i>L. Álvarez Álvarez, A. González Quirós, L. Calvo Buelga y J.P. Fernández Álvarez</i> .....	253
Caracterización hidrodinámica del entorno de los yacimientos uraníferos de Retortillo – Santidad (Salamanca) <i>D. Lorca Fernández, R. Fernández Rubio, J. Verdejo Serrano, J. Velasco Ventura, M. Mallo Rodrigo y J.M. Montero González</i> .....	263
Evaluación conceptual y numérica de la influencia de la explotación minera en la definición de sus condiciones de contorno y su modelo numérico: caso de Candín-Fondón <i>L. Calvo Buelga, A. González Quirós, L. Álvarez Álvarez y J.P. Fernández Álvarez</i> .....	275
Elementos minoritarios y trazas en el distrito minero de Sierra de Gádor <i>M.A. Díaz Puga, A. Vallejos, F. Sola, L. Daniele y A. Pulido Bosch</i> .....	287
Análisis de la distribución de la concentración de un soluto conservativo en un medio poroso a escala regional considerando flujo vertical a través de perforaciones activas e inactivas <i>A. Mejía, E. Cassiraga y A. Sahuquillo</i> .....	295
 <b>Sesión 1.3. Construcción y clausura de pozos</b>	
Los pozos abandonados como fuente puntual de contaminación de los acuíferos. Ideas para una normativa de clausura de captaciones en desuso <i>C. Guardiola Albert, N. Naranjo Fernández, A. de la Losa, M. Martínez Parra, F. Villarroya y A. Barón</i> .....	307
Una revisión sobre el movimiento de patógenos en acuíferos: implicaciones para la construcción de pozos <i>J. Carrera, C. Valhondo, L. Martínez Landa y J. Wang</i> .....	317
Desarrollo y limpieza de sondeos con CO <sub>2</sub> . Análisis del estado actual de la tecnología en España <i>A.J. Ramírez Bermúdez, S. Bueso Sánchez, A. Barrera García y A. Cantudo Muñoz</i> .....	329
Reflexiones sobre el estado actual de la técnica de construcción de pozos de captación de agua subterránea en España <i>T. García Ruiz</i> .....	339
Realización de sondeos para utilización conjunta de recursos superficiales y subterráneos: monitorización y uso. Caso del pantano de Forata <i>P. Romero Pavía y R. Sánchez Sacristán</i> .....	349
 <b>Sesión 1.4. Calidad y contaminación de aguas subterráneas. Afecciones al medio ambiente</b>	
Estudio de los efectos sobre las aguas subterráneas del incendio de la Vall de Ebo de 2015 (Alicante, España) <i>J.A. Domínguez Sánchez, R. Morales García, S. Rosado Piqueras, N. García Bravo, J.A. de la Orden Gómez y J.J. Durán Valsero</i> .....	361

Avaliação da evolução espaço-temporal da contaminação das águas subterrâneas na área envolvente ao Complexo Químico de Estarreja (Aveiro, Portugal) <i>C. Patinha, T. Marques, N. Durães, E. Ferreira da Silva y M. Senos Matias</i> .....	371
Valores genéricos para la restauración de aguas subterráneas en emplazamientos contaminados por fuentes de origen puntual: metodología de cálculo y valoración <i>M. Toribio, E. Orejudo, M.R. Espínola y J. Sánchez</i> .....	381
Efectos producidos por la marea oceanográfica sobre la temperatura y la conductividad eléctrica del agua en el acuífero costero de Motril-Salobreña <i>A.M. Blanco Coronas, M. López Chicano, M.L. Calvache, J.P. Sánchez Úbeda y C. Duque</i>	393
Estudio hidrogeológico para la evaluación de los recursos hídricos subterráneos y la viabilidad de satisfacer las demandas de abastecimiento en el municipio de Oia (Pontevedra) <i>J. Samper, A. Naves, B. Pisani, A. Mon, J. Dafonte, L. Montenegro, A. García y R. Rangel</i>	403
Sostenibilidad de los sistemas autónomos de abastecimiento con aguas subterráneas en zonas rurales de Galicia: lecciones aprendidas en el municipio de Abegondo (A coruña) <i>J. Samper, A. Naves, B. Pisani, L. Montenegro, A. Mon, J. Martins, C. Ameijenda, R. Piñeiro y R. Arias</i> .....	415
Disponibilidad de recursos hídricos subterráneos en la cuenca del Alto Genil: retos de futuro <i>J.A. Luque Espinar, S. Martos Rosillo, A. González Ramón, J.M. Murillo Díaz y L. Rico Jorge</i> .....	425
Avaliação da qualidade da água numa região contaminada por arsénio <i>F. Barata Feio, I.M.H.R. Antunes, A. Ferreira y M.R. Costa</i> .....	435
Análisis de los efectos de los incendios forestales sobre las aguas subterráneas <i>R. Morales García, J.J. Durán Valsero, J.M. Ruiz Hernández, J.A. de la Orden Gómez, J.D. Gómez Gómez, L. Moreno Merino y J.A. Domínguez Sánchez</i> .....	445
Estado cualitativo de la masa de agua Villaviciosa en relación con los usos territoriales <i>A. Gutiérrez Paíno, M. Meléndez Asensio y M. Jiménez Sánchez</i> .....	457
Caracterización hidroquímica del acuífero freático de la masa de agua subterránea de Medina del Campo <i>A. de la Hera Portillo, J. López Gutiérrez, A. Romero Prados, J. Heredia Díaz, J.A. de la Orden Gómez, T. Orozco Cuenca y J.M. Fornés Azcoiti</i> .....	467
Evolución de la contaminación de origen agrícola en la Plana de Castellón y su impacto en el uso para abastecimiento <i>J.V. Clausell Borja, B. Sánchez-Rubio Ruiz y M. Ortíz Gómez</i> .....	477
La gestión de los expedientes de descontaminación de acuíferos en Cataluña <i>E. Orejudo Ramírez, R. Espínola Cazorla, J. Sánchez Anguita y M. Toribio Sánchez</i> .....	487
Modelación matemática de la concentración de BTEX en la zona no saturada: evaluación de la distribución de masa entre las fases <i>J. Rodrigo Ilarri, L. Romero Ballesteros y M.E. Rodrigo Clavero</i> .....	497
Procesos biogeoquímicos en zonas de transición acuíferos/acuitardos. Contribución a la remediación de fuentes recalcitrantes de tetracloruro de carbono y cloroformo <i>D. Puigserver Cuerda, A. Cortés, J. Herrero, B. Parker y J.M. Carmona Pérez</i> .....	507

Estrategias de explotación de un campo de pozos para hacer frente a una contaminación.  
Caso de la Vall Baixa del río Llobregat  
*J. Massana, V. Solà, E. Queralt, S. Espinosa y J. Martín* ..... 517

## **Tema 2. Agua, salud y Geología Médica**

### **Sesión 2.1. Desde la Hidrogeología hacia la salud pública**

La responsabilidad social empresarial (RSE) y la Geología Médica (GM) como  
herramientas para la mejora medioambiental  
*S. Gutiérrez Broncano, E. Giménez Forcada, P. Jiménez Estévez y P. Pena Búa* ..... 531

Estudio comparativo preliminar de las características químicas de aguas minerales  
envasadas en España y en el extranjero  
*A. Jiménez Alonso, J. Benavente Herrera, T. Peinado Parra y C. Almécija Ruiz* ..... 541

### **Sesión 2.2. Importancia de los elementos geogénicos traza en los estudios de Geología Médica**

Distribución de elementos traza contaminantes en el suelo y aguas subterráneas de España  
*J.A. Luque Espinar, E. Pardo Igúzquiza, M. Chica Olmo, J. Grima Olmedo, C. Grima  
Olmedo y E. Giménez Forcada* ..... 549

Presencia de arsénico y otros elementos traza en aguas subterráneas del sector  
sudoccidental de la Llanura Chaco Pampeana argentina  
*E.E. Mariño, G. Teijón Ávila Y C.J. Schulz* ..... 557

Caracterización hidrogeoquímica e isotópica de aguas minerales y termales de la provincia  
de Málaga  
*J.A. Barberá Fornell, A. de Abrisqueta Rangel y B. Andreo* ..... 567

### **Sesión 2.3. Aguas minero-medicinales, termales y peloides: aspectos beneficiosos del agua en la salud**

El papel de los elementos minerales y otros componentes químicos utilizados en medicina  
termal: aguas mineromedicinales sulfuradas y cloruradas (nuevos mecanismos de acción)  
*F. Maraver, J.M. Carbajo, I. Vázquez y F. Armijo* ..... 581

El Sulfuro de Hidrógeno (H<sub>2</sub>S): de tóxico a antioxidante y antiinflamatorio  
*R. Meijide Faílde, C. Vaamonde García, A. Vela Anero, F.J. Blanco y E.F. Burguera*..... 591

Utilización del diagrama de evolución de facies hidroquímica (HFE-D) en los estudios  
sobre distribución de elementos traza en aguas subterráneas  
*E. Giménez Forcada*..... 597

La importancia de la red de observación en los estudios de hidrogeotoxicidad: un caso de  
aplicación en la MAS Salamanca, al sur de la cuenca del Duero  
*G. Simón Porcar y E. Giménez Forcada*..... 603

Actividad del <sup>222</sup>Rn en aguas minerales y termales de la provincia de Málaga  
*J.A. Barberá Fornell, A. de Abrisqueta Rangel y B. Andreo* ..... 611

Estudio radiológico de algunas aguas termales de la provincia de Granada  
*A. Milena, B.R. Martínez Martínez, V.M. Expósito, F. Piñero, J. Benavente y M.A. Ferro*.. 613

A aplicação da análise de cluster aglomerativa e de modelos de equações estruturais na avaliação da radioatividade natural em águas subterrâneas <i>L. Martins, F. Pacheco, A. Sousa Oliveira, A. Pereira y L. Sanches Fernandes</i> .....	621
Presencia de metales pesados (trazas) en caolines de uso farmacéutico y cosmético <i>M.V. Fernández González, J.M. Martín García, A. Molinero, P. Fernández, A.I. del Moral, J.C. Reina y R. Delgado</i> .....	623
Análisis de métodos estadísticos para la determinación de niveles de fondo: aplicación a los estudios de geología médica o hidrogeotoxicidad por elementos traza <i>J. Grima Olmedo, J.A. Luque Espinar y E. Giménez forcada</i> .....	633
Principales características de las aguas termales en la Depresión de Granada <i>J.A. Díaz Muñoz, C. Ontiveros Betranena, M.E. Galindo Rodríguez y M.M. Corral Lledó</i> .	643
Análisis de las consecuencias del riego con aguas ricas en arsénico y pH alcalino en los suelos utilizando herramientas geoestadísticas: caso de estudio en un sector localizado en el SE de la cuenca del Duero <i>E. Giménez Forcada y J.A. Luque Espinar</i> .....	653
Riesgo para la salud por consumo de flúor presente en las aguas subterráneas de España <i>J.A. Luque Espinar, E. Pardo Igúzquiza, E. Giménez Forcada, J. Grima Olmedo y C. Grima Olmedo</i> .....	655

#### ***Sesión 2.4. Compuestos emergentes en las aguas subterráneas y su incidencia en la salud***

Consideraciones sobre la presencia de fármacos en suelos y aguas subterráneas orientadas al monitoreo y gestión de acuíferos <i>J. Mas Pla, M. Gros, C.M. Borrego, M. Boy Roura, M. Fillol, A. Menció y M. Petrovic</i> .....	659
Presencia y distribución espacial de fármacos y productos de uso personal en el agua subterránea bajo la ciudad de Zaragoza <i>E.A. Garrido Schneider, A. García Gil, M. Mejías Moreno, J.A. Sánchez Navarro, D. Barcelò, E. Vázquez Suñé y S. Díaz Cruz</i> .....	671
Procesos de pseudo-pasteurización de bacterias patógenas en agua subterránea inducidos por intercambiadores geotérmicos <i>A. García Gil, S. Gasco Cavero, E.A. Garrido Schneider, M. Mejías Moreno, E. Vázquez Suñé, M.A. Marazuela Calvo, M. Navarro Elipe, C. Alexandre y E. Sevilla Alcaine</i> .....	681
Presencia y distribución de contaminantes emergentes en cuatro cuencas antropizadas del sur de la Península Ibérica <i>I. Vadillo Pérez, P. Jiménez Gavilán, J.L. Aranda, F. Denguir Bujanow, J.A. Luque Espinar y J. Benavente Herrera</i> .....	691

### ***Tema 3. Agua subterránea y patrimonio***

#### ***Sesión 3.1. Patrimonio hidrogeológico: métodos de estudio y estrategias de conservación***

Nuevas evidencias sobre el antiguo viaje de aguas de Amaniel (Madrid): significado como patrimonio hidrogeológico <i>P. Martínez Santos</i> .....	705
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

Redes de control del estado de las aguas subterráneas en la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Duero. Evolución y perspectivas  
*E. Rodríguez Jiménez, C. Cobaleda Grieder y A. García García* ..... 715

El impacto de la obra civil sobre las aguas subterráneas: el caso de la afección a las “Fuentes de Berbes” por el túnel del Fabar (Ribadesella, Asturias)  
*J. del Pozo Tejado, M.L. Meléndez Asensio y R. Morales García* ..... 723

### **Sesión 3.2. Hidrogeología de espacios naturales protegidos**

Caracterización de la relación río-acuífero en el LIC “Río Mundo” e implicaciones para la gestión de los recursos hídricos  
*J. Hornero, M. Manzano, L. Ortega y R. Aragón* ..... 735

Hidrogeología de un karst mediterráneo de relieve alto: la Sierra de las Nieves (Málaga, España)  
*E. Pardo Igúzquiza, J.A. Luque Espinar, J. Heredia y J.J. Durán Valsero* ..... 745

Estimación de la aportación hídrica de los páramos calcáreos de la cuenca del Duero sobre espacios de la Red Natura 2000. Caso del acuífero del Páramo de Cuéllar  
*L. Alonso, T. Albuquerque, M. Antunes, R. Martínez Alegría, J. Taboada, J. Samper y B. Pisani*..... 755

### **Sesión 3.3. Aguas subterráneas y patrimonio cultural e histórico**

El Hidrogeodía: una iniciativa de divulgación de la importancia de las aguas subterráneas en España  
*A. de la Losa Román, C. Baquedano Estévez, L. Moreno Merino, J.J. Durán Valsero, R. Morales García y B. Andreo* ..... 767

Prerrománico, románico y fuentes: el caso de Asturias  
*A. Pérez, R.A. Álvarez, L. Linares, R. Álvarez y A. Ordóñez* ..... 777

El difícil equilibrio entre la explotación de acuíferos kársticos complejos y la conservación de manantiales. El caso de la Fuente de la Rreja (Pegalajar, Jaén)  
*A. González Román* ..... 787

El Hidrogeodía como experiencia de apoyo para el desarrollo rural sostenible en la provincia de León  
*J. Fernández Lozano, J. Remondo, J. Bonachea, M. Morellón, A. González Díez y A. de la Losa Román*..... 797

Los molinos del Pla de Sant Jordi, Mallorca (Illes Balears): un ejemplo de patrimonio histórico y cultural asociado a las aguas subterráneas  
*C. Baquedano Estévez, J. Argento Vidal, A. de la Losa Román y P. Robledo Ardila* ..... 807

De los antiguos viajes de agua de Madrid a los pozos artesianos de El Pardo: una visión histórica del aprovechamiento de las aguas subterráneas  
*C. Baquedano Estévez, A. de la Losa Román, L. Moreno Merino, F. López Olmedo, J. Heredia Díaz, C. Serrano Hidalgo, N. Naranjo Fernández, R. Morales García y J.J. Durán Valsero* ..... 817



El mapa hidrogeológico continuo de la provincia de Granada: una herramienta al servicio de los usuarios <i>C. Marín Lechado, A. González Román, T. Peinado Parra, F.J. García Martínez y G. Alcaín Martínez</i> .....	827
Itinerarios por los Lugares de Interés Hidrogeológico existentes en los macizos de la Alta Cadena, Sierra de Enmedio, área de los Tajos y Sierra de Alhama (provincia de Málaga) <i>I.M. Álvarez Manoja y M. Mudarra Martínez</i> .....	831
Evolución de las superficies de regadío mediante teledetección: caso de estudio en la comunidad de Castilla y León <i>M. Delgado Pascual, N. Sánchez Martín y E. Giménez Forcada</i> .....	841
 <b>Tema 4. Técnicas y aplicaciones en Hidrogeología</b>	
Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca del río Arnoia en el noroeste de la Península Ibérica mediante modelos hidrológicos de balance: comparación de VISUAL-BALAN y SIMPA <i>J. Samper Calvete y B. Pisani Veiga</i> .....	853
Integración de análisis multi-isotópicos y marcadores microbiológicos específicos en la interpretación hidrogeológica para la determinación del origen de los nitratos <i>N. Micola Colomer, T. Garrido Martín, E. Ballesté Pau, A.R. Blanch Gisbert, R. Carrey Labarta, J. Fraile Maseras, F. Lucena Gutiérrez, A. Munne Torras, N. Otero Pérez y J. Solà Subiranas</i> .....	865
Tecnologías apropiadas para la mejora del acceso al agua subterránea en zonas rurales de la República de Mali: la perforación manual de sondeos <i>P. Martínez Santos, S. Díaz Alcaide, F.J. Robador Moreno, J.A. Cerván Vázquez, R. Gómez de Liaño y M. Martín Loeches</i> .....	875

## **Presentación**

El agua subterránea constituye una manifestación hídrica fundamental del medio ambiente. Los humedales son probablemente los enclaves donde esta relación es más evidente, pero hay otros muchos ecosistemas y espacios naturales, protegidos o no por normativa al efecto, que dependen de las aguas subterráneas. Dichos espacios (especialmente los protegidos) se han convertido en destino preferido del denominado turismo de naturaleza, que practican cada vez más personas.

Por otra parte, el agua subterránea es un recurso que debemos usar de manera sostenible y proteger para las generaciones venideras. En sí misma constituye, pues, un patrimonio natural a preservar y a gestionar adecuadamente. Este valor patrimonial aumenta cuando se contempla en el contexto de la historia o la cultura de las civilizaciones, pero también cuando se considera como integrante de espacios naturales de especial significado ambiental, dado que contribuyen a la biodiversidad y geodiversidad, que en último extremo son un reflejo de la salud ambiental de los ecosistemas.

Es bien conocido que la composición química del agua subterránea depende, entre otros factores, de la composición mineralógica (química) de las rocas por las que fluye y del tiempo de permanencia en los acuíferos. Hay determinados componentes, muchos de ellos en bajas concentraciones, que condicionan de forma natural la calidad de las aguas subterráneas hasta el punto de no ser aptas para abastecimiento urbano, e incluso para regadío o uso industrial. Un ejemplo singular es el del arsénico, aunque hay otros elementos que como él son perjudiciales para la salud humana, incluso en bajas concentraciones. Por otra parte, existen aguas minerales, o con elevados contenidos en determinados componentes (por ejemplo, sulfuros), a menudo termales, que no son adecuadas para abastecimiento urbano, pero son la base de los balnearios que tantos beneficios tienen para la salud. En otros casos, la calidad natural es adecuada pero la actividad humana es la que puede alterarla y generar problemas de salud por la presencia de contaminantes de diverso tipo (nitratos, metales pesados, biocidas, microorganismos, compuestos farmacéuticos y cosméticos, etc.).

En definitiva, existe una relación clara entre agua subterránea, medio ambiente, salud y patrimonio, aunque no siempre sea evidente y, sobre todo, pocas veces se consideren de forma conjunta, desde una perspectiva integradora. Precisamente para enfatizar dicha relación, se celebra el Congreso ibérico sobre agua subterránea, medio ambiente, salud y patrimonio, en la ciudad de Salamanca, entre los días 12 y 15 de noviembre de 2018. El congreso ha sido coorganizado por los grupos español y portugués de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH-GE) y de la Asociación Internacional de Geología Médica (IMGA).

El presente libro de actas incluye las ponencias y comunicaciones revisadas y aceptadas por el comité científico. Las primeras sirven de introducción a las sesiones científico-técnicas en las que se presentan las segundas, estas últimas tanto en forma oral como póster. Cada uno de los temas abordados en las sesiones del congreso constituye un capítulo del libro.

El primer tema trata sobre el agua subterránea y el medio ambiente y, dentro de él, se incluyen diferentes secciones, como humedales de la geografía española en los que

recientemente se han hecho investigaciones hidrogeológicas, de gran trascendencia para mejorar su gestión; la interacción entre agua subterránea y minería, objeto de estudio en numerosos países (entre ellos España); la construcción y clausura de pozos, que incluye aspectos relevantes para preservar la calidad del agua subterránea; y la calidad y contaminación, tema de gran interés en el que se incluyen aportaciones relacionadas con la salvaguarda y protección de la calidad del agua subterránea.

El segundo gran tema del congreso está dedicado al agua subterránea, la salud y la geología médica. En este capítulo se aborda la interrelación entre hidrogeología y salud, la importancia que determinados elementos geogénicos traza pueden tener en los estudios de geología médica, los aspectos beneficiosos que las aguas minero-medicinales y peloides pueden aportar a la salud, sin olvidar, por último, la incidencia de los compuestos emergentes (farmacéuticos, cosméticos o productos de higiene personal) en la calidad de los recursos hídricos.

La relación entre el agua subterránea y el patrimonio se aborda en el tercer tema. En él se tienen en cuenta los métodos de estudio y estrategias de conservación del patrimonio hidrogeológico, la hidrogeología de espacios naturales protegidos y, finalmente, la vinculación entre las aguas subterráneas y el patrimonio cultural e histórico.

El último capítulo está dedicado a técnicas y aplicaciones en investigación hidrogeológicas, con especial énfasis en la gestión de residuos radioactivos y en aspectos de modelización hidrogeológica, temas de gran interés en la actualidad.

Los editores de este libro queremos agradecer el esfuerzo y dedicación de todos aquellos que han hecho posible el congreso y la edición de estas actas. Agradecemos a los autores el interés demostrado en presentar los resultados de sus investigaciones y de sus estudios técnicos. Por supuesto, damos también las gracias al comité científico, por la revisión crítica de las comunicaciones, y al comité organizador, por su entrega en la preparación del evento. Finalmente extendemos estas palabras de reconocimiento a todas las instituciones y empresas patrocinadoras y colaboradoras. Sin la participación de todos ellos, difícilmente se podría haber conseguido el resultado obtenido.

Los editores

Bartolomé Andreo, Elena Giménez y Juan José Durán Valsero

# PONENCIAS DEL CONGRESO



***ITINERARIOS POR LOS LUGARES DE INTERÉS HIDROGEOLÓGICO EXISTENTES  
EN LOS MACIZOS DE LA ALTA CADENA, SIERRA DE ENMEDIO, ÁREA DE LOS  
TAJOS Y SIERRA DE ALHAMA (PROVINCIA DE MÁLAGA)***

**Isabel Margarita ÁLVAREZ MANOJA\* y Matías MUDARRA MARTÍNEZ\***

(\*) Departamento de Ecología y Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga, 29071, Campus Teatinos, Málaga. [mmudarra@uma.es](mailto:mmudarra@uma.es), [isa.alvarezmanoja@gmail.com](mailto:isa.alvarezmanoja@gmail.com)

## **RESUMEN**

La necesidad de estrategias de divulgación del Patrimonio Hidrogeológico se hace patente debido a que es el sustento de la biodiversidad en muchos espacios naturales. Los itinerarios hidrogeológicos son experiencias de turismo activo que ponen en contacto al público con la hidro-geodiversidad de una región, ayudando a difundir la relevancia de las aguas subterráneas. El presente trabajo constituye un intento de promoción del Patrimonio Hidrogeológico de la zona nororiental de la provincia de Málaga, donde existen varios acuíferos de tipo carbonático. Se han elaborado tres itinerarios hidrogeológicos cuyo trazado integra elementos elegidos tras analizar la información previa recogida en el inventario de puntos de agua de la zona. Se ha evaluado el potencial de cinco de los puntos inventariados como Lugares de Interés Hidrogeológico (LIHs), siguiendo la metodología de valoración desarrollada en el Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG). Se hace patente la necesidad de una valoración específica para los LIHs, adaptada a sus características intrínsecas (propiedades físico-químicas del agua, uso, vínculos culturales y ecosistémicos, etc.). La puesta en valor del Patrimonio Hidrogeológico puede constituir un activo que permita avanzar en estrategias de desarrollo económico y territorial sostenibles, al mismo tiempo que contribuya a la promoción del Patrimonio Natural y el turismo verde.

**Palabras clave:** *aguas subterráneas, desarrollo sostenible, geoturismo, Lugar de Interés Hidrogeológico, Patrimonio Hidrogeológico*

## **INTRODUCCIÓN**

El Patrimonio Natural puede ser un activo valioso para el desarrollo económico y social si se adoptan y potencian iniciativas adecuadas para su estudio, puesta en valor, promoción y protección. Prueba de ello son las diversas figuras de protección existentes para preservar y poner al servicio del público los monumentos naturales y otros espacios protegidos. Dentro de la diversidad natural se engloba la geodiversidad, que forma parte indiscutible de la riqueza de un territorio, constituyendo el asiento de la biodiversidad y condicionando el desarrollo de ésta.

La valorización del Patrimonio Geológico comienza a mencionarse de manera explícita en la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, sobre Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. Incluye en sus principios la conservación de la geodiversidad, definiéndola como parte del Patrimonio Natural y estableciendo cómo llevar a cabo su protección. También existen referencias en la Ley 45/2007, de 13 de diciembre, para el Desarrollo Sostenible del Medio Rural. En su artículo 19, Capítulo V, especifica que “Se incluirán iniciativas para el conocimiento, protección y uso sostenible del patrimonio geológico, minero y biológico como recurso científico, cultural y turístico”. Se hace una ligera mención a los georrecursos y a la protección de los mismos en la Ley 5/2007 de la Red de Parques Nacionales y, con anterioridad, en el ámbito autonómico, en la Ley 2/1989, de 18 julio, por la que se aprueba el Inventario de los Espacios Naturales Protegidos de Andalucía. De esta manera, se comienza a observar una tendencia que otorga cierta relevancia al Patrimonio Geológico español.

Dentro del Patrimonio Geológico se debe incluir al Patrimonio Hidrogeológico, que busca promocionar la hidro-geodiversidad más representativa, siendo ésta el conjunto o variedad de estructuras geológicas e hidrogeológicas que están representadas por una serie de elementos singulares que conforman su patrimonio hidrogeológico (LÓPEZ-GETA et al., 2005). Estos elementos están menos promocionados y, por tanto, menos conocidos y protegidos. Prueba de ello es la existencia de amplios listados de Lugares de Interés Geológico (LIGs) a escala internacional, nacional y autonómica, en contraste con los escasos lugares valorados y/o protegidos específicamente por su interés hidrogeológico, aunque algunos de ellos aparecen incluidos en los primeros. Más escasos son si cabe los inventarios oficiales donde figuren los hidro-georrecursos a nivel nacional e internacional. Merece la pena mencionar, en el ámbito autonómico, la iniciativa de catalogación y clasificación de los Lugares de Interés Hidrológico (LIH) existentes en Andalucía, desarrollada por el IGME - JUNTA DE ANDALUCÍA (2006). A nivel provincial destaca el libro *Rutas Azules por el Patrimonio Hidrogeológico de Alicante* (DIPUTACIÓN DE ALICANTE-IGME, 2015), o la iniciativa de PRIETO et al. (2015) sobre los lugares de interés hidrogeológico en la Gran Senda de Málaga.

Con este objetivo, la presente comunicación, que es un extracto de un Trabajo de Fin de Grado realizado por la primera firmante en la Universidad de Málaga (ÁLVAREZ-MANOJA, 2017), trata de poner en valor y divulgar elementos del Patrimonio Hidrogeológico existentes en el sector nororiental de Málaga. Para ello, se recopila la información previa contenida en el inventario de puntos de agua de la zona y se efectúa un análisis de las características intrínsecas de cinco de los puntos de agua más significativos incluidos en dicho inventario. El potencial como Lugares de Interés Hidrogeológico de estos cinco se ha evaluado siguiendo la metodología de valoración semicuantitativa planteada en el Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG) (GARCÍA-CORTES et al., 2014). Tras la evaluación, se presentan tres itinerarios cuyo trazado enlaza éstos y otros elementos destacados del Patrimonio Hidrogeológico de la zona, los cuales han sido elegidos, además de por su contribución estética a la singularidad del paisaje, por su papel en el contexto hidrogeológico de la región considerada en este trabajo.

El área elegida para desarrollar esta labor de divulgación se sitúa entre las comarcas de la Axarquía (al sur) y la Nororiental (al norte), donde se encuentran la Alta Cadena, S<sup>a</sup> de Enmedio (o S<sup>a</sup> del Gallo-Vilo), Los Tajos y la S<sup>a</sup> de Alhama (Figura 1). A los pies de estos macizos calcáreos existen manantiales responsables del drenaje natural del agua subterránea almacenada en su interior. Una parte es aprovechada para el abastecimiento urbano. El resto del agua fluye por arroyos y ríos y contribuyen a mantener los ecosistemas asociados. La dinamización del

geoturismo ligado al Patrimonio Natural y, en especial, a las aguas subterráneas contribuiría a avanzar en estrategias de desarrollo sostenible, mediante el impulso de la economía rural y del bienestar de la sociedad, al mismo tiempo que ayudaría a conservar dicho patrimonio.

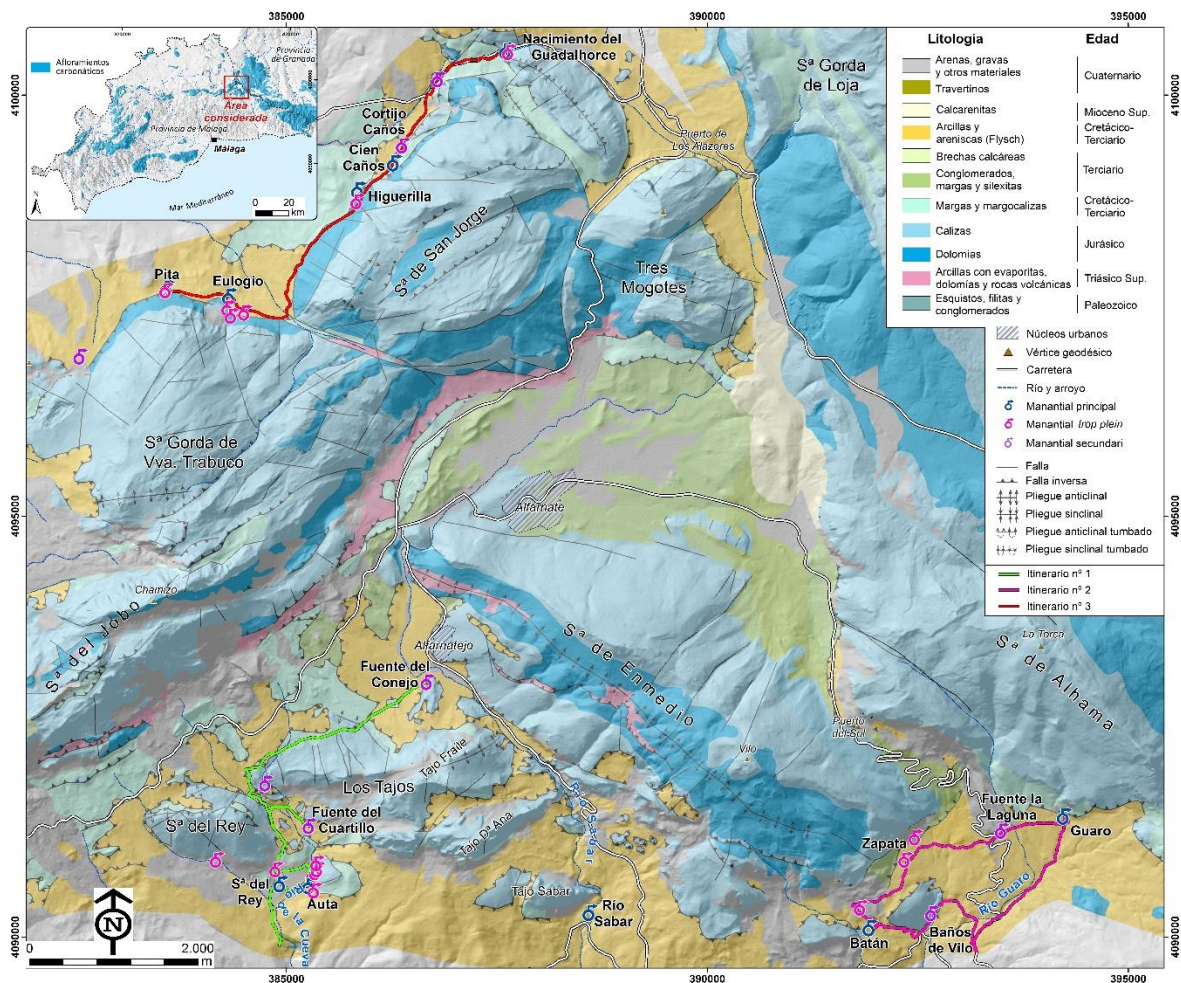


Figura 1. Localización geográfica y esquema geológico del área considerada en esta comunicación, junto con los puntos de agua (manantiales) y el trazado de las rutas hidrogeológicas propuestas

## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

Los macizos de la Alta Cadena, S<sup>a</sup> de Enmedio, área de Los Tajos y S<sup>a</sup> de Alhama se localizan en la parte nororiental de Málaga, aunque el primero y el último se adentran en la provincia de Granada (Figura 1). El término “Alta Cadena” hace referencia a la alineación montañosa formada, de oeste a este, por las sierras de Las Cabras, Camarolos, del Jobo, Gorda de Villanueva del Trabuco, San Jorge y Tres Mogotes. A excepción de las dos primeras, el resto están incluidas en el presente trabajo. Desde el punto de vista topográfico, el área de estudio presenta una orografía muy accidentada, con una altitud media superior a los 1.000 m s.n.m., siendo el pico Chamizo (1.640 m s.n.m.), en la S<sup>a</sup> del Jobo, la altura máxima de esta región. La S<sup>a</sup> de Enmedio cuenta con dos picos, el Gallo (1.356 m) y el Vilo (1.412 m). Por su parte, la zona más elevada de la S<sup>a</sup> de Alhama alcanza 1.504 m s.n.m., en la cumbre “La Torca”. El relieve más escarpado se encuentra en el área de Los Tajos, donde existen paredes casi verticales de más de 100 m de altura. En relación a las aguas superficiales, la zona de estudio constituye la cabecera de numerosos arroyos y ríos (Guadalhorce, Sabar, de la Cueva y Guaro) que vierten



sus aguas a las cuencas de los ríos Guadalhorce (al norte) y Benamargosa-Vélez (al sur), pertenecientes a la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas.

Desde el punto de vista geológico, los terrenos de la Alta Cadena, S<sup>a</sup> de Enmedio y S<sup>a</sup> de Alhama pertenecen al Dominio Subbético s.s., mientras que los del área de Los Tajos al Penibético (MARTÍN-ALGARRA, 1987; SERRANO y GUERRA-MERCHÁN, 2004). Ambos dominios forman parte de la Zona Externa de la Cordillera Bética, aunque muy próximas al contacto con la Zona Interna y con implicaciones, además, de formaciones pertenecientes al Flysch del Campo de Gibraltar. La característica litológica más común en las unidades objeto de estudio es la presencia de una formación carbonatada liásica bastante potente (400-450 m), formada por dolomías y calizas que descansan sobre materiales triásicos (arcillas y evaporitas). Por otra parte, la estructura geológica general de los relieves está caracterizada por la existencia de diferentes unidades tectónicas apiladas, unas sobre otras, con vergencia general hacia el S-SE.

En el área de estudio se han identificado cinco acuíferos carbonáticos diferentes (LÓPEZ-CHICANO, 1992; MUDARRA, 2012): S<sup>a</sup> Gorda de Villanueva del Trabuco y las sierras de San Jorge y Tres Mogotes, en la Alta Cadena; los acuíferos de Los Tajos-S<sup>a</sup> de Enmedio Meridional y S<sup>a</sup> de Enmedio Septentrional; y finalmente la S<sup>a</sup> de Alhama, que forma parte del acuífero de la S<sup>a</sup> Gorda de Loja. La recarga hídrica de estos acuíferos se produce a partir de la infiltración directa de agua de lluvia y, en menor medida, por fusión nival. La mayor parte de la descarga tiene lugar de manera natural a través de los manantiales situados en el borde norte de la Alta Cadena y en el borde meridional de Los Tajos y de las sierras de Enmedio y Alhama.

## **METODOLOGÍA**

La información utilizada en la presente comunicación procede de trabajos previos realizados en el área de estudio (LÓPEZ-CHICANO, 2007; MUDARRA, 2012), así como de reconocimientos *in situ* efectuados con el fin de completar el inventario y definir las características de los puntos de agua de la zona.

Los puntos de agua más significativos del inventario han sido seleccionados para realizar la valoración semicuantitativa de su potencial interés hidrogeológico, siguiendo la metodología recogida en GARCÍA-CORTÉS et al. (2014) para la elaboración del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG), según la ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. De manera resumida, esta metodología se fundamenta en una valoración del interés del georrecurso basada en tres criterios principales: científico, didáctico y turístico o recreativo. Una vez efectuada dicha valoración, se evalúa la vulnerabilidad a la degradación y, a partir de esta información y de la recogida previamente, se deducen las prioridades de protección. Esta última fase de la metodología no ha sido desarrollada en este trabajo.

La valoración de las tres categorías de interés (científica, didáctica y turística-recreativa) comprenden valores comprendidos entre 0 y 4 puntos (excluyendo el 3), que más tarde son multiplicados por unos coeficientes de ponderación, según la importancia de cada aspecto en relación a los tres intereses. La puntuación máxima que los lugares pueden ostentar es 400 puntos. Así, las categorías que se establecen son: entre 267 y 400 puntos serán lugares de interés Muy Alto; entre 134 y 266 puntos de interés Alto, entre 50 y 134 de interés Medio, y por último de 0 y 50 interés Bajo. En principio no cabría esperar que ningún lugar tuviese puntuaciones por debajo de 50 puntos. Para expresar el resultado final de forma más intuitiva se pondera la

puntuación obtenida en una escala de 0 a 10. Los cinco puntos de agua evaluados según la metodología del IELIG son la base para la confección de los tres itinerarios hidrogeológicos presentados en este trabajo.

El inventario incluye información sobre el acuífero al que pertenece cada punto, el término municipal en el que se ubican, la cota (m s.n.m.) y el caudal medio en l/s. Las coordenadas geográficas (latitud y longitud) están expresadas en el sistema UTM y se han obtenido a través del posicionamiento de los puntos mediante SIG. La cota se ha determinado a partir del mapa topográfico a escala 1:10.000. En total, se han considerado 17 puntos de agua, la mayoría de ellos correspondientes a manantiales. De éstos, 7 están situados en la Alta Cadena, 9 en la S<sup>a</sup> de Enmedio y Los Tajos, y 2 en la S<sup>a</sup> de Alhama. En la Tabla 1 se exponen los puntos considerados y se indican sus características.

Nombre	Q <sub>medio</sub> (l/s)	Cota (m s.n.m.)	Coordenadas (UTM)		Acuífero	Término municipal
			X	Y		
Manantial Pita	24	825	383468	4097508	S <sup>a</sup> Gorda	
Manantial Eulogio	55	835	384192	4097393	Vva. Trabuco	
Manantial Higuera	23	830	385757	4098663		Villanueva del Trabuco
Manantial-Fuente de los Cien Caños	108	838	386167	4098983	San Jorge- Tres Mogotes	
Manantial Cortijo Caños	<1	837	386159	4099017		
Nacimiento del Guadalhorce	18	890	387471	4100324		Loja
Manantial de Auta	97	619	385145	4090386		
Nacimiento río de la Cueva	<5	618	385138	4090479		
Manantial S <sup>a</sup> del Rey	14	619	384765	4090180	Los Tajos-	Riogordo
Fuente del Cuartillo	<2	675	385154	4091110	S <sup>a</sup> de Enmedio	
Fuente del Conejo	<2	825	386564	4092825		
Río Sabar	37	525	386523	4092823		Alfarnatejo
Manantial del Batán	61	640	391858	4089896		
Manantial Zapata	12	725	392100	4090720	S <sup>a</sup> de Enmedio	
Baños de Vilo	<2	555	392564	4090116		Periana
Fuente la Laguna	<2	718	393409	4091036		
Manantial-Galería de Guaro	228	723	394130	4091177	S <sup>a</sup> Alhama	

Tabla 1. Listado de puntos de agua del área de estudio considerados en esta comunicación

## RESULTADOS

### Propuesta y evaluación de LIHs

Los puntos de agua seleccionados para la evaluación semicuantitativa del potencial interés hidrogeológico son (Figuras 1 y 2): el manantial de Auta, los Baños de Vilo, el Manantial-Galería de Guaro, el nacimiento del Río Guadalhorce y la Fuente de los Cien Caños. Con la excepción del último punto, incluido en el Inventario Andaluz de Georrecursos (CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE, 2011) y declarado Monumento Natural (BOJA nº8/2012, de 13 de enero), el resto de posibles hidro-georrecursos no están incluidos en listado oficial alguno. Por tanto, la valoración de la Fuente de los Cien Caños servirá como referencia para el resto de puntos, pues se trata de un LIG con un valor principalmente de tipo hidrogeológico. Los puntos

de agua han sido seleccionados atendiendo a dos criterios principales: singularidad y representatividad en el ámbito regional. Esto implica que los lugares elegidos poseen características diferenciadoras, ya sea por su régimen de caudal, por las propiedades físico-químicas del agua, por sus valores científicos o estéticos, o por el uso del agua e infraestructuras asociadas a dicho aprovechamiento. Por otro lado, si son promovidos como consecuencia de su representatividad es porque son buenos ejemplos de manifestaciones de uno o varios procesos hidrogeológicos.



Figura 2. Fotografías de los puntos de agua seleccionados para la evaluación semicuantitativa del potencial interés hidrogeológico. A) Entorno del manantial de Auta, en el área de Los Tajos. B) Baños de Vilo. C) Manantial-Galería de Guaro en condiciones de aguas altas (Feb. 2010). D) Nacimiento del Río Guadalhorce en condiciones de aguas altas (Feb. 2009). E) Fuente-Manantial de los Cien Caños (Ene. 2010)

Los resultados de la valoración se presentan en la Tabla 2, en la cual se han resaltado aquellos valores para los tres criterios principales que superan los 134 puntos, es decir los que tienen al menos un valor considerado como Alto. En general, casi todas las categorías evaluadas presentan puntuaciones inferiores a 5 puntos. Las únicas que lo exceden son las siguientes: didáctica (5,62) y turística (5,5) de la Fuente de los Cien Caños; la valoración didáctica del

Manantial-Galería de Guaro (5) y la científica (5,62) y didáctica (5,62) en los Baños de Vilo. Este último, al igual que el Manantial-Galería de Guaro, posee puntuaciones por encima de 134 puntos, por lo que su interés es Alto. Las puntuaciones más bajas las ostenta el nacimiento del Río Guadalhorce, cuyos valores se encuentran en torno a 2,25-2,62, siendo su valoración global de interés Medio, pues ninguna de sus categorías llega a alcanzar 134 puntos. Finalmente, los criterios científico y didáctico del manantial de Auta consiguen superar el umbral de los 134 puntos, no así el turístico.

LIHs	Tipo de interés	$\Sigma$ puntos	Puntos sobre 10	Interés
Fuente de los Cien Caños	Científico	120	3,00	Medio-Alto
	Didáctico	225	5,62	
	Turístico	220	5,50	
Manantial de Auta	Científico	135	3,37	Medio-Alto
	Didáctico	145	3,62	
	Turístico	125	3,12	
Manantial-Galería de Guaro	Científico	170	4,25	Alto
	Didáctico	200	5,00	
	Turístico	160	4,00	
Baños de Vilo	Científico	225	5,62	Alto
	Didáctico	215	5,37	
	Turístico	175	4,37	
Nacimiento del Río Guadalhorce	Científico	105	2,62	Medio
	Didáctico	105	2,62	
	Turístico	90	2,25	

Tabla 2. Puntuaciones y valoraciones de las propuestas de LIHs. En gris los valores que superan 134 puntos

### Propuesta de itinerarios hidrogeológicos

Con objeto de promocionar el Patrimonio Hidrogeológico de la región considerada en este estudio se hace una propuesta de tres rutas donde se enlazan los puntos de agua más destacados del inventario. En los distintos recorridos se puede contemplar el entorno natural y su estrecha relación con las aguas subterráneas. Los tres itinerarios son accesibles a toda clase de público, sin grandes desniveles y están pensados para realizarse a pie, en bicicleta, a caballo o en coche. La duración media (a pie) es de entre 3-4 h.

El primer itinerario, de 7,4 km de longitud (trazado con línea verde en la Figura 1), se desarrolla en el área de Los Tajos. Consta de seis paradas o hitos donde se pueden contemplar diversos elementos del medio natural vinculados con el funcionamiento hidrogeológico de este acuífero. A lo largo de este itinerario se pueden observar las diferentes rocas que afloran en la zona, distintos tipos de manantiales (permanentes como el manantial de la S<sup>a</sup> del Rey o el de Auta –Figura 2A-, y otros de tipo *trop plein*), depósitos travertínicos (como los existentes en el entorno del Cortijo de Auta), o el paisaje kárstico y su influencia en la recarga de los acuíferos.

El segundo itinerario, de 8,2 km de longitud (trazo rosa en la Figura 1), transcurre en la parte suroriental del ámbito de estudio, entre las sierras de Enmedio y Alhama. Es una ruta circular con cinco paradas principales, entre las que destaca la efectuada en los Baños de Vilo (Figura 2B). Este lugar tiene un especial interés, no por el caudal de agua que brota de la roca, sino por las propiedades físico-químicas de sus aguas, con facies sulfatada-cálcica y con un característico color azul, y casi termales (20,5°C de temperatura media; MUDARRA, 2012).

Otra parada que está enlazada al aprovechamiento histórico de las aguas y que ha modificado el paisaje es el Manantial-Galería de Guaro (Figura 2C), cuya construcción intensificó significativamente el carácter kárstico del acuífero (LOPÉZ-CHICANO, 2007). Además, es una parada clave en el recorrido pues se trata de uno de los puntos de drenaje de las aguas que se infiltran en el polje de Zafarraya y la S<sup>a</sup> de Alhama. Otros elementos a destacar de este itinerario son los manantiales del Cortijo de Batán y Cortijo de Zapata, los cuales son los responsables del drenaje del acuífero de la S<sup>a</sup> de Enmedio Septentrional.

La última ruta, de 7 km en el borde norte de la Alta Cadena (línea roja en la Figura 1), comienza en el extremo oriental de la S<sup>a</sup> de San Jorge, en la provincia de Granada, y finaliza su recorrido a los pies de la S<sup>a</sup> Gorda de Villanueva del Trabuco, ya en Málaga. En este itinerario, con seis paradas principales, se pueden observar surgencias de agua responsables del drenaje de los acuíferos carbonáticos situados inmediatamente al sur. Destaca, al inicio del recorrido, el Nacimiento del Río Guadalhorce (Figura 2D). Su interés radica en que se trata de un manantial permanente, con un caudal medio de 18 l/s (MUDARRA, 2012) que constituyen los primeros aportes de agua que recibe el río Guadalhorce. Este manantial drena la S<sup>a</sup> de San Jorge-Tres Mogotes. Otra parada a destacar es el Manantial-Fuente de los Cien Caños (Figura 2E). En la salida del agua existe una construcción de origen antrópico realizada en 1985 y que distribuye el caudal que mana de las grietas y fisuras de la pared rocosa (caudal medio de 108 l/s). La belleza del entorno motivó, como se ha comentado anteriormente, su declaración como Monumento Natural por la Junta de Andalucía. Erróneamente se cree que se trata del nacimiento del río Guadalhorce a causa de la magnitud del caudal y de su popularidad.

## DISCUSIÓN

Los resultados de la valoración de los puntos de agua más relevantes existentes en el ámbito considerado, mediante la metodología planteada en el IELIG, permite observar que el Manantial-Galería de Guaro y los Baños de Vilo, ambos incluidos en el tercer itinerario propuesto, son los que obtienen la valoración más elevada en alguno de los tres criterios. Por consiguiente, ambos puntos son los que presentarían *a priori* mayor interés hidrogeológico de cara a su posible protección. La puntuación no alcanza el umbral de 267 puntos que exige la metodología para que el criterio tenga un interés Muy Alto. Es destacable que, al realizar la valoración de la Fuente de los Cien Caños, declarada como LIG y como Monumento Natural, su valor científico sea 120 puntos (Medio), único de sus aspectos que queda bajo el umbral de los 134 puntos. Una forma de interpretar esto es que la promoción de un lugar como LIG no tiene porqué poseer un valor Alto en los tres criterios. Es más, en su ficha en el Inventario Andaluz de Georrecursos (CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE, 2011), la Fuente de los Cien Caños aparece valorada como un georrecurso con bajo valor científico y medio valor didáctico y turístico, lo que confirma la correcta valoración realizada en este trabajo. En relación al manantial de Auta, dos de sus aspectos (científico y didáctico) consiguen traspasar el umbral de los 134 puntos, aunque el valor turístico no lo hace, por lo que este manantial poseería un interés Medio-Alto. De los lugares analizados, el que posee un interés menor es el Nacimiento del Río Guadalhorce, por debajo de 134 puntos.

Llaman la atención en la metodología original del IELIG los intervalos de puntuación requeridos para que un criterio adquiera interés Alto (134-266 puntos) o Muy Alto (267-400 puntos); superior en comparación con los que definen el interés Medio (50-134 puntos) o Bajo (0-50 puntos). Ello sugiere que, aunque sean escasos los atributos específicos que posea, con

que el punto de agua cuente con algún atractivo obtendrá más de 134 puntos. Este hecho podría deberse al carácter generalista del planteamiento metodológico de la valoración, pues sus parámetros están pensados para que abarquen a todos los tipos de LIGs (hidrogeológicos, geomorfológicos, tectónicos, gemológicos, etc.). En cambio, en el planteamiento seguido en esta comunicación, aunque basado en la metodología del IELIG, han primado los aspectos del georrecurso relacionados con la Hidrogeología. Sería conveniente, por lo tanto, considerar otros aspectos adicionales sobre el contexto hidrogeológico de los georrecursos a fin de llevar a cabo una valoración más específica sobre este tipo de interés. Ello supondría la adaptación de los parámetros de la valoración del IELIG para que fuera adecuada su utilización en el ámbito puramente hidrogeológico. El cuestionario de evaluación de este potencial interés debería considerar, entre otros, todos los matices de esta ciencia: la singularidad de las propiedades físico-químicas del agua (facies, termalismo, pH, etc.), su uso y aprovechamiento, su valor hidrogeológico natural, así como otros aspectos relacionados con las aguas subterráneas: calidad paisajística, patrimonio histórico-arqueológico y cultural relacionado, importancia de las aguas subterráneas como sustentadores de ecosistemas, etc.

Por su parte, los itinerarios hidrogeológicos presentados son accesibles ya que poseen una dificultad baja, transitan por caminos y cuentan con elementos que permiten fácil orientación. Es importante recalcar que si las rutas son realizadas fuera de la temporada de lluvias (invierno y primavera), cabe la posibilidad de que la espectacularidad de muchos de los puntos de agua se vea disminuida. Esto puede resultar un inconveniente, pues las rutas trascurren por surgencias que, dado su carácter eminentemente kárstico, experimentan fuertes y repentinas variaciones en su caudal. Por otro lado, al estar focalizada en un área concreta, no existe gran diversidad de tipologías en los puntos de agua inventariados (la mayoría son manantiales), en comparación con otros itinerarios que abarcan mayores distancias y contextos hidrogeológicos (DIPUTACIÓN DE ALICANTE-IGME, 2015; PRIETO et al., 2015). En cualquier caso, son necesarias más iniciativas destinadas a la preservación y divulgación del Patrimonio Natural Geológico e Hidrogeológico. Los itinerarios propuestos persiguen ese propósito, intentan resaltar la hidro-geodiversidad de la región, cuya promoción mediante estrategias de geoconservación y divulgación favorecería el desarrollo socioeconómico local.

## **CONCLUSIÓN**

Los itinerarios hidrogeológicos planteados en la presente comunicación permiten contemplar buena parte de la hidro-geodiversidad existente en el sector nororiental de la provincia de Málaga, un área con un ya de por sí variado Patrimonio Geológico. Este tipo de iniciativas, así como la eventual realización de paneles, guías y señalización, fomenta el conocimiento del Patrimonio Geológico e Hidrogeológico entre los que practican el turismo de naturaleza para que, aparte del valor paisajístico de las rutas, consigan una visión integral que aumente la educación ambiental y sienta las bases del reconocimiento de este tipo de Patrimonio Natural. Es más, la sociedad actual demanda actividades generadoras de conocimiento por lo que, con la adecuada promoción, el geoturismo se puede convertir en una herramienta de promoción que acerque las Ciencias de la Tierra a la sociedad y, de paso, abra una ventana de posibilidades para los núcleos rurales. La divulgación del patrimonio, en su forma más práctica ligada a la actividad económica, es un pequeño paso hacia una sociedad más concienciada, que se dirige hacia un desarrollo sostenible de forma conjunta.

Por otro lado, aunque algunos de los Lugares de Interés Hidrogeológico (LIHs) contemplados hayan obtenido la valoración Alta, debido a que la metodología original del IELIG considera criterios de índole hidrogeológica, sería oportuno aumentar el número de aspectos específicos del campo de la Hidrogeología sobre los que se basa la valoración de los georrecursos. Entre los posibles parámetros a tener en cuenta se podrían considerar las características intrínsecas de las aguas subterráneas, como la singularidad de las facies hidroquímicas, el uso del agua, las particularidades hidrotérmicas, así como otros aspectos relacionados con el contexto natural, cultural o paisajístico en el que estuvieran implicados. Esta nueva valorización debería poseer unos rangos coherentes, lo que permitiría valorar adecuadamente los LIHs.

## REFERENCIAS

- ÁLVAREZ-MANOJA, I.M. (2017). *Itinerarios por los Lugares de Interés Hidrogeológico existentes en los macizos de la Alta Cadena, Sierra de En medio, área de los Tajos y Sierra de Alhama*. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Málaga, 61 pp.
- CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO (2011). *Inventario Andaluz de Georrecursos*. Junta de Andalucía. Sevilla. CD.
- CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO - IGME (2006). *Inventario de Lugares de Interés Hidrogeológico (LIH) de Andalucía*. Instituto del Agua de Andalucía, Agencia Andaluza del Agua. Instituto Geológico y Minero de España. Sevilla.
- DIPUTACIÓN DE ALICANTE - INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA (2011). *Rutas Azules por el Patrimonio Hidrogeológico de Alicante*. Alicante 445 pp.
- GARCÍA-CORTÉS, A.; CARCAVILLA, L.; DÍAZ-MARTINEZ, E., y VEGAS, J. (2014). *Documento metodológico para la elaboración del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG)*. Instituto Geológico y Minero de España. Ministerio de Economía y Competitividad. Madrid. 64 pp.
- LÓPEZ CHICANO, M. (1992). *Contribución al conocimiento del sistema hidrogeológico kárstico de la Sierra Gorda y su entorno (Granada y Málaga)*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. Granada. 468 pp.
- LÓPEZ CHICANO, M. (2007). *Las masas de agua subterránea en la provincia de Málaga: Sierra Gorda – Polje de Zafarraya*. En: Duran, J. (Coord.). *Atlas Hidrogeológico de la provincia de Málaga*. Tomo 2: 113-130. Instituto Geológico y Minero de España-Universidad de Málaga-Diputación de Málaga. 220 pp.
- LÓPEZ GETA, J.A.; MARTÍN MACHUCA, M.; RUBIO CAMPO, J.C.; GONZÁLEZ ASENSIO, A. y DURÁN VALSERO, J.J. (2005). *El agua subterránea en la Andalucía del Siglo XXI*. En: López-Geta, J.A., Martín-Machuca, M., Rubio-Campo, J.C. (Eds.). *VI Simposio del Agua en Andalucía*. Tomo 1: 5-18. Instituto Geológico y Minero de España.
- MARTÍN ALGARRA, A. (1987). *Evolución geológica alpina el contacto entre las Zonas Internas y las Externas de la Cordillera Bética*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. Granada. 1.171 pp.
- MUDARRA, M. (2012). *Importancia relativa de la zona no saturada y zona saturada en el funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos carbónaticos. Caso de la Alta Cadena, sierra de Enmedio y área de Los Tajos (provincia de Málaga)*. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga. Málaga. 579 pp.
- PRIETO MERA, J.; DURÁN VALSERO, J.J. y ANDREO NAVARRO, B. (2015). *Lugares de interés hidrogeológico en la Gran Senda de Málaga: una nueva forma de valorización del patrimonio hidrogeológico provincial*. En: Andreo Navarro, B.; López Geta, J.A.; Ramos González, G.; Durán Valsero, J.J.; Carrasco Cantos, F.; Vadillo Pérez, I. y Jiménez Gavilán, P. (Eds.). *El agua en Andalucía. El agua, clave medioambiental y socioeconómica*. Tomo 1: 447-458. Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas 32. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.
- SERRANO, F. y GUERRA MERCHÁN, A. (2004). *Geología de la provincia de Málaga*. Servicio de publicaciones. Centro de Ediciones de la Diputación de Málaga. Málaga. 169 pp.

