




Ilustre Colegio  
Oficial  
de Geólogos

# Tierra y Tecnología

REVISTA DE INFORMACIÓN GEOLÓGICA • Nº 41 • PRIMER SEMESTRE DE 2012

- 
- **LAS 'KHETTARAS' DEL TAFILALET EN MARRUECOS**
  - **HIDROCARBUROS NO CONVENCIONALES (I)**
  - **CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA HIDROGEOLOGÍA DEL ENTORNO DE VILLAR DE CAÑAS EN LA PROVINCIA DE CUENCA**
  - **PRIMEROS PASOS EN LA PUESTA EN VALOR DE LA GEODIVERSIDAD Y EL PATRIMONIO GEOLÓGICO DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DEL PAÍS VASCO**



**III Congreso**  
**sobre Mejores Tecnologías Disponibles en vertederos**  
**VERSOS '12**  
**Vertederos y Sostenibilidad**

**Palacio Euskalduna, Bilbao**  
**21 y 22 de Noviembre de 2012**

**Sellado, recuperación ambiental,  
control y usos postclausura de  
vertederos y suelos contaminados**



**Secretaría del Congreso:**  
**VERSOS**

[info@versos.org.es](mailto:info@versos.org.es)  
[www.versos.org.es](http://www.versos.org.es)





# Tierra y Tecnología

REVISTA DE INFORMACIÓN  
GEOLÓGICA  
Nº 41 • PRIMER SEMESTRE DE 2012

Edita:

**Ilustre Colegio Oficial  
de Geólogos**

#### ADMINISTRACIÓN Y REDACCIÓN

RAQUEL MELLER, 7. 28027 MADRID  
TEL.: (34) 91 553 24 03

#### COMITÉ EDITORIAL

EDITOR PRINCIPAL: J. L. BARRERA MORATE

#### COLABORADORES

JULIO HERNÁN GÓMEZ  
MARC MARTÍNEZ PARRA  
JUAN PABLO PÉREZ SÁNCHEZ  
CARLOS MARTÍN ESCORZA

#### CORRESPONSALES

LUIS ALFONSO FERNÁNDEZ PÉREZ (ASTURIAS)

#### SECRETARÍA

ÁUREO CABALLERO

WWW.ICOG.ES ICOG@ICOG.ES

WEBMASTER: ENRIQUE PAMPLIEGA

#### DISEÑO

CYAN, PROYECTOS EDITORIALES, S.A.  
WWW.CYAN.ES CYAN@CYAN.ES

ISSN: 1131-5016

DEPÓSITO LEGAL: M-10.137-1992

‘TIERRA Y TECNOLOGÍA’ MANTIENE CONTACTOS CON NUMEROSOS PROFESIONALES DE LAS CIENCIAS DE LA TIERRA Y DISCIPLINAS CONEXAS PARA LA EVALUACIÓN DE LOS ARTÍCULOS DE CARÁCTER CIENTÍFICO O INNOVADOR QUE SE PUBLICAN EN LA REVISTA. LOS TRABAJOS PUBLICADOS EXPRESAN EXCLUSIVAMENTE LA OPINIÓN DE LOS AUTORES Y LA REVISTA NO SE HACE RESPONSABLE DE SU CONTENIDO. EN LO RELATIVO A LOS DERECHOS DE PUBLICACIÓN, LOS CONTENIDOS DE LOS ARTÍCULOS PODRÁN REPRODUCIRSE SIEMPRE QUE SE CITE EXPRESAMENTE LA FUENTE.

#### PORTADA

AFLORAMIENTO DEL FLYSCH DE DEBA-ZUMAIA EN EL GEOPARQUE DE LA COSTA VASCA (GIPUZKOA).

# Sumario

- 2 • EDITORIAL
- 3 • MANUEL ALÍA MEDINA, IN MEMÓRIAM
- 5 • PRIMEROS PASOS EN LA PUESTA EN VALOR DE LA GEODIVERSIDAD Y EL PATRIMONIO GEOLOGICO DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DEL PAÍS VASCO
- 14 • LAS ‘KHETTARAS’ DEL TAFILALET EN MARRUECOS
- 19 • CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA HIDROGEOLOGÍA DEL ENTORNO DE VILLAR DE CAÑAS EN LA PROVINCIA DE CUENCA
- 28 • HIDROCARBUROS NO CONVENCIONALES (I)
- 33 • CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS DEPÓSITOS DELTAICOS HOLOCENOS DEL RÍO GUADALHORCE EN MÁLAGA
- 37 • EVOLUCIÓN GEOLOGICA DEL MACIZO IBÉRICO MERIDIONAL: UN EJEMPLO DE CICLO GEODINÁMICO
- 40 • EL PISUERGA PASABA TAMBIÉN POR PALENCIA
- 45 • EL SENDERO INTERNACIONAL DE LOS APALACHES, GEOLOGÍA, HISTORIA Y CULTURA
- 49 • GESTIÓN DEL EQUILIBRIO ENTRE RIESGO, MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO: EL CASO DE LA RESERVA NATURAL LAGUNA DE APOYO DE NICARAGUA
- 55 • ARTE CONTEMPORANEO Y GEOLOGÍA. UNA PROPUESTA CON ‘SENTIDO Y SOSTENIBILIDAD’
- 57 • TECNOLOGÍA LIDAR APLICADA A LA GESTIÓN DEL TERRITORIO
- 61 • CHILE ES EL PARAÍSO PARA LOS PROFESIONALES EN LA MINERÍA
- 64 • EL GEOLOGÍA DE GUADALAJARA 2012 EN HIENDELAENCINA: “UN PASEO POR LAS MINAS DE PLATA”
- 67 • UTOPIA Y REALIDAD EN LOS HORNOS DE CAL DE LA FUENTE DE LAS VIÑAS EN VEGAS DE MATUTE (1950-1957)
- 73 • LA GEOLOGÍA Y SU EXPRESIÓN GRÁFICA
- 75 • DE LA GEODIVERSIDAD AL TURISMO DE CALIDAD. EL CASO DE ALDEADUERO
- 79 • ¿POR QUÉ DESTRUYEN LO BUENO QUE TENEMOS?
- 80 • CONCEPTO DE ESPACIO PÚBLICO
- 81 • III OLIMPIADA ESPAÑOLA DE GEOLOGÍA
- 83 • MESA REDONDA DEL ICOG EN GENERA 2012: “LA GEOTERMIA EN LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS”
- 87 • EL WORKSHOP “GESTIONANDO LOS RIESGOS NATURALES”: UNA VENTANA INTERNACIONAL PARA LA PROFESIÓN
- 91 • CONSOLIDACIÓN DE TERRENO: INYECCIONES DE RESINA EXPANSIVA URETEK
- 94 • RECENSIONES

# Editorial

## Condenados a emigrar

Ningún mal dura cien años. Este puede ser el mensaje de esperanza que podría lanzarse a la población que sufre los efectos de la crisis. Ciertamente es que, mientras dura la crisis, más de uno se quedará en el camino.

La desesperanza no nos puede vencer. No es tiempo de desánimo sino de mucho trabajo y dedicación por parte de todos, en especial de los responsables de la gobernanza de la nación y de muchos altos directivos. Es un tiempo de rigor y de grandes valores éticos, para reemprender juntos, con solidez y planteamientos integradores, las tareas que nos conduzcan por la senda del bien común.

Son tiempos de preservar lo que con tanto esfuerzo nos ha costado conseguir: empleo, bienestar social, crecimiento, etc. Hoy, todos estos logros se ven amenazados por una crisis fundamentada en una gestión equivocada desde hace años, basada en actitudes derivadas de la soberbia, del egoísmo, de la intransigencia y, en gran medida, de la avaricia y de la codicia, en lugar de hacerlo en la generosidad, el buen gobierno y la solidaridad.

Una de las consecuencias más graves es la que afecta a la juventud, en nuestro caso, a los jóvenes geólogos que tienden al desánimo ante la incapacidad de nuestra sociedad para generar una nueva estructura económica capaz de crear puestos de trabajo y de desterrar la práctica egoísta e insolidaria de la especulación de unos pocos. Nuestros jóvenes son el porvenir de la sociedad. No podemos condenarles al desempleo y a la emigración, desestructurando familias y alejándose permanentemente de sus raíces. En enero de 2008, el número de colegiados en paro era de 153; hoy, ese número se ha duplicado.

Empiezan a ser legión los geólogos que hacen las maletas y emigran. Desde el Colegio anunciamos las oportunidades de empleo que se ofrecen fuera de España, y es Chile uno de los países que más demanda geólogos, sobre todo, para trabajos de minería. La publicidad del Colegio ha surgido su efecto y ya son varias decenas los que se han marchado para allá. También Canadá ofrece oportunidades para geólogos, pero la oferta es más selectiva. El 40% de los trabajadores de la industria de ese país se retiran en la próxima década y el mercado demandará 92.000 nuevos empleos. Cada vez hay menos nuevos alumnos en escuelas y facultades, lo que creará un déficit en el mercado laboral.

En cualquier caso, los geólogos jóvenes se van. Los que tenían empleo aquí lo están perdiendo. Todo el sector de la construcción e infraestructuras está tan ralentizado que casi nos atrevemos a decir que está desaparecido. La inversión pública ha decrecido tanto que las empresas constructoras también están ofertando obra fuera de España. Toda la joven generación de geólogos, que era el recambio generacional del sector, está difuminándose. La crisis va a cambiar ligeramente la tendencia en el empleo geológico, pero la generación del *baby-boom* se está retirando y no hay reemplazo. Solo se han necesitado cinco años de crisis (y los que quedan) para destruirla y, al menos veinte años para volver a tenerla. Ese es el drama que vivimos.

En una sociedad del conocimiento y la renovación como la actual, hay dos pilares fundamentales que se tienen que potenciar, a pesar de la crisis, si queremos mantener la esperanza en un futuro distinto, como son la educación y la investigación. Sin la primera, que es la base de la civilización, la sociedad no se renueva ni se organiza en una comunidad con los valores propios del desarrollo social. Hay que buscar la excelencia en la educación de los ciudadanos y evitar que una cuarta parte de nuestros estudiantes de Secundaria abandonen los estudios. Es inconcebible que los recursos educativos se vean reducidos, ya que son el combustible para la andadura del camino futuro y el motor de la transformación.

Sin la investigación, el progreso y la reforma no llegarán. En sociedades en crisis estructurales y sistémicas, como la que padecemos ahora en España y en Europa, el motor de la reforma está en el conocimiento. Los frenazos en los equipos de investigación retrasarán nuestra recuperación y lastrarán nuestra competitividad, factor este último que necesitamos urgentemente para la reconversión de nuestra estructura económica. España tiene un grave problema en el modelo de estructura económica. Somos un país de camareros (cada vez menos profesionales) y obreros de la construcción. Las neuronas no se pagan.

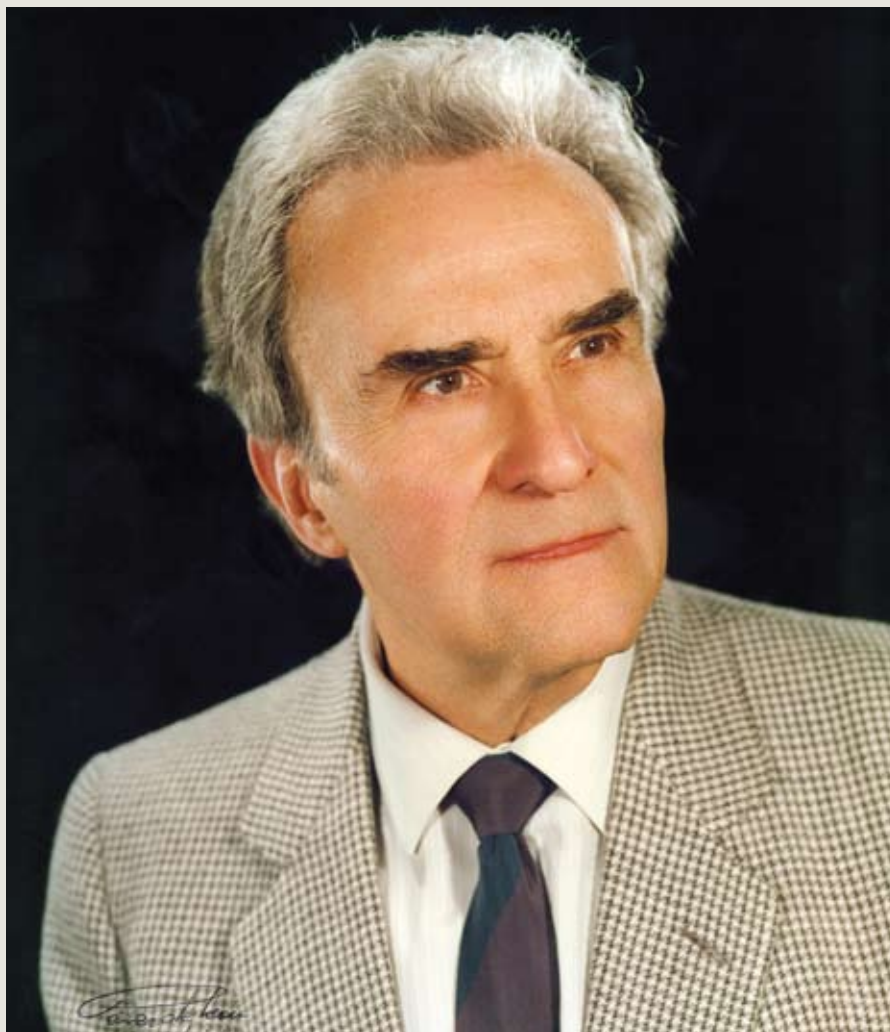
España vive una tensión social y económica muy importante. Esa tensión no se puede desbordar, y esperemos que se mantenga dentro de los cauces de la convivencia, y que las reivindicaciones se canalicen a través de actuaciones serenas y justas para, entre todos, acertar con las soluciones. Todo tiene un límite. No lo pongamos a prueba.

# Manuel Alía Medina, in memóriam

El día 25 de febrero de este año 2012 falleció en Madrid, a la edad de 94 años, el eminente geólogo, catedrático jubilado y académico de Ciencias don Manuel Alía Medina. Con él desaparece, por una parte, uno de los profesores míticos que crearon y desarrollaron la carrera universitaria de Ciencias Geológicas en Madrid, primero dentro de una sección de la Facultad de Ciencias y luego ya en una facultad independiente. Por otra parte, se ha ido una figura histórica, de una generación de geólogos de posguerra proveniente de la antigua licenciatura en Ciencias Naturales, que trabajó en unos tiempos difíciles, dedicado a la exploración geológica y a la profundización en las nuevas especialidades que entonces surgieron, en su caso la Tectónica, y que cuenta en su haber con el importante hallazgo, en el año 1947, del rico yacimiento de fosfatos de Bucraa, en el entonces Sáhara Español, un descubrimiento cuyo impacto económico, e incluso político, sigue de gran actualidad en nuestros días.

El profesor don Manuel Alía nació en Toledo en octubre de 1917. Estudió la licenciatura en Ciencias Naturales en la Universidad de Madrid entre los años 1933 y 1940, y en 1944 obtuvo el grado de doctor, recibiendo además el Premio Extraordinario del Doctorado. Su vinculación a la enseñanza, su vida de profesor, comenzó muy pronto, antes incluso de terminar la licenciatura, con un nombramiento cuya impresionante denominación recordaba siempre don Manuel Alía con cariño: ayudante 2º interino gratuito de la Sección de Ciencias del Instituto Nacional de Segunda Enseñanza de Toledo, en el curso 1936-1937. En 1940 obtuvo por oposición una Cátedra de Ciencias Naturales de Enseñanza Media, siendo destinado al Instituto de Valdepeñas, en Ciudad Real, y, más tarde, por traslado, al Instituto Núñez de Arce de Valladolid. Se inició en la enseñanza universitaria en el curso 1939-1940, y, en 1948, obtuvo por oposición la Cátedra de Geografía Física y Geología Aplicada en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Valladolid. En 1963 obtuvo la Cátedra de Geodinámica Interna en la Universidad Central en Madrid (hoy Universidad Complutense) y desde entonces impartió enseñanzas de Geología General, Tectónica, Prospección Geológica y Geofísica y, de manera especial, Geodinámica Interna y Geotectónica, hasta su jubilación en 1985.

Su actividad científica fue muy dilatada, contando con gran número de publicaciones, trabajos inéditos, comunicaciones a congresos y dirección de tesis doctorales y de licenciatura. Ciertamente su labor se puede considerar fuera de lo común por lo atractivo de alguna de sus líneas de trabajo, por la brillantez de los resultados y, muy especialmente, por el interés aplicado de sus hallazgos.



En alguna de sus fases, al interés científico de su labor se unió también el aura romántica de haber trabajado en el marco duro y difícil del desierto. Así, de entre sus líneas de investigación, destacan sus trabajos en el continente africano, al incorporarse en 1941 a los equipos de exploración científica del Sáhara Español en el Laboratorio de Geografía Física de la Universidad de Madrid, dirigidos por el insigne profesor don Eduardo Hernández-Pacheco y por su hijo Francisco.

Precisamente don Francisco Hernández Pacheco relataba en el prólogo de la primera monografía sobre el Sáhara que Alía publicó en 1945, cómo tras la guerra civil, al reiniciar en 1941 junto con su padre Eduardo los recorridos científicos por el Sáhara español, se dieron cuenta de que el estudio geológico de aquellos territorios era una empresa muy seria, que debía abordarse de una forma más sistemática y profunda y que no estaba exenta de grandes dificultades, científicas y logísticas. Pensaron que debía abordarla un joven colaborador con buenos conocimientos, licenciado o doctor en

Ciencias Naturales, pero que además debía reunir unas excepcionales cualidades humanas: buena condición física, amante de la vida en el campo, buen humor y espíritu deportivo para soportar las inclemencias del tiempo y la incomodidad de largas marchas en camello, y además debía poseer un gran sentido del compañerismo, para compartir las alegrías y la adversidad. Esa persona era don Manuel Alía, brillante alumno entonces del doctorado, y que había acompañado en alguno de los recorridos, demostrando gran entusiasmo, conocimiento, método y capacidad de trabajo.

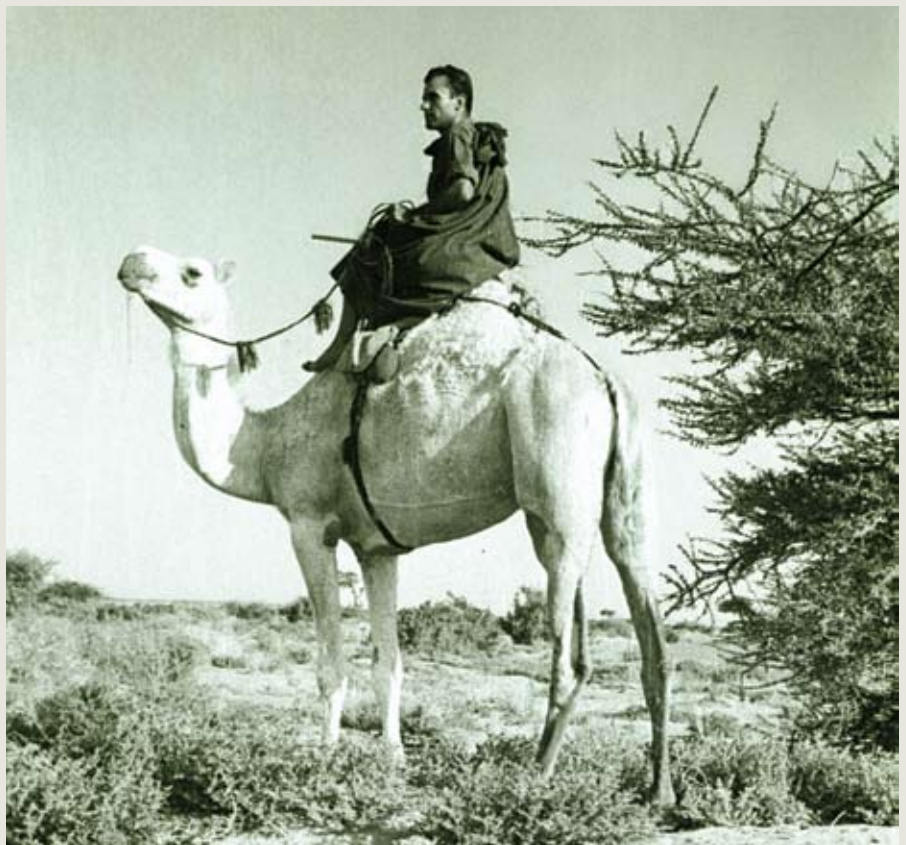
El profesor Alía realizó 16 expediciones al Sáhara entre los años 1942 y 1960, llevando a cabo un estudio sistemático de la estratigrafía, la geomorfología y la tectónica de tan extenso territorio, en unas condiciones difíciles, sobre todo en las primeras expediciones, a lomos de camello, sin mapas topográficos y sin información geológica previa en la que apoyarse, haciendo siempre gala de una férrea voluntad y una gran vocación. Como consecuencia de estos trabajos, además de realizar

su tesis doctoral, publicó dos monografías y más de 50 artículos en diversas revistas, referidos a todo tipo de aspectos geológicos de este área, muy especialmente a los geomorfológicos y tectónicos. En la XIX Sesión del Congreso Geológico Internacional, celebrado en 1952 en Argel, presentó el primer mapa geológico del Sáhara español a escala: 1:2.000.000 y, en 1962, contribuyó al mapa tectónico de África, con la parte correspondiente al Sáhara español. También llevó a cabo en 1949 una expedición a la Guinea continental española, cuyos resultados expuso en unas diez publicaciones.

Pero el resultado socialmente más trascendente de su exploración del Sáhara en esa etapa de su vida fue el hallazgo, en 1947, de los niveles de fosfatos del Cretácico-Eoceno, de una riqueza equiparable a la de los yacimientos marroquíes. Dichos niveles eran especialmente ricos en Bucraa, donde fueron más tarde explotados por la compañía FosBucraa. Estos yacimientos de fosfatos son una gran riqueza del actual Sáhara Occidental, que hoy explota la Office Chérifien des Phosphates marroquí. Además de los fosfatos descubrió otros yacimientos minerales en el Sáhara, como los hierros del Devónico de Smara. Estos éxitos, unidos a su gran conocimiento geológico del territorio sahariano, hizo que el profesor Alía fuera reclamado por diversos organismos para colaborar con la investigación y descubrimiento de otros recursos naturales en el Sáhara, como los hierros y cromo del Precámbrico meridional, las posibilidades petrolíferas, el estudio de las margas bituminosas tipo Aaiún, la búsqueda de aguas subterráneas en diversas regiones del desierto y, ya en la Guinea continental, el estudio de los niveles asfálticos y las mineralizaciones de manganeso. La importancia científica y práctica de sus investigaciones en el Sáhara le fue reconocida con varias condecoraciones y distinciones como son las de Comendador de Número de la Orden del Mérito Civil, Comendador con placa de la Orden de África y el nombramiento de Hijo Predilecto de Toledo.

En 1953 fue nombrado jefe del Servicio de Investigación Geológica de la Junta de Energía Nuclear. Una intensa labor en relación con la prospección de yacimientos uraníferos en el Sáhara y en la península Ibérica, junto con frecuentes visitas a yacimientos ya conocidos en Portugal, los Estados Unidos y Francia, dio como resultado el descubrimiento de nuevos yacimientos. Sus relevantes méritos en estos trabajos e investigaciones le valió la concesión de la distinción de Comendador de la Orden de Isabel la Católica en 1959.

Al obtener en 1963 la Cátedra de Geodinámica Interna de la Universidad de Madrid, el profesor Alía comenzó una nueva etapa en la que formó un equipo de investigación con el que se dedicó a estudiar los procesos de la geodinámica interna en varias regiones de la península Ibérica, como la cadena Varisca en Extremadura, la cuenca de Madrid y el área entre los montes de Toledo y



Sierra Morena oriental. Formado en la tectónica de una región cratónica como la del Sáhara español, mostró siempre interés por la tectónica de bloques del basamento en la cuenca de Madrid y fue un pionero al interesarse especialmente por la tectónica reciente de las cuencas terciarias, a la que dedicó ya alguna publicación allá por el año 1960. Bajo su dirección se iniciaron los estudios de prospección geofísica magnetométrica y gravimétrica en la sección de Ciencias Geológicas, una línea metodológica que ha continuado con éxito hasta la actualidad, y además impulsó con fuerza la aplicación de la entonces novedosa fotografía aérea. Una parte importante de su labor como profesor universitario fue la formación de nuevos investigadores, de tal manera que dirigió 16 tesis doctorales y 46 tesis de licenciatura, todas ellas leídas en la Facultad de Ciencias Geológicas de Madrid.

De entre los numerosos cargos relacionados con la investigación mencionaremos únicamente algunos: delegado en el África Occidental Española del Instituto de Estudios Africanos (CSIC); director del Servicio Geológico y Mineralógico del África Occidental Española; miembro de la Comisión Mixta de los límites del Sáhara Español; delegado en la UNESCO para los Desiertos cálidos y Países tropicales; jefe del Servicio de Investigación Geológica de la JEN; experto de la Delegación Española en la XI Conferencia Internacional sobre usos pacíficos de la Energía Atómica; jefe de la Sección de Geología Estructural del Instituto Lucas Mallada (CSIC); asesor secretario del Departamento de Geología de la Fundación Juan March; vocal de la

Comisión Nacional de Geodesia y Geofísica; vocal de la Asociación para el Progreso de las Ciencias; vicepresidente de la Real Sociedad Geográfica y presidente de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Como culminación de su carrera científica fue elegido, en el año 1976, académico de Número de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (medalla número 17), en la que fue secretario de la Sección de Ciencias Naturales durante seis años. Fue también académico correspondiente de la Real Academia de Bellas Artes y Ciencias Históricas de Toledo.

Don Manuel Alía participó siempre en la vida asociativa de la geología profesional, primero como miembro de la Asociación de Geólogos Españoles (AGE) y posteriormente como colegiado del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos (nº 891 de colegiado), con el que ha colaborado activamente en diversas actividades, entre ellas, hasta muy recientemente, en los geoforos. En reconocimiento por su constante apoyo al Colegio fue nombrado Colegiado de Honor en el año 2007, distinción que le entregó en la cena de Navidad del ICOG la entonces ministra de Educación Mercedes Cabrera.

Descanse en paz el geólogo, brillante explorador y profesor universitario que formará para siempre parte de la historia de la geología española, sus discípulos siempre le recordaremos, además, como una persona inteligente, afectuosa, educada y paciente.

Ramón Capote  
*Catedrático de Geodinámica Interna, UCM*  
*Colegiado nº 12*

# Primeros pasos en la puesta en valor de la geodiversidad y el patrimonio geológico de la Comunidad Autónoma del País Vasco

Siguiendo las directrices establecidas por el Real Decreto 1274/2011, de 16 de septiembre, por el que se aprueba el Plan Estratégico del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad 2011-2017, en aplicación de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, en el presente artículo se presentan las actuaciones que en materia de geodiversidad y patrimonio geológico la Viceconsejería de Medio Ambiente del Gobierno Vasco, junto con otras Administraciones y entidades de la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV), están desarrollando.

**TEXTO** | Germán Alonso Campos, director de Biodiversidad y Participación Ambiental del Gobierno Vasco, y Manu Monge Ganuzas, técnico superior de Medio Ambiente en la Dirección de Biodiversidad y Participación Ambiental.

**FIGURAS Y FOTOGRAFÍAS** | Dirección de Biodiversidad y Participación Ambiental del Gobierno Vasco, excepto 2, 3, 4, 5 y 10: A. Hilarío.

Palabras clave

**Arte contemporáneo, geología, Urdaibai.**

La conservación del patrimonio natural es un interés común de toda la humanidad y es de suma importancia para satisfacer el desarrollo, la salud y el bienestar de las personas, además de constituir una de las bases del desarrollo social y económico de la población.

Como parte indisoluble del patrimonio natural, además de la biodiversidad o el patrimonio biológico (especies, hábitat y ecosistemas), se debe considerar también el sustrato inorgánico que los sostiene, porque la conservación y el uso sostenible de la geodiversidad y del patrimonio geológico contribuyen de forma decisiva a la buena salud de las especies, los hábitats y los ecosistemas de la Tierra.

La geodiversidad se define como la variedad de elementos geológicos, incluidos rocas, minerales, fósiles, suelos, formas del relieve, formaciones y unidades geológicas y paisajes que son el producto y registro de la evolución de la Tierra, mientras que el patrimonio geológico es el conjunto de recursos naturales geológicos de valor científico, cultural y/o educativo, ya sean formaciones y estructuras geológicas, formas del terreno, minerales, rocas, meteoritos, fósiles, suelos y otras manifestaciones geológicas que permiten conocer, estudiar e interpretar:

- El origen y evolución de la Tierra.
- Los procesos que la han modelado.
- Los climas y paisajes del pasado y presente.
- El origen y evolución de la vida.

Los diversos paisajes y sustratos geológicos originados, por ejemplo, por los fenómenos

volcánicos o los procesos fluviales, costeros o kársticos, están directamente relacionados con la biodiversidad y la evolución de los ecosistemas, pues sirven de apoyo físico para los mismos y regulan los procesos que condicionan su existencia. Partiendo de esta relación (biodiversidad-geodiversidad) e incorporando su significado en la planificación y la gestión del territorio, especialmente en los Espacios Naturales Protegidos (ENPs), se trabaja en la conservación y uso sostenible de la naturaleza, en el mantenimiento de los servicios que los ecosistemas ofrecen al ser humano y, en definitiva, en el desarrollo social y económico de las comunidades locales en clave de sostenibilidad.

El carácter no renovable a la escala temporal humana de la geodiversidad y del patrimonio geológico les confieren características particulares a la hora de diseñar su conservación, puesta en valor y su uso sostenible. El patrimonio geológico presenta un valor intrínseco *per se* que justifica su protección. Su gestión se sustenta, como primer paso, en la realización de inventarios que identifiquen los Lugares de Interés Geológico (LIG), en analizar sus problemas de conservación, en promover herramientas legislativas que garanticen esa protección y en actuar en consecuencia aprovechando su potencial didáctico y divulgativo y como motor económico que puede generar riqueza mediante, por ejemplo, el geoturismo.

Con la aprobación de la Ley 42/2007, por vez primera se hizo referencia a esta importante parte del patrimonio natural y se expresó un reconocimiento a la Red de Geoparques como

figura de protección. Esta Red, auspiciada por la UNESCO, constituye la iniciativa más importante para la conservación y promoción del patrimonio geológico a escala planetaria, y por tanto en la Unión Europea. Un geoparque consiste en uno o varios territorios delimitados que presentan formas geológicas únicas, de especial importancia científica, singularidad o belleza y que son representativos de la historia evolutiva geológica y de los eventos y procesos que las han formado. Es interesante en este contexto también hacer mención al proyecto europeo Global Geosites que el IGME está desarrollando en relación al Inventario sobre Lugares de Interés Geológico de importancia internacional. Así, de momento, se han identificado 214 *geosites* que representan a 20 contextos geológicos en los que se resume la casi totalidad de la geodiversidad del territorio español.

## La geología del País Vasco

La Cuenca Vasco-Cantábrica se divide en tres dominios: el Arco Vasco, el Surco Navarro-Cántabro y la Plataforma Norcastellana, estando principalmente representados los materiales geológicos del País Vasco por los dos primeros (*figura 1*).

La evolución geológica del País Vasco ha estado condicionada por tres eventos tectónicos: la orogenia varisca, el proceso extensional Mesozoico y la orogenia alpina. El único vestigio de la orogenia varisca se encuentra en el extremo oriental paleozoico (*figura 2*). Después tuvo lugar un proceso de rifting que dio lugar a un vulcanismo que precedió a la apertura del

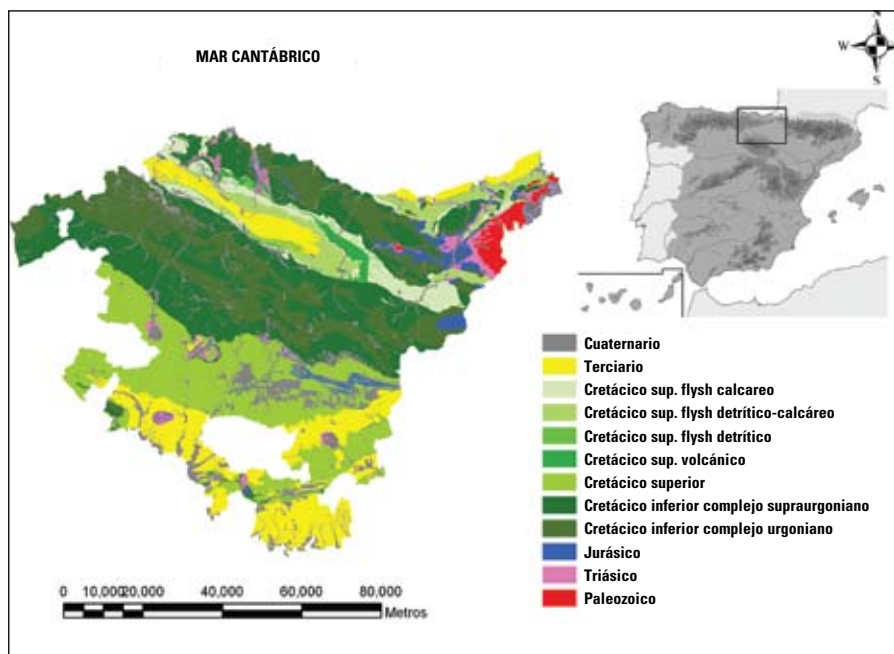


Figura 1. Mapa geológico de la Comunidad Autónoma del País Vasco (modificado de EVE/EEE, 2002b).

Atlántico Norte. Durante el Jurásico se generaron plataformas carbonatadas sobre las áreas continentales previas del Triásico (figura 3). El Cretácico se caracteriza por la rotación de Iberia respecto a Europa y la apertura del golfo de Bizkaia. Así se generaron las condiciones necesarias para la acumulación de sedimentos marinos asociados a materiales volcánicos submarinos (figura 4).

El evento tectónico que finalmente moldea la estructura geológica actual del País Vasco corresponde a la orogenia alpina. Es la convergencia entre las placas Ibérica y Europea la que provoca el cierre de las cuencas mesozoicas, la subducción de la corteza Ibérica bajo la Europea y la formación de los Pirineos.

El posterior depósito de los materiales terciarios tuvo lugar durante un periodo de tectónica compresional gobernado por la colisión diacrónica y la subducción parcial entre estas placas. Estos eventos generaron la progresiva emersión, plegamiento y fracturación de los materiales previos. A partir de este momento, comenzó la erosión de los materiales emergidos y el modelado del relieve condicionado por cambios climáticos y variaciones del nivel marino hasta llegar al paisaje actual.

Esta estructura geológica del País Vasco, así como los procesos geológicos activos que sobre su territorio actúan e influyen sobre sus habitantes, son elementos importantes para la comprensión de su origen, de su paisaje, de su

funcionamiento geológico, de los recursos que posee y de los servicios que ofrece (provisión de agua, soporte funcional de la biodiversidad, especies y hábitats, localización de canteras y vetas minerales, etc.). Por lo tanto, el conocimiento geológico de esta zona permite establecer una adecuada ordenación del territorio, tanto desde su vertiente urbanística, legislativa y de protección, así como desde el punto de vista de la divulgación y la puesta en valor de este patrimonio natural.

**Evolución histórica de las acciones de puesta en valor de la geodiversidad**

Actualmente se tiene un buen conocimiento geológico del País Vasco, que deriva de una larga historia de investigación que se remonta incluso al siglo XVIII cuando los primeros trabajos de carácter geológico se centraron en los recursos naturales: la agricultura y la industria minera-ferrona, principalmente.

Es a partir del siglo XIX cuando se produce un importante despegue científico con autores muy prolíficos como Adán de Yarza. Con posterioridad, han sido numerosos los trabajos que se han realizado, especialmente desde mediados-finales del siglo XX, tanto desde el punto de vista científico, principalmente liderados por investigadores de la Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU), como desde el punto de vista cartográfico y extractivo, liderados en este caso por el Ente Vasco de la Energía (EVE/EEE) o el anteriormente denominado Instituto Geo-Minero de España (IGME).

Algunos de los trabajos de carácter divulgativo publicados por J. Gómez-Tejedor en torno a los años setenta hacían ya claras referencias a la puesta en valor y riqueza geológica del territorio vizcaíno. Será en los años noventa cuando se empiezan a publicar los primeros catálogos de Lugares de Interés Geológico (LIG) de Gipuzkoa, Araba y Bizkaia por parte de las diputaciones forales, así como otros documentos de carácter más local.

Posteriormente, la puesta en marcha de Centros de Interpretación como los de Zumaia-Gipuzkoa (Algorri, www.algorri.eu), Mutriku-Gipuzkoa (Nautilus, www.mutrikukoudala.net/turismo/museos/nautilus), Oiartzun-Gipuzkoa (Museo Luberri, www.luberri.org) y Gallarta-Bizkaia (Museo de la Minería del País Vasco, www.museominero.net), o de iniciativas de puesta en valor como la de las cuevas de Pozalagua (Carranza-Bizkaia, www.enkartur.net) y Arrikruz (Oñate-Gipuzkoa, www.oinati.eu), la de las minas de Arditurri (Oiartzun-Gipuzkoa, www.arditurri.com), la de las salinas de Añana-Araba (www.vallesalado.com) o la del Museo de Ciencias Naturales de Álava (Vitoria/Gasteiz-Araba, www.alava.net), han demostrado ser un éxito debido a que su actividad ha despertado en la sociedad un interés por la



Figura 2. Panorámica del macizo paleozoico de Peñas de Aia en Gipuzkoa. En primer plano, afloramiento de materiales del Triásico (Buntsandstein) de Luengo.



Figura 4. Afloramiento de pillow-lavas en la playa de Meñakoz (Sopelana, Bizkaia).



Figura 3. Afloramiento del Jurásico en la Sierra de Aralar en Gipuzkoa.





Figura 5. Afloramiento del flysch de Deba-Zumaia en el Geoparque de la Costa Vasca (Gipuzkoa).

geología del entorno hasta ahora desconocido. Como muestra se puede observar el reciente incremento exponencial de la geología en los medios de comunicación.

Recientemente, en el año 2010 ha sido reconocido por parte de la UNESCO el Geoparque de la Costa Vasca ([www.flysch.com](http://www.flysch.com) y [www.geoparqueea.com](http://www.geoparqueea.com)) que comprende las localidades de Zumaia, Deba y Mutriku, situadas en el cuadrante noroccidental de Gipuzkoa y abarca el biotopo litoral de Deba-Zumaia (figura 5). Con una línea de costa de 23 km de longitud, el Geoparque la Costa Vasca está representado por rocas que abarcan un rango de edades desde el Triásico superior (215 millones de años) hasta

el Eoceno medio (45 Ma). En la costa afloran 5.000 m de columna estratigráfica, que representan unos 60 Ma de la historia de nuestro planeta. Resulta de especial relevancia la sección del flysch de Zumaia (figuras 5 y 10), que contiene un excelente y completo registro de importantes límites de edades geológicas (K/T y P/E) y que asimismo incluye los estratotipos (establecidos por la IUGS-UNESCO) de los dos límites del Paleoceno. En la zona meridional del territorio destaca el modelo kárstico de los macizos calizos cretácicos (Arno e Izarraitz).

También muy recientemente, en los acantilados de la playa de Gorrondatxe-Azkorri, en Getxo (Bizkaia), se ha señalado el mejor referente para

estudiar el periodo geológico Luteciense (hace unos 48 millones de años), de manera que se ha designado también como estratotipo (IUGS-UNESCO). En el Luteciense, la playa de Gorrondatxe-Azkorri, sus rocas, sedimentos y todo su entorno se encontraban sumergidos en el fondo marino, a unos 1.000 m de profundidad, y la temperatura en esta parte del planeta era más cálida que la actual. En las rocas han quedado escritos y registrados los innumerables acontecimientos acaecidos a lo largo de la formación y evolución de nuestro planeta en ese periodo.

### Las I Jornadas sobre Geodiversidad del País Vasco (2010)

Durante la última década se han incrementado los trabajos centrados en la caracterización, conservación y gestión del patrimonio geológico y la geodiversidad mundial y estatal. Asimismo, en los últimos años, en el País Vasco ha surgido un interés por la geodiversidad por parte de entidades locales, centros de interpretación o asociaciones, a través de actuaciones de puesta en valor del patrimonio geológico.

También desde el ámbito científico, especialmente desde la UPV-EHU, existe una preocupación por acercar el conocimiento geológico al público en general. Como consecuencia de ello, se ha consolidado un grupo conformado por distintos actores y representantes institucionales interesados en la geodiversidad.

Una de las primeras conclusiones a la que llegó el grupo de trabajo fue la necesidad de poner en común la información y proyectos existentes, iniciativas particulares o de mayor escala, así como seguir el ejemplo de otras zonas y comunidades del Estado, los cuales ya habían dado pasos importantes en la puesta en valor y desarrollo de estrategias de geodiversidad.

Así, en mayo de 2010, se celebraron en Bilbao las I Jornadas sobre Geodiversidad del País Vasco ([www.euskadi.net/geodibertsitatea](http://www.euskadi.net/geodibertsitatea)) (figura 6) con el objeto de aunar a todos los agentes interesados y conocer experiencias consolidadas de mayor desarrollo en otras zonas del Estado. Este primer paso supuso un gran avance para el diseño de una Estrategia de Geodiversidad consensuada entre el Gobierno Vasco, las tres diputaciones forales y otros organismos como el ICOG, el Ente Vasco de la Energía, la Universidad del País Vasco, la Sociedad de Ciencias Aranzadi, el Museo de la Minería del País Vasco, UNESCO Etxea, la Cátedra UNESCO sobre Desarrollo Sostenible y Educación Ambiental y el Museo Luberri, entre otros.

Las jornadas fueron un éxito en cuanto al número de participantes y la calidad de ponentes de reconocido prestigio que expusieron varias experiencias en el ámbito estatal, así como en cuanto al gran abanico de temas tratados (ciencia y divulgación; ordenación del territorio y legislación;



Figura 6. Detalle de la visita al Geoparque de la Costa Vasca de los participantes de las I Jornadas sobre Geodiversidad del País Vasco (2010).

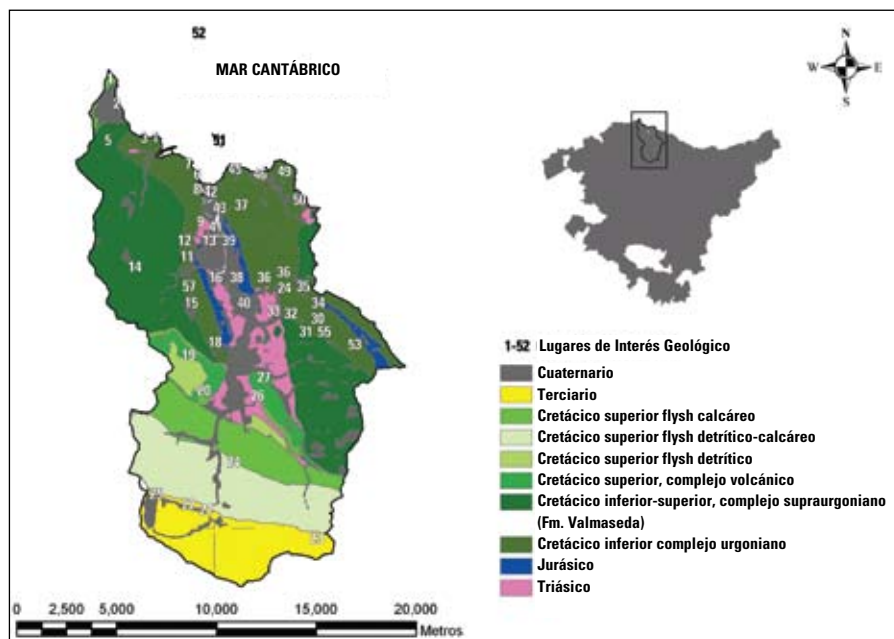


Figura 7. Mapa geológico de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai y localización de sus Lugares de Interés Geológico.

educación ambiental y cultura; aprovechamiento de los georrecursos; uso público y geoturismo).

Todas las reflexiones y resultados obtenidos se han plasmado como ejes de actuación de cara al diseño de la Estrategia de Geodiversidad del País Vasco. Como logros más importantes, cabe reseñar el establecimiento de un grupo de trabajo de personas y entidades conectado y con un compromiso firme con la geodiversidad; el conocimiento de las experiencias puestas en práctica en el País Vasco y en otras zonas de la geografía española; definir bases para la Estrategia en el País Vasco; y una de las más importantes, establecer un compromiso público y explícito de las Administraciones para trabajar a favor del estudio, divulgación, regulación y conservación de la geodiversidad y el patrimonio geológico.

De esta manera, las bases diseñadas en aquel foro de trabajo son hoy la base sobre la que camina la Estrategia de Geodiversidad del País Vasco, y han conseguido aglutinar bajo este concepto a todas las instituciones competentes en la materia.

Otra de las conclusiones directas de las jornadas fue la elección de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai como zona piloto para elaborar una Estrategia de Geodiversidad en la zona, para después poder afrontar con mayor conocimiento y experiencia la confección de la Estrategia de Geodiversidad para el País Vasco.

### La estrategia piloto en la Reserva de la Biosfera de Urdaibai

La Reserva de la Biosfera de Urdaibai (Bizkaia, País Vasco) fue declarada por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) en el año 1984. Entre los objetivos de su Plan Rector de Uso y

## Se eligió la Reserva de la Biosfera de Urdaibai como zona piloto para elaborar una Estrategia de Geodiversidad en la zona

Gestión (PRUG) y su Programa de Armonización y Desarrollo de las Actividades Socioeconómicas (PADAS), se establece la necesidad de promover la investigación e interpretación de su patrimonio natural, la transferencia de conocimientos a otros sectores y las actividades de conservación del medio, educación y formación. También se prevé ordenar el uso recreativo y el turismo para proporcionar oportunidades y equipamientos para los residentes y los visitantes. Asimismo, se pretende apoyar el desarrollo rural y el uso racional de los recursos naturales.

Los materiales que constituyen el sustrato de la Reserva de la Biosfera del Urdaibai están ubicados en el anticlinorio Nor-Vizcaíno del Arco Vasco. Las estructuras cartográficas generales de la zona presentan direcciones N120°E, aunque el eje del anticlinal de Gernika tiene una orientación de N160°E, debido probablemente al control estructural ejercido por antiguas fracturas heredadas y por los materiales que conforman el diapiro de Gernika. Los materiales registrados, eminentemente sedimentarios y,

en menor cantidad, volcánicos y subvolcánicos, abarcan una edad que va desde el Triásico al Cuaternario (alrededor de 250 Ma).

Con el objeto de cumplir con lo establecido por el PRUG y el PADAS de Urdaibai, de poner en valor el patrimonio geológico de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai, y en atención a la planificación estratégica sobre geodiversidad de la Comunidad Autónoma del País Vasco, se decidió elaborar a modo de experiencia piloto una Estrategia de Geodiversidad en Urdaibai para después, con este modelo, poder afrontar la confección de la Estrategia de Geodiversidad para el País Vasco.

Recogiendo este testigo, el Gobierno Vasco encomendó, a través de la Oficina Técnica de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai, la elaboración de dicha Estrategia a la Universidad del País Vasco (UPV/EHU). Los objetivos planteados fueron:

- Realizar un inventario de los Lugares de Interés Geológico.
- Planificar e implementar una política institucional y un modelo de gestión integral de la geodiversidad.
- Garantizar la conservación y la protección del patrimonio geológico y la geodiversidad.
- Fomentar la educación y la formación para la conservación y el uso sostenible de la geodiversidad.
- Promocionar la utilización sostenible de la geodiversidad y el fomento del geoturismo.
- Evaluar y realizar el seguimiento de las actuaciones propuestas en la Estrategia.

Para llevar a cabo el primer objetivo, se ha aplicado una nueva metodología para la selección y valoración de los LIG, desarrollada por un grupo de trabajo de la UPV/EHU que sigue las directrices metodológicas de Carcavilla *et al.* (2007), de manera que ha sido posible inventariar 52 LIG en el ámbito de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai (figura 7).

El inventario general realizado permite diferenciar el valor propio de cada LIG independientemente del uso que se le quiera dar. Los aspectos fundamentales valorados han sido los expresados por Cendrero (1996). Así, se han valorado cualitativa y cuantitativamente los puntos por su valor intrínseco (o científico), y dentro de su potencialidad de uso, se han considerado dos aprovechamientos: el didáctico-divulgativo y el turístico-recreativo.

En cuanto a la necesidad de protección, se ha considerado aparte un bloque de fragilidad o vulnerabilidad y riesgo de degradación que se considera como una información adicional necesaria para la implementación de actuaciones por parte de la Administración que estarán relacionadas con el valor obtenido para cada lugar.



Figura 8. Ejemplo de cartel-tipo utilizado para la puesta en valor de los Lugares de Interés Geológico de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai.

Para la valoración de cada uno de estos bloques, se han seleccionado algunos de los criterios considerados como representativos. El propósito del diseño resultante es que sea útil, práctico y fácil de ejecutar, pero sin perder información esencial. A partir de este inventario se podrá extraer la información de interés para elaborar otros inventarios más específicos dependiendo de los objetivos planteados en fases posteriores (protección, geoturismo, desarrollo rural, etc.).

Según los temas geológicos considerados, se constata una gran mayoría de LIG relativos a materiales de edad cretácica y cuaternaria (materiales y procesos). Al tratarse de una zona con una cobertura vegetal muy bien desarrollada, los mejores afloramientos y, en consecuencia, la mayor concentración de LIG, se sitúan en la franja litoral y a ambos lados del eje central que supone el estuario (figura 7).

En cuanto al cumplimiento de los demás objetivos planteados, durante el año 2011 se ha elaborado una *Guía de los Lugares de Interés Geológico de Urdaibai* con la filosofía de dar a conocer y acercar la geodiversidad y el valor patrimonial que posee Urdaibai al público general. El objetivo principal que se pretende es el de la concienciación a través del conocimiento. En ella se describen las zonas geológicamente más interesantes de la Reserva de la Biosfera, así como su origen y evolución ambiental a lo largo del tiempo. Se describen los procesos geológicos pasados y

presentes, con los que convive actualmente el ser humano y que tienen una gran incidencia en la vida y en la cultura. Asimismo, esta guía invita a desarrollar un modelo turístico de calidad basado en el conocimiento de los valores geológicos.

La publicación está estructurada mediante una primera parte que consiste en una contextualización de la geología de Urdaibai dentro del marco de la cuenca vasco-cantábrica. Esta primera parte también describe conceptos importantes como el del patrimonio geológico y geodiversidad. Una segunda parte consiste en la descripción de los LIG de Urdaibai, del inventario de Urdaibai. Estos se han agrupado y ordenado cronológicamente de manera que se ofrece una visión global coherente de los procesos ocurridos y la señal que han dejado los mismos a lo largo de la historia geológica de la región.

Se ha cuidado especialmente la parte gráfica, con abundantes fotografías aéreas, ortofotos, fotografías de los afloramientos y esquemas interpretativos, sobre todo de tipo bloque-diagrama, más fáciles de entender por el público no especialista. Asimismo, se ha cuidado de que el lenguaje sea sencillo y asequible a la par que correcto.

La tercera parte de la guía consiste en la propuesta de itinerarios a pie (13) y en vehículo (2) que atraviesan la casi totalidad de los LIG. De este modo se puede combinar la información contenida en la Guía con la visita *in situ* de los LIG. A lo largo de estos itinerarios, el visitante

se encontrará con paneles interpretativos. En el diseño de las rutas se ha tratado de buscar recorridos que puedan ser realizados por todo tipo de personas.

Se trata de un formato de guía que contiene tres productos en uno, por un lado, contiene información asequible referente al inventario de LIG de Urdaibai, por otro, se trata de una guía geológica de carácter divulgativo y, por último, una propuesta de itinerarios geológicos.

La interpretación del patrimonio es un proceso de comunicación estratégica, que ayuda a conectar intelectual y emocionalmente al visitante con los significados del recurso patrimonial visitado, para que lo aprecie y disfrute. Tomando como base esta idea, se han elaborado y colocado en los LIG seleccionados 28 paneles interpretativos. Dichos paneles se pueden encontrar a lo largo de los itinerarios mencionados.

Los paneles de tipo mesa inclinada presentan un tamaño de 1,30 x 0,80 m y van colocados de pie en un soporte de madera certificada integrado con el entorno. Se han confeccionado con un objetivo interpretativo orientado al público general siguiendo las recomendaciones de diseño de Morales Miranda (1999), Hose (2000) o Carcavilla *et al.* (2007).

Los paneles están escritos en las dos lenguas oficiales en la Comunidad Autónoma, lo que limita la cantidad de texto que pueden contener. Además, el nivel de lenguaje utilizado y la información contenida se han diseñado para



Figura 9. Mapa de distribución de las 13 geozonas establecidas por el proyecto de geoturismo GEO-BASQUE.

todos los niveles educativos. En su elaboración se ha primado la comunicación visual combinando fotografías con esquemas tridimensionales de bloque-diagrama con rápidos textos clave y llamadas de atención sobre aspectos llamativos o singulares (del tipo ¿sabías que?).

Todos los paneles contienen a la derecha un mapa geológico sencillo con la localización del LIG en el mismo y un reloj geológico donde se indica la edad de los materiales y cuando ocurrió el proceso que se describe en el panel (figura 8).

El proceso de selección de los 28 LIG a divulgar mediante paneles del total de los 52 inventariados, se ha realizado siguiendo varios criterios. Se ha tenido en cuenta la valoración obtenida en el inventario considerando en bloques independientes el valor intrínseco o científico, el potencial didáctico-divulgativo y el potencial turístico-recreativo.

El criterio que ha primado en la selección ha sido el de escoger aquellos LIG que presentan una mayor valoración (sumando su potencial divulgativo y su valor intrínseco), de manera que todos los LIG seleccionados computan un valor superior a la media. También se han considerado otros criterios como el de la localización y la accesibilidad, así como el de mantener cierto equilibrio en cuanto a la temática a divulgar, dando así una idea general de la geodiversidad de la Reserva de la Biosfera.

En relación a la confección de los paneles, se ha procurado solamente incluir la información esencial para cada LIG. De esta manera, se ha atendido a criterios didácticos y de comunicación para poder hacer llegar al receptor una información clara, visual, concisa, científicamente correcta y atractiva.

## Se han visitado todos los LIG seleccionados y se ha buscado una ubicación idónea para que el panel ilustre de una manera rápida y sencilla el proceso geológico que se quiere interpretar

En la elaboración de los paneles se ha optado por dos estrategias de comunicación: a) distribuir la información relativa a un LIG en varios paneles, y b) seleccionar solo aquella información que sea atractiva al público en general. Así, por ejemplo, los LIG relacionados con el estuario del Oka en el inventario son tres (LIG 40: Estuario superior; LIG 41: Estuario inferior; LIG 42: playa de Laida y barra de Mundaka), sin embargo, los paneles diseñados para estos LIG son 9.

Otra adaptación de la información contenida en los LIG ha consistido en lo contrario, es decir, hay elementos con suficiente entidad para ser un LIG, cuya información se puede agrupar en un solo cartel. Tal es el caso de los elementos del litoral o de los sistemas kársticos, que contienen demasiados elementos, extensión y entidad para ser un único LIG pero que quedan mejor agrupados en un único cartel donde, a través de un bloque diagrama, se visualiza el proceso y los diferentes

elementos. Así, en dos carteles, “El endokarst de Urdaibai” y “El karst de Ereño” se muestran la información relativa a los LIG relacionados con los procesos kársticos. Del mismo modo, en el panel “Modelado litoral” se han incorporado información relativa a varios LIG a lo largo de la costa.

Como excepción, cabe mencionar el panel “Isla de Izaro/Plataforma La Gaviota”, donde se ha incluido información referente a la plataforma utilizada hoy en día como almacén de gas. Es importante también dar a conocer el aspecto económico de la geología como recurso no necesariamente reñido con la conservación.

Para determinar el lugar exacto para la colocación de los paneles, se han visitado todos los LIG seleccionados y se ha buscado una ubicación idónea para que el panel ilustre de una manera rápida y sencilla el proceso geológico que se quiere interpretar. Además, se ha puesto especial interés en escoger lugares de fácil acceso y máxima afluencia de público, en la medida de lo posible, si bien se han tenido que tomar varias decisiones para escoger estos sitios. Por ejemplo, el panel relativo al límite K/T ha sido complicado de ubicar porque el lugar idóneo, donde mejor aflora no tiene espacio físico para estacionar y queda lejos de vías de tránsito. En este caso se ha optado por buscar un lugar más lejano, panorámico y bien orientado hacia el afloramiento, cercano a un restaurante concurrido. En la guía, además de dar cuenta de la situación del panel, se propone un itinerario a pie hasta el límite K/T desde el restaurante esperando a que a alguien le pique la curiosidad y se acerque hasta allí.

En aquellos LIG en los que existe peligro de expolio, como por ejemplo, en el relativo a la Lumaquela de Mundaka, se ha elaborado un panel que invita a la observación más que a la recolección (en la guía se explicita la prohibición de recoger fósiles y rocas) y se ha optado por ubicarlo en un lugar urbano de esta villa marinera alejado del afloramiento pero desde el que se observan bien estos materiales.

Otro de los grandes retos es incorporar la información relativa a los LIG en el Plan Rector de Uso y Gestión de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai (PRUG), actualmente en proceso de revisión. Se pretende incorporar una nueva figura de protección (LIG), delimitada cartográficamente, que cuente con una normativa de uso del suelo asociada que promueva su protección y divulgación.

### La Red de Geoturismo del País Vasco (Geo-Basque)

El geoturismo se está consolidando como una fuente de atracción turística importante, tanto a escala nacional como incluso internacional

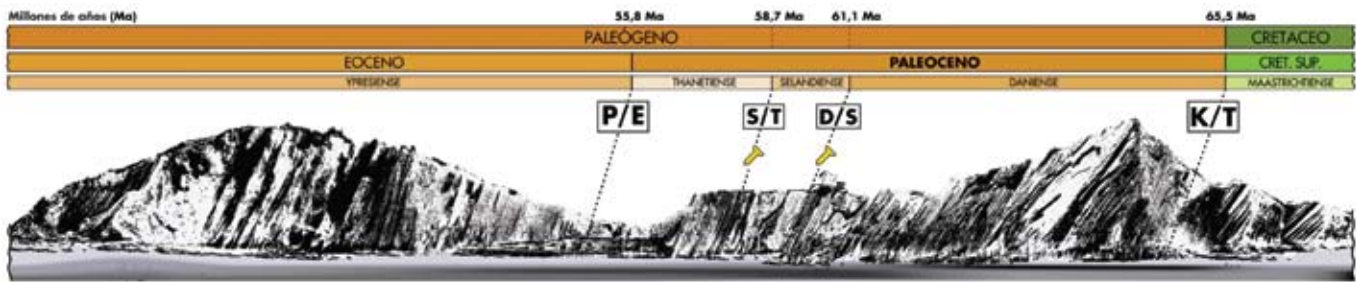


Figura 10. Esquema de la sección de Zumaia con los límites KT y PE y los recientemente definidos estratotipos de límite del Selandiense y el Thanetiense. Los cuatro límites se encuentran en menos de 200 m de afloramiento continuo.

(Carcavilla *et al.* 2011). El País Vasco no ha quedado al margen y algunas comarcas han apostado por desarrollar iniciativas geoturísticas como seña identitaria y polo de atracción turística. El biotopo litoral Deba-Zumaia o el Geoparque de la Costa Vasca son quizás los proyectos más conocidos del País Vasco, pero existen otras apuestas importantes como las minas de Arditurri y el museo de Luberrí en Oiartzun, las cuevas de Arrikruz y Pozalagua, el museo y el entorno minero de Gallarta, las salinas de Añana o los paneles y recorridos geológicos de Urdaibai. Cada una de ellas funciona de manera independiente, y entre todas atraen anualmente a más de 200.000 personas, que participan directamente en las visitas o excursiones guiadas ofertadas.

Este contexto representa un punto de partida ideal para la elaboración de una Red de Geoturismo de escala regional, ya que se dispone de unas infraestructuras de geoturismo consolidadas aunque independientes; un interés popular y una implicación institucional y mediática importante; un profundo conocimiento geológico de la región; una red de espacios naturales protegidos acondicionados para el uso público.

El objetivo fundamental de la Red Geo-Basque es crear una red unificada de geoturismo que, estando formada por iniciativas geoturísticas independientes, se pueda identificar y promocionar como un solo producto. La red muestra tanto el registro como los procesos geológicos del País Vasco. De esta manera, se busca convertir el País Vasco en un destino de geoturismo de referencia para el continente europeo y contribuir a la puesta en valor, divulgación y conservación de su patrimonio geológico.

A efectos de este proyecto se han definido los siguientes conceptos:

- **Lugar de Interés Geoturístico (LIGt):** son aquellos enclaves que poseen un valor geológico notable por su interés científico, didáctico y/o estético y que además presentan características de localización y accesibilidad idóneas para poder ser utilizado como recurso turístico previa adopción de las medidas de protección necesarias.

- **Geozona (Gz):** es un territorio que presenta un patrimonio geológico notable por su singularidad, variedad o belleza, que además ha sido inventariado y acondicionado para el desarrollo de un proyecto geoturístico y que trabaja coordinado y unificado por una red de orden superior, buscando aumentar la capacidad de atracción global del territorio para captar nuevos visitantes.
- **Los Recursos Geoturísticos (RGT):** son todas las infraestructuras, publicaciones y actividades consumibles en destino que puede ofertar un territorio para el disfrute y la interpretación del patrimonio geológico y el geoturismo.

Las geozonas se encargan de generar el producto en destino y la red focaliza sus esfuerzos en la promoción exterior, la gestión de subvenciones y la supervisión de todos los proyectos de cada geozona

Los RGT definidos para la Red Geo-Basque se clasifican en cuatro grupos en función de su naturaleza y agrupan los siguientes componentes:

- **Actividades geoturísticas:** visita de un LIGt, realización de una georuta, visita a un centro de interpretación, disfrutar de un mirador panorámico y realizar una visita guiada.
- **Infraestructuras de uso público:** centros de interpretación, oficina de información, adaptación de los LIGt, adaptación de las georutas, señalizaciones, miradores, aparcamientos y accesos.

- **Material de interpretación:** mapa-folleto y guía de campo de cada geozona, unidades didácticas, paneles de interpretación, página web de la red, guía general de la red.
- **Servicios complementarios:** club de empresas y establecimientos "amigos" de la red.

El inventario inicial de puntos de interés geoturístico contempla 90 Lugares de Interés Geoturístico que se agrupan en 13 geozonas (figura 9). Estas geozonas son la unidad de trabajo de la red y han de tener entidad suficiente para ofertar en sí mismas una propuesta geoturística completa.

Desde el punto de vista geológico, cada geozona tiene su propia personalidad, y entre todas se complementan para cubrir la totalidad del registro de la CAPV. El modelo de gestión de la red tiene dos niveles de acción bien definidos: la gestión de cada Geozona, formada por una mesa de trabajo local, y la gestión de la red general, formada por un representante de cada geozona y una oficina técnica con experiencia en Geoturismo. Los dos niveles deberán trabajar en aspectos relacionados con el patrimonio geológico, la geoconservación, los recursos geoturísticos y la promoción y la administración. Sin embargo, las obligaciones de cada nivel han de estar muy bien delimitadas, tal y como han sido definidas en el proyecto. En general, las geozonas se encargan de generar el producto en destino y la red focaliza sus esfuerzos en la promoción exterior, la gestión de subvenciones y la supervisión de todos los proyectos de cada geozona.

Los criterios de adhesión son las normas internas consensuadas de las que se dotan y que libremente aceptan todas las entidades que aspiran a formar parte de la red. Estos criterios constituyen el marco de referencia para asegurar los estándares mínimos de calidad, tanto para cada elemento particular como para el conjunto del producto turístico. Se plantean dos tipos de criterio:

- **Criterios obligatorios (O):** son de obligado cumplimiento y marcan un mínimo de RGT con los que la geozona puede captar un público más

especializado capaz de guiarse en el campo sin grandes infraestructuras.

- *Criterios complementarios (C)*: el cumplimiento de estos criterios plantea actuaciones de infraestructuras de uso público y señalización para generar una oferta más accesible e interesante para el público general.

Con el cumplimiento paulatino de estos criterios, la red busca una mejora continua. En el momento inicial se ofrece un periodo de adaptación de tres años para el cumplimiento de los criterios obligatorios y, en adelante, se exige un cumplimiento paulatino de un 30% de los criterios recomendados pendientes cada tres años. Los criterios obligatorios iniciales definidos marcan un nivel mínimo asequible para que las diferentes geozonas puedan participar en el proyecto.

Se han definido también criterios de adhesión específicos para las oficinas de información, los centros de interpretación, los restaurantes, los alojamientos adheridos y las empresas homologadas por la red.

En la fase final del proyecto se ha realizado un diagnóstico de la situación de cada geozona en relación a los criterios de adhesión. En consecuencia, se ha elaborado también una propuesta concreta de actuación para que cada geozona cumpla los mínimos exigidos. Se ha realizado también un análisis acerca de las competencias administrativas y de otro tipo que confluyen en cada geozona.

Además de las recomendaciones de actuación generales realizadas para cada geozona, se adjunta también un mapa con la localización de los principales RGT propuestos: georutas a pie, georuta integral en coche, museos y centros de interpretación, centros de información y miradores panorámicos con paneles interpretativos.

A escala de red se han diseñado también las siguientes rutas temáticas:

- *Tour Geo-Basque*: historia geológica de la CAPV a través de las Gz de Aiako Harria, Aralar, Arantzazu, Geoparque, Valdegovia, S. de Cantabria, Barrika y Urdaibai.
- *Geotour del Flysch*: formado por las Gz de Jaizkibel, Geoparque y Barrika.
- *Geotour del Karst*: formado por las Gz de Arantzazu, Indusi, Karrantza, Aralar y Geoparque.
- *Geotour del Cuaternario*: formado por las Gz de geoparque, Urdaibai, Barrika, Aralar, S. Salvada y Valdegovia.
- *Geotour de la minería*: formado por las Gz de Aiako Harria, Zona Minera, Aralar, Valdegovia, Carranza y Urdaibai.
- *Geotour de los miradores*: formado por los miradores más representativos de cada geozona.

### El flysch de Zumaia (Geoparque de la Costa Vasca)

El biotopo litoral entre Deba y Zumaia abarca aproximadamente 8 km de costa guipuzcoana y se sitúa a medio camino entre Bilbao y San Sebastián. Se trata de un entorno especialmente atractivo por la belleza de sus grandes acantilados y sus paisajes bucólicos, que esconden además uno de los grandes afloramientos geológicos del planeta: el flysch de Zumaia.

Desde el punto de vista geológico nos encontramos en el dominio septentrional de la cuenca vasco-cantábrica, formado principalmente por materiales mesozoicos y cenozoicos de origen marino profundo. El tramo del biotopo litoral abarca aproximadamente 55 Ma a lo largo de una sucesión prácticamente continua de tipo flysch, desde el Cretácico inferior (Albiense) hasta el Paleógeno medio (Eoceno), incluyendo excelentes afloramientos de los límites Cretácico/Terciario (*geosite*) y Paleoceno/Eoceno, además de los recientemente definidos estratotipos de límite del Selandiense y del Thanetiense (*figura 10*).

## Cualquier actividad extractiva, muestreo científico o acción que afecte al patrimonio geológico debe ser autorizada por el órgano gestor

El órgano gestor del biotopo (Diputación Foral de Gipuzkoa) ha desarrollado un protocolo específico de geoconservación y utilización del recurso geológico que ha sido incluido en su plan de gestión. Cualquier actividad extractiva, muestreo científico o acción que afecte al patrimonio geológico debe ser autorizada por el órgano gestor. Esta iniciativa pretende erradicar la actividad extractiva y fomentar y coordinar la actividad científica del biotopo, para que esta se realice de una manera regulada y sus resultados puedan ser utilizados para la divulgación general.

La divulgación de los valores paisajísticos y geo-científicos es uno de los distintivos principales del biotopo ya que este presenta condiciones inmejorables de vistosidad, accesibilidad e interés. Para ello, se ha diseñado una gama de

productos e iniciativas que, basados en el contenido, abarcan a todo tipo de público.

Los productos de divulgación del biotopo pueden resumirse en:

- *Flysch*, el susurro de las rocas: documental de calidad cinematográfica que consiguió reunir y entrevistar en Zumaia a 25 científicos multidisciplinares de gran renombre internacional. Con esta apuesta se ha buscado internacionalizar el afloramiento en el campo de la divulgación. El documental ha sido premiado por la International Association of Media for Sciences (IAMS) y ha sido visto por más de 500.000 personas ([www.flyschzumaia.com](http://www.flyschzumaia.com)).
- *Ciclo de conferencias "Haitzen Hitza"*: organizado en San Sebastián con diez de los científicos de mayor renombre internacional sobre la historia del clima y la vida en la Tierra. El objetivo de este ciclo fue crear una identificación del biotopo con el conocimiento científico y acercar a grandes figuras de la investigación al público general ([www.haitzenhitza.com](http://www.haitzenhitza.com)).
- *Reconstrucción 3D del afloramiento*: se está desarrollando una reconstrucción tridimensional sobre la evolución geológica del afloramiento mediante el programa Geo-modeller con el objetivo de facilitar la comprensión de su estructura al público general.
- *Libro Flysch Algorri Mendata*. Se trata de un libro de gran formato y cuidado diseño, que utiliza la atracción de fotografías espectaculares para introducir contenidos mediante los pies de foto.
- *Guía de campo geo-científica Zumaia section*: está editada en inglés por el grupo de estratigrafía y paleontología de la Universidad del País Vasco y representa una excelente resumen de los principales puntos de interés científicos de la sección de Zumaia.

Además de los productos de divulgación citados existe una amplia gama de recorridos y visitas guiadas sobre el terreno:

- *Guía de campo y red de senderos temáticos del biotopo*: se ha diseñado una red de cinco senderos temáticos con 47 puntos de interés marcados sobre el territorio con una pequeña placa e interpretados en la *Guía de campo y recorridos del biotopo litoral Deba-Zumaia*.
- *Unidades didácticas y salidas guiadas*: además de los productos de divulgación editados se ha diseñado también una completa gama de unidades didácticas y salidas turísticas, tanto a pie como en barco.

Además de las publicaciones oficiales citadas hay que destacar también más de una veintena de

publicaciones en revistas y medios de divulgación, medio ambiente y viajes, así como alrededor de 500 impactos en prensa escrita y audiovisual de carácter estatal.

### El futuro cercano

Actualmente, se está realizando el inventario de Lugares de Interés Geológico de la Comunidad Autónoma y se está redactando la Estrategia de Geodiversidad para la CAPV. Probablemente, estos trabajos estarán acabados para septiembre del año 2012, por lo que tras la finalización de los mismos comienza un largo y duro trabajo de implementación de la Estrategia que seguramente durará varios años e implicará la necesidad de organizar unas segundas jornadas, programadas para final de este año, en este caso centradas en organizar a los actores que trabajan en el ámbito de la geodiversidad y el patrimonio geológico del País Vasco, para lograr entre todos la consecución de los objetivos de la Estrategia.

### Conclusiones

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, se puede concluir que en el País Vasco existe un compromiso fuerte con la geodiversidad. La sociedad y sus administraciones gestoras valoran

## Actualmente se está realizando el inventario de Lugares de Interés Geológico de la Comunidad Autónoma y se está redactando la Estrategia de Geodiversidad para la CAPV

cada vez más su patrimonio geológico como bien cultural y educativo e incluso, como motor de desarrollo rural.

Asimismo, es posible asegurar que existe una voluntad y predisposición de los actores y entidades significativos del País Vasco de trabajar a favor de la promoción de la geodiversidad, y que existen iniciativas locales de éxito que necesariamente deben ser articuladas desde un punto de vista integrador y global.

Por lo tanto, se ha estimado necesaria la implementación de una Estrategia de Geodiversidad para el País Vasco, la cual ha comenzado sus primeros pasos aunque, obviamente, tiene mucho camino por recorrer. Este camino tiene que construirse sobre unos pilares firmes que deben ser un inventario de LIG debidamente contrastado, la implementación de políticas de geoconservación y divulgación y la adecuación de la legislación existente.

Los resultados de la experiencia realizada en la zona piloto han sido exitosos y están sirviendo de base contrastada para la correcta implementación de la Estrategia de Geodiversidad en el País Vasco.

### Agradecimientos

Los autores quieren agradecer expresamente a la doctora Miren Mendia Aranguren (UPV/EHU), al doctor Asier Hilario Orús (GEO5), a Juan González Lastra (TECNA) y a sus colaboradores el trabajo realizado dentro de los diferentes proyectos enmarcados en la Estrategia de Geodiversidad del País Vasco y que en gran parte ha servido de base para la redacción del presente artículo.

### Bibliografía

- Adán de Yarza, R. (1885). *Memorias de la Comisión del Mapa Geológico de España*. Descripción física de geológica de la provincia de Álava, Madrid, 176 p.
- Carcavilla Urquí, L., López Martínez, J. y Durán Valsero, J. J. (2007). *Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, Serie: Cuadernos del Museo Geominero, 7, 1-405.
- Carcavilla L. Belmonte, A., Durán, J. J. y Hilario, A. (2011). Geoturismo: concepto y perspectivas en España. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19.1: 79-92.
- Cendrero, A. (1996). El patrimonio geológico. Ideas para su protección, conservación y utilización, en: *El Patrimonio Geológico. Bases para su valoración, protección, conservación y utilización*. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Madrid, 17-38.
- Cox, L. (2003). *Staffordshire geodiversity action plan*. Staffordshire Wildlife Trust, 59 pp.
- DFB (1990). *Puntos de interés geológico de Bizkaia*. Diputación Foral de Bizkaia, Bilbao, 270 p.
- DFG (1991). *Puntos de interés geológico de Gipuzkoa*. Diputación Foral de Gipuzkoa, Donostia-San Sebastián, 167 p.
- DFA (1995). *Álava desde la carretera*. Diputación Foral de Araba, Vitoria-Gasteiz, 151 p.
- EVE/EEE (2002a). *Mapa de rocas y minerales del País Vasco*. Bilbao, 209 p.
- EVE/EEE (2002b). *Mapa geológico del País Vasco, 1:25.000*. Ente Vasco de la Energía/Euskal Energía Erakundea, Bilbao, 486 p.
- Gómez-Tejedor, J. (1980). *Geología de la costa vizcaína*. Colección de temas vizcaínos. Caja de Ahorros Municipal de Vizcaya, Bilbao, vol. 67-68, Bilbao, 111 p.
- Gómez-Tejedor, J. (1983). Estudios de Geología Regional en Vizcaya anteriores al siglo XX. Tesis doctoral 133/83, Universidad Complutense de Madrid, inédita, 649 p.
- Hose, T. A. (2000). Geoturismo europeo. Interpretación geológica y promoción de la conservación geológica para turistas, en: *Patrimonio Geológico: Conservación y gestión*. D. Barretino, W. P. Winbledon y E. Gallego (eds.). ITGE, Madrid, 137-159.
- Mendia, M., Aranburu, A., Carracedo, M., González, M. J., Monge-Ganzuzas, M. y Pascual, A. (2010). *Geodiversidad*. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca, Gobierno Vasco (<http://www.euskadi.net/geodibertsitatea>)
- Morales Miranda, J. (1998). *Guía práctica para la interpretación del patrimonio. El arte de acercar el legado natural y cultural al público visitante*. Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía, TRAGSA, Sevilla, 313 p.
- Morales Miranda, J. (2000). *La interpretación del patrimonio como herramienta para el desarrollo territorial*. Arona. *Cuaderno de Patrimonio Histórico y Cultural*, 1: 49-51.
- Page, K. N. (1992). Site information boards for geological and geomorphological SSSIs. *Earth Science Branch, English Nature Research Reports*, 26, 20 p.
- Rat, P. (1959) Les Pays Crétacées Basco-cantabriques (Espagne). Thèse, Dijon, publicación en l'Université de Dijon, 18, 1-525.
- Vera, J. A. (ed.) (2004). *Geología de España*. SGE-IGME, Madrid, 890 p.

# Las 'khattaras' del Tafilalet en Marruecos

En un medio desértico, como es la franja mediterránea del norte de África, los oasis son eco-agrosistemas que permiten el asentamiento de la población; son el soporte de culturas y tradiciones ancestrales, y elementos insustituibles del patrimonio ecológico y agronómico de las regiones donde se encuentran. En los oasis encontramos obras hidráulicas y modelos de gestión del agua muy originales, complejos y valiosos. La historia de estos lugares inmersos en un medio tan hostil siempre ha estado ligada estrechamente al agua, y la gestión del recurso hídrico, más que inteligente, es sabia.

TEXTO Y FOTOGRAFÍAS | Agustín Muñoz, geólogo.

Palabras clave  
**Khattaras, Tafilalet, Marruecos.**

El palmeral es el símbolo del oasis, es la imagen que todos reconocemos, y a la vez es su alma. Hoy, numerosas amenazas se ciernen sobre los palmerales y está en peligro la sostenibilidad del sistema. La sequía y la emigración de la población están produciendo graves daños, daños que puede que sean irreversibles en algunos casos.

En los verdes oasis (*figura 1*), a la sombra de sus palmeras, es donde encontramos las micro-explotaciones familiares. A pesar de su reducido tamaño, las parcelas han sido la fuente tradicional de los productos de la huerta, de las frutas, de la carne de ganado vacuno, ovino, caprino y, por supuesto, de dátiles.

En el complejo microcosmos que constituye un oasis, las *khattaras* y otras captaciones más, las redes de riego han sido el aglutinante de los complejos valores tradicionales de estas sociedades.

## El entorno natural del Tafilalet

El Tafilalet está situado al sur del Atlas, junto a la frontera argelina, extendiéndose sobre materiales paleozoicos, siendo el río Ziz el eje hidráulico de la región. En sus márgenes oriental y meridional afloran materiales del Cretácico superior.

Las extremas condiciones climáticas existentes, prácticamente las del desierto, hacen que los cursos de agua sea efímeros y que el único recurso hídrico disponible sean las aguas subterráneas. Las pluviometrías son menores de 129 mm/año, con lugares como Taouz, junto a la frontera, con 50 mm/año. Las lluvias no alcanzan ni el 10% de la altísima evapotranspiración potencial, superior a 2.500 mm/año, y la humedad relativa es inferior al 40%.

Inmediatamente al sur de la cordillera del Atlas está el antepaís, conocido geológicamente como Anti-atlas, donde aflora una potentísima serie sedimentaria paleozoica con más de



Figura 1. Oasis y canal de riego.





Figura 2. Estructuras monoclinales paleozoicas.

10.000 m de espesor, plegada por la orogenia varisca y afectada por un metamorfismo de bajo grado.

La erosión actuó durante decenas de millones de años dejando un relieve esencialmente plano. En el periodo Cuaternario, los procesos erosivos han producido un encajamiento de los cursos de agua y han exhumado los materiales paleozoicos. Han quedado a la vista las estructuras monoclinales (figura 2) que forma la serie sedimentaria paleozoica, con fuertes taludes a un lado y laderas con menor pendiente en el opuesto. El talud está coronado por una potente capa dura, normalmente de caliza, de arenisca, o de cuarcita. La más mínima diferencia en la dureza de las capas es resaltada por la erosión al dejar zonas planas muy marcadas.

Cuando los estratos no presentan buzamiento, el paisaje lo conforman llanuras estructurales definidas por bancos calcáreos o areniscosos, a veces con costras superficiales, son las *hamadas*, que forman superficies muy planas limitadas por fuertes taludes, que son producto de la disección del relieve original por el agua.

Las condiciones de aridez actuales y los procesos erosivos han eliminado el suelo fértil, resultando un desierto pedregoso denominado *hamada* o *reg*, en él solo hay desniveles apreciables cuando los estratos duros y potentes dan los resaltes en

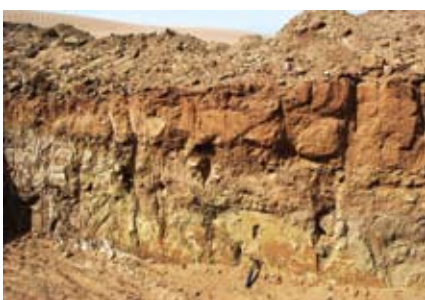


Figura 3. Relleno aluvial en un oued.

cuestas, o bien cuando los cortan los cauces de los arroyos de carácter efímero denominados *ouadis* (plural de *oued*), similares a las ramblas españolas.

Al pie de las cuestas, a veces muy escarpadas, se forman piedemontes, glacis y conos de deyección, superficies en general que tienen la pendiente contraria a la estratificación. Estas morfologías son el resultado de la acción conjunta, durante larguísimos periodos, de las ocasionales arroyadas y de la erosión eólica.

Por encima del relleno actual del *oued* hay niveles de glacis de ablación recubiertos por aluviones de espesor muy variable, que frecuentemente tienen costras. Los depósitos eólicos son dunas sencillas, aisladas, o en pequeños enjambres.

En el surco de los antiguos valles, excavados por las corrientes de agua, se ha producido repetidamente un complejo fenómeno de erosión y depósito; se han rellenado con materiales detríticos formados por arenas, limos, y arcillas (figura 3). Cuando hay agua, estos materiales son los que forman el suelo agrícola en los oasis.

El agua subterránea se encuentra en dos tipos de acuíferos: granulares y fisurados. Los acuíferos granulares se encuentran en los depósitos que rellenan los *ouadis*, y la recarga se produce únicamente en los brevísimos periodos en los que hay escorrentía superficial. Los acuíferos fisurados están en niveles calcáreos y cuarcíticos de gran potencia, intercalados entre esquistos. Son visibles en la parte alta de los escarpes, pero se encuentran también en el fondo de los *ouadis* cuando estos discurren oblicuamente a las estructuras geológicas.

### Las captaciones de agua

La explotación de las aguas subterráneas se realiza mediante dos tipos de captaciones: verticales y horizontales. Existen casos de captaciones mixtas.

Las captaciones verticales son los pozos excavados y los pozos perforados. Los pozos excavados se realizan habitualmente de forma manual, raramente profundizan más de 15 m, y tienen entre 1 y 2 m de diámetro. Se revisten con pared de obra o anillos de hormigón, y explotan los acuíferos superficiales del relleno cuaternario del *oued*, en muy pocas ocasiones penetran más de 4 m por debajo del nivel freático.

Los pozos perforados alcanzan profundidades de decenas de metros con pequeño diámetro (menos de 500 mm); se realizan con máquinas perforadoras y, por la dureza de las rocas, frecuentemente a rotoperusión, se revisten con tubería de hierro ranurada. Estas captaciones explotan acuíferos profundos. En el Tafilalet se están perforando pozos de este tipo en la cabeza de algunas *khattaras*, para extraer los caudales necesarios de los acuíferos profundos en los periodos muy secos, el caudal necesario. Las actuaciones han tenido muy distinta fortuna, siendo muy frecuentes los resultados negativos.

El tipo de captación horizontal más original e importantísima en las regiones áridas del sur del Atlas, se conoce por el nombre de *khattara*, y proporcionan el agua en la mayoría de los oasis.

Este tipo de captación de agua subterránea es producto de una experiencia milenaria. El apelativo varía según la región; las más antiguas se excavaron en Mesopotamia y Persia y su nombre es *qanat* o *kanat*, en el Anti-atlas marroquí se utiliza el término *khattara*, en Argelia *foggara*, y en otros lugares *kariz*, *fuqara*, *falaj*, etc.

En España, este tipo de captaciones están presentes en las regiones secas; son las galerías canarias, las minas de agua en distintas regiones, las galerías con lumbreras levantinas, y los viajes de agua madrileños, denominación procedente del término latino *via aquae*.

Una *khattara* es una larga galería de varios kilómetros de longitud excavada manualmente con muy pequeña pendiente, que penetra por el subsuelo hasta alcanzar el acuífero. A veces hay solo 25 cm de desnivel por cada kilómetro de recorrido. Cuando la galería corta el nivel freático, entra agua a la galería por el fondo y por las paredes; este tramo se conoce como "cabecera de la *khattara*". Gracias a la pendiente, el agua captada fluye por gravedad hacia la salida situada en el otro extremo, por tanto no precisa bombeo.

Cada 20-25 m encontramos en la superficie unos pozos verticales que llegan al techo de la galería, son las chimeneas de ventilación o *reggar* (figura 4), que se utilizan para sacar los materiales de la excavación y los productos de las limpiezas posteriores. También se introducen por ellos los materiales para el mantenimiento y consolidación de la galería, pero la función más importante es la seguridad: en caso de derrumbe, son las vías de escape.



Figura 4. Vista de una chimenea de una khettara en construcción realizada por CERAI.

Las chimeneas de ventilación no suelen tener revestidas las paredes, aunque en la superficie hay un emboquillado, esta protección evita desprendimientos y se hace con piedra e incluso se refuerza con hormigón; a veces la boca se tapa con losas para evitar la entrada de arena. Como el material extraído se vierte junto a la boca, esta queda en una posición elevada impidiendo la entrada de agua de la escorrentía (figura 5).

La khettara está íntimamente ligada a los oasis y a su cultura, pero además es la captación de agua más sostenible desde el punto de vista medioambiental, pues la khettara no llega a esquilmar casi nunca los recursos hídricos subterráneos como pueden hacer los pozos.



Figura 5. Khettara con cada reggar elevado para prevenir inundaciones.

La construcción de una khettara es el resultado del esfuerzo colectivo de numerosos individuos, que son los beneficiarios del agua que proporciona, y suele ser la mayoría de la población del oasis

La construcción de una khettara es el resultado del esfuerzo colectivo de numerosos individuos, que son los beneficiarios del agua que proporciona, y suele ser la mayoría de la población del oasis.

Frecuentemente, las khettaras son rectilíneas, pero a veces presentan ramificaciones para aumentar su eficiencia.

En la actual Persia encontramos los kanats más antiguos, algunos están en servicio desde hace más de 2.500 años. Todas las captaciones similares en el norte de África son posteriores al siglo VII pues la técnica fue introducida por los pobladores-conquistadores árabes.

Gracias a las khettaras fue posible una alta densidad de población en el Tafilalet, un ejemplo fue el reino de Sijilmasa, ciudad-estado medieval que era meta y origen de una de las rutas comerciales de su época; numerosas caravanas



Figura 6. Excavación de una khettara de montaña.

transportaban el oro desde el otro lado del desierto, además de otras riquezas y materias primas esenciales o exóticas.

La khettara tiene dos zonas: la de captación y la de conducción.

La "cabecera de la khettara" es el tramo de captación y frecuentemente tiene problemas de estabilidad en las paredes y en el techo; se suele revestir con sillarejo de piedra seca y, a veces, se refuerza con cemento para evitar los derrumbes.

La zona de conducción comienza cuando la galería queda por encima del nivel freático, a partir de aquí cesa el aporte de agua y hay que evitar que el agua se pierda por infiltración, para ello suele bastar la solera de cemento con una pequeña vertiente hacia un canalillo central.

Conforme nos acercamos a la salida, la galería va quedando a menor profundidad. Cuando no hay altura suficiente, la galería se transforma en un canal cubierto; a partir de aquí se excava una trinchera en cuyo fondo se construye la acequia, se cubre esta con lajas de piedra o losas de cemento, y finalmente se rellena la trinchera con la misma tierra de la excavación.

Cuando el fondo del acuífero tiene irregularidades topográficas o litológicas, las khettaras se ramifican para adaptarse a los terrenos.

Por los terrenos en los que se excavan las khettaras, distinguimos dos tipos: de oued, y de roca o de montaña. Las khettaras de oued están excavadas en los materiales que forman el relleno reciente de los antiguos valles. El agua fluye hacia la khettara y entra a la galería por las paredes y por el fondo.

Las khettaras de montaña suelen comenzar en los materiales de glacis al pie de los resaltes rocosos y enseguida alcanzan los materiales del sustrato (figura 6). El agua entra por las numerosas grietas y diaclasas que va cortando la galería, bien en forma de pequeños hilillos de agua, o bien como goteos y rezumes.

El comportamiento hidrológico de los dos tipos suele ser muy diferente. Las khettaras de oued tienen una mayor inercia en su respuesta a la recarga, es decir, el caudal aumenta progresivamente varios días después de producirse la infiltración, tarda en alcanzar el máximo y el agotamiento es lento.



Figura 7. Balsa de regulación a la salida de una khattara.

Las *khattaras* de montaña, cuando drenan acuíferos calcáreos con conductos grandes, tienen una respuesta a la recarga mucho más rápida, los caudales aumentan rápidamente y los agotamientos también son muy rápidos, con una gran oscilación de sus caudales. Cuando el acuífero es de cuarcitas diaclasadas, el comportamiento hidráulico es intermedio entre las dos respuestas descritas. La existencia de fallas influye sobre el comportamiento: una alta densidad hace que este se parezca más al de los acuíferos calcáreos; si solo hay diaclasas, el comportamiento se asemeja al de las *khattaras* de *oued*.

Las *khattaras* de montaña suelen dar más garantías respecto al caudal que las de *oued*, fundamentalmente por dos motivos: los acuíferos tienen un mayor volumen de reservas y esto les permite una mejor regulación en cada ciclo seco-húmedo; el segundo motivo es la ausencia de pozos que interfieran con la *khattara* por su alto costo de construcción y riesgo de fracaso, así como el gasto del bombeo.

Los instrumentos necesarios para la excavación de una *khattara* son elementales: picos y palas. Una polea, una cuerda y un cesto para sacar la tierra forman el resto del equipamiento. Solamente en las *khattaras* de montaña se pueden encontrar capas muy duras; en ese caso se emplean explosivos en la excavación al igual que se hace en las minas.

En la construcción de la *khattara* se hace lo que dice y cómo lo dice el más experimentado de los obreros, el *m'alam khtatri*, él decide la dirección y dimensiones de la galería, la situación de los pozos de ventilación, y además dirige a los obreros en todos los detalles de la excavación. El mantenimiento de la *khattara* tiene labores más penosas y peligrosas que la construcción, pues siempre se trabaja en las zonas con mayor riesgo de desprendimiento.

## En regiones como el Tafilalet, hay centenares de *khattaras*; son el único aprovisionamiento de agua de decenas de poblaciones

Actualmente no se construyen *khattaras*, y muy raramente se prolongan. La actividad se restringe al mantenimiento, revistiendo tramos y restaurando las bocas de los *reggar*. Cada vez es más difícil encontrar operarios capacitados, como ocurre en otros oficios artesanos apenas hay relevo generacional, este es un grave problema de cara al futuro, pues podría perderse la sabiduría sobre una técnica que ha permanecido inmutable a través de los siglos, y que ha sido adquirida de una forma totalmente empírica.

En regiones como el Tafilalet, hay centenares de *khattaras*; son el único aprovisionamiento de agua de decenas de poblaciones. El censo del año 2000 contabilizaba en la región 308 *khattaras* en servicio con casi 1.200 km de longitud excavada. Con el agua que captaban se regaban 155 zonas, con una superficie total de 12.750 ha.

Si se compara esta situación con la del año 1967, se ve el grado de abandono de las *khattaras*; habían quedado fuera de servicio 262 en los 33 años transcurridos. La principal causa del abandono han sido las frecuentes y dramáticas sequías en las últimas décadas. La fuerte disminución de los recursos hídricos ha inducido a la sobreexplotación brutal de los acuíferos. Por otra parte, el éxodo rural ha privado a las poblaciones de los

recursos humanos necesarios para el mantenimiento adecuado de las infraestructuras.

Las *khattaras* captan el agua de forma continua, día y noche, invierno y verano. Para aprovechar al máximo los recursos captados se utilizan varias estrategias, entre las más extendidas encontramos dos: modificar la superficie a regar en función del caudal disponible, del cultivo, y de la estación; la segunda consiste en acumular el flujo nocturno en una balsa, regando durante el día con el caudal que fluye, más el agua que ha quedado almacenada durante la noche.

### Gestión del agua

La gestión del agua en los oasis se realiza de una manera muy particular y solidaria. El oasis es un microcosmos en cuyo centro está el agua, por tanto, los organismos que la gestionan son a veces muy complejos y frecuentemente originales. Los métodos son fruto de la adaptación exitosa de una sociedad a un medio extremadamente hostil.

La *khattara* es el elemento primero y esencial, de ella surge el agua imprescindible para la vida y la agricultura del oasis. Los productos del oasis abastecen los mercados locales, y si el año es bueno también los regionales. Del oasis salen verduras, leguminosas, frutas, cereales, pero también carne y la escasa leche gracias a los cultivos forrajeros, aunque el producto por excelencia son los omnipresentes y deliciosos dátiles.

La buena gestión de las infraestructuras de riego, y por tanto de las *khattaras*, garantiza el desarrollo sostenible de estas sociedades, pero también la conservación del rico patrimonio socio-cultural heredado.

Aunque no existe una única forma de gestión del agua, en los oasis marroquíes hay una afinidad entre las normas. En primer lugar prevalece la ley de la costumbre denominada "Derechos del Agua". El mayor o menor derecho al recurso hídrico se obtiene en proporción a la cantidad de trabajo aportado en la construcción de la *khattara* y de la red de riego asociada, tanto de forma directa, como pagando el trabajo realizado por otros.

Los derechos de agua que ostenta un individuo son reflejo de su posición social dentro del estratificado sistema político-económico de la población o *qsar*. El *qsar* es una población, normalmente fortificada, enclavada en los oasis del sur de Marruecos. En el año 1950 había censados en el Tafilalet 200 *qsar* con 250.000 habitantes; hoy quedan menos de 80 *qsar* a pesar de que la población es de 600.000 habitantes, esto indica un gran cambio en los tipos de asentamiento.

El método más usual para la distribución del agua es el denominado "por partes". La unidad se llama *nouba* o *fardía*, que es el agua suministrada por la *khattara* en un periodo de 12 horas, la cual se entrega a un propietario o se reparte entre varios usuarios en función del volumen de sus derechos. Por tanto, una *khattara* de 22 *fardías* supone un



Figura 8. Presa de cemento en un oued.

ciclo completo de riego en 11 días. Como consecuencia, el volumen de agua que corresponde a una *fardía* es diferente para cada *khettara*, como también lo es la superficie regada. Un grupo de usuarios puede decidir agruparse y explotar en común la totalidad de sus derechos de agua (figura 7).

El proceso del reparto del agua entre los regantes está bajo la supervisión del *cheikh* o *amghar* y del *mezreg*, cargos elegidos por seis meses por la *jmaa* o Consejo de la localidad. Sus competencias, además de la adecuada distribución del agua de riego, es velar por el buen mantenimiento de las infraestructuras, y también mediar en los pequeños conflictos.

#### Presente y futuro de las 'khettaras'

Las *khettaras* de la región son el resultado de un proceso que ha ido madurando a lo largo de siglos. Esta sabiduría hidráulica se ha plasmado en obras que han mantenido un delicado equilibrio, y que han sabido adaptarse a los cambios introducidos en cada época histórica.

La grave situación en que se encuentra la explotación de los acuíferos superficiales es consecuencia principalmente de la severa sequía de las últimas décadas. También tiene una gran parte de culpa la introducción poco afortunada de una tecnología y una cultura productiva ajenas al sistema tradicional. Aunque las ideas y las técnicas introducidas no son malas en sí mismas, los resultados indican claramente que su aplicación no ha sido la adecuada, que no han dado una respuesta eficaz a los cambios que genera la nueva situación técnica y social.

Quizás, la raíz de los problemas actuales está en que generalmente las nuevas técnicas se aplican buscando resultados exclusivamente a corto plazo, despreciando parte de la sabiduría amasada a lo largo de siglos, y enfocada en

la sostenibilidad y continuidad de los sistemas hidráulicos.

Existe una pugna entre los pozos y las *khettaras* por la explotación de las aguas subterráneas. Los pozos se encuentran generalmente en el oasis o en sus inmediaciones, mientras que las *khettaras* captan el agua en zonas fuera de la influencia de estos pozos; por ello, los dos sistemas son compatibles y complementarios.

El problema aparece cuando se hacen pozos cerca de la cabecera de la *khettara* de otros regantes, situados aguas abajo. En este caso, los recursos extraídos por los pozos mermarán el caudal de la *khettara*, estableciéndose una competencia entre los dos sistemas de usuarios diferentes.

Tras un largo periodo de sequía, el nivel freático desciende y el caudal de los pozos disminuye. Los pozos siguen sacando un caudal menor y pueden vaciar completamente el acuífero. Lo que ocurre es que la recuperación de las condiciones hidrogeológicas iniciales es mucho más lenta que en el caso de las *khettaras*; sin embargo, se aprovecha mejor la capacidad de regulación del acuífero.

El pozo es una obra de mucho menor costo que una *khettara* y es accesible a un pequeño grupo de usuarios, e incluso a nivel individual. En la construcción de los pozos no existe la capacidad de aglutinar a la comunidad que tienen las *khettaras*, por tanto, su repercusión social es menos importante.

Al analizar los dos tipos de explotaciones, vemos que los pozos presentan ventajas de oportunidad sobre las *khettaras*, pues la sobreexplotación del acuífero las deja secas o con caudales insuficientes.

Un efecto de la sobreexplotación que a veces no se contempla es el aumento en la salinidad del agua subterránea. Según los datos disponibles, el

contenido en sólidos totales disueltos oscila entre 1.500 y 2.000 ppm, aunque a veces asciende hasta las 3.000. La conductividad del agua se encuentra entre 2 y 2,8 mmhos/cm.

El catión  $\text{Na}^+$  es abundante, resultando valores de SAR altos, lo que incluye las aguas en el tipo C4, según la clasificación del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, es decir, válidas para riego bajo ciertas condiciones, y solamente para cultivos tolerantes a la salinidad.

En casos de conflicto de intereses, o se alcanza una autorregulación en la explotación de los recursos dentro de la zona, o bien se adapta la *khettara*. Así, pues, nuevos tiempos exigen nuevas estrategias como vamos a ver.

Hay dos estrategias para consolidar la disponibilidad de agua: una consiste en cuantificar los recursos hídricos disponibles, y realizar obras de adaptación de las captaciones; la otra consiste en incrementar los recursos disponibles.

Dentro de la primera estrategia es necesario medir los caudales de las *khettaras* y el volumen extraído de los pozos; después, prolongar las *khettaras*, construir pequeños pozos en el interior de las galerías, establecer controles de descarga en tramos de la cabecera, etc.

Dentro de la segunda estrategia, un papel esencial lo juegan las pequeñas presas en los *ouadis* para inducir la recarga. Otro factor importante es la explotación sostenible de los acuíferos profundos mediante la perforación de pozos, principalmente junto a la cabecera de las *khettaras*.

Una de las grandes dificultades en la primera estrategia es que cada vez resulta más difícil encontrar operarios para trabajar en las galerías de las *khettaras*. Otra también importante es que es preciso realizar pequeños bombeos en algunos casos, y esto choca con la mentalidad de los usuarios, aunque se plantee con energías renovables, como la solar o la eólica.

En la actualidad, hay pequeñas presas de hormigón que buscan retener el agua y recargar (figura 8), pero esto mismo se lograría con presas de gravedad de tierra compactada con un sobradero adecuado, y que son más baratos de construcción. También se realizan pozos profundos, pero aquí el número de resultados negativos es muy alto.

De un análisis detallado resulta que, en general, tanto las presas como las perforaciones, se han situado en emplazamientos poco adecuados al faltar un análisis geológico suficiente.

Para encontrar la salida a esta crisis hídrica, será necesario construir nuevas infraestructuras y adaptar otras, pero sobre todo hay que contemplar la situación con una mentalidad abierta e innovadora, con participación activa también de los usuarios, y con una planificación previa, que procure siempre adelantarse a los problemas, y no ir a remolque de ellos.

# Consideraciones generales sobre la hidrogeología del entorno de Villar de Cañas en la provincia de Cuenca

El presente artículo recoge las experiencias de la investigación hidrogeológica desarrolladas en parte por los autores, existentes en el entorno a Villar de Cañas (Cuenca), futuro emplazamiento del Almacén Temporal Centralizado (ATC). Con ello, no se pretende valorar la adecuación del emplazamiento, sino dar a conocer a los hidrogeólogos una visión general sobre la información hidrogeológica local y regional existente de la que se dispone a nivel público y que precisarán de un mayor conocimiento de la hidrogeología local y regional, dentro de los estudios que deberán realizarse en la zona.

**TEXTO** | Marc Martínez Parra, eurogeólogo (marcmartinezparra@yahoo.es), y José Ángel Díaz Muñoz, hidrogeólogo (j.diaz@terra.es)

Palabras clave  
**ATC, hidrogeología, hidroquímica, Villar de Cañas, Cuenca**

La población conquense de Villar de Cañas ha sido escogida para el emplazamiento del Almacén Temporal Centralizado, para albergar el combustible gastado de las centrales nucleares, así como otros materiales procedentes del desmantelamiento de las mismas. Con una altitud media de 848 m s.n.m, queda ubicada en la cuenca alta del Guadiana, en la comarca de La Mancha Alta, a unos 50 km al SO de la ciudad de Cuenca y a 7,5 km al SE de la autovía A-3. Su término presenta una extensión de 70,36 km<sup>2</sup> y una población total de 442 hab (Censo INE 2009), lo que representa una densidad poblacional de 6,29 hab/km<sup>2</sup>. Limita con los términos de Zafra de Zancara, Villares del Saz, Montalbanojo, Montalbo, Villarejo de Fuentes y Alconchel de la Estrella.

El clima de la zona es seco y frío, con grandes oscilaciones térmicas. La temperatura media anual es de unos 14 °C, llegando a rozar los 40 °C de temperatura máxima en verano, y alcanzando temperaturas por debajo de cero en los meses de invierno. La precipitación media es de unos 460 mm. El principal uso del suelo es la agricultura de secano.

## Red hidrológica y humedales

El término municipal es atravesado transversalmente, con una orientación NNE a SSO, por el río Zancara y por su afluente el Baina, el cual discurre por un pequeño sector al SE del mismo.

A 15 km al NO del núcleo urbano, en los vecinos términos municipales de El Hito y Montalbo, se sitúa la laguna de El Hito, protegida desde 1981 por la UNESCO como Reserva de la Biosfera de La Mancha Húmeda, como Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) desde 1998, y Reserva Natural por la Consejería de



Figura 1. Laguna de El Hito.

Los materiales carbonatados jurásicos afloran en los ejes de los anticlinales de los relieves de la Sierra de Altomira, incrementándose hacia la zona oriental

Agricultura y Medio Ambiente de Castilla-La Mancha, desde 2002 (figura 1).

Según Rubio (2002), es una laguna endorreica estacional esteparia de carácter salino, que acumula agua de las precipitaciones, presentando acusada estacionalidad, con ciclos de encharcamiento-deseccación normalmente anuales y largos periodos de sequía. Es de gran extensión (573 ha) y poca profundidad (0,1-0,15 cm a máximo

de 1 m) y se caracteriza por la ausencia de vegetación palustre y la existencia de pastizales, los cuales se encharcan en función de los niveles de agua. Sus aguas son sulfatadas y cloruradas magnésicas, con elevada salinidad, condicionada por la estacionalidad, entre 7.000-35.000 µS/cm.

## Marco geológico

El área estudiada se enclava en la Sierra de Altomira, un conjunto de relieves constituidos por materiales carbonatados mesozoicos plegados y fracturados junto a depresiones rellenas de depósitos detríticos y carbonatados terciarios, intersecado el conjunto por los afluentes del río Guadiana, que forman depósitos cuaternarios de espesor y extensión variable (figura 2).

Las descripciones se basan en las memorias de las hojas geológicas 1:50.000 del IGME (Díaz y Lendinez, 1999; Hernáiz y Cabra, 1999; Díaz *et al.*, 1999), con observaciones procedentes de los sondeos de investigación hidrogeológica.

Los **materiales carbonatados jurásicos** afloran en los ejes de los anticlinales de los relieves de la Sierra de Altomira, con un espesor teórico de 700-800 m, incrementándose hacia la zona oriental, donde están cubiertos por materiales mesozoicos y cenozoicos, como consecuencia del efecto subsidente de la cuenca. Las formaciones, de base a techo, son: 300 m de dolomías y brechas dolomíticas masivas mal estratificadas, en ocasiones con presencia de yesos; 100-125 m de calizas, dolomías y margas; 20-30 m de calizas micríticas y 80 m de calizas micríticas, oolíticas y bioclásticas, que hacia el techo evolucionan a dolomías y, por último, 200 m de calizas detríticas y dolomías.

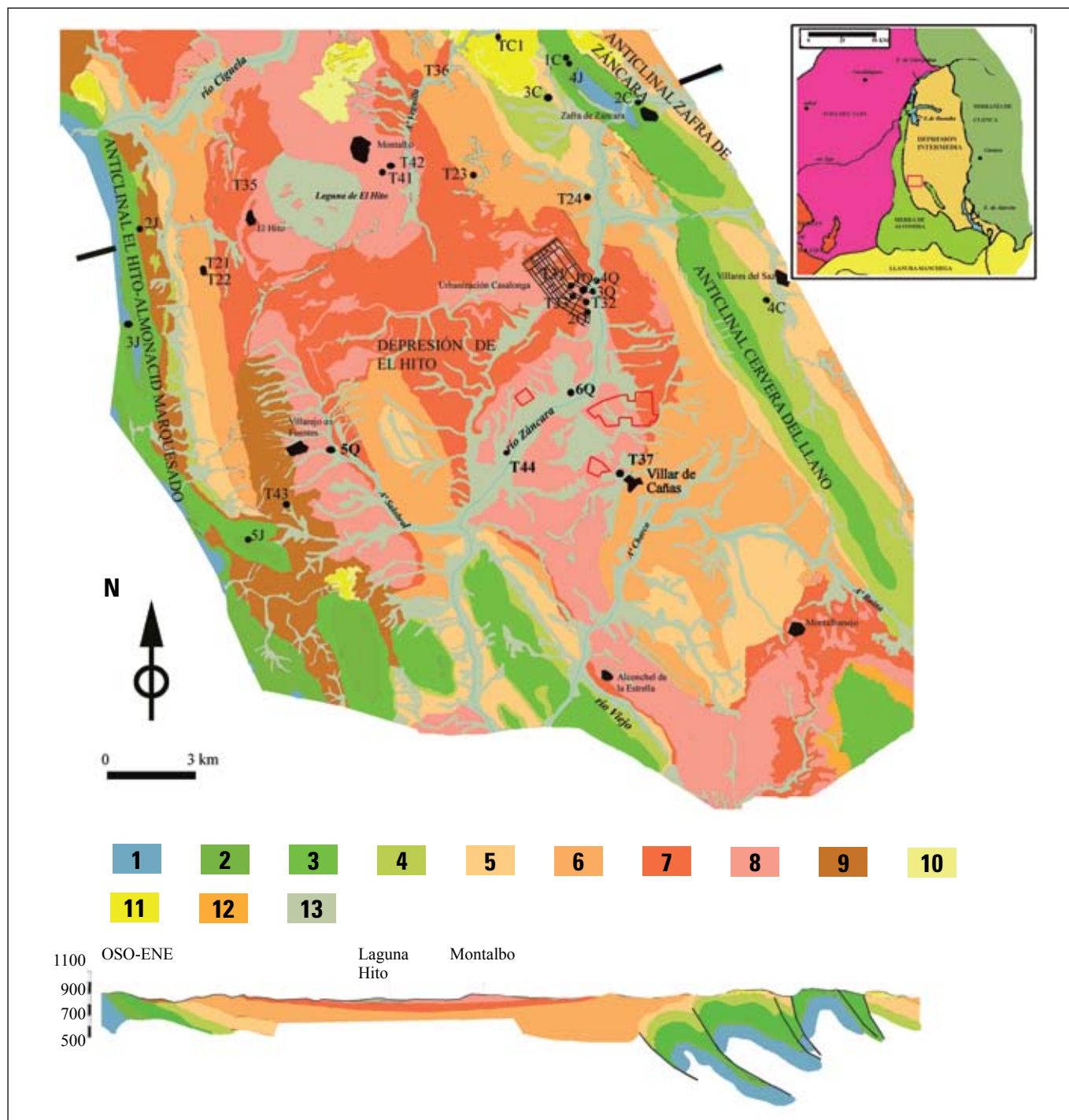


Figura 2. Esquema litológico del área estudiada. Leyenda: 1) carbonatos jurásicos; 2) arcillas, areniscas y calizas del Cretácico inferior; 3) carbonatos del Cretácico superior; 4) yesos, calizas y margas del tránsito Cretácico-Terciario; 5) T1, limos arenosos, arenas, yesos, calizas; 6) T2, limos arcillosos con yesos, horizontes de areniscas, margas, calizas; 7) T3, limos arcillosos con yesos; 8) T4, margas, calizas, yesos; 9) T5, brechas, arcillas, limos rojos, 10) T6, margas; 11) T6, calizas; 12) arcillas, margas, conglomerados; 13) depósitos cuaternarios. En perfil rojo, las zonas propuestas para el emplazamiento del ATC según la Comisión Interministerial ATC (2010).

Los **depósitos de edad cretácica** se diferencian en un tramo inferior detrítico con un espesor máximo de 140 m de arcillas, brechas y arenas; sobre las que se sitúa un tramo medio carbonatado de margas, dolomías y brechas de un espesor medio de 250 m y un tramo superior de 120-250 m de calizas, margas y yesos, predominando calizas y yesos a base y evolucionando a facies margosas yesíferas al techo.

Los **depósitos terciarios** abarcan aquellos sedimentados desde el Paleoceno hasta el Mioceno superior. Rellenan la Depresión Intermedia y son más groseros y con mayor contenido en clastos en las

proximidades del relieve mesozoico, definiéndose un conjunto de paleocanales y depósitos arenosos que irán desapareciendo conforme se avanza hacia el techo de la serie, en el centro de la depresión, evolucionando a una sedimentación más química, con la formación de yesos y calizas.

Para su descripción y su interpretación hidrogeológica se han agrupado (figuras 2 y 3), de base a techo:

- T1: 140-350 m de limos y limos arenosos rojizos, con horizontes de arenas y conglomerados que

hacia el techo evolucionan a horizontes de hasta 12 m de yesos margas y calizas (Paleógeno).

- T2: 300 m a más de 500 m de limos arcillosos y limos con yeso y horizontes de areniscas, conglomerados en el margen O de la Sierra de Altomira, y margas y calizas en el margen E (Paleógeno-Neógeno) (figura 3.1).
- T3: 300 m de limos arcillosos y limos yesíferos, con intercalaciones de brechas, areniscas y conglomerados (Neógeno).
- T4: cambio lateral de la T3 hacia el techo a 150 m de margas, calizas y yesos. Sobre estos



Figura 3.1. Perforación de un sondeo de investigación hidrogeológica en materiales detríticos terciarios en Montalbo.



Figura 3.2. Perforación de un sondeo en materiales cuaternarios junto a la urbanización Casalonga.

materiales parecen situarse las zonas propuestas para albergar el ATC (Neógeno).

- T5: en el flanco oriental de la sierra se desarrollan un conjunto de brechas, arcillas y limos rojizos que en la próxima depresión de Tresjunco alcanza los 300 m de espesor (Neógeno). En el extremo SO se desarrollan arcillas, margas, conglomerados en torno a los relieves carbonatados.
- T6: culminación de la serie consistente en un conjunto de 70 m de yesos y margas coronadas por calizas alternantes con margas conocidas como calizas de los Páramos (Neógeno).

Los **depósitos cuaternarios** de mayor importancia corresponden a los aluviales y eluviales asociados a la cuenca del río Záncara, y en el extremo occidental de la depresión y a los pies de la Sierra de Altomira, asociados a los afluentes de la cuenca del Cigüela (figura 3.2).

Estructuralmente, el área de estudio se sitúa en las estribaciones orientales de la Sierra de Altomira, en contacto con la Depresión Intermedia. El dominio de la Sierra de Altomira corresponde, grosso modo, a tres franjas de orientación NO-SE vergentes al O, constituidas por materiales mesozoicos carbonatados, plegados y cabalgados.

Estas franjas están separadas por depresiones rellenas de materiales terciarios. En el área de estudio se define la depresión de El Hito, con un espesor que podría alcanzar los 800 m.

Estas franjas están constituidas por apilamientos de anticlinales cabalgados, situándose el área estudiada entre dos de ellas, la más oriental, definida por los anticlinales de Zafrá de Záncara y Cervera del Llano, y la franja central, al O y S del área de estudio.

Respecto al dominio de la Depresión Intermedia, los materiales se disponen discordantemente a los materiales de la sierra y presentan plegamientos suaves de la misma orientación que la sierra.

En el corte ONO-ESE (figura 2) se advierte la disposición en franjas separadas e individualizadas, con sedimentos terciarios que forman la depresión de El Hito.

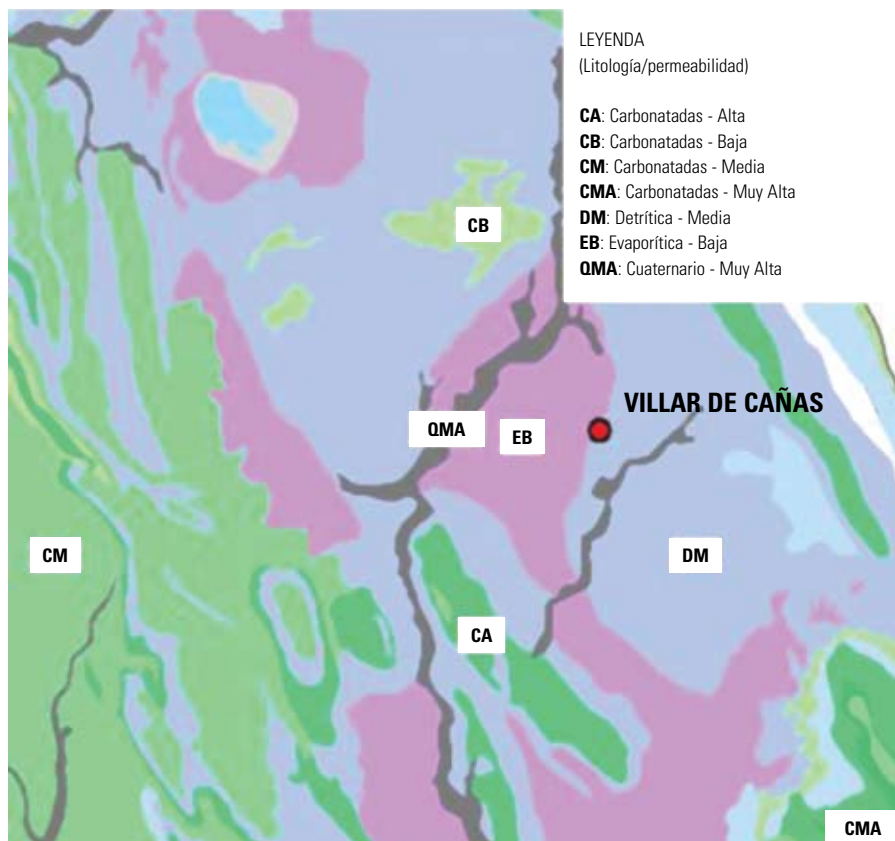


Figura 4. Mapa de permeabilidad del área de estudio (IGME, 2009).

**Permeabilidad**

Según IGME (2009), los niveles litoestratigráficos cartografiados se agrupan en cinco valores de permeabilidad (muy alta, alta, media, baja y muy baja) (figura 4). Las distintas litologías se asociaron en siete grandes grupos, de los cuales en el área de trabajo solo aparecen las carbonatada, detrítica, detrítica del Cuaternario y evaporítica.

**Formaciones acuíferas de interés local**

Regionalmente, la zona estudiada se encuentra dentro de la Masa de Agua Subterránea (MASb) 041.001 "Sierra de Altomira", formada por rocas carbonatadas del Cretácico y Jurásico, con una potencia de hasta 1.100 m, que constituyen diversos acuíferos, siendo su permeabilidad en general media y alta (figuras 2 y 4). Los acuíferos presentan carácter confinado en aquellos sectores en los que los materiales se disponen bajo las arcillas y materiales evaporíticos paleógenos. También constituyen un

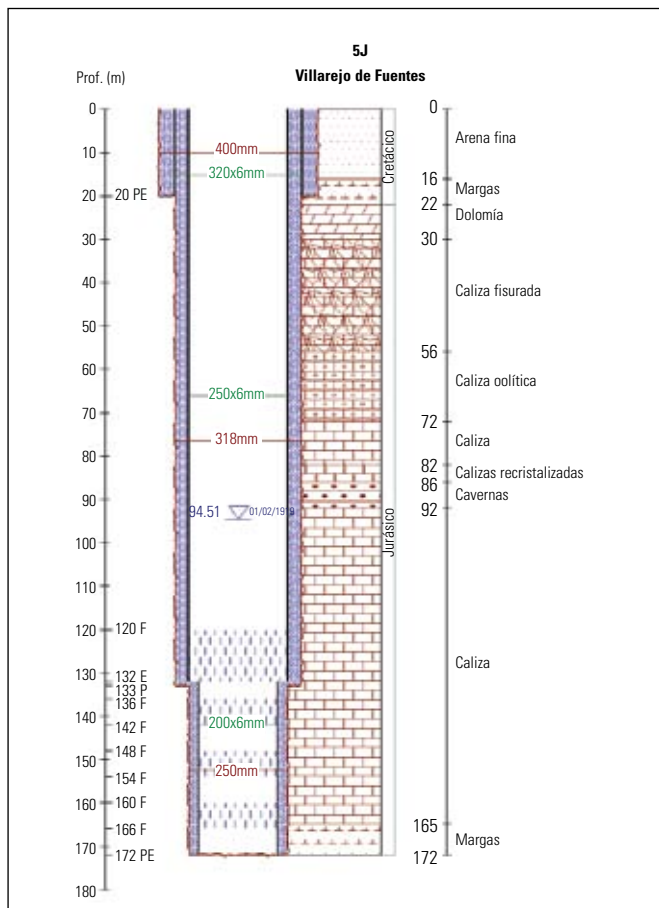


Figura 5.1. Perfil litológico del sondeo 5J (modificado de Martínez, 1999b) y C4 (Martínez, 2006b).

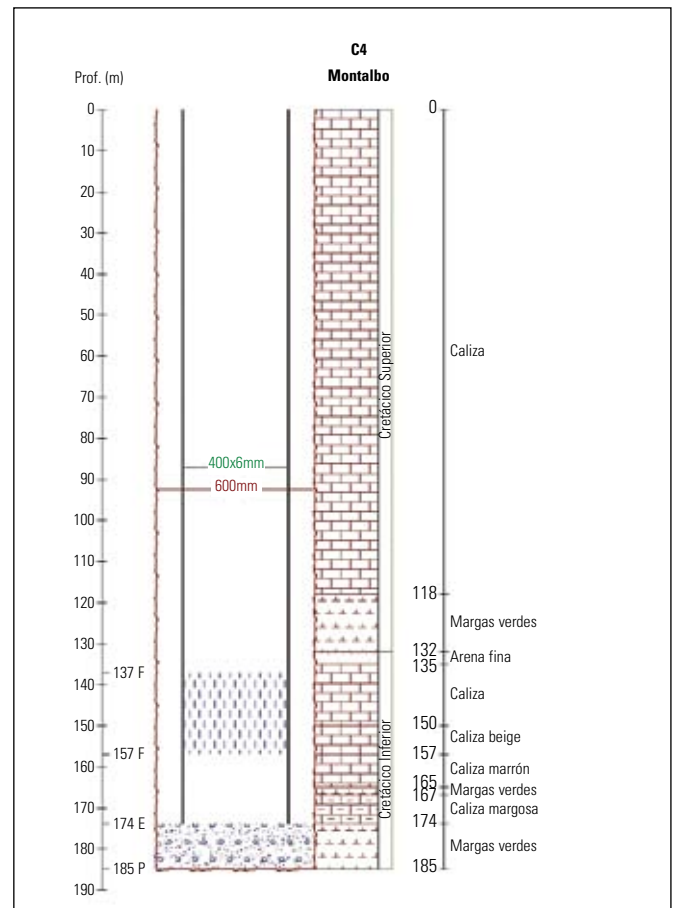


Figura 5.2. Perfil litológico del sondeo C4 (Martínez, 2006b).

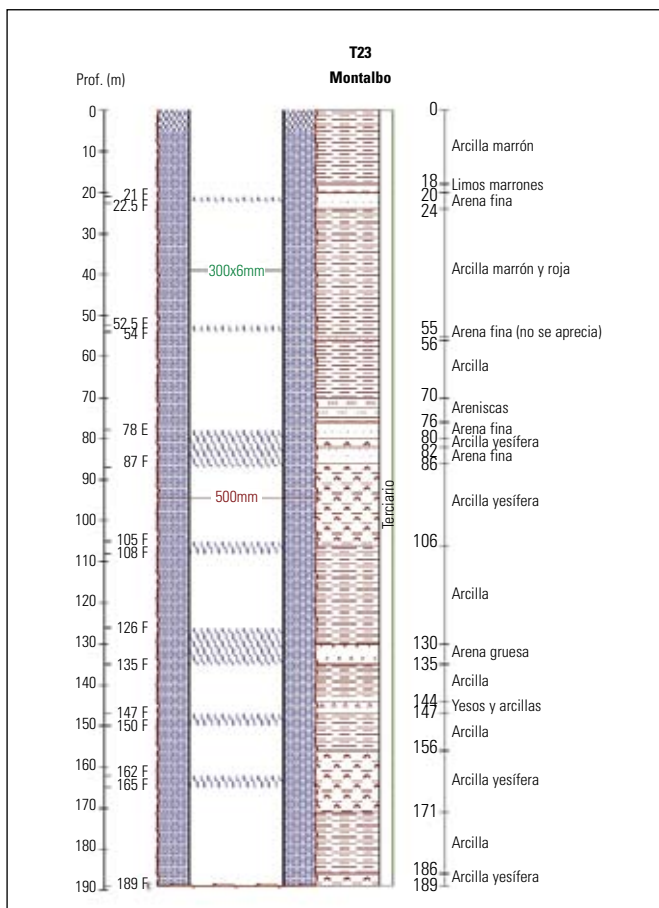


Figura 6.1. Perfil litológico del sondeo T23 (Martínez, 2006).

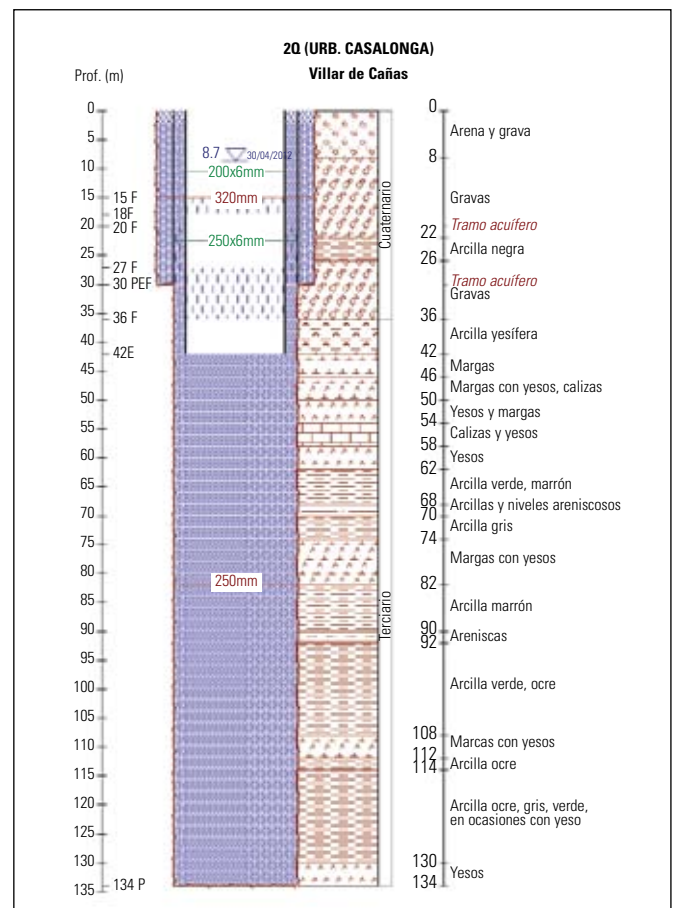


Figura 6.2. Perfil litológico del sondeo 2Q (Martínez, 2002b).



acuifero los materiales detríticos terciarios que, en la masa de agua, presenta carácter libre y una permeabilidad media.

Los niveles piezométricos de los materiales carbonatados se encuentran entre 600-900 m s.n.m.

La recarga de los acuíferos que constituyen la MASb se realiza principalmente por infiltración de agua de lluvia y de escorrentía superficial, junto a retornos de riegos. Los acuíferos también reciben aportes laterales de la cuenca del Tajo. La descarga principal se produce a través de ríos manantiales y descargas laterales, hacia el S, hacia las MASb vecinas de la Llanura Manchega y la 041.005 Rus-Valdelobos (IGME-CHG, 2010).

Como formaciones acuíferas en el área de estudio se diferencian acuíferos carbonatados jurásicos, cretácicos y terciarios; así como depósitos detríticos terciarios y cuaternarios.

#### Depósitos carbonatados jurásicos

Suponen la principal formación acuífera regional de la zona estudiada y su compleja estructura condiciona la hidrodinámica del acuífero. Aflora

## Al igual que con los acuíferos jurásicos, las formaciones acuíferas de ambos relieves que rodean la zona de estudio presumiblemente estarán desconectadas

en los núcleos anticlinales que forman los relieves que rodean la depresión de El Hito (*figura 2*). La conexión hidráulica entre las formaciones de ambos relieves no se conoce, al no disponer de sondeos que permitan determinar a qué profundidad se encontrarían en la mencionada depresión, pero su compleja estructura, correspondiente a dos cabalgamientos distintos, lleva a considerar que exista una desconexión hidráulica

entre ellos. A su vez, las distintas capas, cabalgantes entre sí, pueden constituir acuíferos locales desconectados, con diferente circulación de flujo.

Se diferencian dos formaciones acuíferas, una asociada a las formaciones superiores y otra a las inferiores, separadas por un conjunto margocalizo. Al oeste de la depresión, en el eje de El Hito-Almonacid del Marquesado, se han definido dos funcionamientos hidrodinámicos, una circulación hacia el norte, surgiendo en la vega del río Cigüela, en el manantial de Fuencaliente (1J, 800 m s.n.m.), con caudales muy variables, de secarse a superar los 50 L/s, y otra circulación hacia el sur. En este segundo caso, las captaciones 2J, 3J y 5J (El Hito, Almonacid del Marquesado, Villarejo de Fuentes) (*tabla 1, figuras 2 y 5.1*) presentan cotas piezométricas comprendidas entre 796-815 m s.n.m. Sus transmisividades son bajas, del orden de 5-17 m<sup>2</sup>/día (Fabregat, 1993; Martínez, 1999, 1999b y 2007).

En el extremo oriental de la depresión, en el anticlinal de Zafra de Zancara, el sondeo 4J (Montalbo) (*figura 5.2*) capta los acuíferos jurásico y cretácico y mostraba en 2009 una cota piezométrica de 858 m s.n.m, 50 m más elevada que la del otro extremo (Martínez, 2006b). Las transmisividades son altas, entre 1.400-1.500 m<sup>2</sup>/día. Presumiblemente su dirección de circulación será hacia el S, aunque no se disponen de datos suficientes para corroborarlo.

#### Depósitos carbonatados cretácicos

Las formaciones acuíferas corresponden al tramo medio del Cretácico y se han captado en los relieves del extremo oriental de la depresión de El Hito, en el anticlinal de Cervera del Llano (*figura 5.2*) con un espesor de 120 m. Al igual que con los acuíferos jurásicos, las formaciones acuíferas de ambos relieves que rodean la zona de estudio presumiblemente estarán desconectadas. Las cotas piezométricas se encuentran en torno a 820-840 m s.n.m. La transmisividad estimada es de 500-1.400 m<sup>2</sup>/día (Martínez, 2006b).

#### Depósitos detríticos terciarios

De los conjuntos descritos en el apartado de geología, los que constituyen las formaciones acuíferas de interés local, con presencia de captaciones, son los T2, T3, T4 y T6 (*figura 2*):

- El conjunto T2, formado por limos yesíferos o no y con presencia de niveles de areniscas y conglomerados, que constituyen los acuíferos. Se ha observado un manantial (T21, Fuente Hontanillas) y captaciones de distintas profundidades y caudales de explotación (*tabla 1*), lo que evidenciaría el funcionamiento hidrogeológico de estas cuencas detríticas: un acuífero multicapa con distintos horizontes acuíferos. Así se ha reconocido litológicamente al NE de la

|     | Z   | NAT | PROF   | PNP                         | U  | Q                     |
|-----|-----|-----|--------|-----------------------------|----|-----------------------|
| 1J  | 800 | F   |        |                             | AU | 0 (6/09)<br>50 (6/10) |
| 2J  | 880 | S   | 340    | 64,75 (3/93)<br>59,3 (7/07) | AU | 6                     |
| 3J  | 910 | S   | 300    | 105 (9/93)                  | AU |                       |
| 4J  | 993 | S   | 300    | 134,7                       | AU | 60                    |
| 5J  | 900 | S   | 172    | 104,2                       | AU | 15                    |
| 1C  | 993 | S   | 185    | 129,4 (7/88)                | AU | 40                    |
| 2C  | 840 | S   | 70,5   | 8,49 (4/02)                 | AU |                       |
| 3C  | 915 | S   | 120    | 83,97(9/94)                 | D  |                       |
| 4C  | 900 | S   | 83     | 77 (3/07)                   | AU |                       |
| T21 | 890 | F   |        |                             | AU |                       |
| T22 | 890 | S   | 55(83) | 15,35 (7/85)<br>24 (3/04)   | AU | 9                     |
| T23 | 860 | S   | 189    | 2 (6/06)                    | AU | 20                    |
| T24 | 820 | P   | 30     |                             | A  |                       |
| T31 | 840 | P   |        |                             | A  | 3                     |
| T32 | 820 | S   | 135    | 15 (9/01)                   | AU | 15                    |
| T33 | 820 | P   |        |                             | A  | 2                     |
| T34 | 825 | P   | 5,4    | 4,70                        | D  |                       |
| T35 | 890 | F   |        |                             | D  |                       |
| T36 | 860 | P   | 4,5    | 2,3 (6/74)                  | D  |                       |
| T37 | 810 | P   | 3      | 1,25 (6/74)                 | R  |                       |
| T41 | 850 | F   |        |                             | D  | 2                     |
| T42 | 855 | P   |        |                             | D  |                       |
| T43 | 890 | P   | 7      | 6 (6/98)                    | D  |                       |
| T44 | 800 | S   | 75     | 0,85 (6/74)                 | D  |                       |
| TC1 | 920 | FP  |        |                             | AU | 10                    |
| 1Q  | 820 | P   | 18     | 3 (9/01)                    | AU | 1                     |
| 2Q  | 820 | S   | 134    |                             | SU |                       |
| 3Q  | 820 | S   | 40     |                             | AU |                       |
| 4Q  | 820 | S   | 40     |                             | AU |                       |
| 5Q  | 830 | P   | 17     | 1,5 (6/98)                  | SU | 4                     |
| 6Q  | 800 | P   | 4      | 1,75 (6/74)                 | D  |                       |

Tabla 1. Captaciones en el área de estudio. Leyendas: Z: cota topográfica en m s.n.m., NAT: naturaleza, PROF: profundidad en m, PNP: profundidad del nivel piezométrico en m y fecha de medida, U: uso, Q: caudal de explotación en L/s y fecha de medida, F: fuente, S: sondeo, A: abastecimiento, AU: abastecimiento urbano, R: riego, D: desconocido, SU: sin uso. (Datos de Díaz y Lendínez, 1999, Díaz et al., 1999, Fabregat, 1993; Hernáiz y Cabra, 1999; Martínez, 1999, 1999b, 2002, 2002b, 2006, 2006b y 2007).

|                   | Mes/año | CE    | Na  | Mg  | Ca  | SO <sub>4</sub> | HCO <sub>3</sub> | NO <sub>3</sub> | Cl  | pH  |
|-------------------|---------|-------|-----|-----|-----|-----------------|------------------|-----------------|-----|-----|
| 1J                | 4/10    | 1.135 | 8   | 51  | 158 | 454             | 99               | 29              | 12  | 7,4 |
| 2J                | 9/09    | 651   | 6   | 37  | 91  | 66              | 330              | 30              | 9   |     |
| 3J                | 9/09    | 660   | 4   | 36  | 99  | 108             | 288              | 35              | 6   | 7,4 |
| 4J                | 3/10    | 3.513 | 12  | 164 | 550 | 1.720           | 194              | 10              | 17  | 7,3 |
| 5J                | 2/99    | 609   | 4   | 33  | 98  | 96              | 320              | 13              | 9   |     |
| 1C                | 6/06    | 1.366 | 8   | 84  | 244 | 700             | 235              | 19              | 10  | 7,4 |
| 4C                | 6/07    | 2.344 | 14  | 49  | 364 | 818             | 217              | 23              | 21  | 6,6 |
| T21               | 4/07    | 1.252 | 23  | 62  | 196 | 450             | 239              | 54              | 23  | 7,4 |
| T22               | 4/07    | 3.234 | 37  | 166 | 398 | 1.332           | 229              | 23              | 58  | 7,2 |
| T23               | 7/06    | 1.583 | 10  | 117 | 296 | 920             | 193              | 27              | 43  | 7,1 |
| T24               | 4/02    | 2.604 | 46  | 47  | 444 | 910             | 210              | 40              | 174 | 7,3 |
| T32               | 4/02    | 3.204 | 33  | 172 | 468 | 1.360           | 270              | 172             | 113 | 7,3 |
| T41               | 6/06    | 3.284 | 20  | 59  | 552 | 1.420           | 96               | 128             | 46  | 7,4 |
| TC1               | 4/01    | 462   |     | 11  | 71  | 22              | 180              | 42              | 30  |     |
| 1Q                | 8/4     | 2.594 | 20  | 107 | 452 | 1.280           | 222              | 76              | 37  | 7,3 |
| 2Q                | 10/4    | 2.594 | 20  | 108 | 428 | 1.170           | 280              | 36              | 48  | 7,5 |
| 3Q                | 10/4    | 2.934 | 16  | 115 | 530 | 1.440           | 239              | 18              | 35  | 7,2 |
| 4Q                | 24/4    | 2.944 | 15  | 112 | 500 | 1.380           | 262              | 45              | 37  | 7,2 |
| 5Q                | 6/98    | 638   | 11  | 20  | 115 | 154             | 192              | 68              | 11  | 7,6 |
| Laguna de El Hito | 6/10    | 5810  | 156 | 490 | 670 | 3340            | 79               | 1               | 340 | 8   |

Tabla 2. Determinaciones físico-químicas de las aguas en las captaciones y la laguna de El Hito. CE: conductividad eléctrica en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; concentraciones en  $\text{mg}/\text{L}$  (datos propios y de Fabregat, 1993; Martínez, 1999, 1999b, 2002, 2002b, 2006, 2006b y 2007).

Las formaciones acuíferas T3, más limoarcillosas y con mayor presencia en yesos, presentan manantiales

depression (T23), en Montalbo (figura 6.1): 189 m de alternancias de arcillas yesíferas de hasta 26 m de espesor con horizontes areniscosos y conglomeráticos de 2-10 m. En profundidad se comporta como un acuífero multicapa, con diferentes horizontes acuíferos situados a 20-24 m, 55 m, 74-78 m y a 130 m. Su nivel piezométrico asciende a 2 m de profundidad, evidenciando un comportamiento confinado. La transmisividad se estimó en  $40 \text{ m}^2/\text{día}$  y el caudal de explotación de 15-20 L/s (Martínez, 2006b).

- Las formaciones acuíferas T3, más limoarcillosas y con mayor presencia en yesos, presentan

manantiales y captaciones de diversa profundidad con niveles piezométricos someros y caudales de explotación de hasta 15 L/s. Se dispone de poca información en profundidad. Sin embargo, en uno de los sondeos de investigación hidrogeológica en Casalunga (2Q), de 134 m de profundidad, bajo 36 m de depósitos cuaternarios, se reconocieron depósitos terciarios de naturaleza principalmente margosa y arcillosa con presencia de yesos y ninguna formación acuífera local; en sus proximidades, los otros sondeos presentan horizontes de yesos masivos y pulverulentos (figura 6.2) (Martínez, 2002b).

- El funcionamiento hidrogeológico de estos materiales alternantes puede ser similar al descrito por Tóth (2000) para grandes cuencas sedimentarias, en el que se establecían tres tipos de flujo: local, intermedio y regional, así la circulación en estos materiales terciarios puede ir a favor de los principales cursos de agua (río Cigüela, río Záncara) donde la circulación sería ascendente; de hecho, el sondeo T23 tiene una profundidad de nivel piezométrico (PNP) de 2 m.
- El conjunto T4 presenta menor contenido de areniscas y horizontes calizos. Se ha identificado una surgencia en el entorno de Montalbo (Martínez, 2006b) (figura 7.1) durante las obras de construcción del polígono industrial al este de la localidad, bajo un paquete calizo de 1,5 m de espesor, en contacto con las margas y yesos. El caudal aproximado es de 2 L/s.

*Depósitos carbonatados terciarios*

Corresponde a la denominada caliza de los Páramos. Forman un retazo o acuífero local de  $4 \text{ km}^2$ , al NE de Montalbo, donde se encuentra la antigua



Figura 7.1. Surgencia observada en la zona de construcción (Martínez, 2006b).



Figura 7.2. Pozo-fuente de Montalbo-Palomares del Campo (Martínez, 2006).

captación de la Cantera-Palomares del Campo (TC1), con un caudal de 10 L/s (figura 7.2).

**Depósitos detríticos cuaternarios**

El aluvial del río Zancara constituye el acuífero de mayor interés de estas características, con

captaciones de poca profundidad (inferior a 5 m). Se ha estudiado en la urbanización Casalonga, donde los sondeos de investigación realizados muestran un máximo de 37 m de gravas poligénicas, con cantos redondeados de hasta 4 cm de diámetro y matriz arenosa, microconglomerados

y arenas gruesas. En uno de los sondeos se ha observado en la base una caliza pulverulenta de espesor métrico y con alta porosidad, atribuible tanto a alguna capa de caliche cuaternario o al propio terciario infrayacente (figuras 8.1 y 8.2) (Martínez, 2002b).

La PNP es somera; así, en abril de 2002, se encontraba entre 6-8,7 m de profundidad (811-814 m s.n.m.). La dirección de flujo puede estimarse que es hacia el centro del cauce y hacia el S, comportándose como un acuífero libre, con transmisividades muy variables, entre 5-450 m<sup>2</sup>/día. Los caudales de explotación alcanzan 9 L/s (Martínez, 2002b).

**Hidroquímica**

Para la elaboración del presente apartado se ha dispuesto de 19 análisis físico-químicos de diversas captaciones, así como un análisis puntual de la laguna de El Hito (tabla 2).

Las aguas de las formaciones jurásicas superiores son sulfatadas cálcicas en la surgencia de Fuencaiente, fuera del área de estudio, al norte, con notable mineralización (1.135-1.326 µS/cm), con contenidos en nitratos en torno a 15 mg/L (figura 9) (tabla 2). En los sondeos 2J y 3J, asociados a las formaciones inferiores, las aguas son bicarbonatadas cálcicas, con mayores contenidos en nitratos (30-35 mg/L) y una conductividad en torno a 660 µS/cm. En el otro extremo, el sondeo 4J,

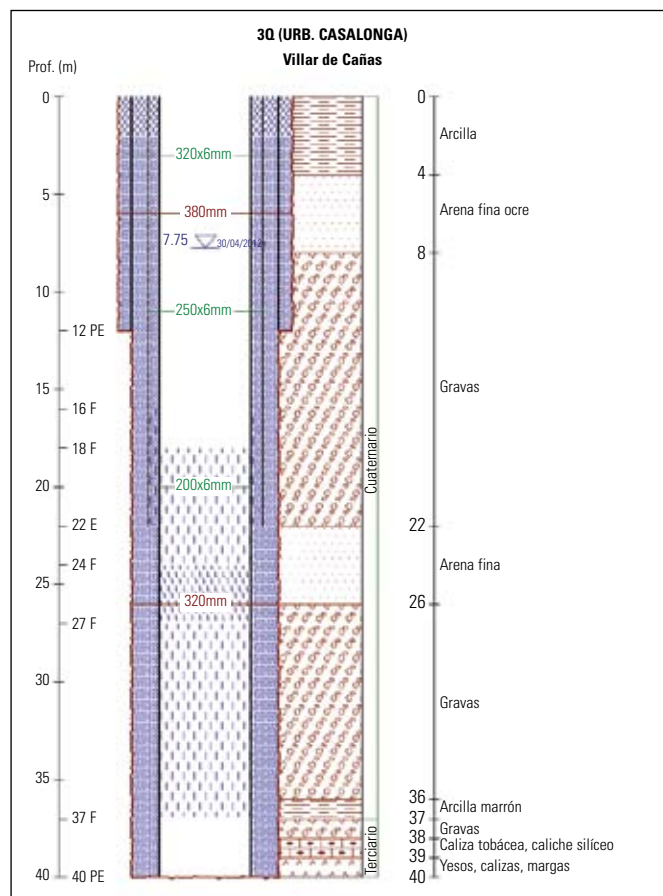


Figura 8.1. Perfil litológico del sondeo de investigación en depósitos cuaternarios 3Q en la urbanización Casalonga (Martínez, 2002b).

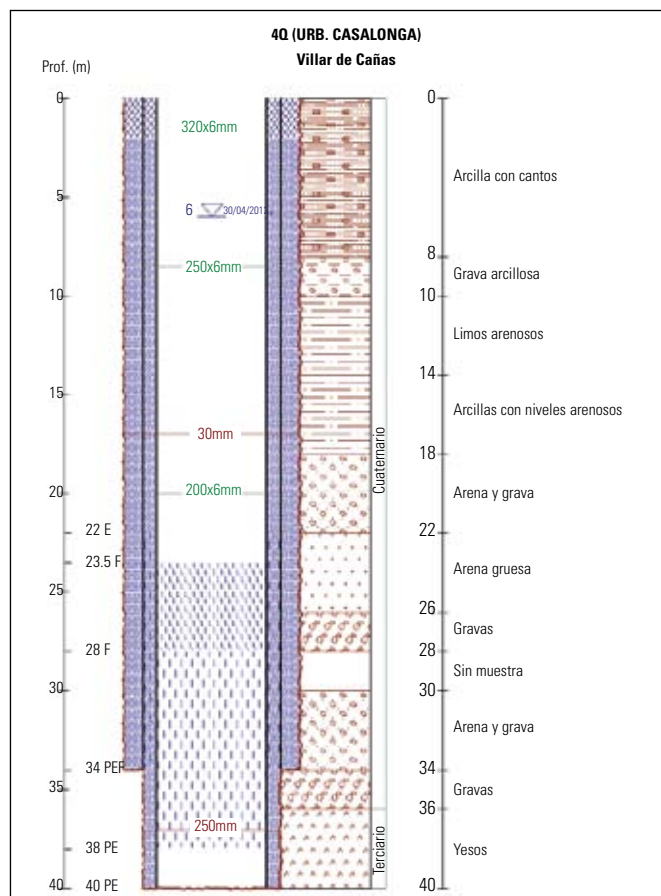


Figura 8.2. Perfil litológico del sondeo de investigación en depósitos cuaternarios 4Q en la urbanización Casalonga (Martínez, 2002b).

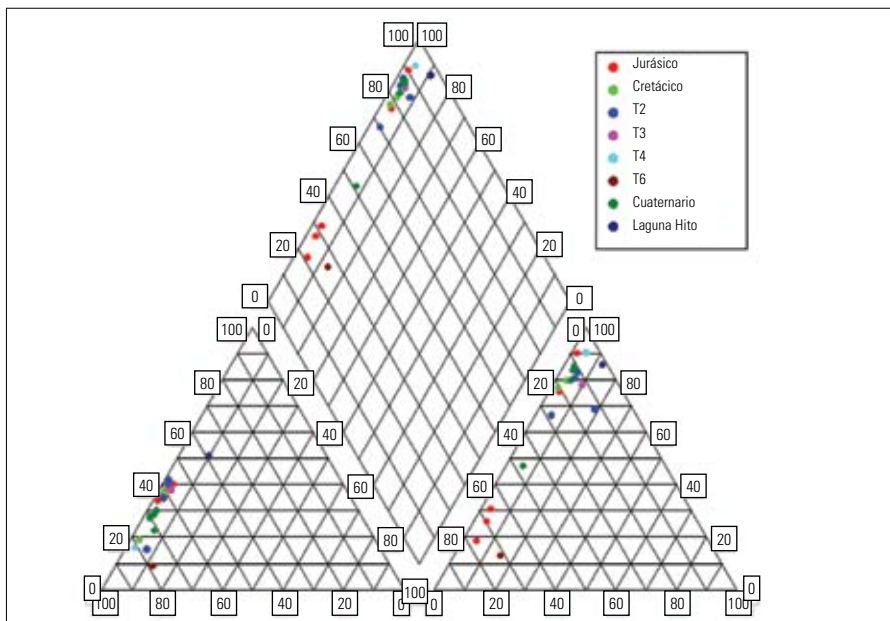


Figura 9. Diagrama de Piper-Hill-Langelier con la representación de los análisis de agua utilizados.

que capta las formaciones acuíferas inferiores y aguas mezcladas con las de los acuíferos cretácicos, la facies es sulfatada cálcica, de alta mineralización (3.513  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y bajo contenido en nitratos (10 mg/L).

Las aguas de las formaciones cretácicas son también sulfatadas cálcicas, con conductividades entre 1.366-2.344  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y contenidos en nitratos en torno a 20-25 mg/L.

Las aguas asociadas a las formaciones terciarias detríticas son sulfatadas cálcicas. En detalle, las aguas de las formaciones del conjunto T2 presentan un alto contenido en sulfatos y en nitratos, llegando a superar, en este último caso, los 50 mg/L en las aguas más superficiales, aunque en los sondeos desciende a 23-27 mg/L. Son aguas muy mineralizadas, con conductividades de 1.252-3.234  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (tabla 2). Su elevado contenido en Cl puede tener diversos orígenes, desde litológico a una influencia antrópica. Las aguas de los niveles detríticos T3 también son de facies sulfatada

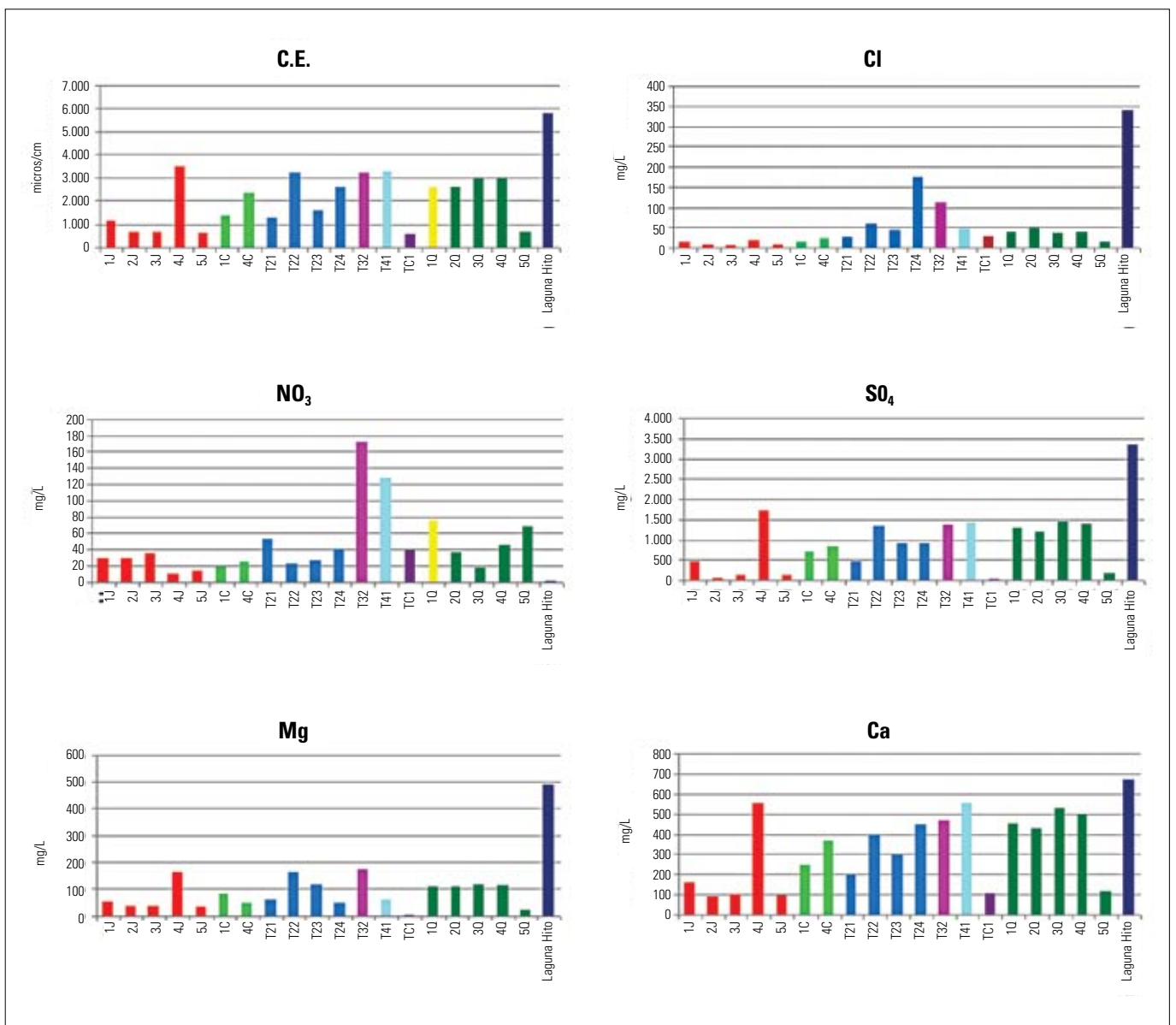


Figura 10. Gráficos comparativos de los distintos iones (Ca, Mg, SO4, Cl, NO3) y conductividad.

cálcica, mineralización elevada (1.480-3.204  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y contenidos notables en nitratos (29-172 mg/L), que puede reflejar contaminaciones de carácter muy local.

Este contenido notable en nitratos, en general, para unos depósitos alternantes, lleva a concluir que su vulnerabilidad es más elevada de lo que puede suponerse para una alternancia margas-areniscas (tabla 2).

Respecto a la surgencia de Montalbo (T4) el agua es altamente mineralizada (superior a 3.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) muy sulfatada y con alto contenido en nitratos (128 mg/L), lo que evidencia la alta vulnerabilidad del medio (Martínez, 2006b).

Las aguas de las calizas T6 presentan una baja mineralización, predominio de bicarbonato y calcio, mineralización inferior a 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , pero notables contenidos en nitratos.

La hidroquímica de los depósitos cuaternarios muestra una facies sulfatada cálcica, con conductividades entre 2.594-2.944  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (tabla 2). Destaca la elevada presencia de Cl (37-48 mg/L) y de nitratos (hasta un máximo de 76 mg/L), lo que indicaría una importante influencia antrópica.

Comparativamente (figuras 9 y 10), los acuíferos jurásicos y carbonatados terciarios presentan aguas menos mineralizadas y de facies bicarbonatada cálcica, con menor contenido en Ca, Mg,  $\text{SO}_4$  y Cl. Los depósitos detríticos terciarios presentan

contenidos similares en  $\text{SO}_4$ , aunque sí varían en la presencia de Cl, Ca y Mg. Las aguas de los depósitos detríticos cuaternarios son muy similares a los terciarios. En contenido de nitratos es mayor, en general, en los depósitos cuaternarios y en algunas captaciones detríticas terciarias. La muestra de la laguna de El Hito es completamente distinta a las aguas asociadas a las formaciones acuíferas, siendo un agua sulfatada cálcica, de alta conductividad, superior a 5.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y elevado contenido en Cl, que podría indicar una evaporación de sus aguas.

### Conclusiones

El presente artículo pretende manifestar el conocimiento adquirido durante años de trabajo en relación con la investigación hidrogeológica orientada al abastecimiento de poblaciones en la provincia de Cuenca.

El término de Villar de Cañas se sitúa, hidrogeológicamente, dentro de la MASb 041.001 "Sierra de Altomira".

Este área de estudio presenta, en profundidad, diversas formaciones hidrogeológicas, las de interés regional, constituidas por los materiales carbonatados jurásicos y cretácicos, fuertemente compartimentadas, y las formaciones de interés local, constituidos por materiales terciarios y cuaternarios. Las formaciones regionales,

en esta zona, se emplean, principalmente, para el abastecimiento a poblaciones.

Las formaciones de interés local no están exentas de utilización, con caudales de explotación apreciables, que pueden alcanzar los 15 L/s.

La interrelación entre todas estas formaciones acuíferas no se conoce en detalle y debería ser uno de los objetos de los estudios en profundidad sobre hidrogeología que se puedan realizar en la zona.

Hidroquímicamente, en los acuíferos jurásicos y cretácicos predominan las facies bicarbonatadas cálcicas, aguas mixtas o sulfatadas cálcicas, con una mineralización notable, mientras que en los acuíferos terciarios y cuaternarios predominan las facies sulfatadas cálcicas con elevadas mineralizaciones.

La presencia de notables contenidos en nitratos en los acuíferos terciarios, entre 23-172 mg/L, también muestra una vulnerabilidad del medio a la acción antrópica, por ello también resultaría de interés conocer la capacidad de infiltración de los terrenos detríticos terciarios.

Es preciso un mayor estudio de detalle de las formaciones acuíferas terciarias, su funcionamiento, sus interrelaciones y su posible conexión con los acuíferos carbonatados que puedan existir en profundidad, de los cuales no se dispone de información hidrogeológica así como con los cursos de aguas fluviales.

### Bibliografía

- Comisión Interministerial ATC (2010). *Examen de terrenos presentados por municipios candidatos (resumen). Municipio de Villar de Cañas. Proyecto ATC y su centro tecnológico*. [http://www.emplazamientoatc.es/Candidatos/Proyectos/Villar%20de%20Cañas/Anexoll\\_Terrenos\\_Villar.pdf](http://www.emplazamientoatc.es/Candidatos/Proyectos/Villar%20de%20Cañas/Anexoll_Terrenos_Villar.pdf)
- Díaz, M. y Lendinez, A. (1999). *Mapa geológico E 1:50.000 n° 633 "Palomares del Campo"*. Memoria e informe hidrogeológico complementario. IGME.
- Díaz, A., Cabra, P. y Delgado, G. (1999). *Mapa geológico E 1:50.000 n° 662 "Valverde de Júcar"*. Memoria e informe hidrogeológico complementario. IGME.
- Fabregat, V. (1993). *Informe final del sondeo de investigación para la mejora pública del abastecimiento a Almonacid del Marquesado (Cuenca)*. IGME-Diputación de Cuenca. Informe interno.
- Hernáiz, P. P. y Cabra, P. (1999). *Mapa geológico E 1:50.000 n° 661 "Villarejo de Fuentes"*. Memoria e informe hidrogeológico complementario. IGME.
- IGME (2009). *Mapa de Permeabilidad de España a escala 1:200.000*. <http://www.igme.es>.
- IGME-CHG (2010). *Actividad 2: Apoyo a la caracterización adicional de las masas de agua subterránea en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales en 2015*. Demarcación Hidrográfica del Guadiana. Masa de Agua Subterránea 041.001 "Sierra de Altomira".
- Martínez, M. (1999). *Informe hidrogeológico para la mejora del abastecimiento público de agua potable a la localidad de Villarejo de Fuentes*. IGME-Diputación de Cuenca. Informe interno.
- Martínez, M. (1999b). *Informe final de los sondeos de investigación para el abastecimiento de agua potable a la localidad de Villarejo de Fuentes*. IGME-Diputación de Cuenca. Informe interno.
- Martínez, M. (2002). *Informe hidrogeológico para el abastecimiento público de agua potable a la Urbanización Casalonga, perteneciente a la localidad de Villar de Cañas (Cuenca)*. IGME-Diputación de Cuenca. Informe interno.
- Martínez, M. (2002b). *Informe final de los sondeos de investigación para el abastecimiento de agua potable a Urbanización Casalonga, sita en el término municipal de Villar de Cañas (Cuenca)*. IGME-Diputación de Cuenca. Informe interno.
- Martínez, M. (2006). *Informe hidrogeológico para la mejora del abastecimiento público de agua potable a la localidad de Montalbo*. IGME-Diputación de Cuenca. Informe interno.
- Martínez, M. (2006b). *Informe final de los sondeos de investigación para el abastecimiento de agua potable a la localidad de Montalbo y propuesta de perímetros de protección*. IGME-Diputación de Cuenca. Informe interno.
- Martínez, M. (2007). *Informe hidrogeológico para la mejora del abastecimiento público de agua potable a la localidad de El Hito*. IGME-Diputación de Cuenca. Informe interno.
- Rubio, M. (2002). *Laguna de El Hito*. Ficha informativa de los Humedales Ramsar. [http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-humedales/47\\_fir\\_hito\\_tcm7-20695.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-humedales/47_fir_hito_tcm7-20695.pdf)
- Tóth, J. (2000). Las aguas subterráneas como agente geológico, causas procesos y manifestaciones. *Boletín Geológico y Minero*, 111 (4): 9-26.

# Hidrocarburos no convencionales (I)

## Conceptos básicos, historia, potencialidad y situación actual

Se describen las diferencias y analogías entre los hidrocarburos convencionales y los hidrocarburos no convencionales, los diferentes tipos de hidrocarburos no convencionales, su historia y evolución, la situación actual y algunas consideraciones sobre la importancia que pueden jugar en el futuro. En la segunda parte de este artículo se revisarán las técnicas empleadas en la explotación de los hidrocarburos no convencionales, la fracturación hidráulica o *fracking*, comentándose los aspectos que, en los últimos meses, están generando una amplia repercusión en los medios de comunicación.

**TEXTO I** Juan García Portero, geólogo. Colegiado nº 573 del ICOG, responsable de exploración en la Sociedad de Hidrocarburos de Euskadi (SHESA).

Palabras clave  
**Hidrocarburos convencionales, hidrocarburos no convencionales, shale gas.**

Los términos gas no convencional, petróleo no convencional y, en sentido más amplio, hidrocarburos no convencionales han irrumpido muy recientemente en nuestras vidas, no solamente en los círculos científicos y técnicos sino, incluso, en los medios de comunicación no especializados. Una primera consecuencia de la introducción de los términos hidrocarburos no convencionales es que ha obligado a adjetivar como hidrocarburos convencionales a aquellos que hasta la aparición de estos conceptos eran denominados simplemente como hidrocarburos.

Es obvio que vamos a convivir muchos años con los hidrocarburos no convencionales y que, muy posiblemente, van a jugar un papel muy importante en el futuro energético de la humanidad.

### Conceptos básicos

Por lo anterior, parece adecuado repasar qué son los hidrocarburos no convencionales, cómo se explotan y por qué pueden ser importantes para todos nosotros. Con objeto de lograr una mayor claridad en la descripción, es conveniente comenzar definiendo el significado del concepto hidrocarburos convencionales.

#### Hidrocarburos convencionales

Son los que, desde que el coronel Drake perforó el primer pozo para explotación de petróleo en Titusville (Pensilvania, EE UU) en el año 1859, han venido representando la principal fuente energética para la humanidad. Primero el petróleo y luego, conjuntamente, el petróleo y el gas han sido, y siguen siendo, una fuente de energía abundante y barata, sobre la que la humanidad, especialmente los países occidentales, han

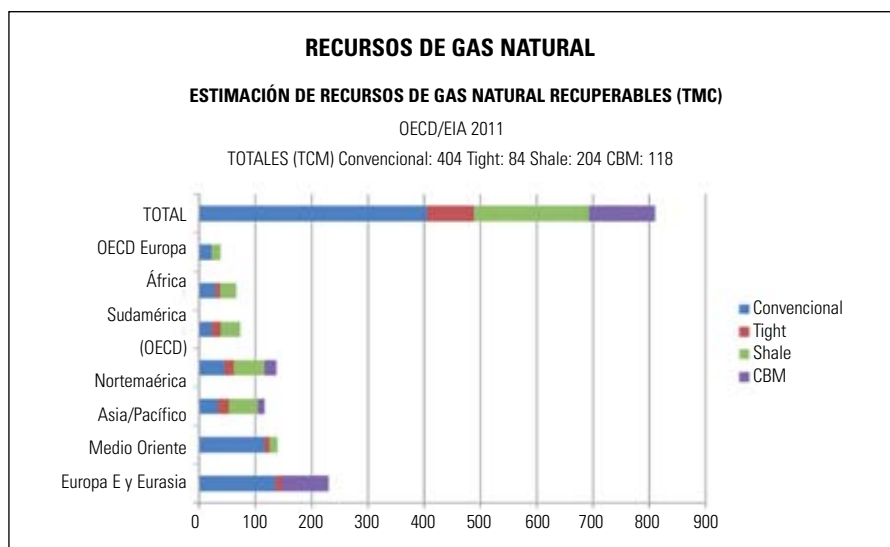


Figura 1. Estimación de recursos mundiales de gas (convencional y no convencional) recuperables (elaboración propia de la SHESA a partir de OECD/IEA, 2011).

fundado su espectacular desarrollo económico y bienestar a lo largo de los siglos XIX y XX. Actualmente, el petróleo y el gas convencionales no son tan abundantes y baratos como lo eran hace unas cuantas décadas, pero aún representan una fuente energética ampliamente disponible a precios relativamente asequibles.

En cualquier caso, y ya en relación con el contenido de este artículo, conviene precisar que los hidrocarburos convencionales, los que la humanidad lleva explotando industrialmente más de 150 años, reúnen dos características distintivas:

- Han migrado a una roca reservorio desde la roca madre (una roca rica en materia orgánica) donde se han generado.

- Las rocas reservorio en las que se encuentran, y de las que se extraen, son porosas y permeables, lo que permite que el hidrocarburo fluya con relativa facilidad desde el almacén rocoso al pozo y, por la perforación, hasta la superficie.

Así, pues, empleando estas dos características mencionadas, se podría formular una definición de los hidrocarburos convencionales, ya sea petróleo o gas, conveniente a los fines de diferenciarlos de los hidrocarburos no convencionales. Los hidrocarburos convencionales son los que se encuentran albergados en una roca almacén o reservorio porosa y permeable, de la que son capaces de fluir hasta la superficie cuando se perfora dicho reservorio. Esta "facilidad" en su

extracción es la causa por la que, hasta la fecha, la explotación de hidrocarburos ha estado focalizada casi exclusivamente en estos hidrocarburos convencionales. No es necesario recalcar que en un reservorio convencional el hidrocarburo se encuentra almacenado en los poros, en los espacios abiertos de la roca.

Estas rocas almacén, porosas y permeables, están comenzando a ser adjetivadas como reservorios convencionales.

#### *Hidrocarburos no convencionales*

En principio, los hidrocarburos no convencionales serán aquellos que no cumplan los requisitos con los que se han caracterizado los hidrocarburos convencionales en el epígrafe anterior (estar albergados en rocas porosas y permeables, capacidad de fluir sin estimulación).

El problema es que, así definido, el grupo incluye un rango amplio y heterogéneo de tipos de acumulaciones de hidrocarburos. El objetivo de este artículo es describirlos todos, a veces solo citarlos, con objeto de proporcionar al menos una referencia de cada uno de ellos, para posteriormente centrarse en aquellos que actualmente están siendo ya objeto de una intensa actividad exploratoria en todo el mundo, casi siempre acompañada de un cierto debate público.

Ese grupo amplio y heterogéneo de tipos de acumulaciones de hidrocarburos que conformarían el grupo de hidrocarburos no convencionales incluye:

- *Hidratos de gas*: también denominados caltratos. Se generan y almacenan en sedimentos marinos actuales, profundos, depositados en los fondos marinos. El gas natural se encuentra en forma de sólidos cristalinos, como "cristales de hielo", que consisten en moléculas de metano densamente empaquetadas rodeadas por moléculas de agua. El metano se encuentra cristalizado debido a las altas presiones y bajas temperaturas reinantes. Estados Unidos es el país que lidera el estudio de este tipo de recurso energético y del desarrollo de las tecnologías que puedan permitir su futuro aprovechamiento industrial. En cualquier caso, conviene puntualizar que su explotación comercial, si algún día llega a producirse, se encuentra aún lejana. Sin embargo, los recursos de este tipo de gas no convencional son muy superiores a los del gas convencional. El lector puede encontrar una amplia información sobre este tipo de acumulaciones de hidrocarburos en *AAPG Memoir 89, (2009)* y en *Geological Society Special Publication, nº 319 (2009)*.
- *Oil sands*: también suelen denominarse *tar sands*. Son arenas con bitumen (mezcla de hidrocarburos pesados) relleno de los poros. En condiciones normales de presión y temperatura, el

## La potencialidad que empieza a vislumbrarse en los hidrocarburos no convencionales está generando el convencimiento de que el mundo está a las puertas de una verdadera revolución energética

bitumen no fluye y es necesario calentar la roca. Del destilado del bitumen se obtiene petróleo. Los depósitos más importantes se encuentran en Canadá (Alberta), en areniscas del Cretácico: la formación geológica que alberga el petróleo pesado ocupa unos 140.000 km<sup>2</sup>. Es el único lugar donde se explotan industrialmente, con una larga tradición. También se explotan en Venezuela, pero con producciones muy pequeñas. Las reservas mundiales de petróleo contenidas en este tipo de acumulaciones no convencionales son enormes, solo en el distrito de Alberta se estiman en 174.500 millones de barriles (equiparable a las reservas convencionales de petróleo de Arabia Saudita). Información adicional sobre este importante tipo de acumulación de hidrocarburos puede encontrarse en la página web del Servicio Geológico de Alberta ([www.ags.gov.ab.ca](http://www.ags.gov.ab.ca)).

- *Coal bed methane (CMB)*: es el gas natural, metano, asociado a las capas de carbón. El gas se encuentra retenido en fracturas y, fundamentalmente, adsorbido en la matriz de la roca (carbón). Existen importantes reservas mundiales de gas natural asociadas a este tipo de acumulaciones no convencionales (véase figura 1). Los principales productores son: Estados Unidos, donde el 7,5% de su producción total de gas proviene de este tipo de recurso no convencional, Canadá y Australia.
- *Tight gas*: es el gas natural contenido en rocas muy compactas, areniscas y/o calizas, con valores de permeabilidad matricial muy bajos. No son rocas madres, son rocas almacén, aunque muy compactas. Por tanto, el gas no se ha generado en ellas, ha migrado desde la roca madre y se encuentra contenido en microfracturas y en la escasa porosidad matricial de la roca. Existen importantes reservas mundiales de gas asociadas a este tipo de acumulaciones (véase figura 1).

- *Shale oil y shale gas*: los términos no son muy adecuados puesto que implican que los hidrocarburos se encuentran en lutitas, lo cual no siempre es cierto. Aquí, el lector debe interpretar la palabra shale (lutita) en sentido muy amplio, incluyendo lutitas ricas en materia orgánica, margas organógenas, etc., es decir, las litologías que constituyen las rocas madre de hidrocarburos: rocas con tamaño de grano muy fino, ricas en materia orgánica y con muy bajos valores de porosidad y permeabilidad matricial. En otras palabras, el *shale oil* y el *shale gas* son los hidrocarburos, ya sea petróleo o gas, que se encuentran almacenados en la roca madre en la que se generaron. En consecuencia, en el caso del *shale oil* y del *shale gas*, la roca madre del sistema es también la roca reservorio. En castellano, el término *shale gas* se está traduciendo como "gas de pizarra" o "gas de esquisto", por lo que adolece de una imprecisión similar, o incluso mayor, que la propia de su equivalente en inglés. Debe entenderse el gas contenido en la propia roca generadora, independientemente de su composición litológica. En cualquier caso, el *shale oil* y, especialmente, el *shale gas* son los tipos de acumulaciones no convencionales de hidrocarburos cuya exploración-producción está experimentando un mayor auge en los últimos años, así como una creciente repercusión en los medios de comunicación. Las reservas mundiales de gas asociadas a este tipo de acumulaciones son muy importantes (véase figura 1).

El *shale oil*, *shale gas* y el *tight gas* son los hidrocarburos no convencionales sobre los que versa este artículo.

#### **Algunas precisiones adicionales**

Hasta aquí, se han comentado las diferencias existentes entre los hidrocarburos convencionales y los hidrocarburos no convencionales. Debe añadirse que esas diferencias no radican ni en su génesis ni en su composición, sino exclusivamente en las rocas en las que se encuentran y en la forma de extraerlos.

Los hidrocarburos no convencionales y los hidrocarburos convencionales son composicional y genéticamente idénticos, solo se diferencian en que los segundos han migrado a una roca reservorio permeable (reservorio convencional) y los primeros permanecen en la roca madre donde se generaron (*shale oil y shale gas*) o han migrado a rocas reservorio muy compactas (*tight gas*). Las rocas generadoras y las rocas compactas (*tight*) que contienen hidrocarburos se denominan reservorios no convencionales.

No se ha establecido una definición más precisa del gas no convencional. La que habitualmente se considera es la aportada por el *National Petroleum Council* de los Estados Unidos que define el gas no convencional como "aquel gas natural que no puede ser producido en caudales

y volúmenes económicos a menos que el pozo sea estimulado mediante fracturación hidráulica a gran escala o recurriendo a la perforación de multilaterales desde un pozo principal u otra técnica que haga entrar en contacto más superficie de la roca con el pozo”.

De hecho, en los Estados Unidos, la delimitación entre gas convencional y gas no convencional deriva de consideraciones tributarias establecidas en función de la permeabilidad del yacimiento.

En cuanto a las rocas almacén, el acuerdo generalmente aceptado es considerar que una roca reservorio con valor de permeabilidad por debajo de 0,1 mD (miliDarcy) es un reservorio no convencional (así, el hidrocarburo que contenga será un hidrocarburo no convencional); por el contrario, una roca almacén con valor de permeabilidad mayor que 0,1 mD es un reservorio convencional (el hidrocarburo que contenga será un hidrocarburo convencional).

En un reservorio no convencional del tipo *gas shale* (rocas ricas en materia orgánica, rocas generadoras, con valores de permeabilidad matricial muy bajos, que contienen gas), el hidrocarburo se encuentra:

- Como gas libre en los poros, espacios abiertos de la roca (en este tipo de litologías, microespacios): microporosidad intergranular y/o de fractura.
- Como gas adsorbido en los granos minerales y fundamentalmente en la materia orgánica (kerógeno y/o bitumen) que contiene la roca.
- Como gas disuelto en la materia orgánica contenida en la roca.

### Reseña histórica

Hasta muy recientemente, las rocas madres de hidrocarburos no han representado objetivos exploratorio-extractivos de interés. Su papel en los Sistemas Petrolífero-Gasísticos convencionales se ha restringido a la capacidad para generar los hidrocarburos que se aportan al sistema.

No obstante lo anterior, extraer gas y/o petróleo de reservorios no convencionales no es un hecho nuevo. A lo largo de la historia se han obtenido de este tipo de reservorios producciones marginales de hidrocarburos. De hecho, curiosamente, el inicio de la primera explotación medianamente comercial de gas en los Estados Unidos tuvo lugar el año 1821 y consistió en la extracción de gas natural a partir de una lutita del Devónico (la Dunkirk Shale), un reservorio no convencional; el gas que se producía, un gas no convencional, se empleó para iluminar la ciudad de Fredonia, en el estado de Nueva York.

En cualquier caso, todo cambió radicalmente en los años ochenta y noventa del siglo XX. El cambio, realmente cabe catalogarlo como una revolución energética en base a la trascendencia que puede llegar a tener, comenzó en los Estados

Unidos. Allí, las compañías de exploración-producción descubrieron que era posible producir comercialmente hidrocarburos (gas, en aquel caso) a partir de una roca madre (una *gas shale*, lutita con gas). Ocurrió en Texas, en la cuenca de Forth Worth, la formación geológica era el Barnett Shale, una lutita negra de edad Dinantiense (Carbonífero), cuyo nombre ha quedado grabado para siempre en un lugar de honor en la historia de la explotación de hidrocarburos. Las empresas, hay que citar aquí específicamente a *Mitchell Energy & Development Company*, descubrieron que la forma de hacerlo era:

- Creando permeabilidad artificial en la roca mediante fracturación a gran escala, incrementando así su baja o muy baja permeabilidad natural, lo que permitía aumentar notablemente los volúmenes de gas producidos por pozo. El método de fracturación (estimulación) empleado fue la fracturación hidráulica (*fracking*), consistente en inyectar en la roca agua a presión con arena y algunos aditivos. Es una técnica que ya se venía empleando en Texas, de forma puntual, desde los años cincuenta del siglo XX, pero que se ha desarrollado espectacularmente a partir de su empleo en el Barnett Shale.
- Perforando pozos horizontales o, más concretamente, pozos que, al entrar en la formación objetivo, se inclinaban lo necesario con objeto de discurrir dentro de la formación, sin llegar a cortar su muro.

El éxito exploratorio y económico del Barnett fue espectacular, tanto que hoy en día esta formación geológica suministra aproximadamente el 7% del volumen total de gas producido en los Estados Unidos. El lector puede encontrar un relato detallado de este apasionante descubrimiento en Steward (2007). Con todo, lo más importante fue el cambio conceptual, el cambio de pensamiento, que introdujo; puede resumirse en algo tan sencillo como que: las rocas generadoras pueden ser buenos objetivos para la exploración-producción de hidrocarburos.

El horizonte exploratorio que se abrió fue inmenso, fundamentalmente por los siguientes motivos:

- Las rocas madres son relativamente abundantes en muchas cuencas geológicas, incluso en cuencas geológicas en las que no se conocen acumulaciones convencionales de hidrocarburos, en las que nunca ha habido producción.
- Frecuentemente se trata de formaciones geológicas muy extensas, presentes a escala de toda la cuenca, o de sectores amplios de la cuenca geológica (cientos o miles de km<sup>2</sup>), relativamente uniformes en composición y contenido orgánico.

- Una acumulación de hidrocarburos no convencionales en una roca madre (*shale gas, shale oil*) requiere de un menor número de componentes y procesos geológicos que una acumulación convencional, con lo cual su probabilidad de existencia es mayor. Para que se encuentren hidrocarburos preservados en un reservorio convencional han de cumplirse los siguientes requisitos: 1) existencia de roca madre, 2) maduración térmica adecuada para que se genere el hidrocarburo, 3) existencia de roca almacén convencional, porosa y permeable, 4) migración primaria, proceso de expulsión del hidrocarburos de la roca madre, 5) migración secundaria o circulación del hidrocarburo hasta alcanzar un reservorio convencional poroso y permeable, 6) existencia de trampa, ya sea estratigráfica, estructural o de otra naturaleza, 7) existencia de una roca sello que aisle el almacén convencional, y 8) en el caso de las trampas estructurales, una cronología adecuada que posibilite que la trampa estructural esté ya formada con anterioridad a la migración del hidrocarburo.
- Una acumulación de hidrocarburos no convencionales en una roca madre solamente necesita que se cumplan los dos primeros requisitos del listado anterior.

Considerando lo anterior, no es de extrañar que, tras el éxito exploratorio del Barnett Shale, las compañías americanas de exploración-producción identificasen muchos otros potenciales objetivos no convencionales en los Estados Unidos y, en muy pocos años, al Barnett le siguieron diversos éxitos exploratorios: Fayetteville, Haynesville, Marcellus, Woodford, Antrim, New Albany, Lewis, etc. (véase figura 2). Nótese la enorme extensión de algunos de estos objetivos no convencionales (*gas shale*).

Todos ellos fueron paulatinamente puestos en producción, lo que ha propiciado que, en el año 2010, el 23% del gas producido en los Estados Unidos ya proviniera de reservorios no convencionales tipo *gas shale* (Boyer *et al.*, 2011). Además, el gas no convencional puesto en el mercado ha permitido que los Estados Unidos estén dejando de ser un país netamente importador de gas a estar más cercano a ser autosuficiente y posiblemente llegar a serlo en un futuro más o menos cercano.

Este significativo aumento de la producción de gas en los Estados Unidos está teniendo dos importantes consecuencias: la primera es que allí los precios del gas natural han experimentado un descenso significativo, situándose en el entorno de los 3 US\$/millón de BTU (que significa British Thermal Units, una medida de energía en la que normalmente se expresan los precios del gas natural; aunque su conversión en m<sup>3</sup> es dependiente del valor del poder calorífico del



gas en cuestión, puede estimarse que 1 MBTU es equivalente a 25,22 Nm<sup>3</sup>, normal metros cúbicos), frente a los precios en Europa que rondan los 9 o 10 US\$/millón de BTU y los 12 US\$/millón de BTU en Japón (OCDE-EIA, 2011); la segunda es que el aumento del autoabastecimiento en los Estados Unidos está liberando, poniendo en el mercado mundial, importantes volúmenes de gas natural licuado (LNG), lo que está propiciando que se comience a producir un lento desacople de los precios del gas natural con respecto a los del petróleo. En la situación actual, el hecho de que los precios del gas estén anexados a los del petróleo implica que se mantengan en valores altos, lo cual es un escenario negativo para países y/o regiones geopolíticas como Europa, en general para todos los occidentales, con bajas producciones y altos consumos.

Resultaba obvio que, al menos desde un punto de vista geológico, el éxito exploratorio obtenido en los Estados Unidos para el *shale gas* y el *shale oil* podía ser repetible en otras cuencas geológicas, siempre y cuando tuvieran rocas ricas y en materia orgánica con maduración térmica adecuada. Por ello, la exploración de los hidrocarburos no convencionales se extendió de forma relativamente rápida por todo el mundo. Esto ha ocurrido ya en tiempos muy recientes, en los años noventa del siglo XX y, fundamentalmente, principios del siglo XXI (en España, los primeros permisos de investigación para hidrocarburos no convencionales se solicitaron en la Cuenca Vasco-Cantábrica en los años 2005 y 2006).

**Situación actual y potencialidad**

A fecha de hoy, la situación de la exploración-producción de hidrocarburos no convencionales, más específicamente para el caso concreto del *shale gas*, es la siguiente:

- En los Estados Unidos, el principal país productor, la actividad de exploración y producción está plenamente consolidada, con producción anual del orden de 4,87 TCF (trillones de pies cúbicos, trillones en la acepción anglosajona, 10<sup>12</sup>), año 2010 (Boyer *et al.*, 2011) y creciendo, lo que representa ya el 23% de la producción de gas natural en los Estados Unidos. Este volumen de gas producido proviene solamente de las siete principales formaciones geológicas (reservorios no convencionales tipo *gas shale*) representadas, entre otras, en la *figura 2*. Considerando la producción conjunta de gas no convencional en los Estados Unidos (*shale gas* más *tight gas* y *coal bed methane*), el porcentaje sobre la producción total de gas alcanza el 46%. Las cifras de reservas recuperables de gas natural que actualmente se manejan para los Estados Unidos aseguran el suministro del país para las próximas 90 años (EIA, 2007). Estas cifras, muy probablemente,

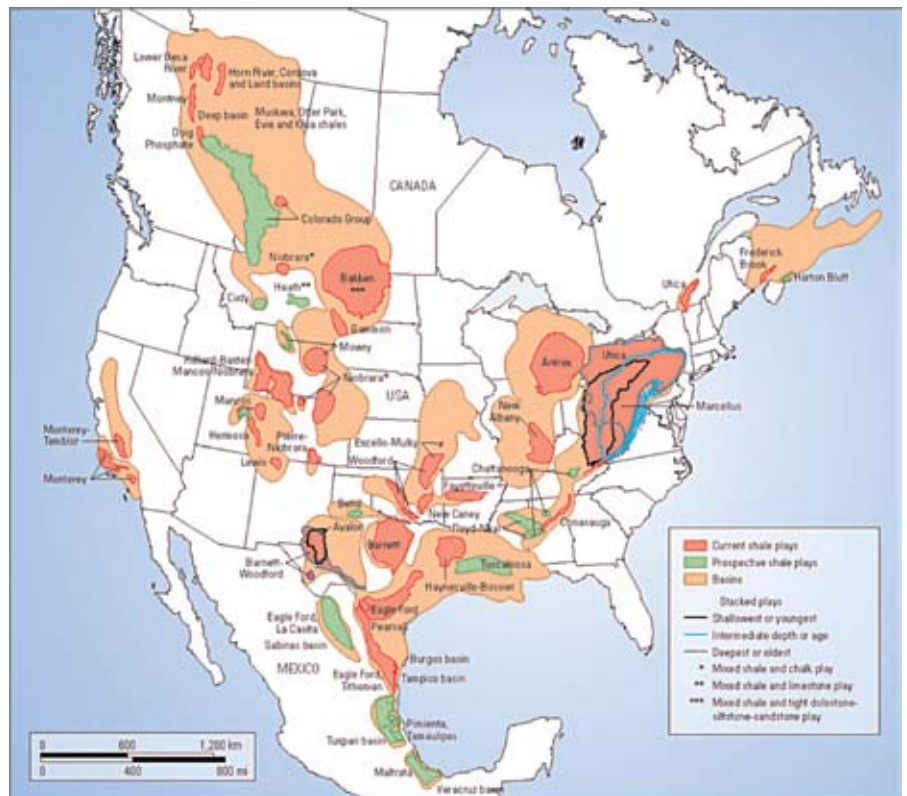


Figura 2. Objetivos no convencionales (gas shale) identificados en América del Norte (tomado de Boyer et al., 2011).

aumentarán a medida que se descubran y cuantifiquen nuevas reservas de gas no convencional y que los métodos de extracción mejoren. Hay otro aspecto que no es baladí y que debe enfatizarse: en la actualidad, en los Estados Unidos, el coste de extracción de gas no convencional se sitúa en el mismo rango que el del gas convencional. Sencillamente, es ya un proceso perfectamente viable, tanto desde el punto de vista técnico, como económico y medioambiental.

- En el resto del mundo, solo muy recientemente, se han empezado a cuantificar las potenciales reservas recuperables de gas no convencional. Muy recientemente significa aquí en los últimos cuatro o cinco años. Sin embargo, las cifras que se están obteniendo son espectaculares, inimaginables hace solamente una década. Una perfecta descripción de la situación actual del conocimiento puede encontrarse en Kruuskraa *et al.* (2011), así como en Boyer *et al.* (2011), lo que se expone a continuación es una breve síntesis. Fuera de los Estados Unidos, únicamente se ha realizado el análisis de muy pocas cuencas geológicas (14), en las que no están incluidas las formaciones productoras de regiones como Rusia, Oriente Medio, la costa oeste de África, etc., es decir, ninguna de las grandes cuencas productoras de hidrocarburos convencionales. El resultado se muestra en la *figura 1*. Con esta evaluación, absolutamente preliminar, geológica y geográficamente muy restringida, las

reservas extraíbles de gas no convencional han igualado a las reservas extraíbles de gas convencional. A nadie se le escapa que, cuando se incluyan las reservas existentes en otras muchas cuencas geológicas, y muy especialmente las correspondientes a las principales regiones productoras de hidrocarburos convencionales (que dispondrán también de importantes reservas no convencionales), es muy posible que las reservas de gas no convencional superen muy ampliamente a las reservas de gas convencional, sin que por el momento sea posible suministrar mayores precisiones.

**El gas natural ante su época dorada**

La potencialidad que empieza a vislumbrarse en los hidrocarburos no convencionales, y en particular en el gas no convencional, está generando el convencimiento de que el mundo está a las puertas de una verdadera revolución energética.

Incluso con anterioridad al descubrimiento de la potencialidad del gas no convencional, la humanidad, especialmente los países occidentales, ya había puesto sus esperanzas en que, a lo largo de las próximas décadas, el gas natural jugase un papel preponderante en el *mix* energético.

Esta convicción está basada en que el gas natural posee una serie de ventajas con respecto al resto de los combustibles fósiles que pueden resumirse en los siguientes puntos:

- Es un combustible “limpio”, el más limpio de todos los combustibles fósiles con diferencia. Su quema produce casi exclusivamente H<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>. Las emisiones de CO<sub>2</sub> por combustión del gas natural son un 50% inferiores a las producidas en la quema de carbón y un 30% menores a las correspondientes a la combustión del petróleo. Carbón y petróleo liberan otros subproductos contaminantes, de los cuales, el gas natural está prácticamente libre.
- Mayores reservas extraíbles de gas convencional que las correspondientes al petróleo. Se estima que, a ritmos de consumos actuales, las reservas de gas natural convencional pueden cubrir el consumo de la humanidad para los próximos 60 años (la disponibilidad de petróleo solamente alcanzaría 40 años, mientras que las de carbón cubrirían los próximos 300-500 años).
- Las reservas de gas natural (convencional) ya presentan la ventaja frente a las de petróleo de poseer una más amplia distribución geográfica, garantizando una menor dependencia de unos pocos países productores.

Lo anterior, unido a la versatilidad que presenta el gas natural, su alto poder calorífico y la existencia de una tupida, moderna y relativamente bien desarrollada infraestructura de transporte, había generalizado ya el uso del gas natural en amplios sectores industriales y domésticos, incluyendo la generación de electricidad.

Obviamente, al vislumbrarse que las reservas acumuladas extraíbles de gas convencional más las de gas no convencional pueden ser enormes, el gas natural se está configurando como una de las fuentes de energía, quizás la principal, para las próximas décadas. Aunque, hoy en día, los números están en constante cambio, parece claro que dichas reservas acumuladas, convencional más no convencional, fácilmente podrán acabar cubriendo las necesidades de la humanidad, a ritmos de consumos actuales, de unos 150-200 años, o quizás más.

Con estas premisas, no es sorprendente que se comience a hablar de que el gas natural está entrando en lo que puede ser su “época

dorada”. Todo lo anterior está propiciando que los hidrocarburos no convencionales sean ya, y lo van a seguir siendo, un objetivo prioritario para las empresas de exploración-producción en todo el mundo. Europa y España no están al margen de esta tendencia, ya se han realizado, o se encuentran en vías de realización, revisiones sistemáticas de sus cuencas geológicas con el fin de identificar potenciales objetivos no convencionales (Boyer *et al.*, 2011). El rastreo se centra en la identificación de rocas madre, de muy diversas edades, ricas en materia orgánica, que hayan generado hidrocarburos. Están empezando a definirse los primeros cálculos de reservas de gas no convencional recuperables en Europa. Las cifras que comienzan a barajarse son: 5,3 TCM en Polonia, de momento el país europeo más activo en la exploración de gas no convencional, 5,1 TCM en Francia y 4,2 TCM compartidas entre Noruega, Suecia y Dinamarca (Boyer *et al.*, 2011). Esas primeras estimaciones suman 14,6 TCM, trillones de m<sup>3</sup>, trillones con significado anglosajón. En cualquier caso, se trata de estimaciones muy preliminares que necesariamente variarán con el paso del tiempo. El consumo anual de gas en Europa ronda los 485 BCM (485 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>).

### Consideraciones finales

El gas natural no convencional es una oportunidad que los países que posean reservas, y por ende el resto de la humanidad, no deben desaprovechar. Parece llamado a jugar un papel fundamental en la transición de las energías fósiles, de las cuales, la humanidad en su conjunto es hoy altamente dependiente (especialmente del carbón y del petróleo), a las energías del futuro, renovables o no, que puedan propiciar un sistema energético sostenible para la humanidad. En este sentido, según OCDE-IEA (2011), en el escenario presente, a escala mundial, el gas no convencional representa ya el 12% de la producción; la previsión estimada por este organismo establece que para el horizonte del año 2035 llegue a alcanzar el 24%.

El gas natural no convencional puede ser una oportunidad especialmente importante para

países y/o áreas geopolíticas que, disponiendo de este tipo de recurso, presentan elevados índices de dependencia energética externa. Europa es un claro ejemplo de esta indeseable situación; su dependencia energética del exterior alcanza el 55%, la de España se sitúa en el 80%. Otro factor a considerar en relación con los hidrocarburos no convencionales es que, muy posiblemente, sus reservas se encuentren geográficamente mucho más repartidas que las reservas convencionales. Esto puede hacer que en un futuro más o menos cercano, cuando se generalice la producción de yacimientos no convencionales, países o zonas geopolíticas que han venido siendo tradicionalmente dependientes o muy dependientes de recursos externos, lleguen a alcanzar un cierto grado de autoabastecimiento en hidrocarburos.

Se trata de gestionar adecuadamente su exploración y extracción, con objeto de garantizar que su aprovechamiento se realice sin afecciones significativas al medio. La experiencia atesorada durante los últimos 30 años en la exploración-producción de hidrocarburos no convencionales, especialmente de *shale gas*, en los Estados Unidos demuestra que es un proceso técnico, económico y medioambientalmente factible. Esa misma experiencia también prueba el beneficio económico (creación de puestos de trabajo, creación de riqueza) y el aseguramiento del autoabastecimiento que supone para un país poder aprovechar volúmenes significativos de reservas energéticas autóctonas.

Las empresa exploradoras-productoras y las Administraciones poseen los recursos técnicos y humanos (nuestra profesión está llamada a jugar aquí un papel preponderante), o pueden dotarse fácilmente de ellos, que garanticen la correcta planificación de la actividad en su conjunto, incluyendo el establecimiento de medidas de seguridad y/o restricciones, y el correcto seguimiento de todas las actividades.

Segunda parte: HIDROCARBUROS NO CONVENCIONALES (II). Fracturación hidráulica (fracking) como método de explotación

### Bibliografía

- AAPG Memoir 89 (2009). Natural Gas Hydrates –Energy Resource, Potential and Associated Geologic Hazards.
- Boyer, C., Clark, B., Jochen, V., Lewis, R. and Miller, C. K. (2011). Shale Gas: A Global Resource. En *Oilfield Review* Autumn 2011: 23, nº 3. Schlumberger.
- EIA, International Energy Agency (2007). Annual Energy Review 2007. Geological Society Special Publication nº 319 (2009). Sediment-Hosted Gas Hydrates, New Insights on Natural and Synthetic Systems.
- Kruuskraa, V., Stevens, S., Van Leeuwen T. and Moodhe, K. (2011). World Shale Gas Resources: An initial Assessment of 14 Regions Outside the United States. Washington, DC, US DOE EIA.
- OECD/IEA International Energy Agency (2011). World Energy Outlook 2011. Special report: Are we entering a golden age of gas?
- Steward, D. B. (2007). The Barnett Shale Play. Phoenix of the Fort Worth Basin. A History. Publicado por The Fort Worth Geological Society.

# Caracterización geotécnica de los depósitos deltaicos holocenos del río Guadalhorce en Málaga

En las cercanías de la ciudad de Málaga, junto al Paraje Natural de la Desembocadura del río Guadalhorce y en su llanura deltaica, aparecen interesantes depósitos holocenos que se corresponden con facies finas de decantación, dando lugar a estratos limosos y arcillosos con potencias de hasta 50 m.

**TEXTO Y FOTOGRAFÍAS** | Roberto Álvarez de Sotomayor Matesanz, eurogeólogo, máster en Ingeniería Geológica y Geotecnia, y Nuria Álvarez García, geóloga.

Palabras clave  
**Río Guadalhorce, llanura deltaica, depósitos holocenos, facies finas, caracterización geotécnica.**

Los alrededores del delta del río Guadalhorce (figura 1) se caracterizan por la presencia, bajo depósitos antrópicos de hasta 5 m de espesor, de estratos lutíticos holocenos asociados a la última fase de transgresión flandriense y a la posterior estabilización del nivel del mar, alcanzado hace unos 6.000 años. Como consecuencia de dicha estabilización se desarrollan los deltas actuales del margen del mar de Alborán (Hernández-Molina *et al.*, 1992) constituidos por una cuña sedimentaria progradante.

La evolución y desarrollo de este prisma sedimentario se ha relacionado con fenómenos auto-cíclicos que generan fases de crecimiento y progradación, así como con fases de avulsión y abandono deltaico, considerando un desarrollo fundamentalmente horizontal en la evolución sedimentaria (figura 2).

Los materiales aquí descritos en función de sus características geotécnicas, corresponden a cuerpos sedimentarios progradantes con geometría cuneiforme. Están asociados a depósitos lutíticos, que pueden alcanzar potencias de hasta 50 m, y se corresponden con un cuerpo deltaico de edad Holoceno; se caracterizan por ser depósitos de tipo limoso y arcilloso que se dividen en dos niveles geotécnicos. El nivel superior conformado por limos arcillosos y arcillas limosas de tonalidad marrón y el nivel inferior caracterizado por limos arcillosos y arcillas limosas de tonalidad grisácea.

El área de estudio, situada a escasos 3 km de la línea de costa actual, y a unos 300 m al NE del cauce actual del Guadalhorce, destaca por la existencia de facies lutíticas depositadas en la zona de transición del delta, que era ocasionalmente atravesada por canales y afectada por tormentas, dando lugar a la aparición de facies arenosas, habiéndose detectado solamente en los sondeos niveles centimétricos arenosos intercalados entre la lutitas.



Figura 1. Delta del río Guadalhorce.

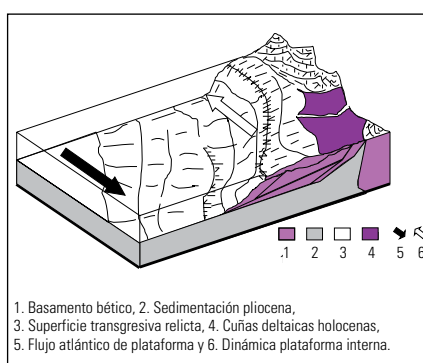


Figura 2. Modelo sedimentario de las cuñas deltaicas holocenas del río Guadalhorce.

La sedimentación holocena del bajo valle del río Guadalhorce es de carácter siliciclástico, condicionada por el carácter torrencial de los sistemas fluviales de aportes, y por una escasa influencia del oleaje y las mareas. Estos factores desarrollan pequeños cuerpos deltaicos que no progradan más allá de los sectores internos

del dominio de la plataforma externa, encontrándose intensamente afectados por la interacción de la dinámica de masas de aguas atlántica y mediterránea.

Bajo estos materiales de edad Holoceno descritos en los párrafos anteriores, se ubica el Plioceno, representado por tres conjuntos litológicos que afloran a lo largo de una franja que se extiende por el litoral.

El conjunto inferior Plioceno está constituido por conglomerados y arenas asociados a los abanicos aluviales con origen en la serranía de Málaga, uno intermedio donde predominan facies detríticas gruesas con fauna perteneciente a un medio marino, representado en su parte basal por facies arenosas litorales y facies lutíticas de plataforma. El conjunto superior está constituido por arenas finas y lutitas depositadas en zonas de transición. Tanto en el conjunto intermedio como en el superior destaca la formación de facies finas lutíticas relacionadas con depósitos deltaicos (figura 3).

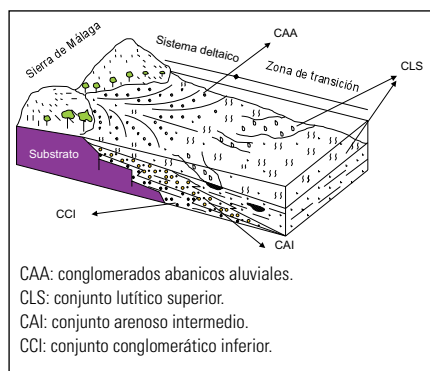


Figura 3. Bloque diagrama de la sedimentación pliocena de la región de Málaga.

Durante el Plioceno destaca el desarrollo de un ciclo sedimentario retrogradante compuesto por depósitos deltaicos y de transición. Este ciclo se desarrolla en un contexto de subida del nivel del mar estando influenciado por pulsos tectónicos que controlaron, en parte, la subsidencia tectónica del fondo de la cuenca y la cantidad de aportes. Su carácter transgresivo y la bioestratigrafía disponible, que indica una edad Plioceno inferior, permiten correlacionarlos con la unidad Plioceno I dentro del dominio de la cordillera Bética (Guerra, 1997).

La cuenca pliocena también se caracterizaba entonces por el desarrollo de cuerpos deltaicos localizados en los principales puntos de aportes, y distalmente se pasaría a una zona de transición que, por la extensión de los afloramientos, se adentraría unos 2 km mar adentro, que supondría que la plataforma continental de la cuenca pliocena en este sector del Mediterráneo sería relativamente suave.

**Reconocimientos y ensayos in situ**

Con el fin de determinar las características geológico-geotécnicas de los materiales que componen el subsuelo en los alrededores del delta del Guadalhorce, la campaña de investigación de campo consistió en la realización de dos sondeos a rotación con extracción de testigo continuo, hasta los 32 y 37 m respectivamente, toma de testigos parafinados y realización de ensayos de penetración estándar (*Standard Penetration Test* o SPT) en su interior (figura 4). La campaña



Figura 4. Registro de testigo continuo de los materiales holocenos.

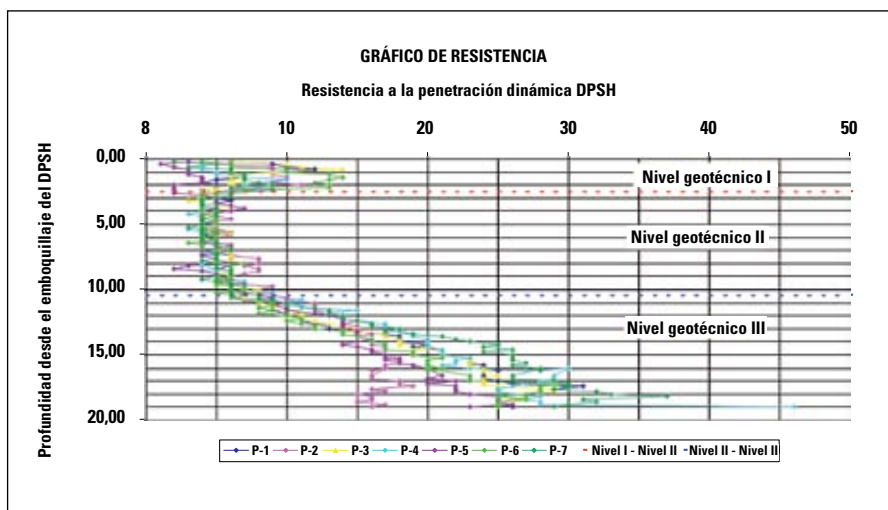


Figura 5. Evolución del golpeo DPSH en función de la profundidad.

se completó con la realización de siete ensayos de penetración dinámica tipo DPSH (*Dynamic Penetration Super Heavy*) de acuerdo a la Norma UNE 103-801/94.

Para establecer las características geotécnicas de los materiales que componen el subsuelo perforado con los sondeos se realizaron, por un lado, ensayos in situ en el interior de la perforación, y por otro, ensayos de laboratorio sobre muestras representativas de estos materiales, extraídas de los sondeos a diferentes profundidades.

En los sondeos se realizaron un total de 23 ensayos SPT según Norma UNE 103800/92. De forma análoga, y con el fin de contemplar la posibilidad de realizar ensayos tenso-deformacionales sobre muestras inalteradas, se procedió a la obtención de nueve testigos parafinados.

La figura 5 representa la evolución de los golpes de los ensayos de penetración dinámica DPSH en profundidad para cada nivel geotécnico.

**Descripción de niveles geotécnicos**

Mediante las investigaciones llevadas a cabo se localizan y describen tres niveles geotécnicos, el primero de ellos corresponde a un nivel antrópico, mientras que los dos niveles geotécnicos inferiores se corresponden con un cuerpo lutítico de geometría cuneiforme, es decir, un cuerpo deltaico del Holoceno de carácter limoso-arcilloso. El nivel freático se localizó aproximadamente hacia los 3 m de profundidad, coincidiendo con el inicio del nivel geotécnico II de limos arcillosos y arcillas limosas de tonalidad marrón.

*Nivel I. Tierra vegetal y/o rellenos antrópicos*

La zona de estudio está cubierta en su mayor parte por rellenos antrópicos, ocupada por caballones con algunos montículos de hasta 2 m de altura. El espesor detectado de este nivel en los sondeos realizados se sitúa entre los 2 y los 3 m por debajo de la superficie, habiéndose realizado los sondeos fuera de la zona de caballones.



Figura 6. Nivel de rellenos antrópicos apreciable en superficie.

## En determinadas zonas se aprecia la presencia de una capa de cubrición de los rellenos antrópicos inferiores

En la *figura 6* se pueden apreciar restos antrópicos en el área de trabajo. Estos materiales se observan tanto en superficie como en profundidad y son restos de demoliciones, con presencia de ladrillos, bloques de hormigón y materiales de origen similar, en una matriz terrosa de tonalidad oscura.

En determinadas zonas se aprecia la presencia de una capa de cubrición de los rellenos antrópicos inferiores. Los materiales por debajo de esta superficie son antiguos, encontrándose recubiertos por una capa vegetal.

Estos rellenos antrópicos y vertidos incontrolados son productos de características geotécnicas pobres, que en principio no deben considerarse como apoyo de cimentaciones ni urbanización, salvo que reciban algún tipo de tratamiento.

### Nivel II. Limos arcillosos marrones

Este nivel geotécnico está constituido por limos arcillosos (30-35% de arcillas) y arcillas limosas de color marrón. Su consistencia es firme según NTE-CEG/1975. Los ensayos de laboratorio realizados en estos materiales se reflejan en la *figura 7*. Las muestras ensayadas se corresponden con materiales con un elevado contenido en finos, de plasticidad media baja y consistencia firme a muy firme. Las características plásticas junto con el ensayo de presión de hinchamiento realizado indican que se trata de un material con potencial expansivo.

En los reconocimientos realizados se detecta la presencia de capas granulares de espesor centimétrico que se intercalan entre los horizontes de arcillas limosas. La dinámica de formación de estos depósitos indica que se trata de antiguos canales o barras, por lo que su posición y continuidad dentro de los depósitos cohesivos es errática. El inicio de este nivel geotécnico coincide con la aparición del nivel freático, aproximadamente hacia los 3 m de profundidad desde la superficie.

El muro de este nivel se sitúa a profundidades de entre 11 y 15 m. Estos depósitos holocenos pueden ser considerados como depósitos

| Reconocimiento | Profundidad de la muestra |      | Límites de Atterberg UNE 103103/91 |      |      | Granulometría UNE 103101/95 |     |       |        | Humedad natural UNE 103300/93 | Peso específico seco UNE 103602/96 | Presión de hinchamiento UNE 103602/96 | Resistencia a compresión simple UNE 103200/93 |
|----------------|---------------------------|------|------------------------------------|------|------|-----------------------------|-----|-------|--------|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---|
|                |                           |      | LL                                 | LP   | IP   | % que pasa por el tamiz     |     |       |        |                               |                                    |                                       |   |
|                |                           |      |                                    |      |      | # 20                        | # 2 | # 0,4 | # 0,08 |                               |                                    |                                       |   |
| S-1            | 3,2                       | 3,65 | 47,2                               | 22,9 | 24,3 | 100                         | 100 | 100   | 99     | 21,38                         |                                    |                                       |   |
| S-1            | 5,75                      | 6,35 | 48,2                               | 19,4 | 28,8 | 100                         | 100 | 100   | 99     | 21,00                         | 16,8                               | 40                                    | 201   |
| S-2            | 4,5                       | 4,95 | 45,0                               | 20,8 | 24,2 | 100                         | 100 | 100   | 99     | 23,65                         |                                    |                                       |   |

Figura 7. Ensayos de laboratorio realizados en los materiales del nivel geotécnico II.

| Reconocimiento | Profundidad de la muestra |      | Límites de Atterberg UNE103103/91 |      |      | Granulometría UNE 103101/95 |     |       |        | Humedad natural UNE 103300/93 | Peso específico seco UNE 103602/96 | Presión de hinchamiento UNE 103602/96 | Resistencia a compresión simple UNE 103200/93 |
|----------------|---------------------------|------|-----------------------------------|------|------|-----------------------------|-----|-------|--------|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---|
|                |                           |      | LL                                | LP   | IP   | % que pasa por el tamiz     |     |       |        |                               |                                    |                                       |   |
|                |                           |      |                                   |      |      | # 20                        | # 2 | # 0,4 | # 0,08 |                               |                                    |                                       |   |
| S-1            | 20,6                      | 21,0 | 60,6                              | 25,5 | 35,1 | 100                         | 100 | 100   | 99,1   | 27,6                          | 15,0                               | 30                                    | 89  |
| S-2            | 27,3                      | 27,7 | 52,4                              | 23,2 | 29,2 | 100                         | 100 | 100   | 99     | 29,06                         |                                    |                                       |   |
| S-2            | 36,2                      | 36,6 | 33,3                              | 19,1 | 14,2 | 100                         | 100 | 100   | 99,1   | 27,00                         |                                    |                                       |   |

Figura 8. Ensayos de laboratorio realizados en los materiales del nivel geotécnico III.

normalmente consolidados, por lo que, respecto a la deformabilidad de este nivel geotécnico, al tratarse de suelos cohesivos normalmente consolidados, se puede establecer la siguiente relación entre el índice de compresión ( $C_c$ ) y el límite líquido.

$$C_c = 0,0097 (w_l - 16,4)$$

$$C_c = 0,29$$

Por otro lado, el índice de entumecimiento ( $C_s$ ) suele estar comprendido en torno a 1/10 del índice de compresión. Es decir:

$$C_s = 0,29/10 = 0,029$$

El índice de poros inicial ( $e$ ) puede determinarse a partir del peso específico seco ( $\gamma_d$ ) y del peso específico saturado ( $\gamma_{SAT}$ ), mediante la expresión:

$$e = \frac{\gamma_{SAT} - \gamma_d}{\gamma_w + \gamma_d - \gamma_{SAT}}$$

$$e = \frac{2,05 - 1,68}{1 + 1,68 - 2,05} = 0,59$$

En cuanto a la resistencia de este estrato, esta puede ser valorada en función de su resistencia al corte sin drenaje ( $S_u$ ). La resistencia a corte sin drenaje en arcillas saturadas normalmente consolidadas depende del esfuerzo principal mayor  $\sigma_1$ , es decir, en el caso de estos depósitos lutíticos, de la carga litostática que soportan. Luego la relación entre estos parámetros se establece mediante la siguiente expresión:

$$S_u/\sigma_1 = 0,1 + 0,004 I_p$$

donde  $I_p$  es el índice de plasticidad. De esta forma podemos calcular la resistencia al corte sin drenaje en función del esfuerzo litostático o esfuerzo principal  $\sigma_1$ , que aumentará conforme aumente la profundidad (*figura 9*).

### Nivel III. Arcillas limosas grisáceas

El nivel inferior de estos depósitos deltaicos está representado por arcillas limosas de color grisáceo, de plasticidad media-alta y consistencia media a firme según NTE-CEG/1975. Este nivel se localizó hasta la profundidad máxima perforada en los sondeos realizados, próxima a los 36 m, si bien se estima que su muro puede estar en torno a los 50 m de profundidad.

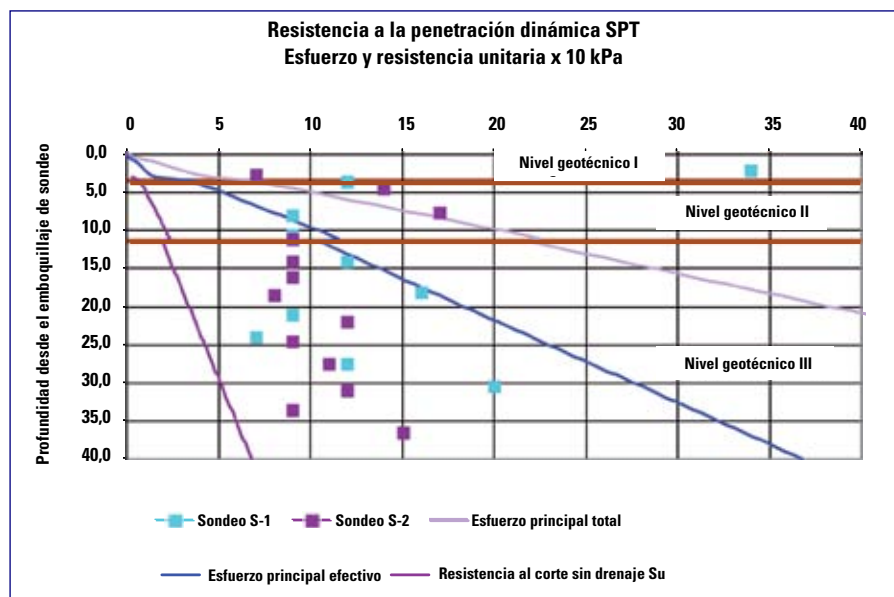


Figura 9. Evolución del esfuerzo litostático principal, de la resistencia al corte sin drenaje y de la resistencia dinámica de los ensayos SPT en función de la profundidad.

La figura 8 muestra los ensayos geotécnicos realizados en los materiales de este nivel geotécnico. Las muestras ensayadas se corresponden con materiales que presentan un elevado contenido en finos. De manera similar al nivel anterior, se detecta la presencia de capas centimétricas granulares que se intercalan entre las capas de limos arcillosos.

Las características plásticas de estas arcillas junto con el ensayo de presión de hinchamiento realizado indican que se trata de un material con cierto potencial expansivo, por lo que conviene tenerlo en cuenta.

Respecto a la deformabilidad del nivel geotécnico III, al tratarse de suelos cohesivos normalmente consolidados se puede establecer la siguiente relación entre el índice de compresión ( $C_c$ ) y el límite líquido:

$$C_c = 0,0097 (w_L - 16,4)$$

$$C_c = 0,31$$

El índice de entumecimiento ( $C_s$ ) se puede estimar como 1/10 del índice de compresión. Es decir:

$$C_s = 0,31/10 = 0,031$$

El índice de poros inicial ( $e$ ) puede determinarse a partir del peso específico seco ( $\gamma_d$ ) y del peso específico saturado ( $\gamma_{SAT}$ ), mediante la expresión:

$$e = \frac{\gamma_{SAT} - \gamma_d}{\gamma_w + \gamma_d - \gamma_{SAT}}$$

$$e = \frac{1,92 - 1,5}{1,0 + 1,5 - 1,92} = 0,72$$

En cuanto a la resistencia de este estrato, se utiliza la misma relación definida para la resistencia al corte sin drenaje del nivel anterior.

$$Su/\sigma_1 = 0,1 + 0,004 I_p$$

donde  $I_p$  es el índice de plasticidad. En el anterior gráfico (figura 9) se representan los valores de la resistencia dinámica de los ensayos SPT realizados, la evolución del esfuerzo litostático y la resistencia a corte sin drenaje, en función de la profundidad.

En la figura 9 se pueden observar los siguientes aspectos:

- En los ensayos SPT se aprecia un ligero crecimiento con la profundidad que indica una mejora de la consistencia de los materiales descritos en párrafos precedentes.
- Los resultados de los golpes de los ensayos SPT parecen razonables para un sedimento

Los alrededores del Paraje Natural de la Desembocadura del río Guadalhorce están compuestos por materiales lutíticos, principalmente limo-arcillosos

normalmente consolidado. Se estima que para este caso la resistencia al corte sin drenaje tiene una tendencia que puede ser descrita mediante la siguiente relación:

$$Su = 5 N_{SPT} \text{ kPa}$$

**Conclusiones**

A la vista de lo expuesto anteriormente, cabe destacar que los alrededores del Paraje Natural de la Desembocadura del río Guadalhorce están compuestos por materiales lutíticos, principalmente limo-arcillosos, con intercalaciones de niveles centimétricos de arenas, que corresponden a la zona de transición y se relacionan con depósitos deltaicos de edad Holoceno, asociados a la última fase de transgresión flandriense y a la posterior estabilización del nivel del mar, alcanzada hace unos 6.000 años.

Estos materiales holocenos, dejando a un lado el nivel geotécnico I representado por relleños antrópicos, se dividen en dos niveles geotécnicos, que a parte del color, desde un punto de vista geotécnico son bastante similares. En general, se trata de depósitos normalmente consolidados, con alto contenido en finos, de plasticidad media a alta y de consistencia media a firme o muy firme. Se encuentran saturados, pues el nivel freático se localiza entre los 3 y los 4 m de profundidad desde superficie. Aunque poco, se trata de materiales expansivos, si bien las presiones de hinchamiento son relativamente bajas, no se descarta la posibilidad de que pudieran ser mayores en zonas adyacentes.

**Bibliografía**

Guerra, A. (1997). Registro sedimentario de la transgresión pliocena al sur de Sierra Bermeja (Cordillera Bética, Mediterráneo Occidental). *Cuadernos de Geología Ibérica*, (22): 103-120.

Hernández, F. J., Vázquez, J. T., Somoza, L. y Rey, J. (1993). Estructuración sedimentaria de los cuerpos deltaicos holocenos del margen septentrional del mar de Alborán. *Geogaceta*, (14): 40-45.

IGME (1978). *Mapa Geológico de España*. E. 1:50.000. Hoja 1053, Málaga, Torremolinos.

Jiménez, J. A. y Justo, J. L. de (1975). *Geotecnia y cimientos I. Propiedades de los suelos y de las rocas*. Editorial Rueda, Madrid.

Pedraza, J. de et al. (1996). *Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones*. Editorial Rueda, Madrid.

Vera, J. A. et al. (2004). *Geología de España*. SGE-IGME, Madrid.

# Evolución geológica del Macizo Ibérico meridional: un ejemplo de ciclo geodinámico

En el presente trabajo se pretende mostrar que la evolución geológica del Macizo Ibérico meridional durante el Precámbrico superior y paleozoico obedece al esquema de lo que aquí llamamos un ciclo geodinámico. El trabajo consta de dos partes, en la primera se define el "ciclo geodinámico" y en la segunda se analiza la evolución geológica del Macizo Ibérico meridional, que responde como veremos a las pautas definidas en el anterior apartado.

TEXTO Y FIGURAS | O. Apalategui Isasa, geólogo.

Palabras clave  
**Macizo Ibérico**

## Definición de ciclo geodinámico

En un artículo editado en la revista *Tierra y Tecnología* del ICOG, bajo el título "Una visión ampliada de la teoría de Placas Tectónicas", se planteó la idea del ciclo geodinámico. Para ello, analizábamos primero las grandes estructuras de la corteza litosférica actual donde, a grandes rasgos, se puede decir que existen dos claros grupos de límites de placas, uno de dirección N-S, que desarrolla márgenes constructivos y destructivos que se pierden hacia los polos, y otro de dirección E-O, que se caracteriza por el desarrollo exclusivo de márgenes destructivos próximos al Ecuador (*figura 1*). Dichos márgenes se producen por las interacciones entre las placas, las cuales se desplazan siguiendo dos movimientos elementales y simultáneos de direcciones respectivas E-O y N-S.

Los movimientos de dirección E-O dan lugar a márgenes de placas de dirección N-S, tanto constructivos (dorsal atlántica, Rift africano) como destructivos (cadenas andinas, arcos de islas del Pacífico occidental, etc.), pero nunca cadenas de colisión. Estas estructuras se supone que se originan por las fuerzas de deriva hacia el oeste de la litosfera respecto al manto (*westdrift*), debido al movimiento de rotación de la Tierra (Le Pichón, 1968). La deriva actual es mayor en el hemisferio Norte, debido a la mayor concentración de masas continentales, y ese desequilibrio respecto al hemisferio Sur, se resuelve con el desarrollo de grandes fallas de desgarre izquierdas paralelas al Ecuador (Gasperini, 1993) como las que caracterizan el Atlántico ecuatorial (*Pelusium line*).

Los movimientos N-S dan lugar solo a márgenes destructivos (sobre todo cadenas de colisión) de dirección próxima a E-O, situados en las proximidades del Ecuador, si bien algo desplazados hacia el norte, como son el arco

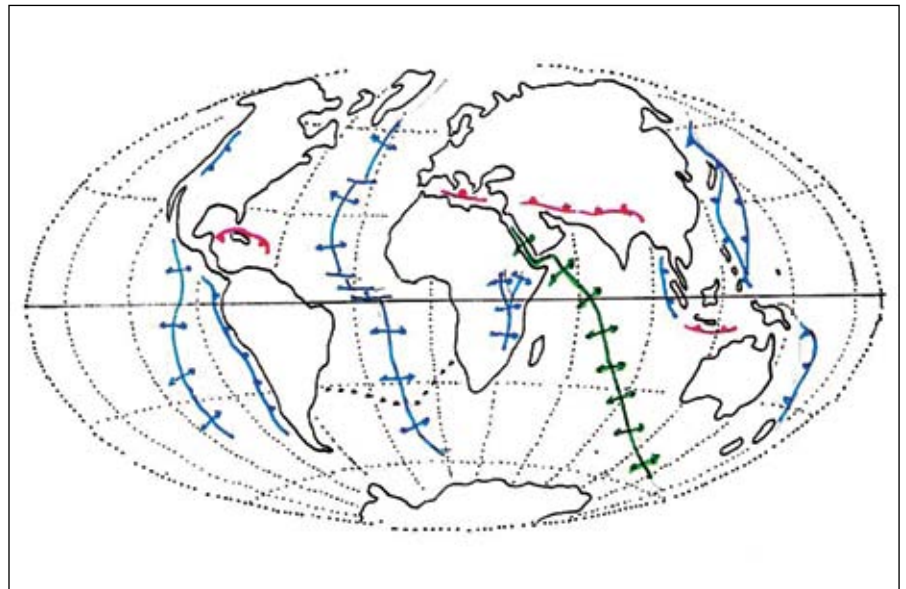


Fig. 1. Mapa con la posición de los principales límites de placas. En azul: límites N-S. En rojo: límites E-O. En verde: límites anómalos.

del Caribe, las cadenas alpinas mediterráneas y la cadena del Himalaya, etc. Estos movimientos están originados por las fuerzas tangenciales derivadas de la rotación de la Tierra (fuerzas Eötvös), que tienden a desplazar cualquier punto de la corteza hacia el Ecuador terrestre.

También en ese artículo planteábamos que la apertura del mar Rojo y la dorsal Índica, escapan de los esquemas planteados. Ambas estructuras tienen dirección NO-SE, y provocan una expansión actual de la placa Euroasiática e India contraria a las fuerzas Eötvös (con el tiempo las masas continentales tenderán a moverse hacia el Ecuador, y al menos la dorsal Índica abortará). Del análisis de las estructuras en torno al océano

Índico, y de la sucesión de los acontecimientos, sugeríamos que el mar Rojo y la dorsal Índica se forman como respuesta a la colisión que llamábamos no pasiva (con transmisión de inercia) de la placa Índica y euroasiática, después de la deriva de la primera según una trayectoria N-S, desde la Antártida al Ecuador (*figura 1*).

Los movimientos de dirección N-S tienden a aglutinar las masas continentales en las proximidades del Ecuador, y los movimientos E-O desplazan las masas continentales siguiendo los paralelos terrestres. Cualquier masa continental seguirá estas trayectorias, y su posición final será siempre próxima al Ecuador. En un estado geodinámico evolucionado, dichas masas continentales darían lugar a supercontinentes (Rodinia, Pangea, etc.)

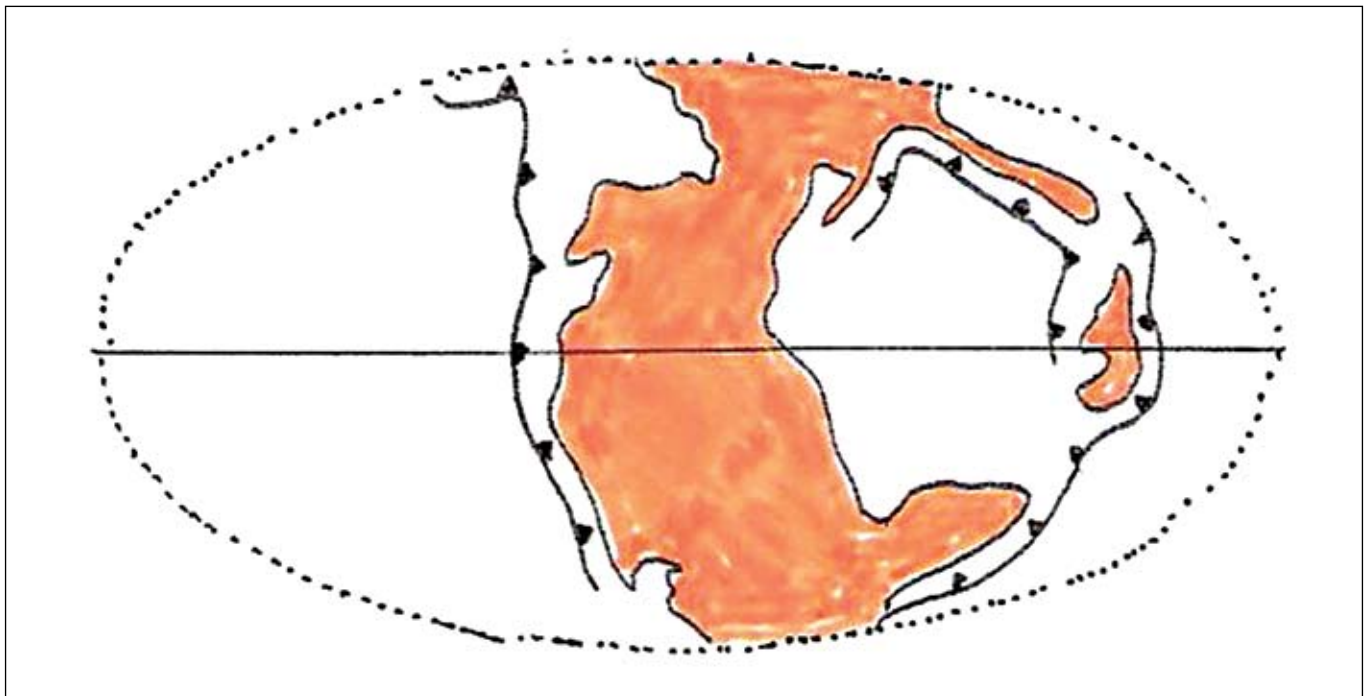


Fig. 2. Posición de las masas continentales (Pangea), en el Triásico (237 Ma) según Scotese. En color, las masas continentales.

La causa de los cambios de posición de los polos de rotación de la Tierra es muy posible que se deba a la acción conjunta de la declinación de la Tierra, y el desequilibrio dinámico originado por la aglutinación de las masas continentales

que deberían formar una especie de anillo circular junto al Ecuador. Se llegaría así a una situación de bloqueo geodinámico, y la única forma de escapar de ella es mediante un giro de la Tierra respecto a los polos de rotación, o dicho de otra forma, por cambios en la posición de los polos de rotación de la Tierra. Si estos mecanismos funcionaran, y si realmente la Tierra girara respecto a los polos de rotación, las masas continentales no ocuparían ya posiciones ecuatoriales, y el supercontinente de partida se fragmentaría en una serie de nuevas placas que iniciarían un movimiento de deriva hacia el nuevo Ecuador, se reactivarían así los procesos geodinámicos y se iniciaría un nuevo ciclo.

La era paleozoica corresponde con un ciclo geodinámico. Se inicia a partir de un supercontinente en

el Precámbrico superior, conocido como Pannotia; durante el Paleozoico inferior (Cámbrico), se produce la rotura y formación de nuevas placas; le sigue después un periodo de deriva, y en el Paleozoico superior se produce la aglutinación de las distintas masas continentales en el supercontinente de Pangea. Este ciclo se iniciaría con un cambio en la posición de los polos de rotación de la Tierra, puesto de manifiesto por Kirschvink *et al.* (1997) para justificar los bruscos cambios evolutivos en el Cámbrico inferior y medio. Según el referido autor, los datos paleomagnéticos en Australia y otros puntos sugieren un cambio de unos  $90^\circ$  en la posición de los polos; el giro se produce de forma rápida, e induce, asimismo, cambios de posición muy rápidos de las masas continentales, lo que provoca a su vez los rápidos cambios evolutivos.

Una situación similar se inicia en el Triásico-Jurásico, momento en el que comienza la rotura y disgregación del Pangea, le sigue un periodo de deriva, y, actualmente, las masas continentales tienden a reencontrarse, dando lugar a las cadenas alpinas. Si se toma como referencia la posición de las masas continentales en el Triásico (Scotese, 2002), se observa que estas definían a grandes rasgos un anillo circular que las reconstrucciones actuales, sin tener en cuenta el cambio de polos, lo sitúan más o menos paralelo a los meridianos terrestres (véase figura 2). Si como pensamos, dichas masas debieron aglutinarse en las proximidades del Ecuador, ello implica que el giro que provocó la rotura y posterior disgregación del Pangea, debió ser próximo a  $90^\circ$ . Dicho de otra forma, la Tierra debió girar de forma tal, que las masas continentales que definían un anillo en las proximidades del Ecuador, pasaron a la posición que se observa en la figura 2.

Para los que suponemos que los procesos geodinámicos están controlados por el movimiento de rotación de la Tierra, los cambios en la posición de los polos de rotación deben jugar un papel determinante. De hecho, todo parece indicar que los procesos geodinámicos están controlados por cambios periódicos de los mismos. Cada uno de esos cambios provoca el inicio de un nuevo ciclo geodinámico, que empieza con la rotura de un supercontinente y finaliza con la formación de otro.

En un ciclo geodinámico se podrían distinguir las siguientes fases:

- Supercontinente de partida que debe definir un anillo circular próximo al Ecuador.
- Cambio de posición de los polos de rotación de la Tierra de  $90^\circ$ , lo que conlleva la rotura del supercontinente de partida y la definición de las nuevas placas.
- Las nuevas masas continentales derivan hacia el nuevo Ecuador. Al inicio de esta fase, las nuevas placas interactúan entre sí, y se desarrollan:
  - nuevos márgenes constructivos (Rift),
  - destructivos (solo arcos islas y cadenas de tipo andino, ya que se parte de un supercontinente, y no cabe esperar cadenas de colisión),
  - grandes fallas de desgarre, que deben jugar un papel importante dado que las nuevas masas continentales se desplazan con direcciones subparalelas hacia el nuevo Ecuador. A partir de un cierto momento, cesan las interacciones entre las masas continentales, y abortan muchos de los márgenes destructivos originados previamente, por el simple hecho de que al desplazarse por una superficie esférica, cada



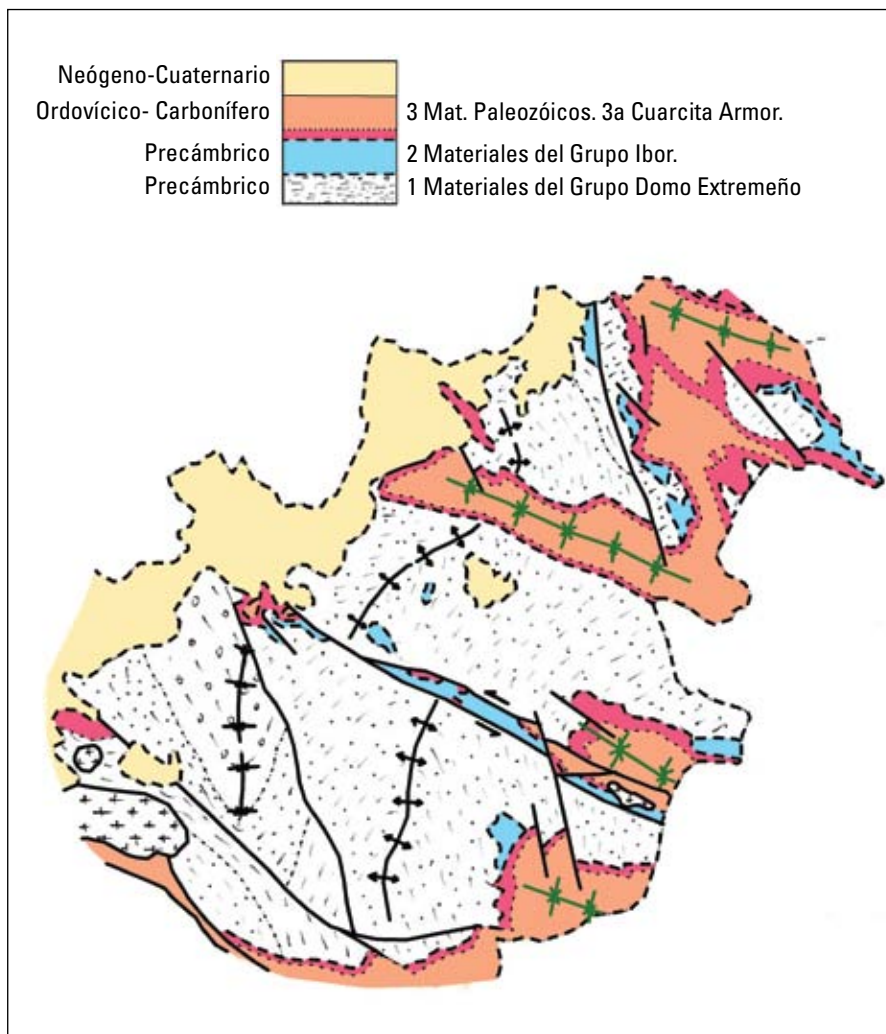


Fig. 3. Geología en La Siberia Extremeña. En negro: traza de las estructuras cadomienses. En verde: estructuras variscas.

vez encuentran más espacio para desplazarse libremente hacia el Ecuador.

- Reencuentro de las masas continentales en un nuevo supercontinente, y desarrollo de márgenes destructivos, preferentemente cadenas de colisión, en las proximidades del nuevo Ecuador.

La causa de los cambios de posición de los polos de rotación de la Tierra no somos capaz de justificarla, si bien es muy posible que se deba a la acción conjunta de la declinación de la Tierra, y al desequilibrio dinámico originado por la propia

aglutinación de las masas continentales, menos densas, en el Ecuador, en contraste con la posición de las masas oceánicas, más densas, en torno a los polos de rotación.

#### Evolución del Macizo Ibérico meridional

La evolución del Macizo Ibérico meridional responde a los esquemas planteados de un ciclo geodinámico.

En el Precámbrico superior se produce, dentro del área considerada, la aglutinación de dos masas continentales, de distinta afinidad (amazónica en la ZCI y africana), en la ZOM que suponemos se produce

en el marco de la formación del supercontinente de Pannotia. En este momento, se desarrollan las estructuras cadomienses, que en el borde sur de la ZCI, en la Siberia Extremeña, donde suponemos que han sido poco trastocadas por los procesos orogénicos posteriores, son perpendiculares a las estructuras variscas (figura 3) tal y como cabría esperar si el giro de los polos de rotación es de  $90^\circ$ .

El supercontinente formado en el Precámbrico superior (Pannotia) debería ocupar posiciones ecuatoriales, y es por ello que se instala una amplia plataforma carbonatada con máximo desarrollo en el Cámbrico inferior, que afectaba a todo el área aquí considerada.

En el Cámbrico medio, y coincidiendo con el cambio de posición de los polos de rotación de la Tierra, comienza la rotura del supercontinente de partida. Es en este momento en el que se rompe la ZOM, comienza la emisión generalizada de las primeras rocas espiliticas, y se inician los procesos ibéricos, a los que se asocian muchas de las rocas volcánicas y plutónicas del área considerada, así como la deformación y metamorfismo de esta edad. Muchos de estos procesos que son la causa de la diferenciación de la ZOM, se relacionan con el desarrollo de márgenes destructivos de tipo andino o arco isla (Apalategui, en preparación), y suponemos que responden a las interacciones entre las nuevas placas después del giro de los polos de rotación de la Tierra.

Desde el Ordovícico inferior hasta el Devónico, los márgenes destructivos dejan de actuar, y todo el área funciona como un margen pasivo en el que solo se producen ciertos basculamientos o reajustes isostáticos, y el juego de grandes fallas de desgarre (a escala global, Van Staal *et al.*, 2010, llaman la atención sobre la ausencia de cadenas de colisión continente-continente durante el Ordovícico).

Al final del Paleozoico, se produce el reencuentro de las masas continentales previamente diferenciadas, dando lugar a las cadenas finipaleozoicas y a la formación de un nuevo supercontinente (Pangea). Dicho supercontinente debería ocupar posiciones ecuatoriales y de ahí la convergencia de facies entre los materiales cámbricos y carboníferos.

En definitiva, el Macizo Ibérico meridional, durante el Precámbrico terminal y el Paleozoico, funciona de forma congruente con la evolución que se deriva de la propuesta de los ciclos geodinámicos.

#### Bibliografía

Apalategui, O. (2005). Una visión ampliada de la teoría de Placas Tectónicas. *Tierra y Tecnología*, 27: 101-106.  
 Gasperini, M. (1993). Global forces on the lithosphere. *Geodynamics*, 17 (3): 121-132.  
 Kirschvink J. L., Ripperdan R. L y Evans, D. A. (1999). Evidence for a Large-Scale Reorganization of Early Cambrian Continental Masses by inertial Interchange True Polar Wander. *Science*, 277: 541-545.

Le Pichón, X. (1968). Sea floor spreading and continental drift. *J. Geophys. Research*, 73 (12), 3661-3697.  
 Scotese, C. R. (2002). Paleomap Proyect.  
 Van Staal, C. R. y Hatcher, R. D. (2010). Global setting of Ordovician orogenesis. The Ordovician Earth System. Finney S. C y Berry Wb. (eds), *Geological Society of America. Special Paper*, 466: 1-11.

# El Pisuerga pasaba también por Palencia

## La historia de un cambio de trazado fluvial

Del análisis geomorfológico, de la disposición de la red hidrográfica y de la correlación de las terrazas fluviales, se deduce que el Pisuerga llevaba, desde el entorno de la población de Astudillo (Palencia), sentido suroeste, bordeando por el norte los relieves de los Páramos (aproximadamente por donde, hoy en día, corre el ramal norte del Canal de Castilla), recibiendo después al río Carrión y pasando por Palencia. En el Pleistoceno inferior-medio, un afluente derecho del Arlanzón terminó seccionando dichos relieves, capturando a este antiguo Pisuerga y dando lugar a una notable reorganización fluvial. El fenómeno se produjo dentro del contexto de una más extensa rectificación norte-sur para una red hidrográfica inicialmente noreste-suroeste.

TEXTO | Antonio Pineda, geólogo (apineda@eptisa.com).

Palabras clave

**Pisuerga, Carrión, Arlanzón, Sequillo, captura, trazado fluvial, Cuenca del Duero.**

La evolución del trazado de una red hidrográfica es un proceso a veces complejo, que puede estar condicionado por diversos factores, bien sean de índole externa (cambios locales de niveles de base, erosiones remontantes, capturas, naturaleza puntualmente blanda o dura del sustrato, etc.) o interna (procesos neotectónicos, etc.). La interacción de tales factores a lo largo de un cierto periodo de tiempo geológico puede originar cambios en el trazado inicial y en la jerarquización de la red, de tal manera que cursos secundarios o afluentes pueden pasar a ser principales y, a la inversa, cursos importantes pueden verse relegados a desempeñar un papel de categoría inferior. Así, el aspecto actual de una red hidrográfica debe contemplarse como el producto de un proceso cambiante, muy rápido en comparación con otros procesos geológicos.

En este artículo se describe un caso de la Cuenca del Duero en el que están implicados ríos importantes, concretamente el Pisuerga y sus afluentes Carrión y Arlanzón, cuyos trazados han variado durante el Pleistoceno en el área comprendida entre Palencia y Torquemada. En la actualidad, el Pisuerga es uno de los afluentes más importantes del Duero, al que tributa por su margen derecha, al suroeste de Valladolid. A su vez, el Pisuerga recibe por su margen derecha al Carrión, en los alrededores de Palencia, y al Arlanzón por su margen izquierda, en las cercanías de Torquemada.

### Contexto geológico

El área que aquí se analiza se ubica en la parte centro-oriental de la Depresión terciaria del Duero, una gran estructura geológica apoyada en la parte oriental del Macizo Ibérico (zócalo

varisco peninsular) y limitada al norte, este y sur por sistemas montañosos alpinos (cordilleras Cantábrica, Ibérica y Sistema Central, respectivamente). El relleno terciario de la Depresión, de régimen endorreico (fluvial y lacustre), presenta espesores máximos (3.000-4.000 m) en las proximidades de los bordes alpinos.

La etapa endorreica finalizó cuando la red hidrográfica atlántica, en su erosión remontante hacia el este a través del Macizo Ibérico, contactó con el relleno terciario, comenzando desde entonces el vaciado erosivo del mismo, debido al más bajo nivel de base impuesto. Es el comienzo de la actual etapa exorreica que, iniciada en el oeste, se debió propagar progresiva pero rápidamente hacia el norte, este y sur.

En las partes central y oriental de la Depresión, las Calizas de los Páramos (Mioceno superior) constituyen la más reciente litología del relleno endorreico y marcan, por tanto, el nivel de referencia a partir del cual puede medirse la magnitud del encajamiento hidrográfico, que es del orden de unos 100-110 m como máximo, una cifra exigua, si se compara con los espesores de relleno, que indica que la Depresión se ha vaciado solo en una mínima parte.

En esta región, la sucesión sedimentaria terciaria aflorante es, de arriba a abajo, la siguiente:

- Calizas de los Páramos, una facies lacustre de espesor métrico.
- Facies Cuestas, también lacustre pero de litología marga-arcillosa, frecuentemente yesífera. Tiene color gris-blanquecino, una edad Mioceno superior (Vallesiense, fundamentalmente) y unos 80 m de espesor.

- Facies Tierra de Campos, fluvial, constituida por limos y arcillas, con paleosuelos carbonatados y arenas minoritarios. De color ocre, edad, sobre todo, Mioceno medio y unos 20 m de espesor.
- Facies Dueñas, idéntica litológicamente a la Facies Cuestas pero de edad Mioceno inferior-medio. De esta facies apenas si afloran unos metros finales, estando a veces coronada por un nivel calcáreo similar a las Calizas de los Páramos, aunque bastante menos potente.

### Las regiones de los Páramos y de la Campiña

Las Calizas de los Páramos, por su mayor resistencia a la erosión, tienden a proteger las litologías infrayacentes, más blandas. De esta manera, se ha constituido un paisaje de mesetas más o menos extensas (que en la zona culminan a unos 890 m de altitud), a cuyo pie corre la red hidrográfica. En las partes media y alta de las laderas de estas mesetas se presenta la Facies Cuestas y, en la inferior, las de Tierra de Campos y, a veces, Dueñas. Este paisaje amesetado, gris-blanquecino, puede ser denominado, desde el punto de vista geomorfológico, región de los Páramos o, más genéricamente, los Páramos.

Las Calizas de los Páramos no existen hacia el norte, lo que hace suponer que, en su mayor parte, no se depositaron. En cualquier caso, su inexistencia ha sido determinante para generarse un paisaje alomado, muy débilmente ondulado, labrado a nivel de la Facies Tierra de Campos y, por ello, de menor altitud que el de los Páramos (ya que está a unos 800 m). Este paisaje ocre constituye la región de la Campiña de Tierra de

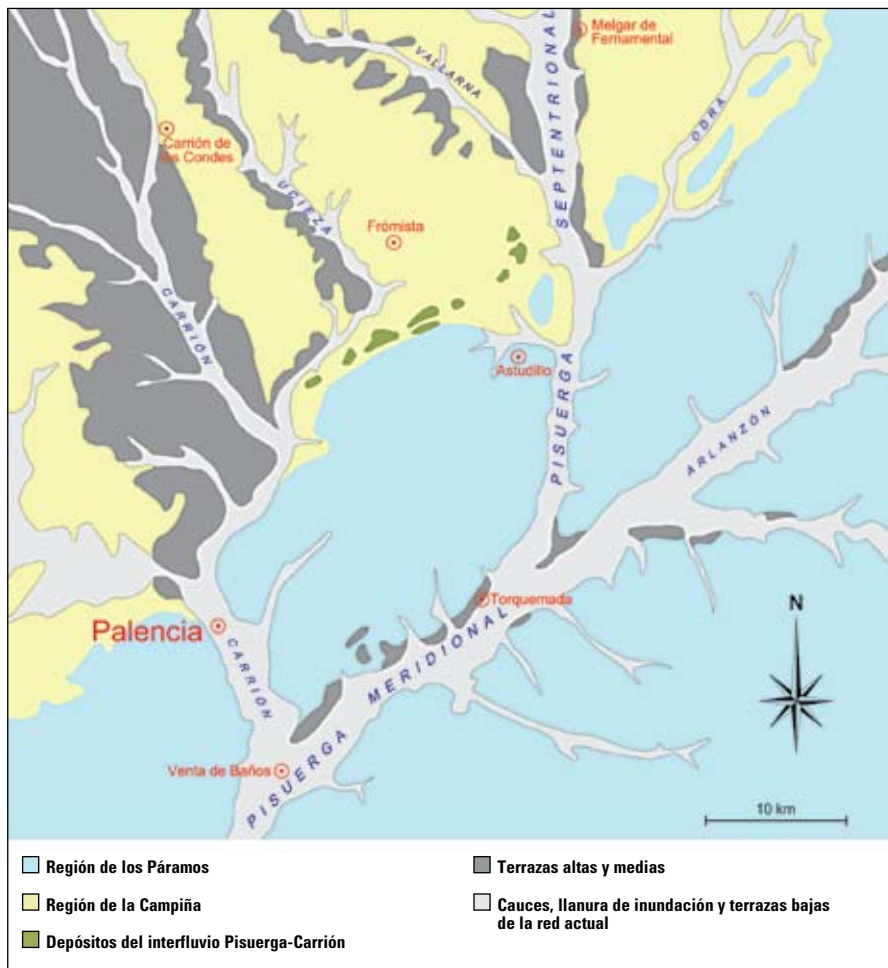


Figura 1. Esquema geomorfológico del área.

Campos que, en este artículo, será denominada de un modo general como la Campiña (figura 1).

A gran escala, el límite entre las regiones de los Páramos y la Campiña es bastante rectilíneo y de gran longitud (unos 150 km), ya que se presenta desde el entorno de Villadiego (Burgos) hasta el de Tiedra (Valladolid). Tiene una dirección NE-SO y un desarrollo que cubre la mayor parte de la Cuenca, siendo muy notable el paralelismo que presenta con la alineación que, algo más al sur, definen el Arlanzón y el Pisuerga (lineamiento del Arlanzón).

**La disposición de la red hidrográfica**

En la Campiña, la red hidrográfica de la mitad septentrional de la Cuenca del Duero fluye con dirección aproximadamente norte-sur, entre interfluvios poco marcados y con amplios desarrollos de terrazas fluviales. En la zona de estudio, es el caso de los ríos Pisuerga y Carrión, nacientes en la cordillera Cantábrica, y de sus afluentes, entre los que cabe citar al Vallarna (derecho del primero) y al Ucieza (izquierdo del segundo).

La red hidrográfica se encuentra después con el resalte topográfico del borde de la región de los Páramos. Algunos cursos fluviales (generalmente, los hoy en día secundarios) tienden a evitarlo, disponiéndose de forma paralela al

mismo y fluyendo hacia el suroeste: es el caso del Sequillo (localizado al suroeste de la zona de estudio) o del Odra (afluente izquierdo del Pisuerga). Otros cursos (los principales) lo atraviesan y se internan en dicha región: son los casos del Pisuerga y del Carrión (aunque éste experimenta antes una adaptación, paralelizándose con el resalte a lo largo de unos 7 km) (figura 1).

Al penetrar en la región de los Páramos, estos cursos principales forman valles bien definidos, de dirección norte-sur y a lo largo de unos 12-15 km, para después verter al lineamiento del Pisuerga-Arlanzón.

En la actualidad, el Pisuerga es uno de los afluentes más importantes del Duero, al que tributa por su margen derecha, al suroeste de Valladolid

Por tanto, el Pisuerga presenta actualmente un quiebro notable en su dirección, denominándose en este artículo Pisuerga “septentrional” a la parte norte-sur del mismo, aguas arriba de la confluencia con el Arlanzón, y Pisuerga “meridional” a la noreste-suroeste, aguas abajo (figura 1).

**Las terrazas fluviales**

Por su número y extensión, las terrazas fluviales son importantes en toda la región de estudio, aunque existen pocas dataciones de las mismas en la zona central de la Cuenca del Duero. En IGME (1973) se sitúa la edad de las terrazas de la zona entre el Pleistoceno inferior y el Holoceno. Un trabajo de referencia es el de Olivé *et al.* (1978) sobre el sistema de terrazas del río Carrión, probablemente el río de la Cuenca del Duero que más número de ellas comporta. Zazo *et al.* (1983) atribuyen al Pleistoceno inferior y el Paleolítico inferior algunas de las terrazas del Arlanzón próximas a Burgos.

En las terrazas de los ríos principales, la naturaleza de las gravas suele ser casi exclusivamente cuarcítica, debido a su procedencia paleozoica, de fuera de la Cuenca. Las pequeñas terrazas relacionadas con cursos secundarios que nacen en el Terciario tienen una composición litológica diferente, con gravas calcáreas dominantes (de las facies de los Páramos y Las Cuestas) y una mayor proporción de matriz limoarcillosa y de contenido en carbonato.

Los niveles de terrazas se organizan según sistemas escalonados, dispuestos frecuentemente de forma asimétrica, considerando cada valle en sección y según determinados tramos fluviales. Son particularmente importantes en la Campiña, por su extensión, número y altura respecto a los cauces actuales. En la región de los Páramos tienen una importancia menor, con menos niveles y a menor altura en el lineamiento Pisuerga-Arlanzón, y solo un nivel (de terraza baja) en los tramos norte-sur del Pisuerga y Carrión. Los niveles de terrazas y otros depósitos de los ríos principales de la zona se representan en la tabla 1, donde se indican también sus cotas sobre los cauces actuales, su edad probable y su equivalencia entre los distintos ríos considerados.

La equivalencia ha sido establecida primeramente a partir de la identificación de terrazas comunes a más de un curso fluvial, en zonas de confluencia, y después teniendo en cuenta, comparativamente, las cotas de las mismas, así como su desarrollo longitudinal. La equivalencia está mejor fundamentada entre los ríos de la Campiña, dada la extensión de los depósitos y su interconexión en las zonas de confluencia. También puede considerarse bien establecida entre las terrazas de los ríos principales en la región de los Páramos, es decir, entre el Pisuerga meridional y el Arlanzón. Por el contrario, la equivalencia

| REGIÓN DE LA CAMPIÑA   |                          |                           |                |                              |                        | REGIÓN DE LOS PÁRAMOS |                                |           |          |
|--|--------------------------|---------------------------|----------------|------------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------|----------|
| Carrión (Hoja 273: Palencia)   |                          |                           | Ucieza         | Interfluvio Pisuerga-Carrión | Pisuerga septentrional |                       | Arlanzón y Pisuerga meridional |           |          |
| <b>Holoceno</b>  |                          |                           | Fondo de valle |                              | Cauce actual           | Barras                | Cauce actual                   |           |          |
| <b>P<br/>L<br/>E<br/>N<br/>I<br/>S<br/>T<br/>O<br/>C<br/>E<br/>N<br/>O</b> | SUPERIOR                 | T <sub>20</sub>           |                |                              | Llanura de inundación  | Meandro abandonado    | Llanura de inundación          |           |          |
|  |                          | T <sub>19</sub>           |                |                              | +5-7 m (g)             |                       | +1-2 m                         | Bajas     |          |
|  |                          | T <sub>18</sub> + 1-2 m   |                |                              |                        |                       |                                |           |          |
|  |                          | T <sub>17</sub> + 4 m     |                |                              |                        |                       |                                |           | +3 m (l) |
|  |                          | T <sub>16</sub> + 5 m     |                |                              |                        |                       |                                |           |          |
|  | T <sub>15</sub> + 4-9 m  | +5-7 m (k)                |                |                              |                        |                       |                                |           |          |
|  | MEDIO                    | T <sub>14</sub>           |                |                              | +10 m (j)              |                       |                                | +10 m (f) | +4-5 m   |
|  |                          | T <sub>13</sub>           |                |                              |                        |                       |                                |           |          |
|  |                          | T <sub>12</sub> + 10-15 m |                |                              |                        |                       |                                |           |          |
|  |                          | T <sub>11</sub> + 12-18 m |                |                              |                        |                       |                                |           |          |
| T <sub>10</sub> + 20-25 m  |                          | +15 m (i)                 | +15 m (n)      | +20 m (e)                    |                        |                       |                                |           |          |
| T <sub>9</sub> + 25-29 m   | +25 m (b)                | +25 m (m)                 |                | +25-30 m (d)                 | +20-35 m               |                       |                                |           |          |
| T <sub>8</sub> + 40-45 m   |                          |                           |                |                              |                        |                       |                                |           |          |
| T <sub>7</sub> + 40-50 m   |                          |                           |                |                              |                        |                       |                                |           |          |
| INFERIOR   | T <sub>6</sub> + 58-60 m |                           |                |                              |                        | +47-50 m              | Altas                          |           |          |
|  | T <sub>5</sub> + 60-65 m |                           |                |                              |                        |                       |                                |           |          |
|  | T <sub>4</sub> + 68-72 m |                           |                |                              |                        |                       |                                |           |          |
|  | T <sub>3</sub> + 78-85 m |                           |                |                              |                        |                       |                                |           |          |
|  | T <sub>2</sub>           |                           |                |                              |                        |                       |                                |           |          |
| T <sub>1</sub>   |                          |                           |                |                              |                        |                       |                                |           |          |
|  |                          |                           |                |                              | +70 m (b)              |                       |                                |           |          |
|  |                          |                           |                |                              | +80-90 m (a)           |                       |                                |           |          |

Tabla 1. Los niveles de terrazas del área y sus equivalencias.

entre los sistemas de los ríos de la Campiña y de los Páramos es más tentativa, dada la falta de terrazas “de enlace” en el Pisuerga septentrional y el Carrión, al atravesar los Páramos.

**Los depósitos del interfluvio Pisuerga-Carrión**

En el interfluvio Pisuerga-Carrión, en una zona al norte del borde de los Páramos, se presentan depósitos de cantos y gravas que, por su desconexión respecto a la red hidrográfica actual (figura 1), deben representar los trazados de antiguos cursos fluviales, hoy en día desaparecidos. La composición cuarcítica de los cantos indica que

estos cursos tenían procedencia septentrional y no nacían en el entorno terciario donde se localizan.

Algunos de estos depósitos se encuentran entre el Pisuerga-Vallarna y el Ucieza, al este de Frómista. Otros, los más importantes por su extensión y longitud, se localizan más cercanos al borde de los Páramos, entre el Pisuerga y el Ucieza-Carrión, en el entorno de la localidad de Tamara.

Estos últimos constituyen un notable “rosario” de manchas cartográficas, dispuestas elongada y subparalelamente a dicho límite y localizadas a favor de un tenue surco topográfico de

unos 770 m de altitud media (surco aprovechado hoy en día, en gran parte, por el trazado del ramal norte del Canal de Castilla). Estos depósitos se presentan escalonados en, al menos, dos niveles y con cotas relativamente similares a las de las terrazas del Ucieza. Deben corresponder, pues, a los restos de un sistema de terrazas izquierdas (surorientales) de un río importante que tendía a “evitar” el resalte de los Páramos.

**Las anchuras de los valles en la región de los Páramos**

En el ensanchamiento de los valles excavados por la red hidrográfica en los Páramos, han jugado y

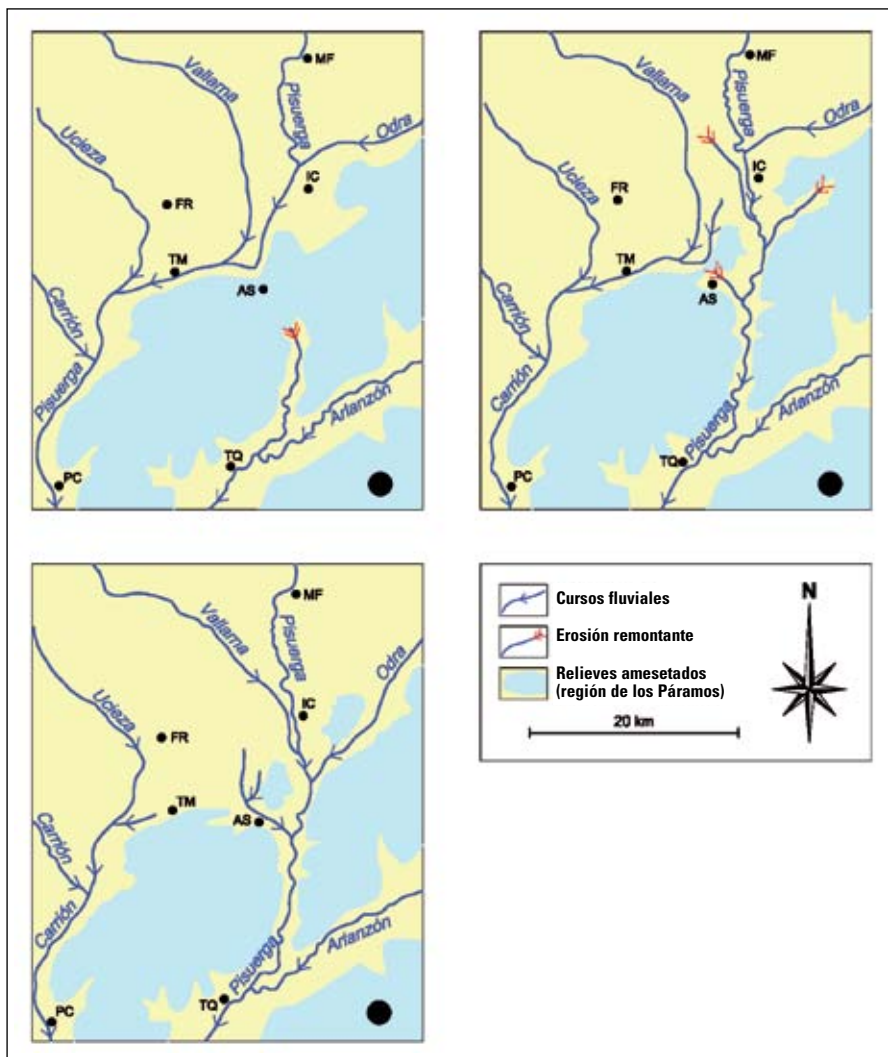


Figura 2. El proceso de cambio de trazado, o captura, del Pisuerga. A, en el Pleistoceno inferior; B, en el Pleistoceno medio (bajo); C, en el Pleistoceno medio. Localidades: AS: Astudillo, IC: Itero del Castillo; FR: Frómista; MF: Melgar de Fernamental; PC: Palencia; TM: Tamara; TQ: Torquemada.

el que surca la Campiña debe ser el más antiguo y el que atraviesa con dirección norte-sur los Páramos, el más joven, siendo de edad intermedia el del Pisuerga meridional, una edad que, por otro lado, comparte con su afluente el Arlanzón. Esta primera conclusión parece un contrasentido ya que... ¿cómo es posible que el valle de un río, más cercano a sus zonas de cabecera, pueda ser más antiguo que el valle del mismo aguas abajo? La explicación reside en que, efectivamente, los valles deben tener edades distintas pero porque correspondían a cursos fluviales originalmente diferentes, cursos que han sido posteriormente interconectados mediante un fenómeno de captura.

En este sentido, el tramo más joven (el Pisuerga septentrional atravesando los Páramos) es el elemento que conecta dos cursos originalmente distintos: el Pisuerga septentrional de la Campiña (más antiguo) y el curso configurado por el eje que determinan el Pisuerga meridional y el Arlanzón (menos antiguo). La conexión consistió en que dicho Pisuerga "joven" (que, en su inicio no pudo ser otro que un afluente derecho del entonces Arlanzón a la altura de Torquemada) capturó al Pisuerga septentrional de la Campiña en el entorno de Astudillo.

Una vez asumido que la captura se produjo, cabe preguntarse hacia dónde se dirigía este antiguo Pisuerga. La respuesta la proporcionan los depósitos del interfluvio Pisuerga-Carrión que, por su localización e importancia, deben corresponder a los restos de este antiguo curso y que, por su disposición, indican que este evitaba el resalte de los Páramos y se dirigía hacia el suroeste, hacia la cuenca del actual Carrión.

La equivalencia de terrazas (Tabla 1) permite deducir no solo el "momento" en que se produjo la captura sino, también, los detalles de la misma, al considerar la relación de la terraza *m* (el nivel más alto de los dos que se conservan en el interfluvio Pisuerga-Carrión) con las del Pisuerga y Vallarna, y que la terraza *n* (el más bajo de dicho interfluvio) equivale aproximadamente a la *c* del Pisuerga.

**La recreación del proceso de captura**

El proceso de captura o de cambio de trazado se ha recreado en la figura 2, habiendo sido dividido en tres estadios principales:

- A. Durante el Pleistoceno inferior hace unos 1,3 Ma, el Pisuerga corría con sentido norte-sur hasta el entorno de Astudillo, a un nivel de encajamiento materializado por sus hoy en día terrazas *a* y quizá *b*. Desde ahí, bordeaba los Páramos por el norte con dirección NE-SO, atravesaba luego estos, pasando por la zona de Palencia y, finalmente, recibía al entonces Arlanzón a la altura de Venta de Baños.

juegan un papel esencial los deslizamientos de ladera, favorecidos por la incompetencia de las litologías y causados frecuentemente por la expansión lateral de los meandros. Teniendo en cuenta estas circunstancias, la anchura de un valle puede ser un indicador de su grado de evolución y, por tanto, de su edad.

Estos valles son de anchuras diversas, si se consideran las existentes entre los resaltes de las mesetas calizas superiores. Los valles del Pisuerga septentrional y del Carrión alcanzan anchuras de 3-4 km, y los del Arlanzón y del Pisuerga meridional, del orden de 6-7 km. Estos datos sugieren que los valles de estos dos últimos están más evolucionados y deben ser más antiguos que los de los primeros, lo cual es aparentemente contradictorio pero importante, como se verá a continuación.

**El cambio de trazado del Pisuerga**

En todo lo anteriormente descrito destacan varias características que, al examinar el actual trazado del Pisuerga, sugieren distintas fases

de generación para los diversos tramos del mismo.

Por un lado, cabe resaltar la presencia de un mayor número de terrazas, y más altas, en el Pisuerga septentrional (en la Campiña), respecto al Pisuerga meridional. De hecho, las terrazas más altas del Pisuerga en el área (*a* y *b*, véase tabla 1) solo se localizan en el dominio de la Campiña, y las más bajas también en el de los Páramos. De ello, puede deducirse que el septentrional debe tener una más larga historia (y, por tanto, una mayor antigüedad) que el meridional.

Por otro lado, las anchuras de los distintos valles en la región de los Páramos indican un similar grado de evolución (y de antigüedad) para los valles del Pisuerga meridional y del Arlanzón pero, también, que el valle del Pisuerga septentrional es, de manera anómala, más estrecho (y seguramente más reciente) que el de su propio afluente, el Arlanzón.

Por tanto, las características descritas sugieren que, de los tramos del Pisuerga considerados,

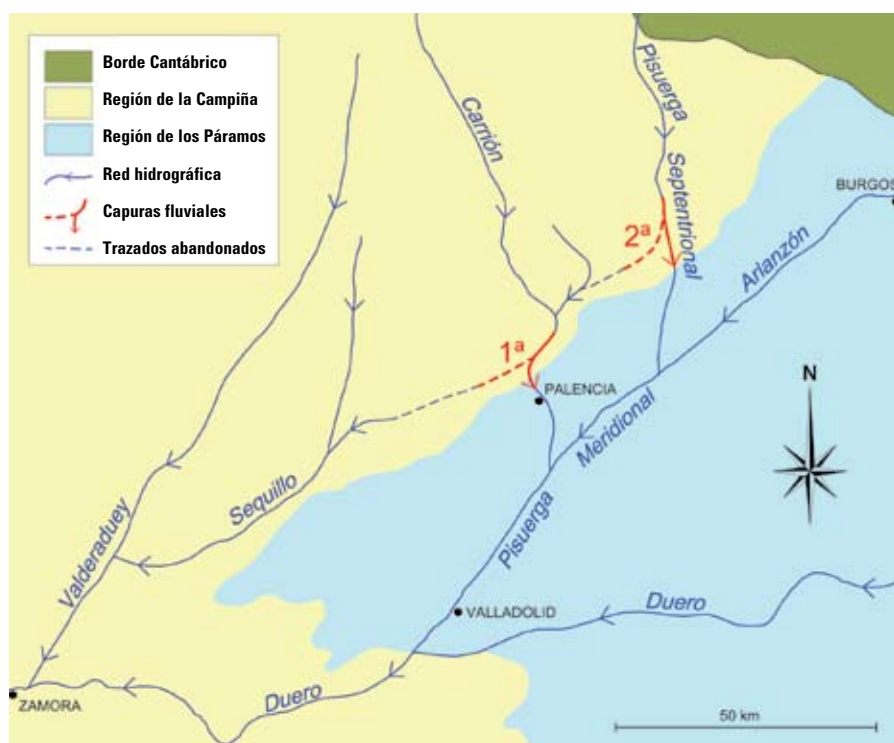


Figura 3. La red hidrográfica de la región y su evolución esquemática.

Mientras tanto, la cabecera de un afluente derecho de este último, que vertía al mismo a la altura de Torquemada, se encontraba en pleno proceso de erosión remontante (quizá favorecido por alguna línea de debilidad tectónica), al sur de Astudillo.

- B. Durante el Pleistoceno medio (bajo, hace unos 0,7 Ma), este afluente ya ha terminado de seccionar los Páramos y ha capturado al Pisuerga entre Astudillo e Itero del Castillo, manteniéndose el Vallarna como único y disminuido curso que todavía bordea aquéllos. Como consecuencia, el Pisuerga fluye hasta Torquemada, a nivel de sus hoy en día terrazas c, y trata de regularizar su perfil, encajándose al norte de Astudillo y creando pequeños afluentes, con activos procesos de erosión remontante, que amenazan de captura al Vallarna en varios puntos de su trazado.
- C. Durante el Pleistoceno medio (hace unos 0,5 Ma), el Vallarna es capturado por esos pequeños afluentes del Pisuerga, desapareciendo todo vestigio de curso fluvial bordeando los Páramos. Este proceso se produjo inmediatamente antes del depósito de las terrazas d.

Sin embargo, no fue este el único cambio de trazado operado en la red de la región: el hecho de que aquel primitivo Pisuerga (hoy en día, Carrión) atravesara los Páramos por Palencia pudo (y debió) ser fruto de otro proceso de captura similar al descrito pero temporalmente anterior (ya que, a diferencia de éste, no se conservan depósitos del trazado abandonado al noroeste de Palencia), y también por la actuación de otro afluente derecho del entonces Arlanzón. Por tanto, se deduce que,

## Un contexto de dos colectores principales, largos, subparalelos y relativamente próximos no podía durar mucho tiempo, debido a la competencia entre los mismos

de un modo general, la red hidrográfica antigua tendía a bordear el resalte de los Páramos fluyendo hacia el suroeste, y que las capturas descrita y mencionada han supuesto una rectificación nort-sur de una gran parte de la misma.

### La historia de la red fluvial de la región

La tendencia suroeste de aquella primitiva red hidrográfica tiene su justificación ya que el inicio de esta debió estar notablemente influenciado por la zonación litológica existente al final de la época endorreica. En la llanura resultante del proceso de relleno terciario habría una parte noroccidental de la misma con sustrato terciario blando, limo-arcilloso, (la futura Campiña) y otra, suroriental, con sustrato duro, calizo (la futura región de los Páramos), separadas por un límite orientado NE-SO.

Al llegar la red hidrográfica atlántica a este escenario, el encajamiento de la misma debió ser preferente, y su velocidad más rápida en la

parte noroeste, es decir, en la Campiña. Enseguida se consolidó un curso principal, subparalelo a dicho límite, al que, con el tiempo, habrían de llegar a fluir gran parte de los ríos cantábricos. Mientras tanto, en los Páramos, la red fluvial debió encontrar mayores dificultades para su encajamiento pero aprovechó (o se vio favorecida por) un lineamiento de probable origen tectónico: el del Arlanzón, también de dirección NE-SO.

Un contexto de dos colectores principales, largos, subparalelos y relativamente próximos (unos 15 km) no podía durar mucho tiempo, debido a la competencia entre los mismos. En algún momento, el curso sobre el lineamiento del Arlanzón llegó a adquirir un nivel de base local más bajo (ya fuera por mayor velocidad de encajamiento y/o por razones neotectónicas) que el curso septentrional. Este fenómeno llevó aparejadas mayores tasas de erosión y de encajamiento en las vertientes del primero respecto de las del segundo. Fue el comienzo de una rectificación generalizada de parte de la red.

Con el tiempo, las cabeceras de los afluentes derechos del curso del lineamiento del Arlanzón habrían de llegar a contactar con el curso NE-SO del norte de los Páramos, capturándolo en diversos puntos y momentos (figura 3). Desde entonces, la red hidrográfica ha tendido, de forma cada vez más notoria, a obviar el resalte de los Páramos y fluir desde el norte cantábrico hasta el lineamiento.

De aquel curso que debió bordear por el norte los Páramos, drenando toda la Campiña, no quedan sino ríos generalmente secundarios, o tramos de otros principales, en los que aún se conserva la característica dirección NE-SO. Al suroeste del área, el Sequillo, vertiente al Valderaduey, debe ser su representante actual; un río hoy en día todavía largo pero, proporcionalmente, de escaso caudal ya que está privado de aquellos importantes aportes cantábricos, al tener su cuenca de recepción alta incorporada a las actuales del Carrión y del Pisuerga.

### Bibliografía

- IGME (1973). *Mapa Geológico de España escala 1/50.000, 2ª serie. Santa María del Campo (275)*.
- Olivé, A., Portero, J. M., Olmo, P. del; Aragonés, E.; Carreras, F.; Molina, E. y Gutiérrez Elorza, M. (1978). *El sistema de terrazas del río Carrión*. I Reunión sobre la Geología de la Cuenca del Duero, Salamanca, 1979. *Temas Geológico-Mineros*, parte IIª, 451-463. IGME.
- Zazo, C., Goy, J. L. y Hoyos, M. (1983). Estudio geomorfológico de los alrededores de la Sierra de Atapuerca, Burgos. *Estudios Geológicos*, 39, 179-185.

# El Sendero Internacional de los Apalaches, geología, historia y cultura

Como continuación al artículo publicado en el nº 38 del segundo semestre de 2010 de esta revista, en el que se hizo una introducción al proyecto de carácter mundial denominado Sendero Internacional de los Apalaches (SIA), se describe en este nuevo artículo, de forma general, las zonas por las que discurrirá el futuro Sendero en España y Portugal.

**TEXTO** | Ruth Hernández Paredes, geóloga y presidenta del SIA-España; Juan Gil Montes, geólogo y presidente de la Asociación Amigos de la Via de la Plata-Camino de Santiago de Cáceres; Antonio Dávila Montero, presidente de la Asociación Amigos del Camino Real de Guadalupe; José Antonio Montero y María José Prieto, ingenieros, técnicos forestales, Asociación Geovilluercas.

**FOTOGRAFÍAS** | V.V.A.A.

Palabras clave

**Sendero Internacional de los Apalaches, SIA, Las Villuercas, Guadalupe.**

El Sendero Internacional de los Apalaches (SIA), entre España y Portugal, recorrerá el mayor número de lugares de interés geológico, histórico y cultural, siguiendo el territorio hercínico con "relieve apalachense". En la Península Ibérica, la única zona que cumple estos requisitos es el llamado Macizo o Escudo Ibérico o Hespérico (plegado durante la orogenia Hercínica o varisca, hace 300 millones de años).

El proyecto del SIA se centrará en establecer una senda o itinerario hispano-portugués que se extenderá de un extremo a otro del Macizo Ibérico siguiendo la dirección hercínica SE-NO, desde Asturias hasta Córdoba, pasando por el norte de Portugal y Las Villuercas.

De sureste a noroeste, el futuro Sendero Internacional de los Apalaches comenzaría por el "Camino Mozárabe" que va desde Córdoba hasta Mérida, para, desde Medellín, pasar a la zona de Las Villuercas, Trujillo y Cáceres, siguiendo el Camino de Cáceres a Alcántara, Puente Romano de Alcántara-Idanha a Velha-Monsanto- Penamacor-Caria-Belmonte, y por la Sierra de la Estrella hasta Viseu, después a Braga y Santiago de Compostela, completándose por Galicia y Asturias para enlazar con el SIA francés y el SIA inglés.

El futuro sendero atravesará dos geoparques (Las Villuercas y Naturtejo), dos parques naturales (Tajo Internacional y la Serra da Estrela), y el Parque Nacional de Monfragüe.

Podremos observar vestigios romanos en Córdoba, Medellín, Puente de Alcántara, Idanha a Velha, Centum Cellas y Braga. Visitar aldeas históricas como Guadalupe, Trujillo, Cáceres, Monsanto, Belmonte, etc., teniendo siempre presente a lo largo del sendero nuestro impresionante "relieve apalachense" orientado según la dirección hercínica hacia Santiago de Compostela.

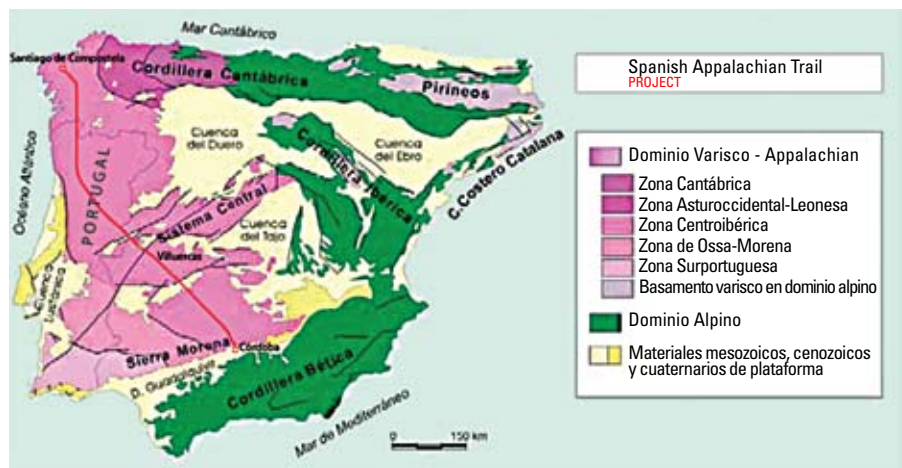


Figura 1. Dominios geológicos principales de la Península Ibérica.

## Camino Real de Guadalupe

Antes de entrar en la descripción de la zona central del SIA en la zona de Las Villuercas-Ibores-Jara, único lugar en el mundo, junto a la cordillera de los Apalaches en Norteamérica (de la que nos separan unos 6.000 km), donde se puede observar el relieve apalachense en su plenitud, describiremos el Camino Real de Guadalupe,



Figura 2. Puente de Alcántara (Autor: Juan Gil).

que nos lleva desde Ávila, Segovia, Madrid, San Lorenzo del Escorial, Toledo o Guadalajara al corazón de Las Villuercas, la ciudad de Guadalupe, Patrimonio de la Humanidad.

La Asociación de Amigos del Camino Real de Guadalupe ha rescatado del olvido el Viejo y Real Camino de peregrinación que usaban los peregrinos para visitar a la Virgen de Guadalupe en la Edad Media desde Madrid, Toledo, Guadalajara, Segovia y Ávila en el centro de la Península Ibérica.

El Camino Real de Guadalupe (CRG) accede a la cordillera de Las Villuercas por el puerto de Arrebatacapas en la primera de las sierras que componen el conjunto, Sierra de Altamira, para descender al valle del río Gualija por las aperturas, portillas o cluses que forma el relieve apalachense y que permiten ascender al puerto de la Cereceda en la segunda sierra, de La Palomera.

Fue en la Edad Media cuando comienzan a transitar por estas latitudes peregrinos a

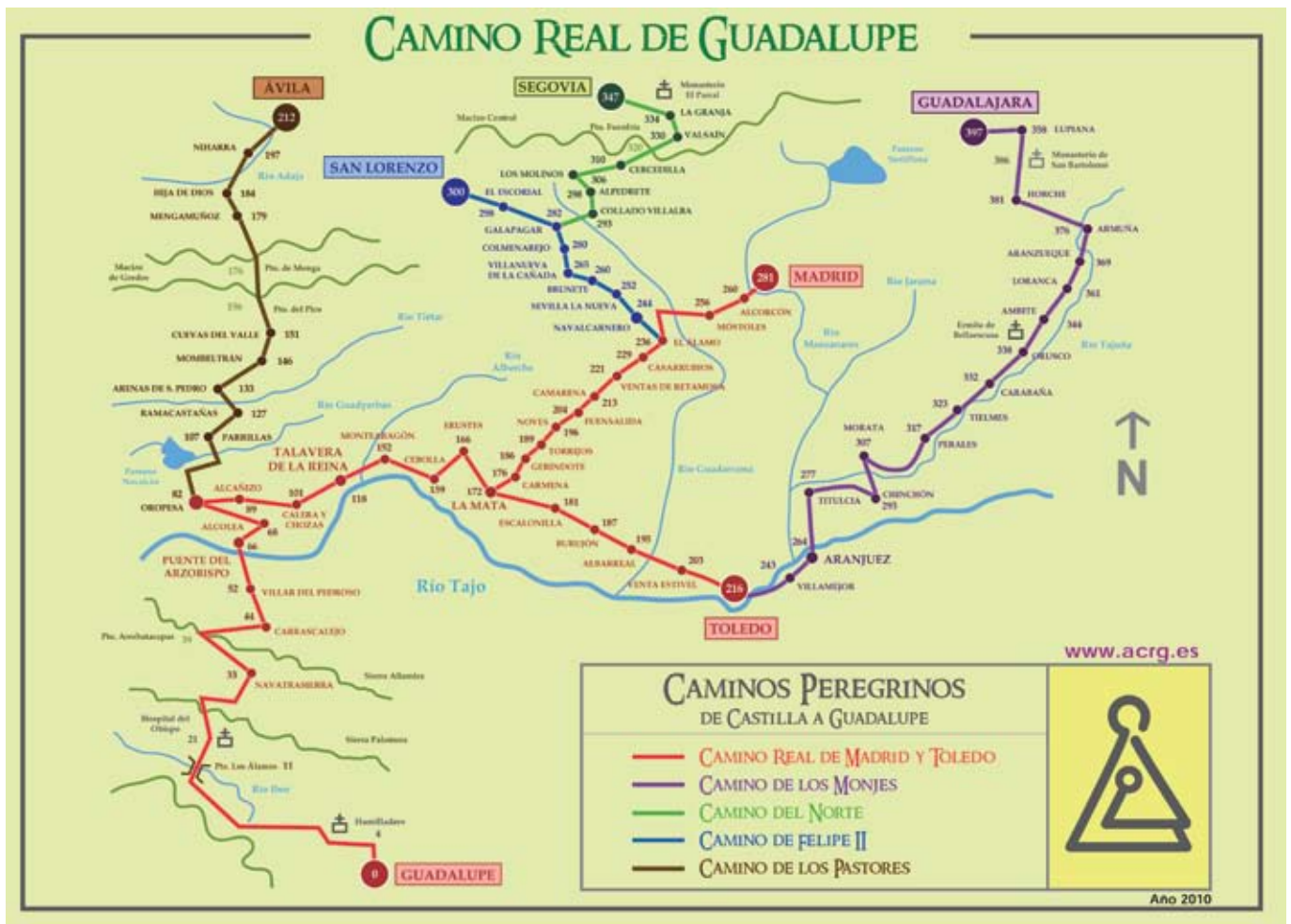


Figura 3. Camino Real de Guadalupe.

Guadalupe, siendo ellos los primeros divulgadores de estos parajes, si bien es verdad que ninguno utiliza el término “apalachense” ya que para esa época, siglo XV, es cuando Colón llega a la costa americana y, al pisar tierra, llama a esa isla Guadalupe. Quizás hubiera sido, como dicen los geólogos expertos en la zona, Juan Gil y Magín Murillo, más adecuado denominarlo en vez de relieve apalachense, relieve villuerquino como término más apropiado a la historia.

Según palabras del profesor Manuel Criado del Val, doctor en Filosofía y Letras por la Universidad Complutense de Madrid y presidente de la Asociación Internacional de Caminería, en el I Congreso de Caminos Peregrinos a Guadalupe (abril de 2009), celebrado en el monasterio de Guadalupe, el hombre crea sus primeras sendas, veredas o trochas para ir a cazar o pescar, pero no diseña caminos más específicos hasta que le surgen otros motivos como:

- Marchar a una guerra o conquista de territorios (caminos hacia cualquier dirección ya que son principalmente económicos y guerreros).
- Traslado de ganados para aprovechar pastos de invierno y verano, trashumancia, (caminos en dirección norte-sur).

- Y de peregrinar a un lugar santo (caminos con un punto final determinado, Santiago, Roma, santos lugares, Guadalupe, La Meca, etc.).

Por tanto, son estos peregrinos que vienen al monasterio de la Virgen de Guadalupe en la Edad Media, y entre los que se encuentran

Son estos peregrinos que vienen al monasterio de la Virgen de Guadalupe en la Edad Media los primeros en visitar, observar y describir estas sierras que componen Las Villuercas y sus relieves apalachenses

reyes, nobles, clérigos, mendigos y viajeros ilustres, los primeros en visitar, observar y describir estas sierras que componen Las Villuercas y sus relieves apalachenses, a través de sus escritos y de los que referenciamos a continuación algunos de ellos:

- *Viaje a España*, de Jerónimo Münzer (1495). “Yendo de Salamanca a Sevilla, hacia el medio día se presentan unas altísimas montañas, de siete u ocho leguas de longitud. Montañas, repito, guarida de fieras, con valles abruptos, llenas de precipicios, en medio de las cuales está situado el Monasterio de Guadalupe”.
- *David perseguido*, de Cristóbal Lozano (1618-1662), en el que relata que peregrinó a Guadalupe desde Oropesa por el hospital del Obispo: “De uno en otro collado discurre fatigado, subiéndose en los hombros de las peñas, por fin divisa acaso algunas señas de humilde choza, caba o alquería, más en vano porfía porque las sierras donde está son tales que no hay sino guaridas de animales”.
- *El vago italiano*, de Norberto Caímo (28 de diciembre de 1755). Describe el viaje a Guadalupe desde Puente del Arzobispo por Burguilla y Villar del Pedroso, en el que relata su entrada a Las





Figura 4. Sierras de los Ibore y Guadalupe (Fuente: Google maps).

## La Asociación de Amigos del Camino Real de Guadalupe ha rescatado del olvido el Viejo y Real Camino de peregrinación que usaban los peregrinos para visitar a la Virgen de Guadalupe en la Edad Media

Villuercas por Arrebatacapas: “Pero el camino cómodo no duró más de una legua, acabada la cual fue necesario que las mulas treparan por un empinado monte, todavía blanqueado de nieve, para luego descender a un sombrío valle, dejando a la derecha una aldehuela y cruzando pequeños arroyos, ora por tupidas florestas con mil escondrijos de diferentes animales”.

- **Viaje por España**, de Antonio Ponz (1771). En su Carta III dice: “A la izquierda saliendo del Villar se ve Carrascalejo y a la derecha está Valdelacasa, lugares cortos. Al cabo de una llanura entre encinas y sembrados se empiezan a subir los altos cerros de la cordillera de Guadalupe. El primero y segundo son muy elevados y fragosos entre los cuales hay un terreno interrumpido de lomas y frondosos aunque estrechos valles, que parece convidan a hacer allí muchas poblaciones. Toda la tierra está vestida de carrascas, madroños, romeros, y otros géneros de arbustos inútiles en aquella soledad”.

En su Carta IV dice: “Amigo, sin embargo de la aspereza y soledad de estas encumbradas sierras estoy resuelto a atravesarlas otra vez de oriente a poniente, ya que las tengo andadas desde norte a mediodía y me mueve a ello cierta curiosidad que diré luego, y el saber que hay algunos sitios muy bellos por donde ahora pienso encaminarme”.

- **Por tierras de España y Portugal**, de Miguel de Unamuno (1911). “Emprendí esta peregrinación artística apenas terminé mi curso universitario, con la triste impresión que dejan siempre unos exámenes, buscando unos días de reposo y de baño en naturaleza para poder volver con renovadas fuerzas a la roca sisifeana que me cupo en suerte. Y hoy llevo, en el relicario de mis recuerdos, un recuerdo más, un recuerdo perfumado y fresco, el de la bravía verdura de Guadalupe, resguardada del mundo mundanal por severas crestas, sobre las cuales trazan las águilas sus aéreas

espirales. Es una lástima que la ramplonería de la rutina española lleve a tantas gentes a pueblecillos triviales, de una lindeza de cromo que encanta a los merceros enriquecidos, y hasta les asuste pasar incomodidades para ir a gozar de visiones que están fuera del tiempo.”

- **Los frailes y sus conventos, su historia, su descripción, sus tradiciones, sus costumbres y su importancia**, de Víctor Balaguer (1851). En el “Paisaje del Camino de Guadalupe” dice: “Mirad, aquí tiene su principio una cordillera áspera y dura que en ondas de piedra va creciendo progresivamente hasta llegar a aquellos cerros que podéis ver a lo lejos delinearse sombríos sobre el azul del horizonte, son Las Villuercas.  
¿Os admira el aspecto salvaje del sitio? ¿teméis acaso internaros por esas sinuosidades?... No retrocedáis, no, el camino es agreste, pero pintoresco. Seguid la angosta senda que se



Figura 5. Cabañas del Castillo (Autor: Juan Gil).



Figura 6. La Villuerca desde Cañamero (Autor: Juan Gil).



Figura 7. Batolito de Logrosán, desde la carretera de Berzocana (Autor: Ruth Hernández).



Figura 8. Vista de Guadalupe, en la bajada desde Cañamero (Autor: María Hernández).

abre ante vuestros pasos y que os conducirá al Puerto de la Cerecera (Cereceda), único que en el espacio de muchas leguas aportilla la montaña en que está situado. Algo borrado está el sendero, las malezas lo alfombran, lo obstruyen los peñascos enormes que hace rodar la tempestad de las vertientes laterales, pero en cambio os será grata la caminata si amais las asperezas de las lomas y cañadas, si os placen las perspectivas que despliegan tesoros de virgen y robusta vegetación, si os gusta ver saltar de peña en peña con su murmurio melancólico transparentes arroyos que arrastran su corriente

por entre madroños y carrascas, brezos y quejigos, y cuyas aguas dan vida y florescencia a las moradas viudas y a las silvestres perpetuinas que hacen brillar orgullosas a los rayos del sol sus frondosos ramilletes de oro.

¿Véis sobre la cumbre de aquel frondoso cerro, dominado por otros innumerables que se hallan plantados de viñas, olivos, castaños y huertas, aquel grupo de casas desiguales por la montuosidad del terreno y declive de las calles?

Pues es Guadalupe, la villa universalmente célebre".

### Zona central del SIA en España:

#### Villuercas-Ibores-Jara

Actualmente, la asociación del SIAE está trabajando en esta zona, donde el recorrido propuesto está basado en los siguientes puntos:

- Puesto que el relieve apalachense de Las Villuercas es la mejor representación del mismo en la Península Ibérica, el Sendero debería recorrer en profundidad la zona.
- Pasará por la mayor parte de poblaciones posible, lo que sin duda traerá desarrollo a las mismas, aprovechando la infraestructura turística ya creada.
- Que el Sendero pase por zonas de gran importancia no solo geológica, sino también cultural, etnográfica, natural y paisajística.
- Crear un Sendero con identidad propia aunque se apoye en algunos senderos ya existentes.

El futuro trazado del SIA en la comarca pasaría por las siguientes poblaciones: Fresnedoso de Ibor, Robledollano, Roturas de Cabañas, Solana, Berzocana, Logrosán, Cañamero, Guadalupe, Navezuelas, Navalvillar de Ibor, Castañar de Ibor, Despoblado de La Avellaneda, Peraleda de San Román, Navatrasierra, La Calera, Alía y Puerto Rey. En las figuras 5 a 8 se pueden ver algunos de los paisajes de la zona.

#### Agradecimientos

A todos los socios del SIA, gracias por vuestra confianza y apoyo. También a nuestros acompañantes en las rutas: Israel, Ainhoa, Pedro, María, Yolanda, Marisé, Rocío, Adela, Katia y Rodrigo.

#### Bibliografía / Enlaces de Interés

International Appalachian Trail: [www.iat-sia.com](http://www.iat-sia.com)  
 Sendero Internacional de los Apalaches: <http://senderointernacionaldelosapalaches.blogspot.com.es>

Wikiloc: <http://es.wikiloc.com/wikiloc/find.do?q=siae>

Asociación Amigos del Camino Real de Guadalupe: <http://www.acrg.es>

Museo de Logrosán: <http://museodelogrosan.blogspot.com.es>

Monumento Natural Cueva de Castañar de Ibor: [http://www.extremambiente.es/index.php?option=com\\_content&task=view&id=176&Itemid=91](http://www.extremambiente.es/index.php?option=com_content&task=view&id=176&Itemid=91)

Centro ZEPA "Sierra de las Villuercas y Valle del Guadarranque": <http://zepavilluercasibores.blogspot.com.es>

# Gestión del equilibrio entre riesgo, medio ambiente y desarrollo: el caso de la Reserva Natural Laguna de Apoyo de Nicaragua

La Reserva Natural Laguna de Apoyo de Nicaragua, una caldera volcánica sísmicamente activa, está sometida a una presión urbanística y degradación ambiental acuciante. En los últimos cinco años, Geólogos del Mundo ha apoyado la creación de una asociación de siete municipios, AMICTLAN ([www.amictlan.com](http://www.amictlan.com)), que gestiona mancomunadamente esta reserva en base a estudios y normativas creadas en el proyecto, acompañadas de fortalecimiento institucional y mejora de las capacidades y sensibilidades de autoridades locales, técnicos municipales, organizaciones comunales y población. Con esta base, se ha incidido simultáneamente en gestión de riesgo, gestión ambiental y desarrollo económico sostenible, consiguiendo un cambio de rumbo en la gestión de este espacio. Actualmente, el proyecto está gestionado íntegramente por AMICTLAN, organizaciones locales y alcaldías.

**TEXTO Y FOTOGRAFÍAS** | Diego Vázquez-Prada Baillet, y María De Marco Vicente. Geólogos del Mundo.

Palabras clave  
**Reserva Natural Laguna de Apoyo,  
Nicaragua, Geólogos del Mundo.**



Figura 1. Vista de la Laguna de Apoyo con el humeante volcán Masaya y parte de la cordillera volcánica nicaragüense al fondo.

El 6 de junio del año 2000, en la Laguna de Apoyo, se sintió un terremoto de magnitud 5,2 en la escala de Richter con más de 500 réplicas, que provocó pérdidas de vidas y gravísimos daños. A raíz de estos eventos, se hizo patente la necesidad de una planificación territorial que, por un lado, permitiera evitar daños y pérdidas y, por otro, no impidiera el desarrollo económico sostenible de esta región de Nicaragua.

Ante esta situación, Geólogos del Mundo implementó una serie de programas cuyo objetivo era, en general, aumentar la calidad de vida de los habitantes de la Laguna de Apoyo a través de una mejora en la gestión ambiental y del riesgo geológico. El desarrollo de los diferentes programas realizados ha sido, en casi todos los casos, cofinanciado por la Agencia Catalana de Cooperación al Desarrollo.

## Caldera de la Laguna de Apoyo

La Laguna de Apoyo se sitúa en la cordillera volcánica de Nicaragua (figura 1), sobre una zona de especial actividad sísmica donde se registran más de 100 temblores al año. Es una laguna cratérica formada hace 23.000 años tras dos grandes erupciones explosiva de 6 VEI (*Volcanic Explosivity Index*) (Kutterolf *et al.*, 2007). La actividad volcánica no es muy intensa en la actualidad, pero en el último año entró en crisis por una emanación masiva de gases sulfurosos no localizada.

Las laderas del cráter son muy inestables, presentando fuertes pendientes en la mayor parte del territorio, lo que facilita la frecuente ocurrencia de inestabilidades de laderas que ha provocado algunos daños (figura 2). Estos eventos y otros, como inundaciones repentinas, ocurren principalmente en la época lluviosa, cuando son frecuentes los huracanes.



Figura 2. Deslizamiento complejo en la ladera de la caldera de la Laguna de Apoyo.

Finalmente, la naturaleza endorreica de la Laguna le imprime un carácter único a nivel mundial, al encontrarse en ella especies endémicas de peces exclusivas de este cuerpo de agua, que han logrado evolucionar a lo largo del periodo de existencia de la Laguna.



Figura 3. Corte de un árbol emblemático en los límites de la Reserva Natural Laguna de Apoyo.

Alrededor de la Laguna viven más de 150.000 personas pertenecientes a seis municipios de dos departamentos administrativos diferentes. Algo más de 200 personas viven en el interior del cráter. La actividad económica se reparte entre el sector primario (agricultura y ganadería) y el sector terciario (turismo).

La Laguna de Apoyo es un espacio protegido desde el año 1991 (Decreto 42-91), pero no ha sido hasta enero de 2010, gracias en gran parte a los esfuerzos presentados en este artículo, que ha podido contar con un Plan de Manejo que permita una adecuada gestión del mismo.

La situación geográfica de fácil acceso y cerca de la capital de Nicaragua, Managua, la bonanza de su clima y las impresionantes vistas y valores naturales han dirigido el futuro de este espacio hacia el turismo de naturaleza pero también hacia la especulación inmobiliaria y explotación incontrolada del medio (figura 3), provocando en ocasiones confrontaciones entre inversores, gestores del territorio y la propia población.

#### Destinatarios

Conscientes de que una adecuada gestión del territorio no es tarea solo de las instituciones

gubernamentales, o de los gobiernos municipales, se diseñó un plan de acción que incluyó a todos los actores considerados clave en la planificación territorial:

- La población, dependiente de los recursos naturales de la Reserva para su propia supervivencia, y cuya identidad se encuentra vinculada fuertemente a la Laguna.
- Los comités de prevención de desastres y de gestión ambiental municipales y comunitarios, responsables de gestionar y actuar en momentos de emergencia.
- Las instituciones gubernamentales a nivel nacional y departamental con competencia en gestión ambiental y gestión del riesgo.
- Los gobiernos municipales, como responsables de buena parte de las actividades que se desarrollan en la Reserva.
- Los actores económicos que utilizan los recursos naturales de la Reserva para su desarrollo económico. Se incluyeron entre estos tanto a los pequeños empresarios como a los grandes inversores urbanísticos con intereses inmobiliarios en la Laguna.
- En general, los usuarios de la Reserva, que muchas veces la visitan sin ser conscientes de que se trata de un espacio protegido de importantes valores ambientales.

#### Desarrollo de acciones

Con el fin de conseguir una gestión integral del espacio volcánico protegido, Geólogos del Mundo apoyó, en el año 2006, la conformación de la Asociación de Municipios Integrados por la Cuenca Territorios de la Laguna de Apoyo (AMICTLAN). Esta aglutina a las siete municipalidades que rodean la Reserva Natural Laguna de Apoyo. Durante los siguientes cinco años se ha ido trabajando de forma escalonada y continua con esta organización para alcanzar el desarrollo sostenible de la zona, incidiendo en la reducción de riesgo y la protección ambiental.

La naturaleza de esta asociación es eminentemente política. Son socios de ella los alcaldes y concejales de los siete ayuntamientos vinculados a la Reserva. El cargo de los socios, al ser político y renovado cada cinco años, implica la necesidad de crear una mínima estructura que de continuidad a la asociación (figura 4). Esta estructura ha tomado forma bajo la Oficina Técnica de la AMICTLAN, desde donde se han impulsado (y se continúan impulsando) los proyectos, estudios y acciones que se relatan en este documento.

#### Creación de las bases

Los primeros años se trabajó en acciones con impacto a mediano y largo plazo que crearán el soporte de futuras actuaciones:



Figura 4. La Junta Directiva de AMICTLAN con la Laguna de Apoyo al fondo.

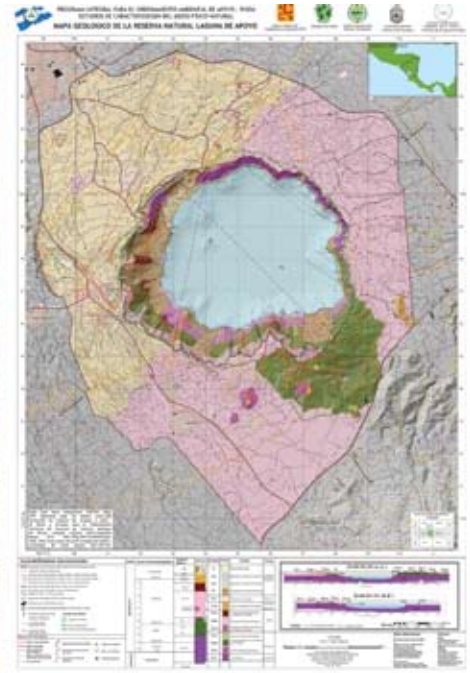


Figura 6. Técnicos municipales y estudiantes de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua participando en la realización del estudio geológico de la Laguna de Apoyo. A la derecha, mapa resultante.

1. AMICTLAN se ha ido consolidado como una de las organizaciones ambientales en gestión del riesgo y gobernabilidad de referencia en el país, y el referente en la gestión de la Reserva Natural Laguna de Apoyo. Sus socios, concejales y alcaldes, pese a tener una participación irregular, están cada día más sensibilizados en sostener esta estructura y tomar las decisiones conjuntamente.
2. Creación de una Oficina Técnica competente capaz de desarrollar y gestionar los programas y que cuenta con plataformas de comunicación (web, programa de radio, boletín, Facebook, canal YouTube, etc.). La fortaleza técnica del equipo de la oficina de AMICTLAN, a nivel ambiental, de gestión de riesgos y de gobernanza, ha sido puesta de manifiesto a nivel nacional (figura 5).
3. Realización de los estudios de base necesarios para gestionar el territorio correctamente:
  - Para la identificación y caracterización de riesgos geológicos se realizó la cartografía



Figura 5. Alcaldes y Oficina Técnica de AMICTLAN presentando la problemática de la Laguna de Apoyo en la Comisión de Medio Ambiente de la Asamblea Nacional de Nicaragua.

geológica (figura 6), geomorfológica, de susceptibilidad por inestabilidad de laderas y de amenaza por inundación. Gracias a estos mapas se facilitó la inclusión de estos criterios en la elaboración de la posterior zonificación territorial.

- Usos del suelo. Este estudio permitió conocer no solo la situación actual de usos de suelo, sino sus usos en los últimos 30 años, por lo que se pudo conocer la tendencia de usos actual y valorar su idoneidad con las características físicas de la Reserva.
- Hidrogeología. Por tratarse de una laguna endorreica, de alto valor ambiental (por la presencia de especies endémicas exclusivas de este cuerpo de agua), y por las mediciones del nivel del agua que indicaban un importante descenso progresivo de este, se estimó conveniente conocer más a fondo la dinámica de la Laguna con el fin de tener más criterios en el proceso de zonificación territorial.
- Ocio-económico. La presión humana sobre el medio se relaciona con las necesidades de las personas para sobrevivir. En el caso de la Laguna de Apoyo se unen por un lado pobladores con un índice de desarrollo humano de los más bajos del país junto a grandes inversores nacionales y extranjeros que ven en estas laderas una posible fuente de ingresos rápidos. Conocer las actividades económicas y las dependencias ser humano-entorno permite adecuar las propuestas de gestión territorial a la realidad de la Reserva Natural.
- Capacidad de carga territorial. El estudio de cuánto es lo que el medio puede “soportar”

## AMICTLAN se ha ido consolidando como una de las organizaciones ambientales en gestión del riesgo y gobernabilidad de referencia en el país

en relación a las actividades humanas más representativas de la Laguna fue un criterio clave para determinar áreas y delimitar actividades en la zonificación territorial de la Reserva.

- Estudios ecológicos. La escasa presencia de estudios integrados sobre la ecología de la Reserva determinó la realización de dos evaluaciones, con el fin de precisar mejor los valores ambientales de la Reserva y dirigir más precisamente las acciones de conservación necesarias.
- Levantamiento catastral. A la fecha de la ejecución de los programas en la Laguna de Apoyo el catastro rural en Nicaragua estaba sin desarrollar. La necesidad de identificar los propietarios de las tierras de la Reserva se consideró prioritario con fines de ordenación del territorio, pero también tributarios para las alcaldías.



Figura 7. Profesores de Primaria recibiendo sus diplomas del curso de educación ambiental realizado por AMICTLAN y Geólogos del Mundo.

- Estudios de gestión de residuos sólidos y líquidos. El precedente de otras lagunas cratéricas en Nicaragua anegadas por residuos sólidos y líquidos obliga a controlar estas acciones en la Reserva Natural Laguna de Apoyo. La identificación de los vertidos en la Laguna (prohibidos por la legislación nicaragüense) y de vertederos ilegales, permite una mejor gestión del territorio y evitar el deterioro de un cuerpo de agua con tan bajo poder de recuperación como lo es una laguna endorreica.
- Zonificación territorial. Los estudios anteriores culminaron con la elaboración de una zonificación territorial en base a criterios ambientales, geológicos y socioeconómicos aprobada por ordenanza municipal en las municipalidades de AMICTLAN.

Se priorizó la participación activa de los técnicos municipales e instituciones nacionales en la elaboración de los estudios para, de este modo, asegurar la total comprensión de los procesos de investigación y sus resultados y la validación final. Por otro lado, se trabajó en la divulgación en las comunidades de los resultados de los estudios a través de medios de comunicación locales, jornadas de formación, trabajo con las organizaciones comunales y charlas en las propias comunidades.

4. Fortalecimiento de instituciones que trabajan en la zona (alcaldías, delegaciones del Ministerio del Ambiente, organizaciones de prevención de desastres) mediante el desarrollo de capacitaciones y el acompañamiento en casos concretos.

5. Sensibilización a la población en temas de riesgo y educación ambiental, a través de medios informativos (boletines, radio), campañas y exposiciones itinerantes, o educación con profesores. Conscientes de que la convivencia con los valores ambientales y la realidad geológica de la Laguna no iba a mejorar a corto plazo, se trabajó con los profesores de las 14 escuelas de la Reserva y alrededores, consiguiendo buenos resultados (figura 7).

### Gestión integral del espacio

Una vez conseguida una base de estudios, fortalecimiento institucional y sensibilización base de la población, se ha trabajado paralelamente la gestión del riesgo, gestión ambiental y desarrollo económico.

6. Fomento y desarrollo de legislación ambiental y de ordenamiento territorial a partir de los estudios realizados. Ante la amenaza de construcciones descontroladas de urbanizaciones y grandes proyectos de turismo residencial (figura 8), se trabajó con los concejales y alcaldes de todos los municipios para crear una base legal de ordenamiento territorial. Se implementó una zonificación territorial y una ordenanza ambiental en base a los estudios realizados, que se convirtió en ordenanza municipal y en la zonificación y reglamentación del Plan de Manejo de la Reserva, que fue aprobado en el año 2010 por el Ministerio del Ambiente (MARENA-Resolución 01-2010). Se incidió con la población para el conocimiento de estas normativas con una exposición itinerante y otros medios, y se realizaron paralelamente encuentros con jueces para dar a conocer la problemática de la Laguna y las nuevas normativas existentes. Técnicos de AMICTLAN y Geólogos del Mundo han sido invitados a participar en la preparación de legislación nicaragüense de ámbito nacional (NTON 05 002-08. Norma para la protección y conservación ambiental de las Lagunas cratéricas; o la Ley de Ordenamiento Territorial, aún no aprobada).
7. Creación y formación de organizaciones locales de prevención de desastres y ambientales (municipales y comunitarios), así como el desarrollo de obras de mitigación. También se crearon y equiparon Brigadas de Respuesta (figura 9), con lo que se logró disminuir drásticamente los daños por incendios, entre otras mejoras.
8. Desarrollar acciones de vigilancia. A través de guardaparques contratados y los técnicos de las alcaldías y la Oficina Técnica se realizaron tareas de vigilancia de la Reserva. Se hicieron jornadas de limpieza, campañas de reducción del riesgo, acompañamiento a campesinos y cooperativas para mejorar y hacer más sostenible sus actividades, y seguimiento a casos legales e infracciones.



Figura 8. Manifestaciones en contra de la urbanización indiscriminada de la Reserva Natural y a favor de la aprobación de regulaciones sobre uso del suelo.

### Hacia la sostenibilidad y el manejo colaborativo

Asentadas ya las bases e iniciados los continuos trabajos y requerimientos de la gestión de la Reserva, se han encaminado las acciones hacia alcanzar la sostenibilidad de la AMICTLAN y la Reserva, sin dejar de lado las acciones de años anteriores.

9. Promoción del desarrollo económico sostenible (impulso del turismo, guías, cooperativas, agricultura sostenible, generación de planes de prevención y gestión ambiental para negocios). Para encaminar el desarrollo sostenible de la zona y trabajar hacia la sostenibilidad del proyecto se han ido encaminando las acciones hacia la promoción del turismo verde, mediante el equipamiento de senderos, entrenamiento de guías y apoyo a cooperativas.
10. Construcción y puesta en marcha de un Centro de Visitantes de la Reserva (figura 10) como referencia de educación ambiental y vigilancia de la Reserva, gestión y monitoreo del riesgo y promoción turística y atención a guías y cooperativas. Esta estructura, que hace de oficina de AMICTLAN, de los guardaparques de la Reserva, museo, punto de información turística, inicio de sendero, recepción de comunicaciones e instrumentos de monitoreo, sala de capacitaciones y centro de refugio, dispone de un centro de referencia para organizar la gestión de la Reserva y promocionar el desarrollo sostenible en toda la zona. Funciona igualmente como un soporte para generar algunos ingresos que, junto con los ofrecidos por la municipalidad, puedan a medio plazo asegurar la sostenibilidad del proyecto.



Figura 9. Miembros de las Brigadas Municipales de Rescate realizando prácticas.

11. Manejo colaborativo. Se está trabajando para conseguir que exista una autoridad para el manejo de la Reserva constituida por los grupos de interés y encabezados por MARENA. El programa está jugando un papel muy importante en la consecución de este objetivo.

### Conclusiones

El panorama de gestión de la Laguna de Apoyo ha cambiado radicalmente con las acciones realizadas por estos programas. Ha pasado de ser un área protegida sin estudios de base, legislación, vigilancia ni planificación, a ser un referente nacional de protección ambiental y gestión del riesgo, donde los municipios trabajan

conjuntamente, con una base científica y legal hacia el desarrollo sostenible de la zona. El trabajo se ha realizado de forma gradual asentando primero las bases con estudios, fortalecimiento y sensibilización; realizando posteriormente planificaciones y regulaciones, soporte a organizaciones locales y gestión de la reserva y, finalmente, encaminando acciones de sostenibilidad económica, técnica e institucional tanto de la Reserva como de AMICTLAN.

Existen aún muchos retos que superar, siendo el de la sostenibilidad, tanto institucional como financiera, el más importante. En este sentido, el acompañamiento de Geólogos del Mundo en forma de acuerdo entre la ONG, AMICTLAN y la ACCD, ha ido disminuyendo progresivamente hasta quedar actualmente el proyecto en manos de AMICTLAN y sus socios locales. Con esta estrategia, la Oficina Técnica y los técnicos de las alcaldías han tenido que ir asumiendo más responsabilidades y las alcaldías asumir más compromisos para alcanzar el equilibrio buscado entre desarrollo y protección ambiental.

### Agradecimientos

Agradecemos especialmente a las instituciones que han creído y han hecho posible económicamente estos programas: Agencia Catalana de Cooperación al Desarrollo, Ayuntamiento de Barcelona y Fundación Biodiversidad.



Figura 10. Escolares en el Centro de Visitantes de la Reserva Natural Laguna de Apoyo.

## Bibliografía

- Cañada, E., Arias, R., Bonilla, A., Coronado, J., Gallegos, E., Gómez, I., Jiménez, A., Kandel, S., Gutiérrez, A. L., de Marco, M., Monterroso, I., Morán, W., Morera, C., Mordt, M., Moss, D., Ortiz, X., Sosa, A. P., Sandoval, F. y Vázquez-Prada, D. (2010). *Turismo y conflictos socio-ambientales en Centroamérica*. 1ª ed., Managua.
- Kutterolf, S., Freundt, A., Pérez, W., Wehrmann, H. y Schmincke, H. U. (2007). Late Pleistocene to Holocene temporal succession and magnitudes of highly-explosive volcanic eruptions in west-central Nicaragua. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 163, 55-82.
- MARENA-CLUSA-AMICTLAN-Geólogos del Mundo (2010). Plan de Manejo de la Reserva Natural Laguna de Apoyo. Resolución Ministerial 01-2010. Managua.
- Vázquez-Prada Baillet, D., Ortega, J., Alonso, E. y Cerrato, D. (2008). Estudio Hidrogeológico de la Laguna de Apoyo (Nicaragua) y propuestas para su gestión. *Boletín Geológico y Minero*, 119 (1), 137-148.
- Castellón et al. (2007). *Dinámica espacial y temporal de cobertura y usos de la tierra en la Laguna de Apoyo, Managua*.
- Castellón, A. (2007). *Plantas Ornamentales de la Reserva Natural Laguna de Apoyo*, Managua.
- Castellón, A. (2007). *Especies forestales de la Reserva Natural Laguna de Apoyo*, Managua.
- Cerrato, D., Gutiérrez, C., Vázquez-Prada, D. y De Marco, M. (2010). *Zonificación Territorial de la Reserva Natural Laguna de Apoyo*, Managua.
- Cerrato, D. (2010). *Una casa para todos: conociendo a nuestros vecinos de la Laguna de Apoyo*, Managua.
- Cerrato, D., Gutiérrez, C., De Marco, M. y Vázquez-Prada, D. (2009). *Estudios para el ordenamiento territorial y la gestión del riesgo intermunicipal: Estudio de caso de la Reserva Natural Laguna de Apoyo*, IV Congreso Multidisciplinario de Investigación Ambiental, Managua.
- CIGEO-AMICTLAN-GM. (2007). Efecto de sitio en áreas urbanas de Masaya y Catarina. *Revista Tierra*, 15, 5-7.
- Delgado, F., Gutiérrez, C., Cerrato, D. y Vázquez-Prada, D. (2008). *Caracterización de la amenaza y susceptibilidad por inestabilidad de laderas en la Reserva Natural Laguna de Apoyo*, Managua.
- De Marco, M. y Guillén, T. (2008). *Guía para el comanejo de Espacios Naturales*, Managua.
- De Marco Vicente, M. (2010). *Cuaderno de campo de la Reserva Laguna de Apoyo*. Managua.
- De Marco Vicente, M. (2010). *En los trópicos no todo es selva: conociendo el bosque trópico seco*, Managua.
- De Marco Vicente, M. y Gutiérrez, A. (2010). *Legado indígena, Laguna sagrada*, Managua.
- De Marco Vicente, M., Guillén Bolaños, T., Sepúlveda, I. (2010). *¿Qué puedo hacer en la Reserva Natural Laguna de Apoyo?*, Managua.
- De Marco Vicente, M., Gutiérrez, C., Vázquez-Prada, D. (1999). *Evitemos vivir un desastre*, Managua.
- De Marco Vicente, M., Casals, C., Ortiz, N. (2009). *Propuestas de reconversión económica para desarrollo local sostenible de la Reserva Natural Laguna de Apoyo y su zona de amortiguamiento*, Managua.
- De Marco Vicente, M. y Lau Cuadra, L. (2009). *Estudio socio-económico de la Reserva Natural Laguna de Apoyo y su zona de amortiguamiento*, Managua.
- Espinoza, E., Gutiérrez, C., Cerrato, D. y Vázquez-Prada, D. (2008). *Cartografía Geológica y Geomorfológica de la Reserva Natural Laguna de Apoyo*, Managua.
- Gallegos, E. (2007). *Guía para la conformación de Asociaciones de Municipios en Nicaragua*, Managua.
- Guillén Bolaños, T. (2006). *Diagnóstico de los Residuos Sólidos y Líquidos de la Reserva Natural Laguna de Apoyo*, Managua.
- Guillén Bolaños, T.; Gallegos, E. y De Marco, M. (2008). *Plan ambiental de AMICTLAN: 2008-2013*, Managua.
- Guillén Bolaños, T. et al. 2008 y 2009. Planes Ambientales de los Municipios de Catarina, Diriomo, Granada, Masaya y San Juan de Oriente, Managua.
- Guillén Bolaños, T. Gallegos, E. y De Marco Vicente, M. (2009). *Guía de educación ambiental de la Reserva Natural Laguna de Apoyo*, Managua.
- Gutiérrez, C., Espinoza, E., Pérez, G. Delgado, F., Cerrato, D. y Vázquez-Prada, D. (2008). *Estudios geológicos de la Laguna de Apoyo*. Simposio de Geología de Nicaragua, Centro de Investigaciones Geológicas (CIGEO) de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN).
- Gutiérrez, C., Espinoza, Cerrato, D. y Vázquez-Prada, D. (2007). Cartografía geológica del costado suroeste de la Reserva Natural Laguna de Apoyo. *Revista Tierra*, 17, 28-30.
- Gutiérrez, C. (2010). Estudio geológico revela peligros en Laguna de Apoyo. *Revista Tierra*, 21, 14-16.
- Medina-Fitoria, A., Cerrato, D. y De Marco Vicente, M. (2009). *Evaluación ecológica rápida de la Reserva Natural Laguna de Apoyo*, Managua.
- Pérez, G., Gutiérrez, C., Cerrato, D. y Vázquez-Prada, D. (2008). *Análisis de la susceptibilidad por inundación en la Reserva Natural Laguna de Apoyo*, Managua.
- Rayo, G., De Marco Vicente, M. (2009). *Estudio de capacidad de carga territorial del Área Protegida Laguna de Apoyo y su zona de amortiguamiento*, Managua.
- Vázquez-Prada Baillet, D., Ortega, J. Alonso, E. y Cerrato, D. (2007). *Estudio hidrogeológico y gestión de los recursos hídricos en la cuenca de la Laguna de Apoyo*, Managua.
- Vázquez-Prada, D. (2010). Ruta geoturística del pacífico, una tarea pendiente de los geólogos. *Revista Tierra*, 21, 2-3.
- Vázquez-Prada Baillet, D. y Gutiérrez, C. (2010). *Lo que destruye, crea. Volcán Apoyo fuego y agua*, Managua.
- Zavala, D. (2009). *Guía de Permisos Ambientales*, Managua.
- Zavala, D. (2010). *Guía para la Elaboración de Ordenanzas Ambientales*, Managua.



# Arte contemporáneo y geología. Una propuesta con 'Sentido y sostenibilidad'

Entre el 21 de julio y el 23 de septiembre, la Reserva de la Biosfera de Urdaibai será el escenario de la primera edición de Urdaibaiarte. Bajo el título "Sentido y sostenibilidad", diez artistas contemporáneos desarrollarán obras de forma específica en diferentes emplazamientos de la Reserva. La geología constituirá el marco de referencia y la fuente de inspiración para muchos de ellos.

TEXTO | Julia Seisdedos Santos, doctora en Ciencias Geológicas.

## ΕΙΣΤΕ ΚΟΙΤΗΒΟΙΣΤΕΟ 1

Hay quienes piensan que el arte ya no es lo que era, y (afortunadamente) tienen razón. La historia del arte ha transcurrido de manera imperceptible pero imparable, como los lentos movimientos de las placas tectónicas, pero su rumbo también se ha visto marcado por cambios súbitos y radicales, como la repentina caída de un meteorito o la erupción de un volcán.

El hombre siempre ha querido y necesitado expresarse de manera artística; sin embargo, el modo de hacerlo en nuestros días es muy diferente al de hace siglos.

Uno de los cambios más importantes se produjo con la aparición de la fotografía. Con ella surgió un nuevo modo de retratarse y de capturar el entorno; así, la tarea de los pintores tradicionales se vio irremediabilmente desplazada.

La evolución de la historia del arte también ha estado marcada por las aportaciones transgresoras de muchos hombres que han hecho que el arte contemporáneo sea lo que es hoy. Este es el caso de Marcel Duchamp, quien será recordado por su famoso urinario de porcelana puesto del revés (*Fuente*, 1917); de René Magritte, cuyo comentario bajo una de sus obras "*Ceci n'est pas une pipe*" pasó a la historia (*La traición de las imágenes*, 1928-1929); o de Andy Warhol, quien hizo de las tradicionales *Latas de Sopa Campbell* (1962) cotizadas obras de arte.

A estos nombres les han seguido los de numerosos artistas que han demostrado que el arte contemporáneo es libre y no entiende de convenciones. En él priman el carácter intelectual y el impacto visual sobre los meros placeres visuales. También se caracteriza por el compromiso y la crítica social, aunque en ocasiones su contenido satírico y provocador lo sitúa en la frontera de lo incorrecto. El arte contemporáneo es complejo, y para entenderlo hemos de reflexionar e investigar, solo así podremos

dar respuesta a nuestras preguntas. Estas particularidades del arte actual hacen que a veces sea visto con recelo, ridiculizado o despreciado. Sin embargo, lo que el arte contemporáneo ofrece al espectador es la posibilidad de ejercer un esfuerzo intelectual. Es una invitación a desencadenar un proceso de descubrimiento y entendimiento. Una oportunidad para conocer las verdaderas aportaciones de una obra, aunque para ello nos veamos obligados a ver las cosas desde otro punto de vista.

## Geología y arte contemporáneo

Los temas que han inspirado y centrado la atención de los artistas siempre han sido diversos. Entre ellos, varios aspectos de las ciencias de la Tierra en general, y la geología en particular, han sido objeto de numerosos trabajos que hoy consideramos obras de arte. En los libros de geología es frecuente encontrar imágenes con el modelo sobre el interior de la Tierra propuesto por Athanasius Kircher (*Mundus subterraneus*, 1664), la evolución o procesos eruptivos del Vesubio de William Hamilton (*Campi Flegrei, Osservazioni sui vulcani delle due Sicilie*, 1776 y 1779) o los cortes geológicos que permitieron a James Hutton mostrar sus teorías (*Theory of the Earth*, 1788 y 1795).

Como se mencionó en el apartado anterior, los cánones estéticos han cambiado y esto también se ha reflejado en las obras de arte contemporáneo, en las que la geología, o determinados aspectos o materiales geológicos, juegan un papel importante.

Algunos artistas de renombre, cuyas tendencias marcaron el devenir del arte contemporáneo, hicieron que la geología formara parte de sus obras. Este es el caso de Joseph Beuys quien realizó una instalación colocando grandes columnas de basalto en un museo, todas ellas con un pequeño agujero cónico en un extremo con arcilla y fieltro en su interior (*The End of the Twentieth Century*, 1983). Las rocas evocaban

Palabras clave

Arte contemporáneo, Land Art, Urdaibai.

huesos o cadáveres, alineados al azar produciendo una sensación de que el mundo está fuera de control (esto trae a la mente las experiencias de Beuys en la Segunda Guerra Mundial, en la que sirvió como piloto y muchos de sus familiares fueron asesinados). Sin embargo, la arcilla simboliza el potencial de crecimiento y sugiere la posibilidad de una nueva vida emergente al final de un siglo oscuro...

Este es tan solo un ejemplo. También podríamos mencionar varias obras de importantes artistas en activo como Ulrich Rückriem (Düsseldorf, 1938), James Turrell (Los Ángeles, 1943), Allan McCollum (Los Ángeles, 1944), Hamish Fulton (Londres, 1946), Andy Goldsworthy (Cheshire, Inglaterra, 1956), Nien Schwarz (Holanda, 1962), Olafur Eliasson (Copenhague, 1967), Keith Edmier (Chicago, 1967) o Ilana Halperin (Glasgow, 1973). Bastará con teclear estos nombres en Internet para conocer las variadas propuestas y enfoques de estos artistas, y dejamos sorprender por sus planteamientos.

Por otra parte, hay que destacar la tendencia del Land Art, en la que la propia naturaleza constituye el marco y proporciona los materiales necesarios para la obra de arte. Los trabajos de Robert Smithson (1938-1973), Richard Long (Bristol, 1945) o Michael Heizer (1944) son algunos de los más representativos de este movimiento. (Este tema fue objeto de un artículo publicado en el número 39 de esta revista por T. Raquejo, por lo que aquí no se profundiza en el mismo).

## Una propuesta artística y geológica

A finales del próximo mes de julio se inaugurará, en la Reserva de la Biosfera de Urdaibai, Bizkaia (*figura 1*), el proyecto artístico "Sentido y sostenibilidad", enmarcado en el programa "2012 Euskadi, Año de las Culturas por la Paz y La Libertad", coincidiendo con la conmemoración del 75 aniversario del bombardeo de Guernica.

1. El título de este apartado se leerá correctamente girado 180° y reflejado en un espejo.

Este proyecto, comisariado por Alberto Sánchez Balmisa, "tratará de ir más allá del arte político tradicional para, en su lugar, proponer una serie de producciones estéticas de naturaleza crítica (*sentido*) que inviten a participar de otra idea de la realidad y el mundo que no obedezca a las tradicionalmente operadas desde el capital (*sostenibilidad*)". Con estas premisas, diez artistas contemporáneos crearán proyectos concebidos específicamente para la Reserva de Urdaibai. En estos trabajos se estimularán las potencialidades éticas para crear una serie de experiencias, centradas en unas coordenadas espaciales concretas, plenamente integradas en la trama del lugar. Las intervenciones artísticas se encontrarán diseminadas por toda la Reserva, invitando a reflexionar sobre diversos aspectos del entorno a través de la mirada de los artistas Liam Gillick (Aylesbury, Reino Unido, 1964), Gunilla Klingberg (Estocolmo, Suecia, 1966), Rafael Lozano-Hemmer (México DF, México, 1967), Renata Lucas (Ribeirão Preto, Brasil, 1971), Haegue Yang (Seúl, Corea del Sur, 1971), Lara Almaraz (Zaragoza, 1972), Maider López (Donostia, 1975), Oscar Tuazon (Tacoma, Estados Unidos, 1975), Pieter Vermeersch (Genk, Bélgica, 1975) y Carlos Irijalba (Pamplona, 1979).

La alianza entre arte, naturaleza, pensamiento, territorio y ciudadanía articulará este proyecto, pero la geología también será protagonista.

La Reserva de la Biosfera de Urdaibai es un lugar de gran interés natural. En este área se encuentra la desembocadura del río Oka y su impresionante estuario (1 km de anchura máxima), también conocido como estuario de Mundaka o Guernica (figura 2). La formación del valle de Oka se debe a



Figura 2. Vista aérea de la desembocadura del río Oka y del estuario de Mundaka, también llamado estuario de Guernica (población localizada al comienzo del mismo, a 10 km de la desembocadura).



Figura 1. En color verde, localización de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai (Vizcaya), donde se desarrollará el proyecto de intervenciones artísticas "Sentido y sostenibilidad".



Figura 3. Vista de una de las canteras de Andrabide de donde se extraía el famoso mármol rojo de Ereño, y detalle de la roca (izquierda).

intrusiones diapíricas de edad triásica producidas a favor de una fractura de dirección norte-sur. Los materiales triásicos (arcillas y ofitas) afloran en el centro del valle, flanqueados a ambos lados por una secuencia de materiales posteriores (jurásicos, cretácicos y terciarios). Entre ellos, tras la retirada de los hielos de la última glaciación, se formaría el estuario de Guernica.

Las calizas orgánicas (pertenecientes al Complejo Urgoniano, Cretácico inferior) son características de la zona. En ellas se encuentran las canteras de Andrabide, Patrimonio Histórico de Vizcaya, explotadas desde la época romana hasta finales del siglo XX. De ellas se extraía el famoso mármol rojo de Ereño o rojo Bilbao, una caliza roja arrecifal recristalizada de extraordinaria belleza, formada por abundantes restos de corales, moluscos, etc., con una singular tonalidad roja debida a la impregnación de óxido de hierro (figura 3). La fama del mármol rojo de Ereño se extendió mundialmente, y esta roca llegó incluso a Italia o Norteamérica.

Desde el punto de vista geológico, la Reserva de Urdaibai presenta muchos otros aspectos de interés: la presencia de lavas volcánicas del Cretácico superior, entre las que también se distinguen *pillow lavas*; las formaciones tipo flysch ("hojaldras") de areniscas, arcillas y turbiditas, coincidentes con el límite Cretácico-Terciario; o las morfologías kársticas cuaternarias (cuevas, simas, dolinas, etc.), son tan solo algunos ejemplos.

Los artistas participantes en el proyecto "Sentido y sostenibilidad", familiarizados con el contexto natural, social y cultural de la comarca,

crearán obras específicas que se expondrán en la reserva entre el 21 de julio y el 23 de septiembre. El contexto geológico de la zona será cómplice y participe de este proyecto; varias de las obras contemplarán aspectos geológicos. Sin embargo, no es el objetivo de este artículo desvelar el contenido de las mismas, sino hacerles una propuesta para que este verano realicen una escapada con el propósito de abrir su mente al arte contemporáneo y disfrutar de un entorno único.

#### Agradecimientos

La redacción de este artículo ha sido posible gracias a numerosas conversaciones sobre arte con Alberto Sánchez Balmisa, comisario de la exposición, redactor-jefe de *EXIT Express* y director de *FLUOR*.

#### Bibliografía/Enlaces de interés

- Baucon, A. (2009). *Geology in Art. An Unorthodox Path from Visual Arts to Music*, [www.tracemaker.com](http://www.tracemaker.com), 120 p.
- Geología de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai e itinerario geológico, [www.urdaibai.org](http://www.urdaibai.org).
- IGME, (1972 y 1973). *Mapas geológicos de España*. E. 1:50.000, 62 Durango y 38 Bermeo.
- VV. AA. (2008). Pero... ¿es esto arte? *EXIT Express*, 33: 16-35.

# Tecnología LIDAR aplicada a la gestión del territorio

La llegada del sensor LIDAR al campo de la fotogrametría abre la posibilidad a nuevas y mejoradas aplicaciones en ámbitos como el ambiental, hidrológico, geológico, riesgos naturales y, en general, en aquellas disciplinas relacionadas con la gestión y control del territorio.

**TEXTO I** Juan Jorge Rosales León, director técnico de GRAFCAN (jrosales@grafcan.com) y José Julio Rodrigo Bello, responsable del Departamento de Ingeniería de GRAFCAN (jrodrigo@grafcan.com).

Palabras clave

**LIDAR, Modelo Digital del Terreno, Modelo Digital de Superficie.**

La Agencia de Protección del Medio Urbano y Natural (APMUN) de Canarias es un consorcio interadministrativo cuyo objetivo es la protección medioambiental. Para ello tiene competencias en materia de comprobación de la legalidad de cualesquiera actos y actividades, privadas o públicas, de ocupación, transformación o uso del suelo.

En el año 2008, la APMUN inició un proyecto piloto de detección de cambios en el territorio basado en tecnología LIDAR (Light Detection and Ranging) con el objetivo de disponer de información de referencia objetiva y precisa que le permitiese desarrollar un instrumento de detección de infracciones —con atención especial a la detección temprana de infracciones edificatorias— en la totalidad de su ámbito de actuación. El proyecto piloto demostró la viabilidad de la detección masiva de cambios en el territorio analizando dos vuelos LIDAR, de una misma zona y diferidos en el tiempo, con técnicas de sistemas de información geográfica. En el año 2010 se realizó —tras un análisis de los requisitos del producto final a obtener, su coste y el tiempo máximo de ejecución— el primer vuelo LIDAR de Canarias. Al año siguiente, y con la realización del segundo vuelo LIDAR, la APMUN comenzó a obtener los resultados esperados con un importante impacto en su productividad, eficacia y eficiencia. La información LIDAR ha sido integrada en el Sistema de Información Territorial de Canarias como vehículo facilitador de su integración en otros ámbitos de aplicación en los que se prevé obtener importantes mejoras y beneficios.

## Descripción del sensor

El LIDAR es un sensor láser que mide distancias con gran precisión. Su principio de funcionamiento se basa en determinar el tiempo que transcurre entre la emisión de un pulso láser y la detección de la señal reflejada tras encontrar un objeto o el suelo. Los sensores LIDAR aerotransportados se instalan normalmente en un avión o helicóptero y realizan un escaneo transversal que junto con

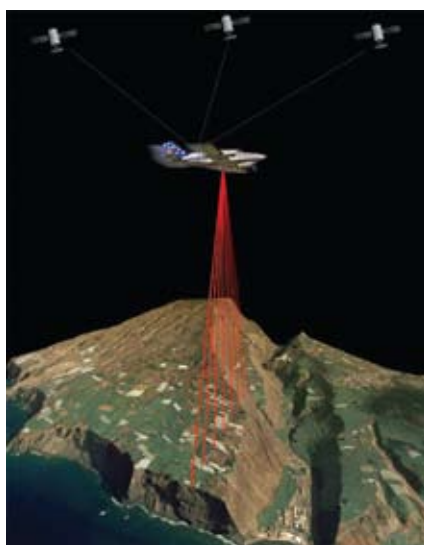


Figura 1. Recreación del vuelo de captura de datos con los sensores LIDAR.

El LIDAR permite conocer con exactitud grandes extensiones de territorio en espacios de tiempo reducidos

el movimiento longitudinal del avión les permite generar una nube de puntos tridimensionales muy densa (dependiente, principalmente, de la altura y velocidad de vuelo así como de la apertura de oscilación del haz láser) que permite conocer el territorio con una enorme precisión.

El sensor LIDAR empleado en los vuelos realizados en Canarias es capaz de emitir hasta 200.000 pulsos láser por segundo (200 KHz). O lo que es lo mismo, capturar las coordenadas (x, y, z)

de 200.000 puntos por segundo. Esto hace del LIDAR una opción enormemente productiva ya que su rendimiento permite conocer con exactitud grandes extensiones de territorio en espacios de tiempo reducidos. Esta característica cobra aún mayor importancia si la comparamos con métodos tradicionales basados en fotogrametría o medición topográfica en campo.

El LIDAR aerotransportado requiere el acompañamiento de un sistema GPS (Global Positioning System) y un sistema inercial (IMU, Inertial Measurement Unit) para la determinación precisa de las coordenadas y orientación del avión en todo momento. El GPS se resuelve en modo diferencial empleando una red de estaciones GNSS en tierra (en Canarias, la Red de Estaciones Permanentes del Gobierno de Canarias) para obtener precisiones centimétricas. La información generada en este proceso se fusiona, a su vez, con la información de ángulos del sistema inercial para obtener, finalmente, una solución cinemática precisa.

El resultado final de un vuelo LIDAR es una nube de puntos almacenada en un fichero digital conforme al formato estándar LAS que contiene para cada punto sus coordenadas (x, y, z), número de retorno, intensidad, tiempo de captura, ángulo de escaneo, así como una clasificación. La clasificación es un proceso que se realiza a posteriori y permite al usuario final disponer de una categorización de cada punto en base a su naturaleza (suelo, vegetación, construcción, etc.).

Una de las características más interesantes del LIDAR es que permite capturar múltiples retornos por cada pulso emitido. Esta característica permite, por ejemplo, que en zonas forestales se pueda capturar la copa de los árboles (primer retorno), parte de su estructura (retornos intermedios) así como el suelo (último retorno). Una vez procesados y clasificados los datos se pueden obtener Modelos Digitales de Superficie (MDS) que contienen todos los elementos por encima del terreno (naturales, como los árboles,

o artificiales, como las construcciones) y, también, Modelos Digitales del Terreno (MDT) que contienen únicamente el suelo. La diferencia entre ambos modelos nos permite obtener un mapa con las alturas de los elementos que están por encima del terreno (normalmente vegetación y construcciones).

Las precisiones del sensor están entorno a 30-50 cm en planimetría (ejes x e y) y oscilan entre los 15 y los 20 cm en altimetría. Estas precisiones son comparativamente superiores a las de un mapa topográfico a escala 1:5.000 e incluso, en altimetría, son equivalentes a las precisiones de un mapa topográfico 1:1.000.

Los vuelos ejecutados en Canarias han sido realizados por la empresa local Regional GeoData, Air, S.A., conforme a un plan de vuelo cuyas principales características son las siguientes:

- Densidad media de puntos: 1 punto/m<sup>2</sup> (densidad en el Nadir: 0,8 punto/m<sup>2</sup>).
- Altura de vuelo: 2.000 m AGL (Above Ground Level).
- Máxima apertura (FOV): 45°.
- Recubrimiento transversal: 20%.
- Cobertura: todo el territorio canario por debajo de la cota de 1.800 m (entorno al 94% del territorio).

Las principales características del sensor LIDAR empleado son:

- Modelo ALS60 de Leica Geosystems.
- Láser en la banda espectral NIR (1.064 nm).
- Frecuencia de pulso: 200 KHz.
- Frecuencia de escaneo: 100 Hz.
- FOV: hasta 75°.
- Permite capturar hasta 4 retornos por pulso.
- Canal de intensidad de 8 bits.
- MPIA: Tecnología de múltiples pulsos en el aire.
- Barrido con patrón sinusoidal.



Figura 2. Visor LIDAR con la aplicación de control de cambios.

- Cámara fotogramétrica de medio formato RCD105.

La información de los vuelos LIDAR de Canarias está públicamente accesible en el visor (<http://visor.grafcan.es>) de la Infraestructura de Datos Espaciales de Canarias (IDECanarias). El visor cuenta con una novedosa e innovadora herramienta que permite al usuario visualizar nubes con varios cientos de miles de puntos 3D en un navegador estándar de Internet. La operativa es muy sencilla: el usuario selecciona su zona de interés, la aplicación consulta el

repositorio de datos LIDAR y genera un escenario LIDAR 3D de la zona especificada por el usuario. El visor dispone de herramientas básicas de movimiento (desplazar, rotar, etc.) y modificación de simbología. Además, ofrece la posibilidad de realizar simulaciones de inundación vertical sobre el escenario generado. El visor de IDE-Canarias también emplea la información LIDAR para generar perfiles longitudinales de terreno.

**Aplicaciones**

La aplicación de la información LIDAR abarca los siguientes ámbitos y disciplinas:

**MDT Mapa Topográfico 1:5.000**

**MDT LIDAR**

**MDS LIDAR**

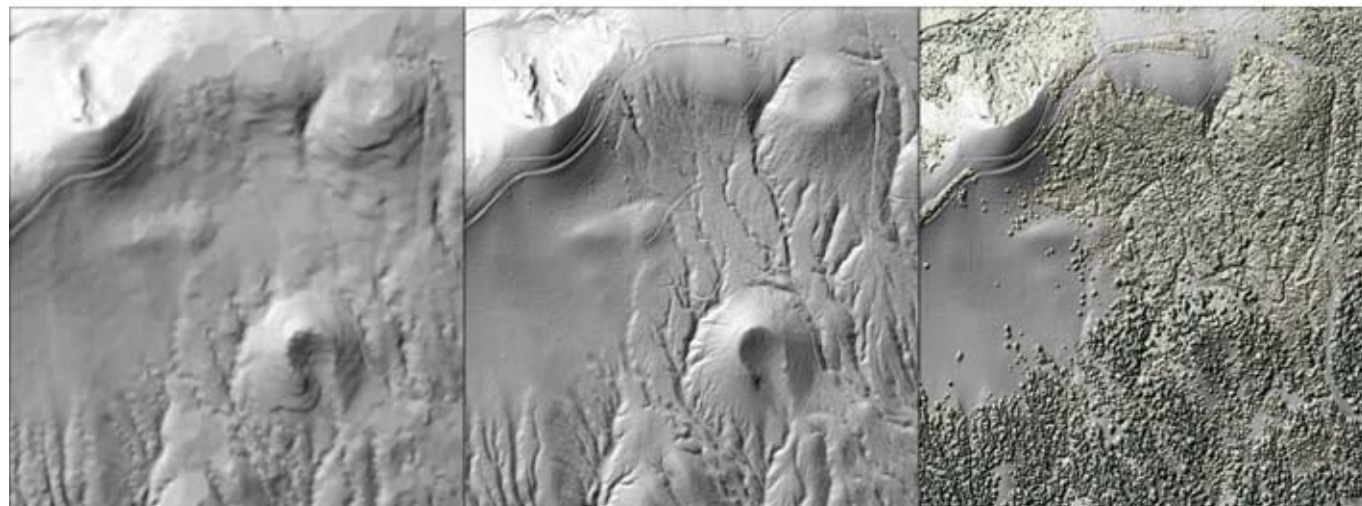


Figura 3. Comparación de Modelos Digitales Topográficos-LIDAR.

- **Modelos digitales.** El uso más directo de la información del LIDAR es la generación de Modelos Digitales del Terreno (MDT) y Modelos Digitales de Superficie (MDS) mucho más detallados que los equivalentes obtenidos mediante mapas topográficos. Destaca especialmente el detalle que se puede obtener en zonas de vegetación densa y sombras extensas donde las técnicas clásicas, basadas en mapas topográficos, ofrecen un menor grado de precisión. La justificación de este hecho radica en que el proceso de elaboración de mapas topográficos incluye la fotointerpretación de imágenes aéreas que en las circunstancias señaladas, de vegetación y sombras, y en ocasiones, no aportan suficiente información del suelo.
- **Gestión forestal.** Una aplicación sencilla es la obtención de mapas de altura de vegetación para la estimación de volúmenes de biomasa. También se puede emplear el LIDAR en la elaboración de inventarios forestales, el seguimiento de repoblaciones o la determinación de la estructura de la vegetación que requieren los mapas de incendios.
- **Urbanismo.** Determinación de volumetrías edificatorias, control de alturas máximas permitidas, seguimiento del grado de ejecución de Planes Generales de Ordenación, estudios de visibilidad o realidad virtual.

## Se puede emplear el LIDAR en la elaboración de inventarios forestales, el seguimiento de repoblaciones o la determinación de la estructura de la vegetación que requieren los mapas de incendios

- **Obra civil.** Cubicación de terrenos, seguimiento de obras, corredores de líneas eléctricas o carreteras, etc.
- **Protección medioambiental.** Mediante un mapa de cambios territoriales, adecuadamente caracterizado, se mejora sustancialmente la detección de infracciones. En las islas Canarias, Cartográfica de Canarias, S.A. (GRAFCAN) ha desarrollado para la Agencia de Protección del

Medio Urbano y Natural un sistema de detección automatizada de cambios en el territorio basado en tecnología LIDAR. A partir del vuelo LIDAR de una zona, y del vuelo del año anterior de la misma zona, se generan dos modelos digitales de superficie que se restan. Esta resta se somete a un proceso de filtrado, clasificación y vectorización para obtener un mapa de cambios. Por último, cada recinto de cambio se caracteriza con atributos que contemplan su área, diferencia de altura, volumen y situación administrativa con respecto a capas de información de referencia como el planeamiento o los espacios protegidos.

- **Hidrología.** Caracterización de barrancos, avenidas y cauces fluviales. Estudio de cuencas y redes hidrográficas. Delimitación de zonas de inundación y zonas costeras.
- **Geología.** Mejora de la calidad de los mapas geológicos existentes gracias al mayor detalle de los modelos digitales del terreno.
- **Riesgos naturales.** Para la elaboración de mapas de riesgos de incendios, inundación o desprendimiento y deslizamiento de laderas.
- **Cartografía.** Como medio para establecer controles de calidad relativos a la altimetría, y vía la determinación previa de cambios, como ayuda a la planificación de procesos de actualización cartográfica.

**miravé**  
CLÍNICA DENTAL

Haremos que tu sonrisa sea la que siempre has soñado

### Promoción Especial

para el Colegio de Geólogos y familiares directos

#### Servicios Gratuitos:

- Visita (consulta y revisión)
- Ortodoncia (1a visita)
- Visita prótesis
- Fluoración (infantil y adultos)
- Radiografías intraorales
- Extracción de puntos de sutura

#### Servicios por sólo 20€

- Extracción dental simple
- Visita de urgencias de día
- Ortopantomografía
- Higiene dental
- Enseñanza de Higiene Oral

#### Hasta un 20% de descuento:

- En el resto de tratamientos en cualquier especialidad

**Últimos servicios:** ortodoncia invisible, detección de cáncer oral.

**Servicio de Urgencias**

Con presencia de dentista  
24 horas/365 días

Miravé Tuset - Tuset, 36, bajos - Barcelona 08006  
Miravé Travessera - Trav. de Gràcia, 71, bajos - Barcelona 08006  
www.clinicamirave.es - sap@clinicamirave.es - Tel. 932 176 889



# Geólogos del Mundo

## *World Geologists*

GM utiliza la Geología para que las comunidades de países en desarrollo obtengan agua potable y puedan prevenir los desastres naturales, tales como terremotos, inundaciones, deslizamientos de tierras, etc.

Experiencia probada con 90 proyectos realizados a lo largo de 12 años, en Iberoamérica y África

**¿Podemos contar contigo?**



Sede Central  
C/ Raquel Meller, 7  
28027 Madrid  
Tel. 34 914 055 035

[geologosdelmundo@icog.es](mailto:geologosdelmundo@icog.es)  
[www.geologosdelmundo.org](http://www.geologosdelmundo.org)

# Chile es el paraíso para los profesionales en la minería

Tierra y Tecnología inaugura en este número la sección "Geólogos por el Mundo", donde el Colegio pretende mostrar las oportunidades laborales que se ofrecen en otros países del mundo así como conocer de primera mano la experiencia de distintos profesionales. Estas historias pueden ser extensibles a otras actividades profesionales y sirven como ejemplo de esperanza para otros emprendedores.

Entrevista a Eric Ridelle, geólogo español que lleva ocho meses en Chile trabajando allí para el Servicio Geológico y Minero (SERNAGEOMIN). Es el nuevo delegado del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos (ICOG) en este país andino.

TEXTO | Manuel Recio. Europa Press.

El geólogo catalán Eric Ridelle se fue a Chile y tras un mes de estancia encontró trabajo en el Servicio Geológico y Minero elaborando mapas geológicos de depósitos de minerales del país andino. Dice que hay un boom de la industria minera y anima a otros geólogos a probar suerte allí. No tiene previsto volver a España en el corto plazo y cree que es una pena que se invierta mucho dinero en formar profesionales que luego desarrollan su labor en el extranjero. Ahora es delegado del ICOG en Chile. Su objetivo es abrir nuevos vínculos profesionales con este país.

**Pregunta:** ¿Cuánto tiempo llevas y por qué decides ese cambio?

**Respuesta:** Llevo casi ocho meses en Chile. En España tenía buenas perspectivas para trabajar en las minas de Río Tinto, pero este proyecto quedó atrancado por razones políticas y judiciales difíciles de entender.

Desde mi entrevista en 2010, la situación económica no ha parado de empeorar y, hoy en día, es casi imposible ejercer si no se tienen muchos años de experiencia. De seguir desempleado, hubiera corrido el riesgo de no poder volver a incorporarme en el mercado laboral y ejercer de geólogo. Eso me lo dijo muy claro el *project manager* de Río Tinto.

Estuve pensando en emigrar a Canadá o Australia y, finalmente, elegí Chile. Es el paraíso para los profesionales de la minería, ya sean geólogos o ingenieros de Minas. Se nos ofrecen unas condiciones laborales estupendas y la posibilidad de crecer tanto profesional como personalmente.

Esas son las razones por las cuales me he decidido a emigrar, para poder tener la oportunidad de trabajar en lo mío.

**P:** ¿Cómo ha sido hasta ahora tu experiencia en Chile?

**R:** El primer mes estuve buscando activamente en Internet empresas mineras para entregarles

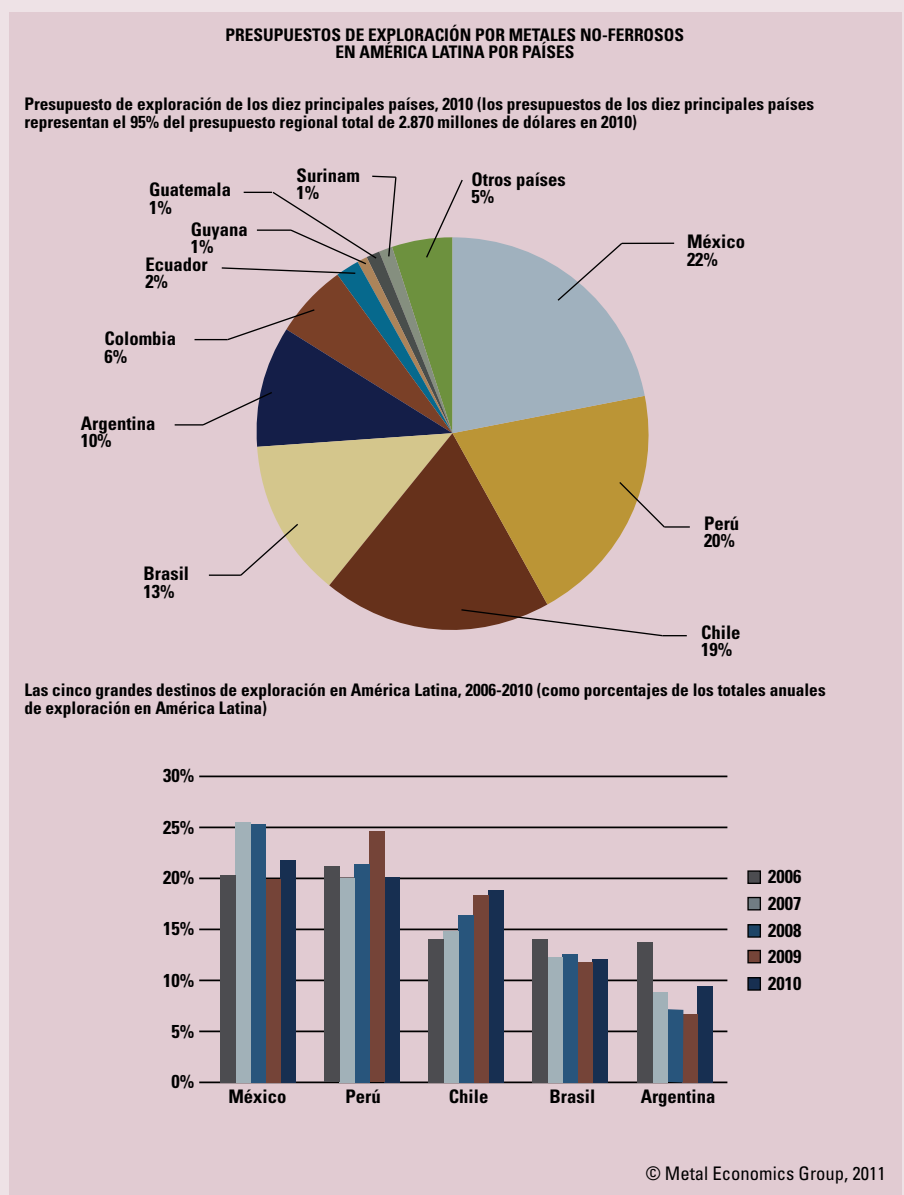


Figura 1.

en persona mi currículum. A través de un antiguo compañero de facultad encontré un trabajo temporal a tiempo parcial en una empresa de geofísica, sin posibilidad alguna de contratación al carecer todavía de visa de trabajo. Este primer empleo, sin embargo, me permitió no tocar más mi presupuesto limitado, lo que me dio cierta tranquilidad para seguir buscando, sin la presión de quedarme sin fondos y tener que volver a casa sin nada.

Después de algunas entrevistas me llegaron ofertas en minería, hidrogeología y en el Servicio Geológico y Minero (SERNAGEOMIN), el equivalente del IGME español, donde llevo seis meses trabajando.

**P:** ¿En qué consiste tu trabajo en el Servicio Geológico y Minero?

**R.:** Trabajo en el Departamento de Geología Aplicada, en la Unidad de Recursos Minerales. El tema central de nuestra actividad es la elaboración de mapas metalogénicos y bases de datos con información geológica, minera y geoquímica, referente a los depósitos minerales de Chile.

**P:** ¿Cuánto tiempo tienes previsto quedarte?

**R.:** Actualmente no me planteo volver a España, a pesar de que estoy echando de menos a mi familia. Mi madre es una persona de cierta edad y echo mucho de menos no ver crecer a mis sobrinas. Quizás más en adelante, cuando tenga un buen bagaje profesional que me permita competir en el mercado laboral español, cuando este se recupere dentro de unos años.

Desgraciadamente, creo que se ha invertido mucho dinero en educación para formar a nuevos profesionales y que buena parte no volverá, al haber carecido de oportunidades en España. Me temo que será muy complicado ofrecernos las mismas condiciones laborales que tenemos hoy en día en Chile.

**P:** ¿En qué campos de la geología hay más trabajo?

**R.:** En la exploración y producción minera, esencialmente en la minería del cobre y del oro. En hidrogeología el trabajo está relacionado con el abastecimiento en agua subterránea para la producción minera, principalmente. En geotecnia aplicada a la minería, tanto para la producción (por ejemplo, la estabilidad de taludes) como para el diseño de los caminos.

**P:** ¿Hay muchas empresas que demandan profesionales de la geología?

**R.:** Según el Consejo Minero de Chile, operan en Chile 16 empresas mineras multinacionales y una de ámbito nacional, Codelco. Estas empresas representan, en conjunto, más del 90% de la producción nacional de cobre y aproximadamente el 30% de la producción mundial de este metal.

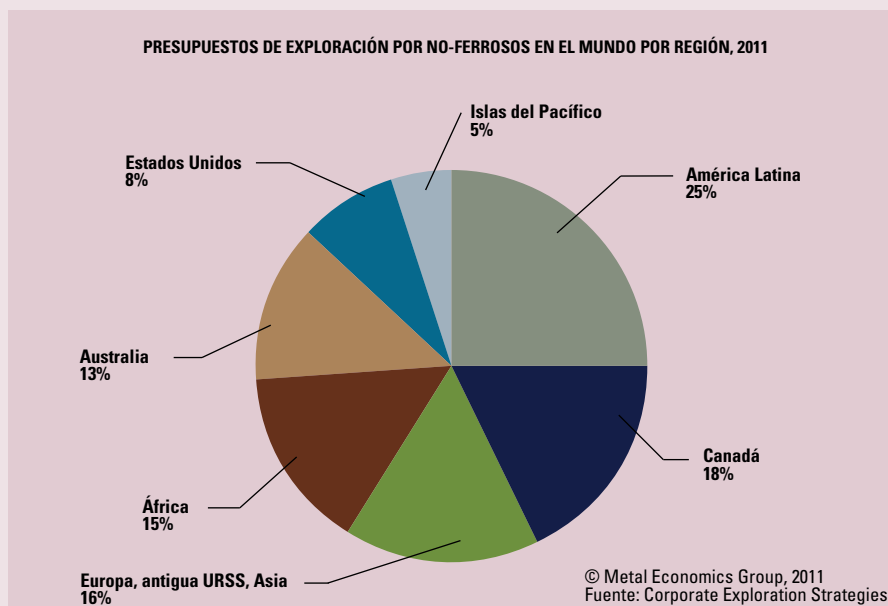


Figura 2.

Además de estas empresas, existen decenas de empresas junior y consultorías en las que es posible trabajar de geólogo.

**P:** ¿A qué crees que puede deberse el 'boom' de la geología en Chile?

**R.:** No existe tal boom. Lo que hay es un boom de la minería del cobre y del oro, por el alza de los precios de estos metales base y preciosos en el mercado internacional, principalmente para satisfacer el crecimiento de China.

**P:** ¿Cuál es la situación de la exploración minera en los países del entorno?

**R.:** De acuerdo con las estimaciones del Metal Economics Group (MEG), el gasto en exploración planificada aumentó en todas las regiones del mundo en 2010. América Latina ha sido el destino regional de exploración más popular desde 1994.

América Latina recibió la mayor parte de las asignaciones, atrayendo el 27% del gasto mundial en 2010 y el 25% en 2011. Cinco países: México, Perú, Chile, Brasil y Argentina, tradicionalmente, atraen la gran mayoría de los gastos de exploración en América Latina. Solo el 17% de la exploración planificada del 2010 en América Latina se produjo fuera de estos cinco países (figuras 1 y 2).

La exploración por metales base superó al oro en Perú, Chile y Brasil, mientras que el oro encabezó la exploración en México y Argentina.

México logró el primer lugar en 2010, atrayendo el 22% del total del gasto para la región. El oro y la plata siguen el objetivo principal en el país. La estabilidad política de México, las estructuras fiscales favorables y el apoyo gubernamental para la minería continuaron atrayendo inversiones en exploración por parte de empresas

junior de Canadá y los Estados Unidos en el año 2010, pese a los informes sobre el aumento del riesgo a la seguridad de las personas.

En 2010, Perú cayó al segundo lugar con el 20% del total de la región. En 2009, Perú fue el tercer destino de exploración más popular en el mundo detrás de Canadá y Australia. Las asignaciones peruanas se focalizan en el oro y el cobre.

Chile ocupa el tercer lugar en la región por cuarto año consecutivo, mientras que sube del séptimo al sexto lugar en el mundo. La mayor parte de las asignaciones chilenas de exploración se centraron en y alrededor de las minas de cobre del país; casi el 75% de las asignaciones de 2010 se destinaron a metales base.

El gasto en Brasil, que ocupó el cuarto lugar, fue predominantemente en níquel, cobre y oro, aunque también incluyó pequeñas asignaciones a diamantes.

En Argentina, que ha mantenido el quinto lugar en la región durante más de una década, los presupuestos de exploración en 2010 se focalizaron en el oro, aunque también empresas asignaron sumas considerables a los metales base.

Aunque no es uno de los destinos tradicionales de exploración en América Latina, vale la pena destacar el incremento relativo de Colombia en los últimos años.

**P:** ¿Hay perspectivas de trabajo a largo plazo?

**R.:** A pesar de la escasez de geólogos con experiencia, la mayoría de las empresas aumentaron su dotación en exploraciones en 2011. La industria minera chilena se encuentra en plena etapa de crecimiento, acumulando proyectos que en los próximos seis años demandarán inversiones por casi 100.000 millones de dólares. La concreción de los nuevos proyectos implicará aumentar en los próximos seis años la dotación de personal



calificado en 53%, desde ingenieros y geólogos hasta conductores de camión y operadores de máquinas. Como consecuencia de este *boom* minero, se estima que se requerirán cerca de 70.000 nuevos empleos en 2015 entre profesionales, técnicos y operarios (figura 3).

**P:** ¿Hay muchos geólogos españoles trabajando en Chile?

**R:** Hay unos cuantos y cada vez vienen más.

**P:** ¿Qué es lo más importante que debe saber un geólogo antes de dar el paso?

**R:** Lo más importante es tener los deberes hechos en España. Me refiero a unos trámites administrativos y legales imprescindibles y excluyentes para poder trabajar acá.

**P:** ¿Cómo son los trámites y cuáles son?

**R:** Son bastante pesados, pero la experiencia de los que ya hemos pasado por esto puede ser de gran ayuda para agilizar el proceso.

Lo primero es legalizar su título original en el Ministerio de Educación, en Madrid, y solicitar un certificado de antecedentes penales en Justicia. A continuación se debe legalizar estos documentos en el Ministerio de Exteriores en Madrid (con cita previa por Internet). El último paso es legalizar toda la documentación en el Consulado General de Chile, en Madrid. Después tocan más trámites en Chile para conseguir la visa de trabajo y el RUT, el documento de identidad.

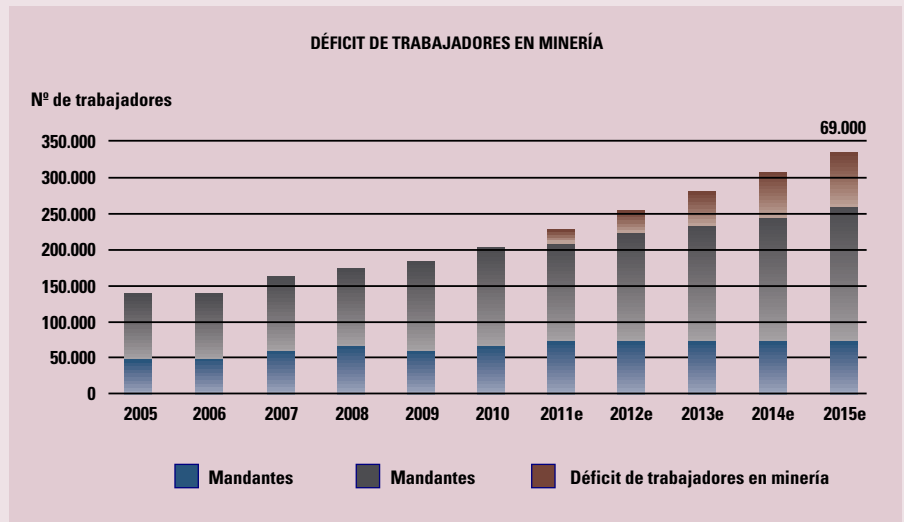


Figura 3.

Recomiendo hacer un poder notarial a una persona de confianza en España, para poder tramitar cualquier documento administrativo en su nombre.

**P:** ¿Qué retos te propones como delegado del ICOG en Chile?

**R:** Mis retos como delegado son intentar canalizar ofertas de empleo y publicar información relevante, que ayude a los colegiados españoles a encontrar trabajo aquí en Chile.

En este sentido, tuve la oportunidad de establecer algunos contactos profesionales en la feria EXPOMIN 2012 con el director ejecutivo de una

empresa de geotecnia y recursos humanos de multinacionales mineras. Espero que estos contactos se traduzcan, a medio plazo, en ofertas de empleo para nuestros colegiados.

**P:** ¿Qué consejo les darías a los geólogos que estén pensando en cruzar el charco?

**R:** Que no se lo piensen más. Chile es una tierra de oportunidades para los geólogos. Somos un colectivo muy bien valorado y no falta trabajo, incluso para profesionales con poca o sin experiencia. Sin experiencia cuesta un poco más, pero al final quien la sigue la consigue.



**TRIPLE  
DESCUENTO  
FAMILIAR**

## A-S TOTAL Colegiados

### Un seguro de salud de calidad

Coberturas de medicina preventiva.

El más amplio abanico de prestaciones (cubre tratamientos que otras entidades no ofrecen).

### Sin letra pequeña

No engañamos con ofertas que restan o limitan coberturas importantes.

### Con el cuadro médico más amplio

Cuadro médico en toda España con los mejores profesionales.

### Y a un buen precio

**cultiva**

**tu salud**



**MÚTUA General de Catalunya**

Tuset, 5-11 - 08006 Barcelona - Tel. 93 414 36 00 | www.mgc.es | e-mail: mgc@mgc.es

Granollers | Igualada | Mataró | Sabadell | Sant Cugat del Vallès | Terrassa | Vic | Girona | Lleida | Tarragona | Palma de Mallorca

# El Geolodía de Guadalajara 2012 en Hiendelaencina: "Un paseo por las minas de plata"

El domingo 6 de mayo se celebró el cuarto Geolodía de Guadalajara organizado por la Universidad de Alcalá, la Diputación de Guadalajara, el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y el Ayuntamiento de Hiendelaencina. El lugar elegido, Hiendelaencina, reúne una notable riqueza natural entre la que destaca la geodiversidad y el patrimonio minero-industrial que existe en el municipio.

**TEXTO I** Coordinadores del Geolodía-12 Guadalajara: Amelia Calonge (UAH y AEPECT), Rosa Vicente (UAH) y Miguel Ángel de Pablo (UAH y AEPECT).

Palabras clave  
**Geolodía, minería, Hiendelaencina, Guadalajara**

A nivel nacional, los promotores de **Geolodía 12** son la Sociedad Geológica de España (SGE), la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (AEPECT) y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), organizándose actividades y excursiones en todas las provincias españolas. La gran acogida que tuvo esta actividad el año pasado (con unos 200 participantes) nos animó a organizar esta nueva edición.

Estas actividades tienen lugar para celebrar el Día de la Tierra y su objetivo es acercar los valores y el patrimonio geológico al público en general. La actividad se convoca a través de la prensa y otros medios de comunicación y está abierta a todos los ciudadanos que estén interesados en visitar, conocer y valorar una zona de importancia geológica. La organización puso a disposición de los visitantes tres autobuses para hacer el recorrido geológico. Pero también pueden participar personas por su cuenta; para estos visitantes, la actividad contó con un equipo de 14 monitores que estuvo disponible para atenderlos desde las 10:00 h de la mañana hasta las 16:00 h de la tarde, en las mismas paradas programadas para el recorrido en autobús.

De las numerosas posibilidades existentes en la provincia de Guadalajara, hemos seleccionado el municipio de Hiendelaencina por su importante patrimonio minero, derivado del descubrimiento de filones ricos en plata en el año 1844, y sus posibilidades didácticas. Dicho patrimonio está compuesto por un conjunto de pozos, galerías y edificaciones (instalaciones de apoyo a la extracción tales como castilletes y ascensores), infraestructuras dedicadas al tratamiento del mineral (lavaderos, balsas de flotación, hornos, etc.), el transporte (cargaderos y cinta transportadora) y elementos modificadores del paisaje como es el caso de las escombreras y la balsa de lodos.

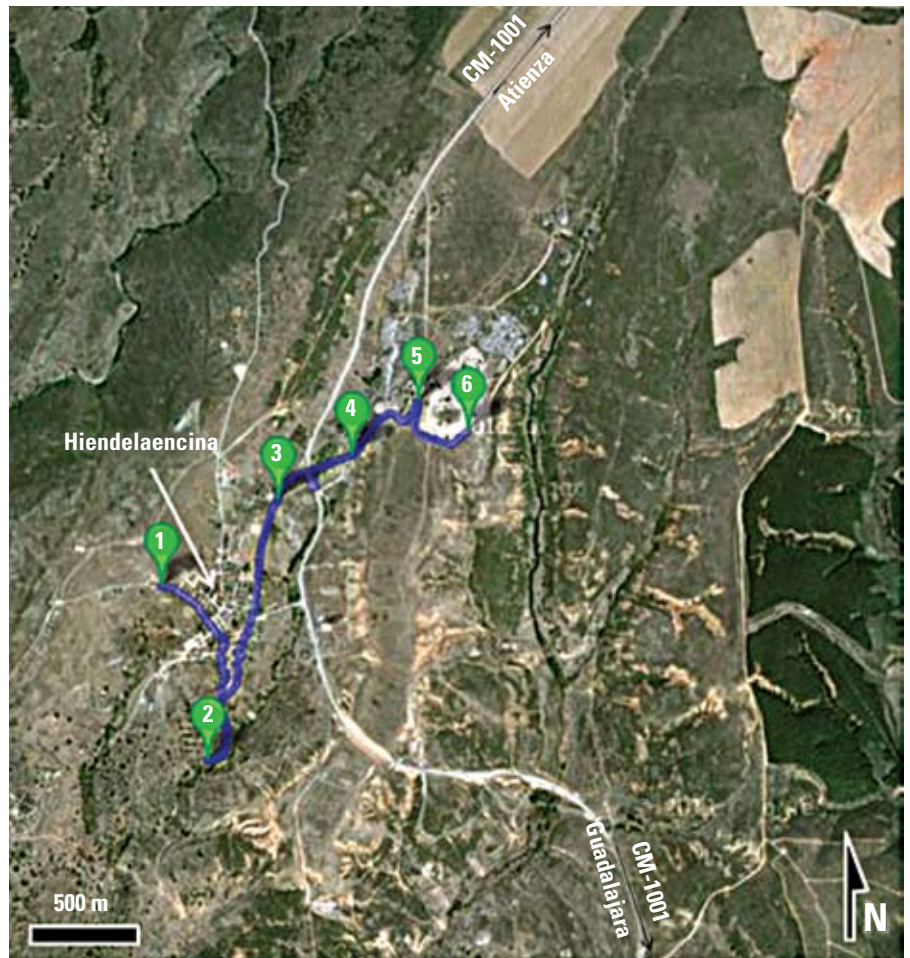


Figura 1. Localización de las seis paradas del Geolodía 2012.

Hiendelaencina es un pequeño municipio situado al noroeste de la provincia de Guadalajara, en la cara sur del Sistema Central y al pie de la Sierra del Alto Rey.

Este cuarto Geolodía de Guadalajara incluyó las paradas que se ven en la figura 1. Los participantes se organizaron en pequeños grupos en cada una de

las paradas para que las explicaciones fueran más amenas. En total, 14 monitores participaron desinteresadamente en la organización (figura 2):

- Parada 1: descripción del medio físico local (geología, paisaje y botánica) y del papel de la minería en el paisaje (figuras 3 y 4).



Figura 2. Pequeño grupo de asistentes escuchando las explicaciones (Foto: Manuel Hombrados).



Figura 3. Explicaciones en la parada 1 (Foto: Manuel Hombrados).



Figura 4: Explicaciones en la parada 1 (Foto: Amelia Calonge).



Figura 6. Explicaciones en la parada 3 (Foto: Amelia Calonge).

- Parada 2: descripción detallada de los materiales de la zona y de su distribución por la zona (figura 5).
- Parada 3: descripción del patrimonio minero de Hiendelaencina, y sus características, riqueza



Figura 5. Explicaciones en la parada 2 (Foto: Amelia Calonge).

## La Mina Santa Catalina representa el paso de la minería originaria de mediados del siglo XIX a la de mediados del siglo XX

y potencial (figura 6). La **Mina Santa Catalina** mantiene su castillete, y representa el paso de la minería originaria de mediados del siglo XIX a la de mediados del siglo XX. En esta mina se puede observar varios pozos



Figura 7: Explicaciones en la parada 4 (Foto: Manuel Hombrados).

mineros, el castillete de uno de los pozos en perfectas condiciones y también vagonetes para el transporte de los materiales extraídos del pozo, salas de maquinaria, cargaderos, etc. En las proximidades se encuentra la antigua escombrera, parcialmente desmantelada, de la Mina Santa Catalina, siendo un ejemplo de la evolución de la actividad minera, ya que estos materiales fueron reprocesados en a mediados y finales del siglo XX para el reaprovechamiento de los recursos.

- Parada 4: descripción de los minerales explotados en la zona y el problema de la posible contaminación de las aguas (figura 7). **Escombreras de la Mina San Carlos:** esta zona se encuentra repleta de pozos mineros de distintas concesiones mineras, encontrándose una gran concentración de escombreras, algunas de ellas reprocesadas por la Mina San Carlos a mediados y finales del siglo XX. Este sector del itinerario permite el primer acercamiento a los materiales explotados y a observar los minerales que constituían la mineralización de los filones explotados en el municipio, así como a los materiales geológicos existentes en la zona en donde se encontraban los filones de cuarzo explotados. Por otro lado, en esta zona se podrá observar los restos de una obra logística de gran interés arquitectónico y ambiental, una galería creada con materiales de la escombrera para permitir el paso del agua de un arroyo que recorre la zona, impidiendo así el embalsamiento del agua y la contaminación de las aguas.
- Parada 5: descripción de los restos de la actividad minera en la Mina San Carlos y del problema del expolio (figuras 8 y 9). Situada al NE del municipio y los distintos relieves que lo caracterizan, asociados a los diferentes materiales geológicos que afloran en él. Este emplazamiento se corresponde con el último punto donde se mantuvo la actividad minera del municipio, mediante el reprocesado de los materiales procedentes de las escombreras de otras de las minas del entorno. En este punto se pueden visitar los edificios donde se realizaban los diferentes procesos de beneficio del mineral. Es posible visitar, además, la balsa de lodos donde se acumulaban los materiales desechados del beneficio del mineral. Esta balsa de lodos constituye un elemento paisajístico de gran relevancia en el entorno, constituyendo, junto con el resto de las instalaciones de este lugar, uno de los elementos más importantes del patrimonio minero. Esta balsa de lodos permite buenas vistas del entorno, así como de otras muchas minas de la zona, incluyendo varias chimeneas de otras minas próximas.
- Parada 6: revisión de la geología local y del impacto de la minería en el entorno del municipio

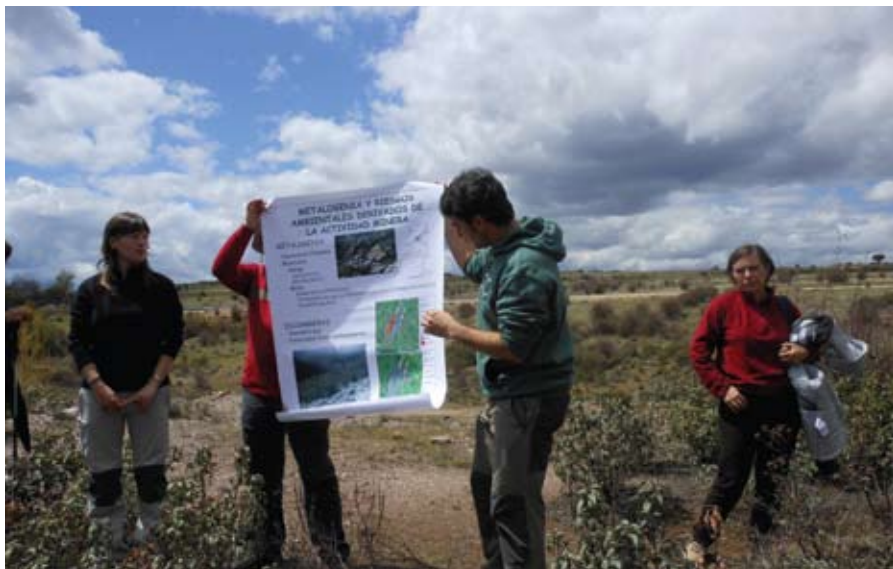


Figura 8. Explicaciones en la parada 5 (Foto: Amelia Calonge).



Figura 9. Explicaciones en la parada 5 (Foto: Manuel Hombrados).



Figura 10. Explicaciones en la parada 6 (Foto: Manuel Hombrados).

Se visitó también el barrio viejo de Hiendelaencina, donde se observa cómo era el pueblo antes del inicio de la actividad minera

de Hiendelaencina (figura 10). Visualización del audiovisual proyectado en el Centro Social del Ayuntamiento.

De regreso al casco urbano se visitó también el barrio viejo de Hiendelaencina, donde se observa cómo era el pueblo antes del inicio de la actividad minera. Este sector es donde mejor se puede reconocer el estilo de arquitectura negra que caracteriza esta región de Castilla-La Mancha, aprovechando los materiales aflorantes en la zona (gneises y esquistos), por lo que es un lugar de gran interés para estudiar el aprovechamiento de los materiales geológicos.

En total, el 4º Geolodía de Guadalajara 2012 contó con más de 300 participantes. Tres autobuses partieron desde la plaza del Infantado de Guadalajara a las 9:00 h de la mañana. Hay que indicar que era necesario reservar con antelación y el cupo de los tres autobuses se completó una semana antes de la celebración del Geolodía, con 170 personas inscritas y varias en lista de espera. Asimismo, un grupo de casi 50 personas se acercaron desde la vecina localidad de Congostrina. Y, además, casi otro centenar de participantes se acercaron con sus vehículos, ya fuera siguiendo el recorrido de los autobuses o realizando el recorrido a su gusto. El público mostró una notable diversidad de edad y procedencia, incluyendo varias familias con niños y jóvenes de 4 a 16 años. El trato directo con los monitores especialistas fue una de las cuestiones mejor valoradas por los participantes.

La alta participación, el entusiasmo puesto por los participantes y el alto grado de satisfacción mostrado por los mismos nos lleva a pensar que la actividad ha sido un éxito. Por ello, en el año 2013 se celebrará el quinto Geolodía de Guadalajara, esperando que la respuesta sea igual de positiva.

#### Enlace de interés

Recorte de *Nueva Alcarria*, principal periódico de la provincia de Guadalajara: <http://www.nuevaalcarria.com/jprovincia/general/136860-mas-de-300-personas-conocieron-el-pasado-minero-de-hiendelaencina-en-el-geolodia>

# Utopía y realidad en los hornos de cal de la Fuente de las Viñas en Vegas de Matute (1950-1957)

Desde 2006 se está estudiando y dando a conocer el rico patrimonio de arquitectura industrial de Vegas de Matute (Segovia), en especial el representado por sus más de 20 hornos de cal. Fruto de tal empeño fue la inversión pública de más de 120.000 euros en la restauración y musealización del Parque de Arqueología Industrial del Zanco, inaugurado en 2008, y donde se encuentran las siete caleras más antiguas de la localidad, de lo que ya se hizo eco la revista *Tierra y Tecnología* en su número 33. Este pequeño geoparque es cada vez más visitado y citado en los medios informativos, tanto generalistas como especializados.

**TEXTO Y FOTOGRAFÍAS** | Felipe Asenjo Álvarez, arquitecto; profesor de la UEM; José Miguel Muñoz Jiménez, historiador del arte; profesor de la UEM, y Pablo Schnell Quiertant, arqueólogo; gerente de la AEAC.

Palabras clave  
**Hornos de cal, Fuente de las Viñas, Vegas de Matute.**

## La mayor concentración de hornos de cal de España

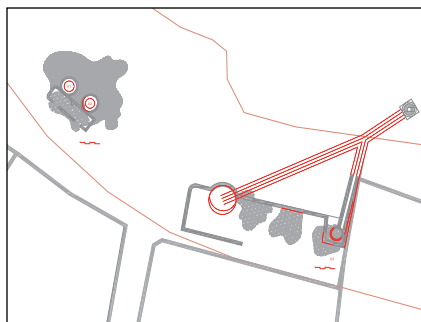
Llama la atención la complejidad geológica del pequeño municipio de Vegas de Matute, ubicado en la falda septentrional de los montes Calocos, y lugar donde se situaron antiguas y modernas labores de minería (en el libro citado en la bibliografía de Díez Herrero y Martín Duque se recogen más de 20 citas sobre la localidad).

En lo referente a la producción de cal, la razón del alto número de hornos conservados responde al hecho de estar Vegas de Matute en la zona de contacto de los materiales metamórficos hercínicos del Sistema Central con los afloramientos de calizas mesozoicas de origen marino. Otra de las razones fundamentales es la de que los lugareños se dedicaron desde la Edad Media a explotar los sobresalientes estratos de caliza y a quemar su piedra en hornos de muy antigua tradición, hasta convertir el material en cal viva, con una gran concentración de caleras como en ninguna otra parte se puede imaginar.

Así, son los objetivos de este artículo, en primer lugar, repasar las noticias históricas transmitidas oralmente por los testimonios de los caleros aún vivos y por la memoria de los descendientes de los protagonistas, que se refieren a otros cuatro interesantísimos hornos de cal —aunque también se intentó en ellos la producción de ladrillo y teja—, que se conservan arruinados en el paraje de la Fuente de las Viñas (*figura 1*). En segundo lugar, realizar la cartografía del enclave y el dibujo digitalizado de las caleras, completado con un amplio repertorio fotográfico y señalando de forma arqueológica el estado de abandono de las mismas estructuras (*figuras 2, 3, 4 y 5*). También, exponer nuestra valoración histórica

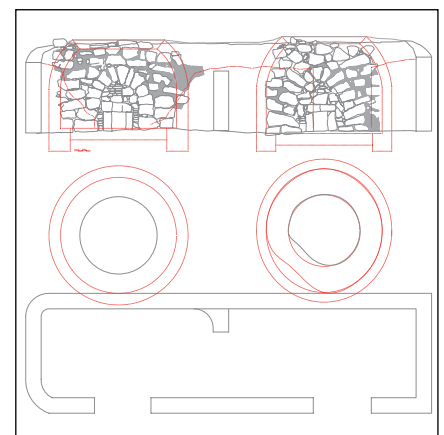


*Figura 1. Vista general del conjunto industrial desde el paso de acceso.*

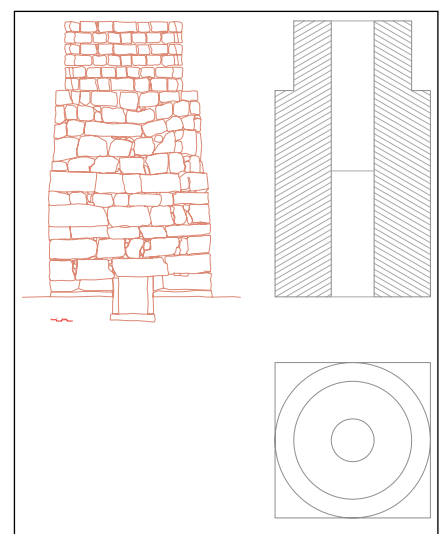


*Figura 2. Plano general del conjunto de Fuente de las Viñas, donde se aprecia el paso de acceso, los hornos tradicionales pareados del oeste y los dos hornos industriales al este, con los canales de tiro que conducen a la chimenea.*

de su importancia y su significación como acto final de una secular serie de construcción de caleras en la localidad, que llegó a lindar con el terreno de lo utópico o visionario. Con ello queremos rendir una vez más el merecido homenaje al esfuerzo de aquellos caleros segovianos que tanto empeño pusieron en su lucha por la existencia.



*Figura 3. Análisis gráfico de los dos hornos de cal tradicionales, de su alzado exterior y de su sección, y de la planta de las cámaras y del portal compartido.*



*Figura 4. Análisis gráfico de la torreta-chimenea: alzado fachada sur, sección y vista cenital.*

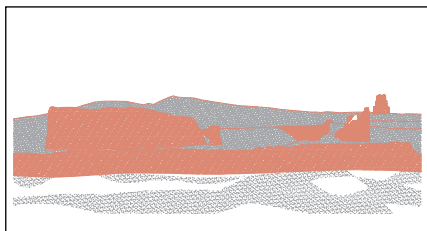


Figura 5. Análisis gráfico del alzado frontal del complejo industrial de la Fuente de las Viñas.

Por último, deseamos mostrar a las autoridades competentes la importancia de este postrer grupo de caleras, pensando en la conservación de sus singulares restos, tan íntimamente ligados al paisaje histórico de Vegas de Matute. Si el Ayuntamiento llevara a cabo la ya prometida puesta en valor del conjunto de nueve hornos de La Lobera, y si algún día se consiguiera musealizar esta calera de la Fuente de las Viñas, sumado al antes citado parque arqueológico del Zancao, sin duda que no habría en España, y aun en Europa, otro municipio con tantos y tan valorados hornos de cal tradicionales e históricos.

### Estudio histórico del conjunto de hornos de la Fuente de las Viñas

#### Antecedentes en la Edad Moderna y Contemporánea: otros conjuntos en Vegas de Matute

A partir de nuestros estudios anteriores, se puede asegurar que en Vegas de Matute la documentación consultada nos informa de la existencia de, al menos, un horno fabricando cal para El Escorial entre los años 1564 y 1567. Pudo existir una producción calera anterior de origen medieval, o bien ser aprovechado el afloramiento calizo para iniciarla con la desmesurada necesidad del monasterio, pero ese dato no se puede afirmar. A partir de 1569, los libros de cuentas de la real obra dejan de aposentar los detalles de la cal, debido a las inmensas cantidades que importaban, por lo que podemos suponer que el o los hornos de las Vegas continuarían atendiendo dicha demanda. Por medio de nuestro estudio hemos concluido que este primer horno del siglo XVI corresponde con el que se conserva más próximo al arco del Zancao y que era un horno doble, o dos hornos emparejados, como ocurre aún hoy. Indudablemente, estas estructuras serían reparadas e incluso reconstruidas innumerables veces a lo largo de sus cuatro siglos de existencia (hemos documentado, por ejemplo, que en el siglo XVIII las bocas de los hornos y los portales tenían una orientación distinta a la actual), pero sus vicisitudes se pueden seguir con continuidad a través de los documentos de los siglos XVII, XVIII y XIX, para cuya consulta derivamos al libro citado en la bibliografía.

Combinando los datos de los protocolos notariales con los que ofrece el *Catastro del Marqués*



Figura 6. El horno industrial oriental con cámara de ladrillo, cuya envoltura exterior de buen sillarejo presenta ruina parcial que permite ver su interior. Al fondo la chimenea con la que se conectaba.

de la Ensenada, deducimos que a este primer horno doble del Zancao se le fueron añadiendo otros cinco más a lo largo del siglo XVIII. El último horno que se construyó en este paraje lo fue hacia 1804, de manera que los siguientes ejemplares se trasladaron (por falta de espacio en el Zancao) al lugar llamado La Lobera, a partir de 1808.

Así, los datos que ofrece el *Diccionario Geográfico* de Madoz, en 1850, referentes a que en las Vegas había "ocho hornos de cal y uno de valdosa y ladrillo", concuerdan con los que hemos extraído de los protocolos notariales; es decir, los siete del Zancao más otro doble (anterior a 1808) en el lugar de la Tejera, junto a La Lobera. A lo largo de los siglos XIX y XX se fueron construyendo más hornos en este último sitio, hasta alcanzar el número de nueve calderas, como ya tuvimos ocasión de publicar recientemente. Después de la última Guerra Civil, se levantaron los cuatro ya citados en el paraje de la Fuente de las Viñas, con una tipología distinta (gran chimenea exenta) y destinados en origen a fabricar cal, aunque también cocieron teja y ladrillo. Estos son los hornos más modernos construidos en la población, y que se estudian en este artículo.

#### La obra de Gabriel Cubo Rosa en los años cincuenta

La historia del conjunto industrial de la Fuente de las Viñas comienza con la figura del ya fallecido Gabriel Cubo Rosa, natural de Vegas de Matute y propietario de una tienda de comestibles en la localidad, así como más tarde de una frutería en la vecina Otero de Herreros. Según nos ha informado amablemente su hija mayor Ascensión Cubo Useros, Gabriel destacaba por su espíritu emprendedor y, acabada la Guerra Civil, donde sirvió como motorista y recorrió muchos lugares de España,



Figura 7. Detalle de la cámara de ladrillo del horno industrial oriental, arruinada en su mayor parte, donde se coció de forma infructuosa cal, ladrillo y teja.

decidió abordar, ya empezada la década de los cincuenta, la construcción de esta industria.

Según testigos de la época, al principio Gabriel se propuso fabricar cal viva por un nuevo método a escala industrial, según lo que aprendió en otro sitio fuera de Vegas de Matute, que no hemos podido precisar. Se trataría de la construcción de dos hornos puestos en batería, y cuyo tiro se llevaba por conducción semienterrada hasta el arranque de una torreta-chimenea situada en la zona alta de la ladera de las Viñas, suponemos que para facilitar la salida del humo de la combustión. Se trata del grupo constructivo situado a la derecha de la entrada o paso de acceso. Según han explicado, ambos hornos también estaban comunicados entre sí, pues "...se atizaba un horno y las calorías pasaban al otro" (figuras 6, 7 y 8).

La piedra caliza se obtenía de la cantera inmediata (figura 9), situada en la parte alta de la cuesta, por medio del uso de barrenos, pues a Gabriel, "por su buena conducta", las autoridades de la época le permitieron el uso de dinamita, lo que ya



Figura 8. Detalle del esquinazo sudoriental del horno industrial menor, y el más próximo a la torreta-chimenea de la parte superior de la ladera de las Viñas.



Figura 9. Vista de la cantera de piedra caliza situada al norte del conjunto, donde se advierte la parte superior de la chimenea.

conocíamos en otras de las canteras de caliza de la localidad como la de las Fuentecillas, en el camino viejo de Otero.

Pero el resultado, tras varios intentos y la contratación de obreros de la localidad —lo que nos manifiesta el carácter industrial del empeño—, no fue favorable, sino que “la piedra no se cocía por dentro”. No sabemos si ello se debió a que el sistema no lograba alcanzar la temperatura adecuada, o a que la piedra utilizada no era la conveniente.

Fue entonces cuando Gabriel Cubo intentó utilizar los mismos hornos para la producción de teja y de ladrillo, instalando unas piletas junto a ellos para amasar barro (figura 10). Incluso adquirió una “maquinilla” para fabricar ladrillos. Pero de nuevo, ya sea por deficiencias técnicas de la instalación, o bien por la mala calidad de la arcilla, o bien por

ambas cosas a la vez, tuvo que desistir de esta producción tras unas cuantas intentonas.

Por ello, al final, optó por mandar labrar en una zona inmediata un horno de cal al modo tradicional, del tipo de la veintena larga que ya había en la localidad, si bien, por ser tan moderno, ya ofrece la cámara o caldera de mayor tamaño y hecha toda de ladrillo refractario, lo que solo se había hecho en el horno más tardío del conjunto de La Lobera, también de mediados del siglo XX.

Por último, desanimado por tantos esfuerzos y tanta inversión de dinero al final perdido, Gabriel Cubo optó por venderle la propiedad de la parcela situada “en la ladera de las Viñas” —con un total de 7.250 m<sup>2</sup> según contrato privado del año de 1957— al calero de la localidad Celedonio Pérez Portal. Resulta curioso que en este documento,



Figura 10. Una de las piletas para barro construidas al exterior del muro perimetral del complejo industrial.



Figura 11. Vista de los hornos tradicionales desde el camino de acceso al conjunto.

que conserva la familia de este último, no se haga ninguna mención de los tres hornos ya construidos por Cubo. Podría ser una muestra de la nula valoración de todo lo hecho, ante los malos resultados obtenidos.

Así acabó esta empresa casi visionaria, heroica a la vez que utópica, de Gabriel Cubo, animoso vecino de Vegas de Matute que no siendo calero intentó la primera producción industrial de la localidad. Después, Gabriel y su familia se fueron a vivir a Segovia, donde abrieron un establecimiento de hostelería.

#### *La obra de Celedonio Pérez Portal en los años sesenta*

El citado Celedonio Pérez, fallecido hace pocos años, sí que era un calero experimentado, pues ya tenía un horno en el conjunto de La Lobera, propiedad de su suegro Timoteo Barreno. Se sabe que después del año 1957, y hasta finales de la década de los sesenta, siguió fabricando cal en aquel último horno tradicional de la Fuente de las Viñas que le traspasó Gabriel Cubo, y al que le añadió un segundo horno parejo con el que comparte el portal y presenta semejante obra (figuras 11 y 12). Como el resto de las caleras de Vegas de Matute, estos hornos proveían material al contratista Justo Cubo, quien la enviaba a obras de las provincias de Ávila y Segovia. Hay que entender que Celedonio se proveía de la misma piedra de la cantera existente en la parcela, lo que demuestra que no fue la mala calidad de la caliza lo que hizo fracasar las hornadas “industriales” de Gabriel Cubo, sino la deficiencia



Figura 12. Vista general de la parte superior del túmulo de los dos hornos tradicionales, envueltos en el caliche de las hornadas. Al fondo se aprecia la dehesa concejil situada al pie de los montes Calocos.



Figura 13. Fachada con boca de entrada al horno tradicional occidental, con restos del portal en primer término.



Figura 14. Fachada con boca de entrada al horno tradicional oriental, con el portal compartido en primer plano.

circulación, además de otras que pudiese tener como almacén temporal de la producción, o secadero alejado de la humedad de la vaguada (figura 1). El modo de construcción es el mismo que el del pasillo descrito: muros de aterrazamiento de sillarejo calizo a hueso de unos 35 m a cada lado del paso, que sujetan un relleno de echadizo que mantiene la horizontal en esta explanada artificial, de unos 10 m de anchura. Todos estos muros han sido realizados con una cuidada cantería, con paredes a plomo, tallando los sillarejos y rellenando las llagas con pequeños ripios.

### Los hornos

Los hornos se presentan en dos parejas: una al este y otra al oeste del acceso descrito, ambos precedidos por la explanada artificial.

Los del oeste constituyen el típico conjunto de hornos emparejados que se repite en otras caleras tradicionales de Vegas de Matute: calderas parcialmente enterradas en la ladera, arropadas por montículos de caliche y precedidas de un porche llamado portal o solar, incluso con dos hornacinas laterales como era habitual en estos cobertizos. La función de este cuerpo era la de proteger de la lluvia a los caleros, la leña e incluso la cal cocida. Como hemos dicho en otras ocasiones, estos elementos son propios de la zona (Vegas de Matute, Ituerto y Lama) y de Madrid (Valdemorillo-Quijorna) y constituyen un rasgo de identidad propio.

Las dimensiones de las cámaras de estos hornos pueden obtenerse en los dibujos por lo que no se incluyen aquí. Como diferencia con otros del pueblo, señalamos que son más grandes, y sus paredes están hechas de ladrillos colocados a soga, cerrando por aproximación de hiladas la cámara. Los hombros de esta falsa bóveda quedan rellenados con caliche. En su parte baja, por el interior, tienen una moldura para encajar la primera hilada de bloques de piedra a cocer. Como curiosidad, en ambas calderas hay restos de escoria vitrificada, lo que nos indica que o bien llevaban algún enlucido interior con una sustancia vitrificable o bien se coció en ellos algo que no era cal, tal vez cerámica vidriada. El muro de fachada presenta una cuidada albañilería, como es habitual en toda la obra, construido con sillarejos calizos a hueso, aunque en algunos tramos se ha llagado con cemento. La boca de cada uno de los hornos está hecha con sillares de granito dispuestos en dintel, y sobre cada uno hay un arco de medio punto con las dovelas de sillarejo. El espacio entre ambos se cubre con ladrillos, piedras y ripios, indicando seguramente que era una parte que se podía desmontar para acceder con más facilidad al interior de la caldera. Por ello, estos arcos pudieron tener la misión doble de descargar al dintel, y permitir abrir un acceso más grande cuando fuese necesario, el cual se podía cerrar con facilidad montando de nuevo el dintel y la pared.

El estado general de conservación es de ruina progresiva, pero las cámaras se mantienen en pie

del nuevo sistema. Por último, queremos agradecer a la hija de Celedonio Pérez, Gloria, y a su yerno José Luis Cubo, toda la información que nos han facilitado.

### Análisis gráfico y arqueológico

El conjunto de Fuente de las Viñas ocupa parte de la citada parcela en la cuestecilla sur de una colina de sustrato calizo, llamada "ladera de las Viñas". Se sitúa como a 1 km al oeste de Vegas de Matute, al norte de la carretera de Zarzuela del Monte. Se compone de dos parejas de hornos, otras estructuras construidas y varias obras de acondicionamiento del terreno (excavación, explanación, acceso...), todo ello rodeado por la zanja de explotación de una cantera. El rasgo más característico lo ofrece una pareja de hornos situada al este, pues están unidos por un sistema de canales con una airosa chimenea situada en lo alto de la colina.

### Acondicionamiento del terreno

Casi toda la extensión de esta parcela ha sufrido transformaciones antrópicas para adecuarla a la finalidad productiva que se pretendía. Se aprecia que el terreno ha sido rebajado en su parte superior

(norte) para colocar los hornos parcialmente enterrados, mientras que hacia el sur se ha construido un gran aterrazamiento para posibilitar la existencia de una explanada delante de los mismos. Todo el complejo está rodeado además por una excavación que discurre en forma de semicírculo por la parte superior de la cuesta que corresponde a una cantera de extracción de piedra caliza.

La primera obra que encontramos es una especie de puente que facilita el acceso al complejo nivelando la pequeña vaguada que hay frente a él. Se trata de un pasillo elevado de 25 m de largo y 6 de ancho soportado por muros aplomados de sillarejo calizo a hueso dispuestos a ambos lados del camino. Este paso elevado, entre dos parcelas ajenas, permite acceder a la plataforma frontal sin perder altura evitando el cambio de pendiente en la vaguada, por lo que pensamos que se hizo con la finalidad de facilitar el tráfico rodado de vehículos de carga, seguramente previendo las dificultades que pudiesen tener los camiones más que los carros.

Este paso conduce a una gran plataforma elevada que hay frente a los hornos, que por ello cumple la función de espacio de distribución y





Figura 15. Vista de la parte superior de la caldera del horno tradicional occidental.

casi hasta la boca y los muros del portal conservan una buena altura (figuras 13, 14 y 15).

El conjunto oriental es más complicado. Lo componen también dos hornos, pero no están emparejados con el típico sistema de portal delantero. Son obras exentas en tres de sus lados y solo el cuarto se apoya contra el terreno natural; tampoco aparece el montículo de caliche. Estos hornos están contruidos en el interior de una caja cuadrada de sillarejo calizo a hueso y el espacio intermedio se rellena con tierra, no con caliche (figuras 6, 7 y 8). Ambos están derrumbados más o menos en su mitad, y uno está vallado para encerrar perros en él, por lo que es inaccesible. Las dimensiones que hemos podido tomar se muestran en los dibujos, siendo el occidental mucho más grande (figura 16). Las cámaras también están contruidas de ladrillo a soga pero las bocas no se pueden ver pues están cubiertas de escombros. En el situado más al este se aprecia que tiene un dintel de madera.

Asimismo se ha perdido en ambos casos la parte superior de la caldera, por donde debían conectarse con las dos conducciones que llevaban



Figura 16. Detalle del muro de sillarejo calizo que envolvía en forma curva la cámara del horno industrial mayor, situado al oeste del complejo. Hoy se utiliza como perrera.

los humos hasta la chimenea exenta, cuya disposición nunca más podremos conocer, dada la ausencia de cualquier documento gráfico. Conviene notar también la gran separación existente entre uno y otro horno, que dejan una amplia área intermedia, pensada quizás para construir más adelante algún horno más, completando así la formación en batería.

Lo más característico de estos hornos cuadrados es que de la zona superior de cada uno de ellos parte un canal excavado en la roca. En el oeste, que está exento, para que el canal llegase hasta la boca se construyó un muro que lo sustenta, quedando con la apariencia de un acueducto.

Estos dos canales excavados en la roca, forrados de piedra y, en su día, cubiertos con losas de tamaño regular de las que se conserva una pieza, suben por la ladera hasta juntarse en uno solo formando una Y invertida. El tramo final llega hasta la base de la estructura que corona el complejo (figura 17). Esta se compone de un cuerpo inferior cuadrado sobre el que se apoyan otros dos circulares, de los cuales el superior es más estrecho. Todos ellos están huecos con el mismo diámetro interior, y no



Figura 17. Vista de la salida del canal de conducción de humos del horno industrial oriental, y de su huella en el suelo en busca de la chimenea exterior.



Figura 18. La chimenea de tres cuerpos de buen sillarejo, en su lado meridional, con la entrada del canal de tiro en la parte inferior.

tienen más abertura que la superior y un orificio en su base que comunica con el canal mencionado. Por todo ello, la identificamos como una chimenea, y los canales, como los tiros de los hornos exentos que, como antes se dijo, iban cubiertos en su día por losas, y un túmulo de tierra hoy perdido. Señalemos que en el interior no se aprecia ennegrecimiento ni hollín, como si no hubiese llegado a funcionar o lo hubiese hecho muy pocas veces (figura 4).

La erección de la singular torreta-chimenea de tres cuerpos, que recuerda a un pequeño zigurat o alminar escalonado, se justifica por la necesidad de sobreelevar en su boca superior la altura de la cuesta en que se asienta (figuras 18, 19 y 20).

También hay otras estructuras, edificaciones rectangulares situadas sobre la explanada con uno de sus lados apoyado en la ladera recortada, junto a las que hay varias piletas de piedra. Todo este conjunto es difícil de apreciar, pues está parcialmente colmatado, cerrado con vallas y lleno de trastos.

La cantera, por último, es una zanja que rodea al complejo por su parte norte, fruto de la excavación de la piedra caliza (figura 9). Con ella seguramente se levantarían los cuidados muros del conjunto, y sería la materia prima utilizada en los hornos para hacer cal.

### Conclusiones

Como conclusiones principales se pueden señalar las siguientes:

- Identificamos un conjunto de edificaciones articulado en torno a una plataforma artificial y dos parejas de hornos, lo que indica una finalidad industrial. En este paraje de La Fuente de las Viñas se pueden señalar dos sectores, además de la existencia inmediata de una cantera de piedra caliza abierta ad hoc: la pareja de hornos del oeste



Figura 19. Trabajando en lo alto de la chimenea, vista del lado occidental.



Figura 20. Detalle de la gran plasticidad del sillarejo calizo empleado en los tres cuerpos de la chimenea de la Fuente de las Viñas.

forma claramente una calera de las habituales en el pueblo, con su portal y que sin duda se utilizó, ya que las cámaras están vitrificadas y cubiertas por caliche proveniente de cocciones de cal defectuosas. Los hornos del este son distintos, exentos y unidos por una canalización a una chimenea superior y no presentan claros signos de uso. Todo ello se engloba en unas adecuaciones del terreno orientadas a facilitar la circulación y almacenaje delante de estos hornos (aterrazamiento, acceso a nivel...).

- El complejo ofrece unas características comunes en cuanto a su construcción (cuidada cantería a hueso...) que trasluce una concepción global tanto de los distintos elementos que lo componen como de su funcionalidad. Todo parece estar pensado para facilitar la producción a gran escala de los cuatro hornos, el almacenamiento de las materias primas y su producción, así como la circulación por las explanadas... La esmerada cantería de los muros, sobre todo de la chimenea, demuestra el trabajo de profesionales de la albañilería, mientras que la concepción global de los elementos y su complementariedad nos indican un plan de explotación unitario y preconcebido.



Figura 21. Vista de la torreta-chimenea situada a media cuesta. Al fondo, el pueblo de Vegas de Matute, su iglesia parroquial y la Sierra del Quintanar.

- De esta manera, queda demostrada la admirable labor del industrial Gabriel Cubo Rosa, promotor casi romántico de una empresa que, quizás por la carencia de medios y del asesoramiento técnico adecuado, llegó a rozar lo utópico y lo visionario. Es algo paradójico que este frustrado intento de modernizar la producción artesanal de cal, que en Vegas de Matute contaba ya con siglos de tradición, se hiciera en las vísperas del mayor proceso de transformación económica de España; de su definitiva industrialización en los años sesenta.
- Resulta muy significativo que el citado Gabriel Cubo acabe construyendo, junto a su "industria" fracasada, un nuevo horno de cal de tipo tradicional, y que poco después, desalentado, traspasase en 1957 la parcela y los hornos al calero Celedonio Pérez Portal, quien labró un segundo horno tradicional junto al anterior, y

quien mantuvo durante toda la década siguiente una honrosa producción en ellos, hasta que la generalización del cemento industrial acabó con la necesidad de la cal para fabricar morteros.

- Por su importancia demostrada, estas caleras deben ser conservadas, pero por tratarse de un conjunto privado nos limitamos a sugerir que se tomen con urgencia las medidas necesarias (cierre, limpieza y prospección arqueológica, consolidación y, por último, señalización) para su puesta en valor. Creemos que los restos arquitectónicos conservados en la Fuente de las Viñas lo merecen. De este modo, junto a las otras caleras de Vegas de Matute, se garantizaría la conservación de un singular paisaje industrial (figura 21), elaborado a lo largo de más de 400 años.

Más detalles en la web:

<http://hornosdevegasmatute.110mb.com>

### Bibliografía

- Asenjo Álvarez, F., Muñoz Jiménez, J. M. y Schnell Quiertant, P. (2011). Los hornos de cal de La Lobera en Vegas de Matute (Segovia): Historia, análisis gráfico y arqueológico y propuestas de actuación. *Actas del I Congreso Internacional de Investigación sobre Paisaje Industrial*, Sevilla (edición digital), 14 pp.
- Díez Herrero, A. y Martín Duque, J. F. (2005). *Las raíces del paisaje. Condicionantes geológicos del territorio de Segovia*. Junta de Castilla y León, Salamanca.
- Mollinedo Martínez, C., Muñoz Jiménez, J. M. y Schnell Quiertant, P. (2008). La recuperación de los hornos de cal del Zancao en Vegas de Matute (Segovia): hacia un nuevo parque de arqueología industrial. *Tierra y Tecnología*, 33, 85-93.
- Muñoz Jiménez, J. M. y Schnell Quiertant, P. (2006). Los hornos de cal del Zancao en Vegas de Matute (Segovia). *De Re Metallica*, 6-7, 87-94.
- Muñoz Jiménez, J. M. y Schnell Quiertant, P. (2007). *Los Hornos de cal tradicionales de Vegas de Matute (Segovia), el conjunto del Zancao (siglos XVI-XVIII)*. Junta de Castilla y León, Valladolid.
- Muñoz Jiménez, J. M. y Schnell Quiertant, P. (2012). Nuevo parque de arqueología industrial: restauración de los hornos de cal del Zancao en Vegas de Matute (Segovia). *Revista Hispania Nostra*, 6.
- Schnell Quiertant, P. y Muñoz Jiménez, J. M. (en prensa). Los hornos de cal de Vegas de Matute (Segovia): del Parque de Arqueología Industrial del Zancao a la intervención completa. VI Congreso Internacional de Musealización de yacimientos y Patrimonio, Toledo, 22-25 noviembre de 2010.

# La geología y su expresión gráfica

Se pone de manifiesto la necesidad de acompañar los trabajos profesionales científicos y de divulgación con imágenes e ilustraciones que contribuyan a aclarar lo expresado en el texto. El dibujo, inherente al desarrollo científico, ha sido una materia olvidada en los planes de enseñanza de la geología y, consecuentemente, esa circunstancia suele reflejarse en los textos geológicos. Esta breve reseña trata de alertar sobre esa carencia y fomentar su uso.

**TEXTO** I S. Martín-Serrano López, ilustrador e IT Forestal, y A. Martín-Serrano García, geólogo.

Afirmar que el dibujo ha sido y continúa siendo importante en el desarrollo de la ciencia no deja de ser una obviedad. Por poner ejemplos personalizados y sabidos: Leonardo da Vinci, excepcional artista y genio del Renacimiento, y Ramón y Cajal, nuestro primer científico universal y extraordinario acuarelista que plasmó de esa manera gran parte de sus descubrimientos. Existen muchos otros, más o menos conocidos y anónimos. El dibujo ha estado tradicionalmente ligado a las exploraciones científicas.

Los cuadernos de viaje de los grandes naturalistas están plagados de ilustraciones, propias o de profesionales incorporados a la expedición. Recordar, por su reciente notoriedad como consecuencia del centenario de la desgraciada aventura, a Edgard Adrian Wilson, zoólogo y dibujante de la expedición liderada por Scott, fallecido en 1912, con él y con Bowers, cerca del Polo Sur. Curiosamente, a pesar de la fotografía, estos dibujantes profesionales aún siguen incorporándose a las expediciones modernas y actuales. Prescindiendo del romanticismo que conlleva su presencia, la explicación podría estar en que mediante una fotografía es difícil lograr la abstracción con la que se plasma una idea. Y

es que el dibujo actual convive muy bien no solo con la fotografía sino también con las tecnologías gráficas más recientes. Se apoya y se beneficia de ellas. Se sigue dibujando como antes, única y sencillamente ha cambiado la herramienta.

Quizás por todo lo anterior, resulta sorprendente que en los planes de estudio de la enseñanza universitaria de las ciencias naturales, y en concreto de la geología, no se incluya al dibujo como asignatura, tal como ocurre en la ingeniería. La geología es territorio, es paisaje y espacio. No es una ciencia abstracta en sentido estricto, pues se trata en lo fundamental de una disciplina visible con tres, o mejor dicho, con el tiempo, cuatro dimensiones. La enseñanza del dibujo ayuda a mejorar la visión espacial y, por añadidura, su expresión a través de la representación gráfica. La transmisión del conocimiento y la divulgación del mismo tienen a veces muchas dificultades, y no especialmente por las cualidades del trasmisor, sino por la dificultad en expresar la idea que se quiere comunicar. Esa circunstancia puede traducirse en un texto engorroso cuando mediante una imagen quedaría solucionado; más aún, si el objetivo es mostrarlo a personas no iniciadas. De ahí, la importancia de compensar y apoyar

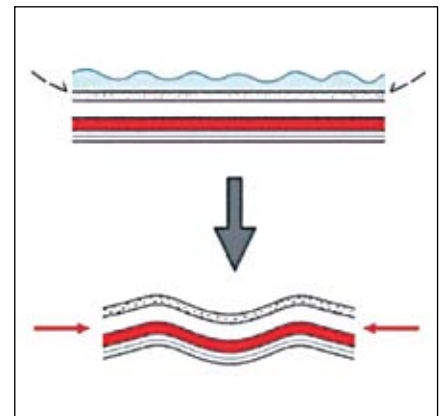


Figura 1. El plegamiento varisco.

la comunicación de cualquier texto de la información, científica o divulgativa, mediante unas imágenes explícitas.

Un buen ejemplo para apoyar lo dicho podría ser la geología y geomorfología relacionada con las singularidades de un paisaje cercano: los Montes de Toledo en la Meseta central. Mediante imágenes no necesariamente complejas se puede explicar mejor desde su estructura geológica hasta la actual fisonomía de su paisaje a partir de una brevisísima descripción de sus rasgos principales.

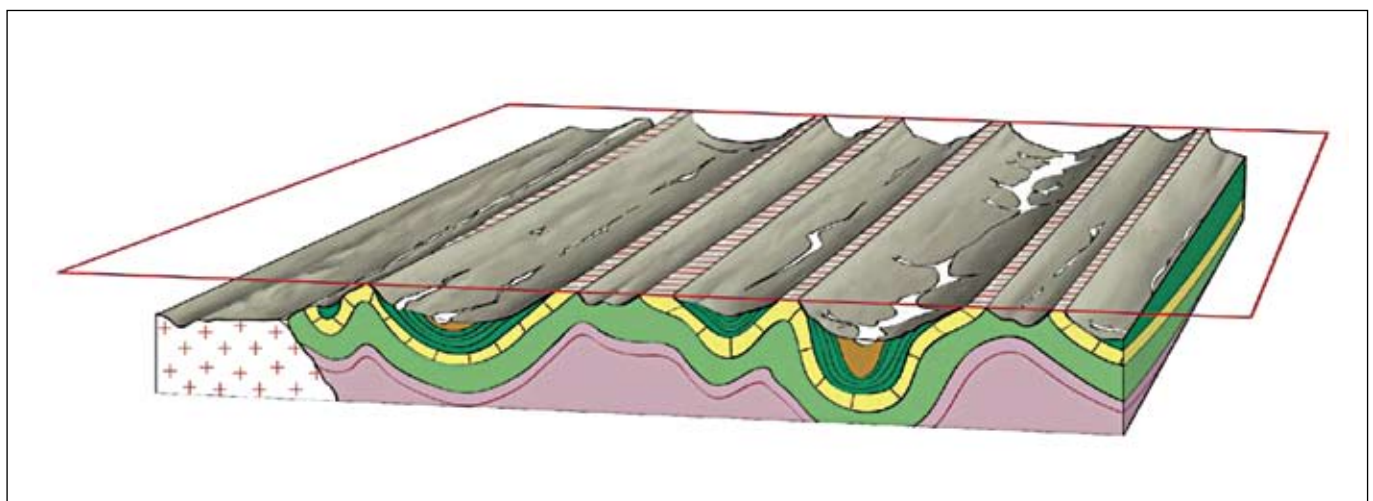


Figura 2. El relieve apalachiano de los Montes de Toledo.

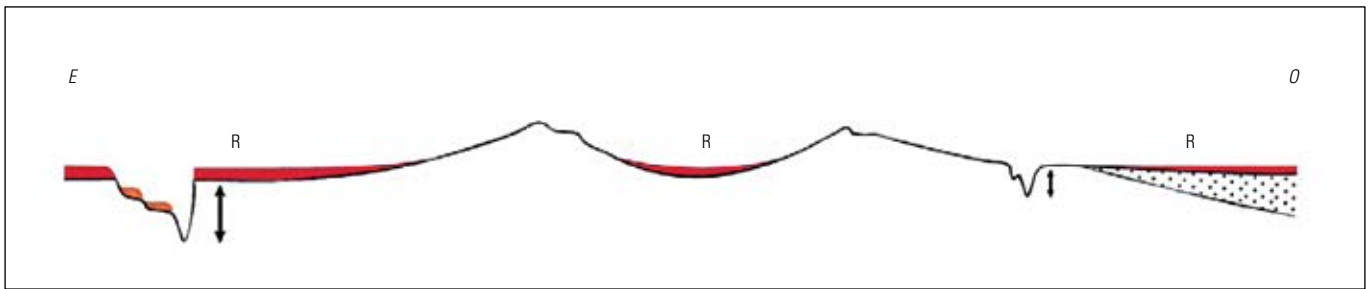


Figura 3. Las rañas a uno y otro lado de los Montes de Toledo.

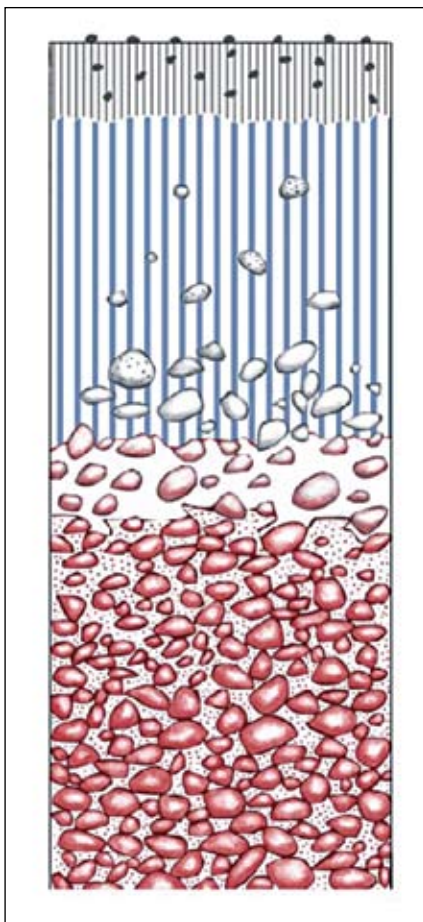


Figura 4. El suelo-tipo de la raña.

Los Montes de Toledo constituyen una comarca moderadamente montañosa, reflejo directo de su estructura geológica. Esta es el resultado del plegamiento de sedimentos de edad paleozoica por la orogenia varisca (figura 1). Se trata de un relieve de resistencia a la erosión donde las capas de cuarcita dan lugar a las sierras, mientras que las pizarras forman los valles, ambos alargados y alternantes. Las sierras son muy netas y tiene como rasgo principal la isoaltitud de sus cumbres, fruto del desarrollo previo de una superficie de erosión. Es un relieve tipo apalachiano o apalachense (figura 2).

Los valles más importantes son anchos, planos y presentan una delgada cubierta de sedimentos que comúnmente se llaman rañas. Estas, cuando están localizadas en el oeste,

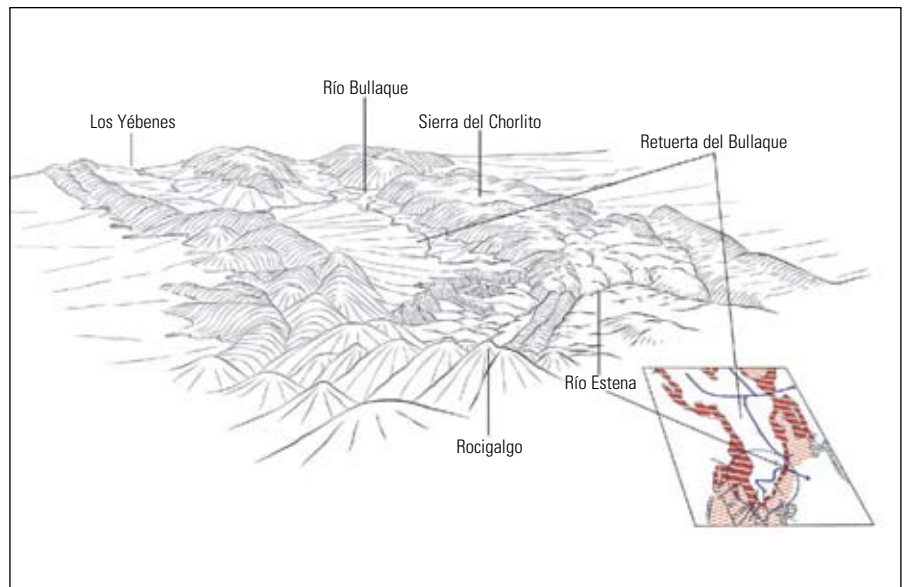


Figura 5. La captura del río Estena.

constituyen mesas colgadas sobre los ríos actuales y sus terrazas. El término raña es un topónimo de los Montes de Toledo y Extremadura que se utiliza para definir cualquier altiplanicie pedregosa (figura 3). Geológicamente, son aluviones antiguos constituidos por conglomerados cuarcíticos de poco espesor. Se encuentran afectados por un proceso de alteración que argiliza los clastos de pizarra y desagra los de cuarcita y arenisca reduciéndolos de tamaño, segrega y moviliza oxihidróxidos, sílice y otros elementos químicos y modifica los minerales arcillosos (figura 4).

El resultado es un suelo muy evolucionado (Espejo, 1981). El retroceso de las cabeceras de

la red fluvial de los ríos que vierten al Atlántico ha dado lugar a una marcada asimetría en los Montes de Toledo, con una altimetría orográfica mucho más contrastada en el oeste. De manera concreta, esa circunstancia origina fenómenos de captura fluvial. El ejemplo más espectacular es el del valle de Retuerta-Navas de Estena, con los ríos Estena y Bullaque de protagonistas, pues ambos ríos están ubicados en la misma depresión definida por una única estructura geológica (Martín-Serrano *et al.*, 2006). Ahora, los ríos salen por lugares distintos, cada uno se ha buscado un portillo par escapar de esta cuenca cerrada por las cuarcitas (figura 5).

### Bibliografía

- Espejo, R. (1981). *Estudio del perfil edáfico y caracterización de las formaciones tipo raña del sector Cañamero-Horcajo de los Montes de Toledo* (Tesis doctoral). INIA, 32, 459 pp.
- Martín-Serrano, A., Molina, E., Nozal, F. y Carral, P. (2006). *Transversal en los Montes de Toledo. Itinerarios geológicos por Castilla-La Mancha (excursiones de la VIII Reunión Nacional de Geomorfología)*. CSIC y SEG, 51-79.
- Buchanan, S., Cody, J., Hodges, E. y Nicholson, T. (2003). *The Guild Handbook of Science Illustration*. Hodges, ERS, 623 pp.

# De la geodiversidad al turismo de calidad. El caso de Aldeaduero

El cañón del río Duero, en la comarca de Arribes del Duero, es uno de los mejores encajamientos fluviales que hay en España. Sus impresionantes características geológicas hacen de él un lugar singular de incalculable valor paisajístico y ambiental. El aprovechamiento del antiguo poblado hidroeléctrico como centro turístico es un buen ejemplo de la sinergia que puede darse entre geodiversidad y patrimonio industrial.

**TEXTO** | José Luis Barrera, geólogo.

Palabras clave  
**Parque Natural de Arribes del Duero, Aldeaduero, turismo.**

El Parque Natural de Arribes del Duero es un espacio natural protegido situado en el noroeste de la provincia de Salamanca y en el suroeste de la provincia de Zamora (*figura 1*). La Comunidad de Castilla y León lo incorporó a su red de parques naturales en el año 2002, cuatro años más tarde de que lo hiciera el Gobierno portugués con su parte.

Los grandes desniveles de la zona, el alto caudal del Duero y los numerosos ríos que en él desembocan convirtieron la comarca en una de las zonas de mayor potencial hidroeléctrico de toda la península Ibérica. Por ello, se construyeron una red de presas y embalses en toda la zona conocida como Saltos del Duero, siendo las más importantes las presas de Aldeadávila, Almendra, Castro, Ricobayo, Saucelle y Villalcampo. La potencia instalada en ellas supera los 3.000 MW, lo que hace que Castilla y León sea la primera comunidad autónoma española en potencia hidráulica instalada con 3.979 MW y la segunda en producción con 5.739 GW/h.



*Figura 1. Cañón del río Duero.*

## Características geológicas y geomorfológicas

El río Duero es uno de los más caudalosos de la península Ibérica, y drena su cuenca hidrográfica más grande, con 98.375 km<sup>2</sup>. Todo su recorrido discurre E-O, la mitad inicial sobre un substrato "blando" de edad cenozoica, y la terminal, empujado sobre el basamento ibérico. Los principales aportes los recibe en el tramo inicial en su recorrido por la Depresión del Duero, pues recoge las aguas de la Cordillera Cantábrica al norte, y la mitad septentrional de la Cordillera Ibérica y gran parte del Sistema Central, al sur. La altitud de estas montañas, con frecuencia por encima de 2.000 m, determina que los principales tributarios de ambas márgenes tengan regímenes pluvionivales.

El río Duero es una bisectriz longitudinal de la cuenca del mismo nombre con un flujo asimétrico en sus aportes, claramente manifiesto también en el pasado a juzgar por la presencia de terrazas. Presenta un extraño y significativo perfil longitudinal (*figuras 2 y 3*) constituido por dos perfiles próximos a su nivel de equilibrio, uno a continuación de otro y coincidentes con sus tramos en la cuenca cenozoica y en el basamento varisco, respectivamente.

A su paso por la ciudad de Toro, se encuentra en el tramo final de su recorrido por la depresión cenozoica, a 30 km de su definitivo encajamiento en el basamento ibérico en Zamora. En este último trayecto por la cuenca, el curso del Duero atraviesa materiales paleógenos y pre-paleógenos,

es decir, el registro estratigráfico más antiguo de la misma que aflora en su ángulo suroriental. Aunque encajado, su trazado, ya sinuoso, es indicativo de su posición al término de su primer perfil longitudinal que tiene como referencia de base regional la localidad anterior.

## La incisión en los Arribes

Los geólogos han estudiado desde hace tiempo el gran relieve que es los Arribes. Un resumen de la generación de este paisaje lo dieron los geomorfólogos Ángel Martín Serrano y Eloy Molina y se expone aquí brevemente. Según sus conclusiones, la incisión de la red fluvial de la península es importante y afecta sobre todo a los sectores más occidentales del Macizo Ibérico. La

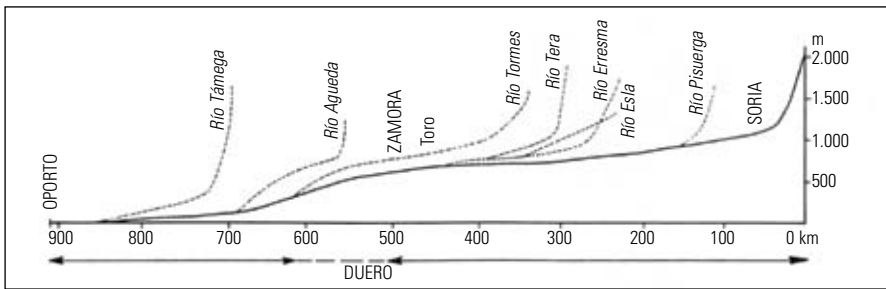


Figura 2. Bisectriz longitudinal de la cuenca del río Duero.

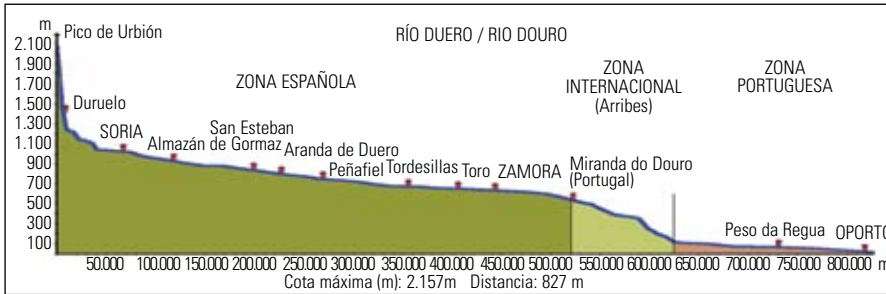


Figura 3. Perfil longitudinal del río Duero.

incisión del Duero y del Guadiana alcanza la zona fronteriza y el Tajo, que es el que ha progresado más, corre encajado hasta el corazón de la Cuenca de Madrid.

Durante el periodo Terciario, el Macizo Ibérico sufre un rejuvenecimiento alpino, por lo que se acentúan los procesos de incisión fluvial que continúan en la actualidad. La consecuencia



Figura 4. Paredes graníticas en el cañón del río (Autor: José Bonilla).

es la erosión remontante de los ríos para alcanzar el interior peninsular y, con ello, acceder también a sus grandes cuencas cenozoicas continentales, pues tratan de recuperar el nivel de base oceánico. En el caso del río Duero, su acción remontante llega hasta la cuenca terciaria del propio río, produciendo los Arribes del Duero, un profundo tajo de casi 100 km de longitud que marca la frontera de España y Portugal. Es una espectacular garganta tallada en rocas granitas con paredes verticales superiores a los 400 m, que incide unos 800 m en la penillanura fundamental de la Meseta (figuras 4 y 5). Longitudinalmente, define un escalón muy importante que articula el océano Atlántico con el interior de la



Figura 5. Cañón del río Duero. Detalle de la figura 4.

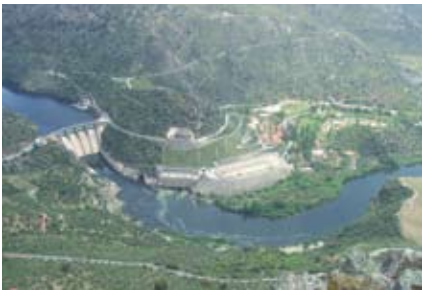


Figura 6. Salto de Saucelle.

península, ya que, en ese trayecto, el río Duero salva un desnivel de 520 m, desde los 630 de Zamora hasta los 110 de Barca d'Alva.

### El salto de Saucelle

El embalse, la central y la presa de Saucelle (también conocida como salto de Saucelle) son una obra de ingeniería hidroeléctrica construida en el curso medio del río Duero, actualmente, propiedad de Iberdrola (figura 6). Está situada a 8 km de la localidad de Saucelle, en la provincia de Salamanca, y es la última de las presas que regulan el caudal del Duero, antes de su paso hacia Portugal, a 5 km. Las obras se terminaron en 1956. Tiene una altura de 84 m y una capacidad de 181 hm<sup>3</sup>.

Al lado de la presa, se localiza el poblado del salto de Saucelle, levantado en su día para dar cobijo a las familias de los obreros que la construían. Forma parte del sistema Saltos del Duero junto con las infraestructuras instaladas en Aldeadávila, Almendra, Castro, Ricobayo y Villalcampo.

### El turismo ecológico

La región del río Duero, tanto en la parte española como en la portuguesa, tiene un conjunto de recursos turísticos diversos muy relacionados con la naturaleza. Para recorrer la comarca, se puede



Figura 7. Barco panorámico de la empresa Corazón de las Arribes.

hacer visitando las partes terrestres o navegando por el río. El canal de navegación del Duero (Douro, en portugués) tiene alrededor de 200 km de largo y, desde 1990, permite la navegación de buques fluviales de hasta 2.500 toneladas entre la desembocadura del río Águeda, a orillas del Duero Internacional, y su desembocadura en el Atlántico, en Oporto, cruzando cinco esclusas. Los cruceros recorren la zona denominada "Douro Vinhateiro" que ha sido declarada por su espectacularidad Patrimonio de la Humanidad.

En el año 1992, llega al muelle de Barca d'Alva la primera embarcación turística, el "Transdouro". Desde ese momento, le han seguido otros como barcos de pasajeros y, más tarde, con los barcos hoteles. En 2010, había un total de 56 barcos turísticos navegando el Duero, de los

cuales siete eran buques hoteles (figura 7). Casi 200.000 personas utilizaron ese año alguna de las modalidades de navegación que ofrecen las diferentes empresas operadoras.

### El Complejo Aldeaduero

La manifiesta falta de oferta hostelera en las cercanías de los muelles de Barca d'Alva y Vega de Terrón hace que estos sean un punto de llegada o bien de paso para los cruceros fluviales.

Ubicado junto a la frontera natural que marca el río Duero entre España y Portugal, el Complejo Aldeaduero ofrece unas instalaciones y una infraestructura turística que permiten el alojamiento de más de 200 personas a menos de 20 km del puerto fluvial de La Fregeneda, en la parte española, y de Barca d'Alva, en la portuguesa.



Figura 8. Complejo Aldeaduero.



Figura 9. Panorámica de los chalés.



Figura 10. Chalé.



Figura 11. Buitreras.

Aprovechando el poblado que se levantó para la construcción del embalse de Saucelle, se ha creado un centro de turismo rural modélico en cuanto al aprovechamiento de las instalaciones industriales del territorio: el Complejo Aldeaduero (figura 8). Estos "poblados" contaban con todas las instalaciones necesarias para la habitabilidad de sus

ocupantes (escuelas, casas, tiendas, hoteles, iglesia...).

El complejo se localiza dentro del Parque Natural Arribes del Duero, a tan solo 17 km de los muelles de Barca d'Alva y Vega Terrón (desde estos dos puertos, actualmente operan más de diez compañías turísticas de cruceros fluviales con capacidad de transportar diaria-

mente hasta 220 personas entre estos puertos y Oporto), y cercano a otras visitas complementarias a los cruceros fluviales, como son: Salamanca, Ciudad Rodrigo, Aldeias Históricas de Portugal, el Parque Natural de los Arribes-Parque Natural do Douro Internacional-PNDI, el Parque Arqueológico do Vale do Côa-Siega Verde, etc.

Las instalaciones del complejo turístico comprenden un hotel, catalogado con cuatro estrellas, con diez habitaciones dobles, algunas de las cuales tienen terraza sobre el río Duero con vistas espectaculares, 30 chalés completos para su alquiler, además de instalaciones deportivas (fútbol, tenis, baloncesto, piscina y zonas recreativas para niños) (figuras 9 y 10).

La singular ubicación de este centro y su extraordinario entorno permiten la contemplación de águilas reales y perdiceras, buitres leonados (figura 11), cigüeñas negras y otras aves de difícil localización, junto a una vegetación y flora sorprendente por las suaves condiciones meteorológicas que se dan durante todo el año debido a su marcado microclima. Sorprende encontrar numerosos frutales, vegetación mediterránea e incluso olivos en plena Comunidad de Castilla y León.

Pero, sin duda, lo más excepcional del lugar es la observación del encajamiento del río Duero.

## Oferta especial para GEÓLOGOS/AS COLEGIADOS/AS



**Descuento económico directo  
al contratar Regal Auto, Moto, Hogar y Vida**

**Y además, si contratas una nueva póliza Regal Auto del 16/01/12 al 15/04/12  
Te reembolsamos 75€ ó 50€ en tu cuenta del precio de tu seguro\***

**Extensivo a la pareja,  
hijos y padres que  
que convivan en el  
mismo domicilio que  
el colegiado/a**

**93 489 06 77** (Laborables de 8 a 22 h)

**902 444 707** ( Laborables de 8 a 22 h y sábados de 9 a 14 h )

**Si prefieres que Regal te llame**

**638 444 109** ( SMS sin coste adicional con tu nombre )

**esther.perez@libertyseguros.es** ( nombre y teléfono )

\* Oferta para nuevas contrataciones auto realizadas en las fechas de la promoción. No válido para renovaciones. Reembolso de 75€ en modalidades Todo Riesgo y 50€ en Modalidades de Terceros. El reembolso se hace aprox. a los 45 días desde la fecha de inicio de la póliza, en la cuenta bancaria donde se haya hecho efectivo el pago del seguro. De conformidad con el art. 33 de la Ley 35/06 de 28 de noviembre del IRPF, estos pagos tienen consideración de beneficios patrimoniales. Oferta no acumulable a otras ofertas. Oferta sujeta a la normativa de suscripción de la compañía, consulte condiciones. Compañía aseguradora: Liberty Seguros, Compañía de Seguros y Reaseguros, S.A. A través de su canal directo: Regal.



# ¿Por qué destruyen lo bueno que tenemos?

El cese de Teresa Luesma como directora del Centro de Arte y Naturaleza (CDAN), Huesca, anunciado el pasado 1 de marzo, ha levantado un gran malestar en el ámbito de los estudiosos dedicados al arte y la naturaleza. Hace ya unos dieciocho años, Teresa Luesma y Javier Maderuelo iniciaron primeramente el proyecto "Arte y Naturaleza", impulsado por la Diputación de Huesca (que finalmente dio lugar, bajo los auspicios de la Fundación Beulas, al CDAN) y, después, el proyecto "Pensar el paisaje".

Estos proyectos se han venido realizando hasta ahora de manera impecable tanto en el modelo de gestión (que aúna universidad e instituciones públicas y privadas), como en el alcance cultural, reuniendo a estudiantes, profesores —de secundaria y universitarios—, artistas y profesionales de distintas disciplinas que comprendían desde el paisajismo, hasta la historia del arte pasando, entre otros campos del saber, por la literatura, la arquitectura, las ciencias naturales, la geología, la filosofía, y la geografía.

El carácter transversal que adquirió el proyecto desde el principio fue pionero en este país; pues por un lado se creó un lugar de encuentro donde el arte y la naturaleza colaboraban estrechamente, rompiendo así las tradicionales barreras de esos ámbitos académicos que ya llevaban mucho tiempo colaborando juntos en instituciones de otros países europeos y americanos. El sustrato interdisciplinar que se fue creando en los encuentros generó un archivo de documentación que ha servido de punto de partida a líneas de investigación que muy pronto empezaron a dar su cosecha en el ámbito de tesis doctorales; y en el campo de la divulgación, este proyecto también sirvió como impulsor y fue, y es todavía, referencia para otras experiencias que en el ámbito del paisaje empezaban a proliferar en el territorio español. Por otro lado, el proyecto "Arte y Naturaleza" brindó la posibilidad de invitar a artistas internacionales del Land Art, de la talla de Richard Long, y otros vinculados a la percepción y uso del paisaje como Armajani, F. Casás, David Nash, Alberto Carneiro, etc. Las obras que estos artistas han realizado

suponen un catálogo de intervenciones notables y ejemplares en el territorio de Huesca, incrementando el valor patrimonial y comunitario de sus parajes y, en definitiva, colaborando a crear una consciencia del paisaje basada en la preservación y en los valores patrimoniales del entorno natural.

La manera en la que se ha procedido a la destitución de la directora del CDAN, Teresa Luesma, amenaza la integridad y continuidad de los proyectos, que precisarían de un profesional especializado al cargo, y elegido según el código de las buenas prácticas en vigor, y que en este caso se han saltado. Esta actitud muestra hasta qué punto la injerencia política usa a veces, como en este caso, su poder de modo abusivo, para destruir una labor que ha estado siendo altamente rentable y reconocida a nivel nacional e internacional, despreciando el trabajo y la profesionalidad de sus artífices que, no me cabe duda, en otro país hubieran sido cuidados y protegidos. Este modo de proceder provoca desánimo en todos aquellos proyectos emprendedores que aún habiendo sido exitosos en la socialización del conocimiento y en la divulgación de la comprensión del territorio —como es aquí el propio de Huesca, pues indudablemente ha trabajado a favor de la protección de su medio natural y su calidad cultural— son despreciados. La pretendida falta de presupuesto no justifica en ningún caso la destrucción de este trabajo que ahora, por su pérdida, sí nos va a salir muy caro.

Estas palabras aquí escritas quieren manifestar la consternación por los procedimientos obsoletos y antiprofesionales que se siguen llevando a cabo en la gestión cultural. No se trata ya solo de la denuncia de un cese, sino de la brutal manera de fulminar un proyecto y apartar a sus impulsores sin contemplaciones arrasando todo un trabajo que es ya patrimonio de todos y que nos pertenece. Somos muchas las personas que nos hemos sentido afectadas directamente por este suceso, los abajo firmantes somos solo una muestra de la convulsión y multitud de reacciones que se están produciendo en este medio:

*Firmado: Tonia Raquejo Grado (profesora titular de Teoría e Historia del Arte Contemporáneo, UCM); Luis Ismael Ortega (geólogo y artista), Javier Navarro de Zuñillaga (catedrático de Diseño Escenográfico, UCM), Belén Castro (artista y gestora cultural, Burgos), José Ángel Porres Benito (Dr. en CC. Geológicas Universidad de Burgos, presidente fr Asociación Geocientífica de Burgos), Smara Gonçalves Díez (arquitecta, profesora de la Escuela de Arte y Superior de Diseño de Burgos), Jorge Barbi (artista), Carlos Miranda Barros ([a3gm]arquitectos), Lola Jiménez Blanco (profesora titular de Historia del Arte Contemporáneo, UCM), Ángeles Vian Herreros (directora de la Biblioteca de la Facultad de Bellas Artes, UCM), Selina Blasco (profesora de Historia del Arte y vicedecana de Extensión Universitaria de la Facultad de BBAA, UCM), Cristina Peñarín Beristain catedrática de la UCM), Laura Fernández Gibellini (artista y profesora de la School of Visual Arts, NYC), Eva Fernández del Campo (profesora de Historia del Arte, UCM), Tania Castellano (artista e investigadora), Isabel María López Campos (artista y profesora en Bellas Artes, UCM), Javier Arnaldo (profesor titular de Historia del Arte Contemporáneo, UCM), Pablo Martínez (responsable de Educación en CA2M y profesor asociado de Historia del Arte en BBAA de la UCM), Anna Talens (artista e investigadora sobre arte y naturaleza), Diego Arribas (escultor y profesor de Bellas Artes en la Universidad de Zaragoza), Bárbara Fluxá (artista), Xabier Laka (escultor y profesor de la Facultad de BBAA, Universidad del País Vasco-Bilbao), Ramón Salas (profesor y máster en Arte, Territorio y Paisaje, Universidad de La Laguna), Gilles A. Tiberghien (Maître de Conférence en Esthétique à L'Université Paris 1 Panthéon Sorbonne), Esther Pizarro (artista visual y profesora titular de la Universidad Europea de Madrid), Josu Larrañaga Altuna (decano de la Facultad de BBAA, UCM), Iraida Cano (artista), M<sup>a</sup> Luisa Sobrino Manzanares (catedrática de Historia del Arte de la Universidad de Santiago), Carmen Blasco Rodríguez (doctora arquitecto, profesora titular de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, UPM), Javier Busturia (artista), Aurora Fernández Polanco, (profesora de Universidad), Beatriz Fernández (profesora de Historia del Arte de la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Complutense), Ángela Souto Alcaraz (profesora titular de Jardinería y Paisaje. Escuela Técnica Superior de Arquitectura, UPM), Maribel Domènech Ibañez (catedrática de Universidad y artista visual, Valencia), Javier Maderuelo (catedrático de Arquitectura del Paisaje, Universidad de Alcalá), Blanca Fernández (profesora titular del Departamento de Pintura de la UCM), Simón Marchán Fiz (catedrático emérito de Estética y Teoría del Arte), Marta Tafalla (profesora de Filosofía en la Universidad Autónoma de Barcelona), Carlos de Gredos (poeta, artista plástico y coordinador del Centro de Arte y Naturaleza Cerro Gallinero), Javier Chavarría Díaz (profesor titular, Facultad de Bellas Artes, Universidad Europea de Madrid), Federico López Silvestre (profesor de Historia de las Ideas Estéticas, USC), Miguel Ortega Ruiz (jefe de Estudios, Escuela de Arte Superior de Diseño, Burgos), Javier Basconillos Arce (geólogo, presidente de la Asociación para la Reserva Geológica de Las Loras), Sílvia de Santos García (arquitecta) y Julián Cuesta Romero (geólogo, experto en Patrimonio Geológico).*

# Concepto de espacio público

Reflexión a partir del artículo de Enrique Arroyas Langa<sup>1</sup>

“Si la libertad significa algo, será, sobre todo, el derecho a decirle a la gente aquello que no quiere oír.”

**George Orwell (*Rebelión en la granja*)**

**TEXTO** | Federico Arias Picazo. Periodismo y Comunicación Audiovisual Universidad CEU San Pablo. Editor onCEUTV.

Nos ha tocado vivir en una época de incertidumbre, en los *tiempos líquidos* de los que trata el sociólogo Z. Bauman. Ahora, las estructuras sociales no perduran en el tiempo y la flexibilidad y el carácter voluble de la realidad contemporánea hacen que se refleje en la forma de ser de las personas. La comodidad se hace característica innata de la naturaleza humana, y las múltiples y diferentes propuestas de ocio y de conocimiento que ofrece la sociedad hacen que las personas pierdan ese deseo también innato que les ha acompañado desde los inicios: la búsqueda de la verdad. La saturación de información audiovisual y periodística y la desconfianza en los grandes grupos de comunicación, siempre en crisis y prometedores de una falsa “objetividad”, hacen que, en el mejor de los casos, las personas recurran a nuevas fuentes de información.

Incertidumbre; también con el futuro del mundo del periodismo. El desarrollo de los blogs y de Internet parece ser la vía de escape de todas esas personas que huyen de los tradicionales canales de información. Estos pequeños altavoces (los blogs) dan voz a grupos individuales antes silenciados por las mayorías elitistas y nacen de la sociedad civil, por lo que su independencia del Estado y de los grupos de comunicación es total. Independencia; cuánta importancia encierra este concepto en relación a la actividad periodística. Según Habermas, se ha resuelto de forma incompleta el problema entre objetivos comunicativos y los intereses mercantiles. Opino que el capitalismo puede suponer un obstáculo para llegar a la democracia deliberativa que propone Thompson ya que promueve sociedades que no tienen capacidad de autorreflexión. Para huir de esto surge el espacio público independiente “desde el mundo de la vida”; desde la sociedad civil. La diferencia entre el concepto de espacio público de estos dos autores es evidente y se puede resumir en lo siguiente: Habermas se pregunta por cómo se hace el



debate y Thompson por qué se debate: con información y conocimiento.

El espacio público democrático deliberativo propuesto por Habermas es utópico, ya que es imposible que todas las personas participen en la toma de decisiones para así dar legitimidad al sistema democrático, a semejanza de como se hacía en la antigua Grecia. El objetivo que persiguen los medios es el entendimiento con su audiencia a través de la palabra, el sonido o la imagen. Pero estos no deben olvidar la responsabilidad ética que poseen. En busca de la tan ansiada independencia de los poderes estatales respondió la Escuela de Chicago. Internet se presenta, por tanto, como una basta red de difusión de conocimientos; no obstante, no creo que Internet fragmente a la audiencia. El ciberespacio ofrece una gran cantidad de información y facilita los vínculos entre las personas. Pero lo mismo ocurre con la prensa escrita. Las personas compran los periódicos, visitan las páginas webs en general, que son acordes a su opinión, a su personalidad o a sus creencias. Internet no aumentará el extremismo, el desprecio o la violencia a opiniones contrarias. Lo que si podría fomentar estas actitudes creo yo, sería la desaparición de la figura del intermediario o periodista.

Ante la sobrecarga de información (no conocimiento) que nos rodea; “un torrente de inmensa fuerza, efímero, superficial...” (adjetivos referidos al espacio público), es imprescindible, en mi opinión, la figura del periodista en la configuración del actual espacio público. Tienen la responsabilidad ética y moral de jerarquizar las informaciones y ayudar a entender la realidad a los ciudadanos. Puesto que la mayoría de los blogs son opiniones faltas de un proceso de racionalización, el periodista tendrá que seleccionar aquello que ayude al diálogo en el espacio público. Parafraseando el aforismo invertido de Innerarity, no hay que mirar al cielo, sino preguntarse el por qué hay que hacerlo.

En conclusión, el nacimiento de una nueva forma de comunicación como son los blogs obliga a la revisión de la totalidad del sistema y la configuración del espacio público. Esta tiene que dar respuesta a la mayor demanda de la sociedad en sus deseos de participar en la vida pública. Los blogs surgen como una visión individual, un acto personal que podrá aportar conocimiento a la dimensión intelectual, en relación a la interpretación de la realidad y a la búsqueda de sentido de la actualidad del mundo que nos rodea. Dejemos, por tanto, que la ventana se abra.

1. Arroyas Langa, Enrique. “Los blogs, perspectivas individuales en el espacio público”, *Global Media Journal*, vol. 3, nº 6, octubre de 2006, disponible en: <http://gmje.mty.itesm.mx/arroyas.htm>

# III Olimpiada Española de Geología

El objetivo de estas olimpiadas es interesar a los estudiantes en el conocimiento de la geología, así como resaltar su importancia en el mundo actual, promoviendo su progreso y divulgación, y, a su vez, animar a que los participantes comiencen cursos universitarios vinculados con esta disciplina. Con estas olimpiadas pretendemos acercar esta ciencia a los estudiantes y esperamos que más que un examen sea una fiesta de la geología.

**TEXTO Y FOTOGRAFÍAS** | Amelia Calonge, presidenta de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (AEPECT). Departamento de Geología. Universidad de Alcalá. 28871 Alcalá de Henares (Madrid) (presidencia@aepect.org).

Palabras clave  
**Olimpiadas de Geología, Ciencias de la Tierra, divulgación.**

La geología en España ha encontrado una herramienta de promoción importante en las olimpiadas, que se organizan con el objetivo de fomentar el interés por la geología entre los estudiantes de Bachillerato, al mismo tiempo que ponen de relieve la importancia de esta disciplina en el mundo actual.

En el año 2010, la geología se sumó a las olimpiadas científicas que ya celebraban otras disciplinas y, para ello, diversas instituciones vinculadas con la geología, y convocadas por AEPECT, SGE e ICOG, organizaron la I Olimpiada Española de Geología. En esta primera edición, la participación fue voluntaria y hubo 11 delegaciones territoriales con la participación de 600 estudiantes. La fase nacional tuvo lugar los días 27 y 28 de marzo en Madrid y a ella acudieron tres ganadores de cada fase territorial; en total, en esta final participaron 36 estudiantes de Bachillerato.

La II Olimpiada Española de Geología tuvo lugar el día 26 de marzo en Madrid y a ella acudieron cuatro ganadores de cada fase territorial. Esta fase consistió en una primera parte en la que los participantes demostraron sus conocimientos respondiendo a las preguntas planteadas en una gymkana que tuvo lugar en la sede de CosmoCaixa en Madrid. Los 72 estudiantes finalistas, procedentes de 24 provincias, fueron seleccionados entre un total de 1.020 participantes. Si se compara con la del año anterior, el número de participantes casi se duplicó, lo que se consideró como un gran éxito.

La gran acogida que ha tenido esta actividad en los dos años anteriores ha animado a los organizadores a plantear, por tercer año consecutivo, la III Olimpiada Española de Geología, la cual se celebró el 24 de marzo en Santander, con la colaboración del Departamento de Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada de la Universidad de Cantabria, la Universidad Internacional



Figura 1. Olimpiada de Geología en Santander celebrada el día 24 de febrero de 2012 en el IES Miguel Herrero Pereda de Torrelavega.

Menéndez Pelayo (UIMP) y la Facultad de Geológicas de la UCM.

Las olimpiadas nacionales se prolongan en una Olimpiada Internacional: <http://ieso2012.gl.fcen.uba.ar>. El resultado de nuestra primera participación el año pasado en la fase internacional se puede considerar un éxito: una medalla de plata (de un total de diez), una de bronce (de diez) y dos premios por la capacidad de organización y coordinación en el trabajo de investigación en grupos.

La fase territorial se realizó a nivel provincial a lo largo de febrero de 2012 con la participación de 1.700 estudiantes.

## Desarrollo de la III Olimpiada Española de Geología

La fase nacional de las Olimpiadas de Geología tuvo lugar el día 24 de marzo en Santander y a

ella acudieron cuatro ganadores de cada fase territorial. Esta fase consistió en una primera parte en la que los participantes demostraron sus conocimientos respondiendo a las preguntas planteadas en una gymkana que tuvo lugar en los alrededores del palacio de la Magdalena. Así, a las 10:00 horas, los 89 estudiantes y sus profesores, procedentes de 21 provincias, fueron recibidos por Amelia Calonge, presidenta de AEPECT, para realizar una prueba diseñada por profesores de la Universidad de Cantabria y de la Complutense de Madrid, con ejercicios muy diversos repartidos por los jardines del palacio. Durante las pruebas, varios profesores de la Universidad de Cantabria actuaron como monitores para guiar a los participantes.

A las 15:00 horas, José Ramón Díaz de Terán impartió una conferencia sobre la geología de la bahía de Santander.



Figura 2. Estudiantes y profesores que participaron en la III Olimpiada Española de Geología.

A partir de las 16:00 horas, los asistentes disfrutaron de una visita en el Museo Marítimo del Cantábrico y regresaron andando por la playa de los Peligros. Durante este recorrido, los profesores de la Universidad de Cantabria fueron resaltando los aspectos geológicos que habían comentado durante la conferencia.

A las 20:00 horas tuvo lugar el acto de entrega de premios que estuvo presidido por el rector de la UIMP, el geólogo Salvador Ordóñez; el alcalde de Santander, Íñigo de la Serna; la vicerrectora de Cultura, Participación y Difusión de la Universidad de Cantabria, Elena Martín; el director general de Ordenación e Innovación Educativa, José Luis Blanco, y la presidenta de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, Amelia Calonge, quien coordinó este acto.

Los ganadores de la III Olimpiada Española de Geología son:

1. Diana Gallego Martínez, IES La Serna, Madrid (2º de Bachillerato).
2. Virginia Vilar García, IES La Arboleda de Lepe, Huelva (2º de Bachillerato).
3. Diego Pérez Quintana, IES Nueve Valles de Puente San Miguel (Cantabria).
4. Manuel de Pablos Quintanilla, Colegio Claret de Segovia (2º de Bachillerato).

Estos cuatro primeros alumnos participaron en las Olimpiadas Internacionales que se celebrarán en Buenos Aires (Argentina) del 5 al 10 de octubre de este año. Todos los finalistas obtuvieron un diploma y un obsequio según las posiciones que hubiesen obtenido.

Otra novedad este año ha sido premiar a las dos provincias que mejor puntuación han obtenido en la prueba de equipos que fueron Lleida y Huelva.

### Consideraciones finales

El principal objetivo de las Olimpiadas de Geología es fomentar el interés por la geología entre los estudiantes de Secundaria y/o Bachillerato, al mismo tiempo que ponen de relieve la importancia de esta disciplina en el mundo actual. Y es que, la comprensión del funcionamiento de nuestro planeta resulta clave para su conservación, y a este interés científico y ambiental, no solo se debe sumar el interés económico que representan la explotación de los recursos minerales, sino también, la necesidad de afrontar grandes problemas que afectan a la humanidad y al futuro de nuestro planeta como son el cambio climático, la desertización, los riesgos geológicos, las gestión de recursos naturales, etc.

### Agradecimientos

Aprovecho estas líneas para agradecer a toda la comisión organizadora el esfuerzo que han realizado para que las Olimpiadas fueran un éxito. En este sentido, Alberto González, José Ramón Díaz de Terán, Juan D. Centeno, Agustín Senderos, Montse Vehí, Luisa Quintanilla y Elena Moreno, muchas gracias. Hago extensivo mi agradecimiento al equipo de correctores, todos ellos profesores de la Universidad de Cantabria y a los cuatro ganadores de las Olimpiadas de 2011 que actuaron de monitores: Lucía Santas Lajusticia, Héctor Navarro García, Jorge Martínez Solaz y Ana María Fandiño Argibay.

De igual forma, agradecer la buena disposición de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo y de la Universidad de Cantabria a la hora de apoyar este proyecto.

Una cuestión importante a resaltar es la colaboración y patrocinio recibido por las instituciones y empresas tales como el Ayuntamiento de Santander, Sociedad Geológica de España, Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, Conferencia de Decanos de Geología, Instituto Geológico y



Figura 3. Detalle de la conferencia impartida por José Ramón Díaz de Terán (Universidad de Cantabria).



Figura 4. Los ocho ganadores de la III Olimpiada Española de Geología.



Figura 5. Detalle de la entrega de premios con los cuatro ganadores.

Minero de España, Editorial Santillana, Geonatura, Triana Science & Technology, Repsol-YPF y Cepsa.

Además, destacar que la Conferencia de Decanos de Geología ha gestionado becas de matrícula para el primer curso del Grado en Geología en las facultades de Alicante, Barcelona, Granada, Huelva, Madrid y Salamanca. Están a la espera de noticias de las universidades de Oviedo, Zaragoza y País Vasco.

### Bibliografía

- Calonge, A. y Greco, R. (2011). Olimpiada Internacional de Ciencias de la Tierra (IESO): Una oportunidad a la Geología. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19 (2): 130-140.

# Mesa redonda del ICOG en Genera 2012: “La geotermia en la rehabilitación energética de edificios”

TEXTOS | Manuel Recio, Europa Press.

Un año más, el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos (ICOG) quiso estar presente en la Feria Internacional de Medio Ambiente y Energía (Genera), que se desarrolló del 23 al 25 de mayo en las instalaciones de IFEMA, en el recinto ferial de Madrid.

Para esta ocasión, como viene siendo habitual, el ICOG organizó una mesa sobre la energía geotérmica, una de las más limpias de todas las renovables. Como dijo el propio presidente del ICOG, “la energía de los ciudadanos”. El número de inscritos fue amplio, 97, teniendo en cuenta que había más salas en donde también se desarrollaban aspectos de geotermia.

A pesar de estar prevista la presencia de la vicepresidente segunda del ICOG, Cristina Sapalski, para presentar a los ponentes y moderar el coloquio, finalmente, debido a una indisposición, fue sustituida por el vicepresidente primero del Colegio, José Luis Barrera.

Tras unos breves imprevistos técnicos con la señal de la cobertura *online* que se realizó a través de la web del ICOG —debido a un fallo de IFEMA—, pasados unos minutos de las 10 de la mañana comenzó la jornada. La asistencia en la sala ya era considerable (*figura 1*).

## Acto de inauguración

La inauguración oficial corrió a cargo del presidente del Colegio, Luis E. Suárez, que estuvo acompañado en la mesa por el vicepresidente, José Luis Barrera (*figura 2*). En primer lugar, el presidente tuvo palabras de agradecimiento para los presentes y destacó los beneficios de la geotermia como una energía limpia, inagotable y con un enorme potencial. “Para usos residenciales no requieren instalaciones profundas y se amortizan en un breve periodo de plazo”, declaró.

Asimismo, el presidente emplazó a la Administración del Estado a impulsar por medio de “políticas imaginativas” la energía geotérmica en España al igual que ocurre en países como Alemania y Suecia. “Allí la geotermia goza de medidas concretas y de un plano jurídico propio, por eso están a la cabeza de Europa”, según indicó.

“En España existe un vacío legal, ni siquiera sabemos lo que se produce en megavatios al año”, se lamentó. Por eso, desde el ICOG, se proponen una serie de actuaciones para “darle el



Figura 1. Panorámica de la sala durante la inauguración.



Figura 2. Intervención de Luis E. Suárez durante la inauguración.

impulso definitivo en nuestro país”. Entre ellas, que la financiación de una instalación geotérmica se englobe en el coste total del edificio, “así se aseguraría su viabilidad económica”, manifestó.

“En las instalaciones actuales de edificios con climatización centralizada, el coste de estos elementos se incluye en el precio global del

inmueble mediante la hipoteca constituida al efecto”. Por ello, el ICOG propuso que expertos en aspectos jurídico-financieros estudiaran la posibilidad de que las instalaciones geotérmicas “se financien de forma similar a las infraestructuras que se utilizan para el aprovechamiento de energías fósiles”.



Figura 3. Intervención de Enrique Pérez.

#### Ley de Minas

Al mismo tiempo, el presidente del ICOG sugirió medidas jurídicas para impulsar la energía geotérmica en España, sobre todo para usos residenciales, hospitales, facultades u oficinas. "Es necesario redefinir el recurso geotérmico en la legislación minera actual para diferenciar la geotermia somera de la de origen profundo", explicó Suárez. "La ley debe contemplar, asimismo, la definición de umbral de profundidad de los recursos someros e incluir las aguas subterráneas", apostilló.

En esa línea, Luis E. Suárez consideró que debe establecerse un procedimiento unificado para los proyectos geotérmicos en las 17 comunidades autónomas "actualmente inexistente". Por ejemplo, en lo que se refiere al umbral mínimo de profundidad, actualmente solo tres comunidades autónomas lo recogen en su legislación.

A su vez, Suárez consideró que uno de los problemas de la energía geotérmica en España es la falta de conocimiento de promotores y ciudadanos

## El presidente del ICOG sugirió medidas jurídicas para impulsar la energía geotérmica en España, sobre todo para usos residenciales, hospitales, facultades u oficinas

en general de sus posibilidades. "Sería conveniente una mayor difusión de los estudios sobre el subsuelo, de carácter estructural, de flujos de calor, etc., para un mayor conocimiento sobre la geotermia. En ese sentido, el ICOG está impulsando "la formación *online* de profesionales de la geotermia y su inclusión en la formación universitaria", concluyó.

Al mismo tiempo, Suárez propuso una mejor difusión a las subvenciones a la geotermia, contemplar programas de investigación de proyectos geotérmicos, apoyo de los gobiernos autonómicos y estatales a esos proyectos y algún que otro programa específico que permitiera el despliegue de estos proyectos.

#### Las ponencias

Acabada la intervención del presidente del Colegio, José Luis Barrera, en calidad de moderador,

comenzó la presentación de los ponentes que participaban en la jornada.

Le tocó el primer turno a Enrique Pérez (*figura 3*), de la empresa de soluciones geotérmicas IEP Geotermia.

#### Ahorro económico y medioambiental de los sistemas geotérmicos

Pérez comentó que, gracias a una instalación de este tipo, en materia medioambiental se produce "un ahorro anual de 13 toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub>".

Asimismo, situó la media de vida de una instalación geotérmica en 20 años, con la salvedad de que "apenas exige mantenimiento mínimo porque no hay combustión como en una caldera tradicional y además funciona a un rendimiento constante", reveló.

En materia de rehabilitación de edificios, una bomba geotérmica permite que se "extraiga calor de una sala y llevarlo a otra donde se necesite frío". En relación al coste de la energía, la geotermia asegura que el 60% de la energía del edificio no va a subir ni bajar como ocurriría con el gas o el gasoil.

Pérez explicó detalladamente cómo funciona el sistema de hibridación de energía geotérmica con energías convencionales. "La clave es establecer la demanda de la instalación para dimensionar el sistema geotérmico que cubra dicha demanda", comentó. También se refirió al diseño del intercambiador geotérmico en el que hay que tener en cuenta el número de pozos y la profundidad de los mismos así como el campo de perforaciones.

En su explicación, Enrique Pérez habló de un caso real, un hotel en La Rioja de 1.000 m<sup>2</sup> que

### Ponentes

#### Enrique Pérez

Gerente y director técnico de IEP Geotermia, empresa dedicada a la climatización desde hace 25 años, y a la geotermia y energías limpias desde 2003.

Técnico especialista en electricidad y en instalaciones térmicas de edificios. Instalador de gas categoría A.

#### Rüdiger Grimm

Rüdiger Grimm se graduó como geólogo en la Academia de Minas de Freiberg, en 1992. Desde este año trabajó como consultor en geología, hidrogeología y proyectos medioambientales. Sus primeros contactos con la geotermia los tuvo en el año 2001 con el proyecto "Análisis del potencial geotérmico de aguas procedente de minas en Sajonia", y a continuación trabajó en la realización de mapas sobre el potencial geotérmico a escala 1:50.000. Es socio fundador de la empresa geoENERGIE Konzept GmbH, fundada en 2007. La empresa es una consultora para geotermia somera que realiza proyectos principalmente en Europa y que ha realizado cerca de 1.000 proyectos geotérmicos (casas unifamiliares y proyectos industriales), como el mayor proyecto geotérmico de Alemania en Duisburg con 21.600 m de perforación.

Es miembro de la junta directiva de la asociación alemana de bombas de calor (BWP) y de la asociación alemana de geotermia (GtV).

#### Alfredo Fernández

Gerente de INGENIO empresa de ingeniería, consultoría e investigación de ámbito nacional en sistemas de captación de energía geotérmica.

Ingeniero, autor y coautor de varias publicaciones. Ponente en conferencias, congresos y seminarios. Profesor en varios cursos nacionales en distintas universidades.

Representante para Europa Occidental en el *Joint Committee* de la asociación europea de fabricantes de bomba de calor (EHPA, *European Heat Pump Association*) y del Consejo Europeo de Energía Geotérmica (EGEC, *European Geothermal Energy Council*) de Bruselas.

Miembro del comité de expertos GT 13 de AENOR para la elaboración de la norma sobre intercambio geotérmico PN 100715-1, perteneciente a los Comités Técnicos de Normalización/AEN/CTN 100 "Climatización/GT 13 Geotermia".

#### Marta Durango

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Dirige el área de construcción de Eneres y de la constructora Fernández Molina, las dos empresas que proyectaron, ejecutaron y mantienen las instalaciones energéticas del edificio sobre el que habla.



Figura 4. Intervención de Rüdiger Grimm.



Figura 6. Intervención de Alfredo Fernández.



Figura 5. Aspecto de la sala durante la intervención de Rüdiger Grimm.

Según Alfredo Fernández, “la geotermia se amortiza sola”, sobre todo comparada con otras renovables o con los combustibles fósiles

su empresa rehabilitó para montar un sistema geotérmico. Pérez habló de la amortización sin inversión y lo calificó como un problema porque los clientes, en general, quieren retornos de inversión cortos.

*Geotermia y subvenciones*

En esa línea de las subvenciones se manifestó Rüdiger Grimm (figura 4), responsable de la empresa alemana geoENERGIE Konzept, quien afirmó que aunque en Alemania se reciben subvenciones para la rehabilitación de edificios, la geotermia no necesita ser subvencionada porque es eficiente y se vende por sí sola.

Rüdiger explicó que en Alemania las áreas de actuación en lo que a geotermia se refiere se producen en edificios rehabilitados, que son el

50% de las viviendas alemanas. Aunque para el geólogo alemán las subvenciones no sean necesarias, sí que pueden servir para primar y asegurar la calidad de las instalaciones geotérmicas. La sala estuvo muy atenta a la exposición del ponente por suponer, entre otras cosas, lo que se hace en otros países europeos (figura 5). Tras la intervención de Grimm se produjo una pausa para el café.

Después del descanso, en el mismo sentido que Grimm se declaró Alfredo Fernández (figura 6), de la empresa de investigación geotérmica INGEO, quien considera que “la geotermia se amortiza sola” sobre todo comparada con otras renovables o con los combustibles fósiles. “Ya son rentables sin subvenciones”, aseveró. Además “es la única



Figura 7. Intervención de Marta Durango.



Figura 8. Intervención de Luis E. Suárez durante el coloquio.



Figura 9. Acto de clausura con la intervención del presidente de IFEMA, Luis Eduardo Cortés (en el centro).

Alfredo Fernández detalló cómo se deben colocar los pozos y sondeos en función de si se quiere acumular energía en una estación para utilizarla en otra

energía renovable que puede dar frío y calor al mismo tiempo", subrayó.

Alfredo Fernández detalló asimismo cómo se deben colocar los pozos y sondeos en función de si se quiere acumular energía en una estación para utilizarlo en otra. Además destacó lo importante de estudiar la termodinámica del terreno para diseñar un buen sistema de captación geotérmica. La empresa de Fernández, INGEO, tiene previsto realizar la instalación geotérmica de la primera catedral geotérmica de Madrid, ubicada en La Latina. También llevaron a cabo la instalación del IKEA de Jerez de la Frontera, en la provincia de Cádiz.

#### Reducir demanda energética

La última de las ponencias corrió a cargo de Marta Durango (figura 7), de la compañía Eneres, especializada en sistemas energéticos sostenibles. Durango explicó que en la rehabilitación de edificios uno de los objetivos primordiales es reducir la demanda energética al mínimo "sin coste añadido". Igualmente se mostró favorable de que se puede adecuar la geotermia a cualquier edificio de viviendas. En ese sentido, su empresa consiguió el Premio Endesa 2011 por la rehabilitación de un palacete en el centro de Madrid e instalación de un sistema geotérmico.

Una vez finalizadas todas las intervenciones tuvo lugar un animado y participativo turno de preguntas donde arquitectos, ingenieros y geólogos (figura 8), incluso algunos desde la web del ICOG, pudieron formular sus preguntas.

La jornada sobre geotermia estuvo clausurada por el presidente de IFEMA, Luis Eduardo Cortés, junto con Vicente Romero, presidente de la Asociación Española de Directores de Hoteles, y José Luis Barrera, vicepresidente del ICOG (figura 9).

Tras finalizar la jornada técnica, todos los interesados pudieron acudir al stand del ICOG (figura 10) en la feria, que se instaló como todos los años. En el stand se desarrolló, a parte de la función habitual de cualquier stand (información,



Figura 10. Panorámica del stand del ICOG en Genera 2012.

publicidad, contactos, etc.), una sesión de cierre a las jornadas técnicas, de carácter teórico-práctico, donde se explicaba la programación y justificación técnica de las pruebas Test de Respuesta Térmica (TRT), con la caracterización geológica e hidrogeológica previa del terreno y los diferentes labores de ejecución, así como una valoración y posterior aplicación de los resultados obtenidos en este tipo de pruebas. Para la

presentación de esta sesión, se dispuso de un equipo de TRT presente en el stand de forma física, con lo que los asistentes pudieron observar y tocar de forma directa los medios que se han de disponer para los ensayos TRT (figura 11). Toda la explicación estuvo a cargo del vocal del ICOG Benito Rivera.

Y después, como colofón, el Colegio ofreció un vino español.

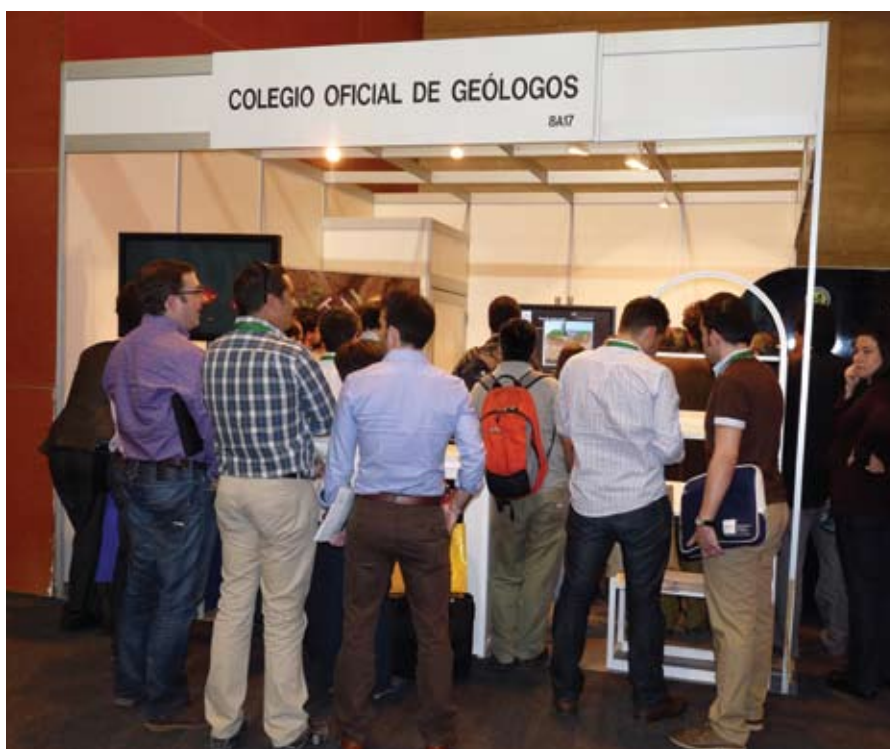


Figura 11. Asistentes al acto del TRT en el stand del ICOG.



# El workshop “Gestionando los riesgos naturales”: una ventana internacional para la profesión

**TEXTOS** | Nieves Sánchez Guitián, vicepresidenta de la Federación Europea de Geólogos.

El Ilustre Colegio Oficial de Geólogos (ICOG) y la Federación Europea de Geólogos (FEG) organizaron los pasados días 10 y 11 de mayo esta conferencia internacional sobre riesgos naturales, previa a la reunión semestral que la Federación celebra periódicamente, y realizada de forma rotativa pasando por todos los países miembros de la misma. Este año, España, como país encargado de la organización, propuso su celebración en Tenerife, buscando con ello dar a conocer nuestro país, sobre todo el territorio de las islas Canarias, entre todos los geólogos europeos, y para tratar de ofrecer la mayor aportación social de nuestra profesión. Se quería dar una visión sobre los riesgos naturales y el papel de los geólogos para su mejor gestión. Como lugar de celebración se escogió el hotel Sol Puerto de la Cruz, que era a su vez donde se alojaron los asistentes.

Asistieron a esta conferencia geólogos de distintos países europeos, como Italia, Portugal, Grecia, Finlandia, Reino Unido, Hungría, Irlanda, Suecia, Holanda, Serbia, Bélgica, Suiza, Alemania, Croacia y España, además de geólogos de los Estados Unidos (*tabla I*). Como participantes a esta conferencia, y representando a las asociaciones profesionales americanas, asistió Barbara Murphy, presidenta del Instituto Americano de Geólogos Profesionales (AIPG), acompañada además de William Siok, Kelvin Buchanan y Robert Font.

El objetivo planteado era promover el intercambio de ideas y propuestas en el campo de la gestión de los riesgos naturales, así como la presentación de proyectos para contribuir a una mejor toma de decisiones en los diferentes campos de la gestión de los riesgos naturales.

La FEG considera que la gestión de los riesgos naturales debería ser un tema esencial en una sociedad moderna, aplicándose una visión integrada para su uso en las políticas de prevención, ya que de este modo se ponen a disposición de la sociedad los conocimientos y la experiencia de los geólogos. Los recientes eventos catastróficos como el tsunami de Japón y el terremoto de Lorca, además de la erupción del volcán en la isla de El Hierro, nos deberían recordar la enorme importancia que el conocimiento geológico representa para el progreso económico y social.

La FEG quiere destacar que, a pesar de la abundante investigación científica que se está llevando a cabo actualmente, de la que se presentaron excelentes ejemplos en esta conferencia, y a pesar de que existe legislación en prevención a nivel nacional y europeo, el conocimiento acerca de los peligros que representan los riesgos geológicos no ha sido asumido por los ciudadanos de un modo tangible, de forma que les ayude a salvar su vida o gestionar mejor sus propiedades en situaciones de catástrofe.

Una conclusión que el presidente del ICOG, Luis E. Suárez, destacó y que fue repetida en diversos momentos de la conferencia es que la adecuada gestión de los riesgos naturales es un ámbito fundamental para que una sociedad pueda prosperar. Los profesionales, prosiguió, Suárez, debemos ayudar a concienciar a la sociedad y colaborar en la toma de decisiones, aportando el conocimiento que permite prever los sucesos devastadores, para actuar debidamente sobre la población como elemento a proteger. Según los

**Tabla I. Relación de asistentes**

| NOMBRE                     | PAÍS DE ORIGEN | INSTITUCIÓN   |
|----------------------------|----------------|---|
| Hans J. Gursky             | Alemania       | Institut für Geologie und Palaontologie                     |
| Nuno da Silva              | Bélgica        | Belgian-Luxembourg Association of Geologists                |
| Isabel Fernández           | Bélgica        | Federación Europea de Geólogos                              |
| Anita Stein                | Bélgica        | Federación Europea de Geólogos                              |
| Darko Tibijas              | Croacia        | Universidad de Zagreb                                       |
| Ignacio Oliver Llorente    | España         | Unidad Militar de Emergencias                               |
| Luis E. Suárez Ordóñez     | España         | Ilustre Colegio Oficial de Geólogos                         |
| Manuel Regueiro            | España         | Ilustre Colegio Oficial de Geólogos                         |
| Cristina Sapalsky          | España         | Ilustre Colegio Oficial de Geólogos                         |
| José Luis Barrera          | España         | Ilustre Colegio Oficial de Geólogos                         |
| Ricardo García Moral       | España         | Ilustre Colegio Oficial de Geólogos                         |
| Juan Coello                | España         | Cabildo Insular de Tenerife                                 |
| Nieves Sánchez Guitián     | España         | Federación Europea de Geólogos                              |
| Nemesio Pérez              | España         | Instituto Tecnológico y de Energías Renovables              |
| Carlos García Royo         | España         | Piloto de Iberia (geólogo)                                  |
| Bernardo Pizarro Hernández | España         | GRAFCAN   |
| Goretti Calzadilla Medina  | España         | GRAFCAN   |
| Jorge Rosales León         | España         | GRAFCAN   |
| José Julio Rodrigo Bello   | España         | GRAFCAN   |
| José Luis Roig Izquierdo   | España         | Cabildo Insular de Tenerife                                 |
| Roberto Poncela            | España         | Geólogo consultor   |
| Silvia Hernández Fernández | España         | Consultoría   |
| Israel Hernández Rodríguez | España         | Interra   |
| María Candelaria López     | España         | Consultoría   |
| Kelvin Buchanan            | Estados Unidos | American Institute of Professional Geologists               |
| Robert Font                | Estados Unidos | Geoscience Data Management, Inc.                            |
| Bill Siok                  | Estados Unidos | American Institute of Professional Geologists               |
| Barbara Murphy             | Estados Unidos | American Institute of Professional Geologists               |
| Markku Iljina              | Finlandia      | Ympäristöasiantuntijoiden Keskusliitto YKI                  |
| Chara Alexiadou            | Grecia         | Association of Greek Geologists                             |
| Bob Hoogendoorn            | Holanda        | Koninklijk Nederlands Geologisch Mijnbouwkundig Genootschap |
| Anna Seres                 | Hungría        | University of Miskolc                                       |
| Éva Hartai                 | Hungría        | Federación Europea de Geólogos                              |
| Peter Scharek              | Hungría        | Hungarian Geological Society                                |
| Marie Fleming              | Irlanda        | Institute of Geologists of Ireland                          |
| Domenico Calcaterra        | Italia         | Consiglio Nazionale dei Geologie                            |
| Corrado Cencetti           | Italia         | Consiglio Nazionale dei Geologie                            |
| Gian Vito Graziano         | Italia         | Consiglio Nazionale dei Geologie                            |
| Mónica Sousa               | Portugal       | Associação Portuguesa de Geólogos                           |
| Carlos Almeida             | Portugal       | Associação Portuguesa de Geólogos                           |
| Vitor Correia              | Portugal       | Associação Portuguesa de Geólogos                           |
| Ruth Allington             | Reino Unido    | Federación Europea de Geólogos                              |
| David Norbury              | Reino Unido    | David Norbury Ltd   |
| Edmund Nickless            | Reino Unido    | Geological Society of United Kingdom                        |
| Iris Vukovic               | Serbia         | Serbian Geological Society                                  |
| Elisabeth Dräcker          | Suecia         | Federación Europea de Geólogos                              |
| Christer Akerman           | Suecia         | Geosection of Swedish Association of Scientists             |
| Leonard Luzieux            | Suiza          | Federación Europea de Geólogos                              |
| Pierre Christe             | Suiza          | Swiss Association of Petroleum Geologists and Engineers     |

Tabla II. Programa

|  |  |
|--|--|
| 08:30-09:30                                | Registration of participants   |
| 09:30-10:00                                | Local authorities welcome  |
| <b>Opening words:</b>                      |  |
| Ruth Allington (president of the EFG)      |  |
| Luis E. Suárez (president of Spanish ICOG) |  |
| Jesús Morales (Consejo Insular de Aguas)   |  |
| 10:10-12:30                                | <b>Morning session. Moderate:</b> Nieves Sánchez (EFG vicepresidente)  |
| 10:10-10:35                                | <b>Coping with urban geological hazards in north-central Texas, USA-a legacy of the state's geological, tectonic and volcanic history</b><br>EurGeol Dr. Robert Font (PhD, CPG, CG, PG president, Geoscience Data Management, Inc. AIPG National president-2005) |
| 10:35-11:00                                | <b>Volcano-related hazards and risks in southern Italy</b><br>Corrado Cencetti (Italian Council of Geologists)   |
| 11:00-11:20                                | <b>Coffee break</b>  |
| 11:20-11:45                                | <b>Natural risks in Spain</b><br>Luis E. Suárez (president Spanish National Geologists Association)  |
| 11:45-12:10                                | <b>Snow avalanche risk model, generating daily updated, high resolution danger maps</b><br>Anna Seres (University of Miskolc of Hungary, Institute of Geography)   |
| 12:10-12:35                                | <b>Reducing volcanic risk in the Canary Islands</b><br>Nemesio Pérez (scientific coordinator, Instituto Volcanológico de Canarias, INVOLCAN).  |
| 12:35-13:40                                | <b>Lunch in the hotel</b>  |
| 13:40-17:30                                | <b>Evening session. Moderate:</b> Manuel Regueiro (ICOG, general secretary)  |
| 13:40-14:05                                | <b>Terrain motion measurements-services to society</b><br>Isabel Fernández (EFG, Brussels office director)<br>David Norbury (EFG, Chair Registration authority)  |
| 14:05-14:30                                | <b>Selling geohazards information to non scientists</b><br>David Norbury (EFG)   |
| 14:30-14:55                                | <b>Use of insar for landslide monitoring and tsunamis implications on Canaria</b><br>Richard Burren (Fugro NPA)  |
| 14:55-15:20                                | <b>Volcanic ash and gas as a potential hazard in air navigation</b><br>Carlos García Royo (M.Sc. Geologist, Airline Transport Pilot, Iberia Airlines, SEPLA Technical Department)  |
| 15:20-15:40                                | <b>Coffee break</b>  |
| 15:40-16:05                                | <b>The Spanish Emergency Military Unit (UME) in the management of natural disasters</b><br>Captain Ignacio Juan Oliver Llorente (Los Rodeos Emergency Military Unit Detachment Commander)  |
| 16:05-16:30                                | <b>Canary Islands spatial data infrastructure as tool for natural disaster prevention and analysis</b><br>José Julio Rodrigo Bello (GRAFCAN Head of Engineering Department)  |
| 16:30-16:55                                | <b>Red mud spill in Hungary, October 2010</b><br>Éva Hartai (EFG delegate for EU)<br>Peter Scharek (Hungarian Geological Survey)   |
| 17:00-17:30                                | <b>Discussion and conclusions</b>  |



Figura 1. De izquierda a derecha: Ricardo García, Jesús Morales y José Luis Barrera.

análisis presentados por el ICOG, las amenazas por riesgos naturales en España representan un 2% del presupuesto nacional.

### El workshop

El evento se celebró el día 10 de mayo en los salones del hotel Sol Puerto de la Cruz, siguiendo el programa adjunto (tabla II).

La recepción del acto fue atendida por personal de la empresa GRAFCAN, tutelada por el Gobierno de Canarias, a la que queremos agradecer, en la persona de Bernardo Pizarro, su desinteresada participación y la entrega a todos los participantes de una edición actualizada del mapa geológico de todas las islas Canarias, con información científica de calidad, acompañado de una amplia memoria geológica de cada una de las islas.

### Acto inaugural

Al acto de inauguración asistió el responsable del Consejo Insular de Aguas, Jesús Morales (figura 1), en representación del presidente del Cabildo de Tenerife, Ricardo Melchior.

En la mesa estuvieron Luis E. Suárez, presidente del ICOG, Ruth Allington, presidenta de la



Figura 3. Panorámica de la sala.

FEG, y el consejero Jesús Morales (figura 2). Este último planteó la necesidad de contar con toda la información técnica y científica acerca del territorio para poder actuar de forma correcta. La sala estaba llena de participantes y se mostraron muy atentos a las palabras inaugurales (figura 3).

### Las ponencias del workshop

Como anfitriona del evento, tuve el honor de realizar la presentación de cada uno de los ponentes con un breve y preciso resumen de su perfil.

El primer ponente fue el geólogo norteamericano Robert Font, quien disertó sobre los riesgos naturales en el estado de Texas (figura 4).



Figura 4. Nieves Sánchez presentando a Robert Font.



Figura 2. De izquierda a derecha: Luis E. Suárez, Jesús Morales y Ruth Allington.



Figura 5. Corrado Cencetti durante su intervención.

El profesor de universidad Corrado Cencetti (figura 5), como representante del Consejo General de Geólogos de Italia, se refirió al riesgo volcánico que existe en Sicilia y cómo se gestiona desde la protección civil italiana, con experiencias reales habidas.

Durante la conferencia, el geólogo y piloto de Iberia Carlos García Royo (figura 6) abordó cuestiones muy interesantes sobre la seguridad del tráfico aéreo en su interacción con fenómenos volcánicos. En ese campo se planteó la necesidad de contemplar variables geológicas (tipo de vulcanismo, materiales de emisión volcánica, composición química, etc.) para plantear de forma correcta la toma de decisiones destinada a garantizar la seguridad aérea.



Figura 6. Carlos García Royo durante su intervención.

Nemesio Pérez, en representación del Instituto Tecnológico y de Energías Renovables (ITER), expuso los riesgos volcánicos en las islas Canarias, con especial referencia a la reciente erupción submarina habida en la isla de El Hierro (figura 7) desde el 10 de octubre al 5 de marzo. Pérez, experto en el vulcanismo de Canarias, mostró diversas variables que se deben controlar en todo momento, con



Figura 7. Manuel Regueiro presentando a Nemesio Pérez.



Figura 8. Éva Hartai durante su intervención.

la instrumentación adecuada, para poder tener un control de este riesgo.

En representación de Hungría fue ponente Anna Seres, de la Universidad de Miskolc, quien expuso un trabajo reciente de desarrollo de un modelo para cálculo de avalanchas de nieve en los montes Tatra.

También Éva Hartai, en representación del Servicio Geológico de Hungría (figura 8), expuso los motivos y la gestión posterior de la catástrofe ocurrida en octubre de 2010 por el derrame de material altamente tóxico producido por la rotura de un dique de contención de residuos químicos.

Una ponencia que despertó interés entre los asistentes fue la que realizó el capitán Oliver Llorente (figura 9), mando operativo del destacamento de la Unidad Militar de Emergencias (UME) en la isla de Tenerife, quien expuso las acciones desempeñadas por la UME desde su creación reflexionando sobre los buenos resultados obtenidos y comentando el sistema de coordinación entre distintos estamentos responsables en situaciones de emergencia.

Como representante de GRAFCAN, intervino de ponente su jefe del departamento de Ingeniería José Julio Rodrigo Bello, que habló sobre los datos espaciales que se emplean en las cartografías de Canarias como herramientas para las infraestructuras; puso especial hincapié en el Proyecto LIDAR (ver artículo en esta revista).

A la clausura asistió el alcalde de Puerto de la Cruz, Marcos Brito, quien agradeció la organización de la conferencia en su municipio y animó a los profesionales a seguir trabajando para un mejor futuro. En la mesa estaba acompañado por Luis E. Suárez, Ruth Allington y Manuel Regueiro, que hacía de traductor (figura 10).



Figura 9. El capitán Oliver durante su intervención.



Figura 10. De izquierda a derecha: Luis E. Suárez, Manuel Regueiro, Marcos Brito y Ruth Allington.



Figura 11. Los asistentes en la base del Pico del Teide.



Figura 12. Cristina Sapalski y Nieves Sánchez.

### Visita al Parque Nacional del Teide

Durante el día 11 de mayo, todos los geólogos participantes en la conferencia visitaron a primera hora de la mañana la cumbre del Teide, a la que se ascendió en el teleférico (figuras 11 y 12). Además de contemplar los espectaculares paisajes de la zona de las Cañadas, estuvieron también en el centro de control de explotación de las aguas subterráneas situado en la montaña Majúa, gestionado por el Cabildo Insular de Tenerife, y cuya visita contó con las oportunas explicaciones de la geóloga Isabel Farrujá.

Antes del almuerzo típico canario en un restaurante de El Portillo, hubo tiempo para visitar los Roques de García.

Después de comer, el grupo regresó al Puerto de la Cruz por la carretera de La Esperanza para disfrutar de las vistas del valle de Güimar y hacer una parada en "La tarta", una alternancia muy llamativa de piroclastos sálicos y básicos.

Para toda la jornada, los visitantes contaron con la inestimable aportación de Juan Coello, geólogo experto en la vulcanología e hidrogeología de la isla de Tenerife, que desempeña sus tareas en el Consejo Insular de Aguas, quien realizó exposiciones de detalle y mostró las posibles teorías científicas desarrolladas hasta la fecha.

### Conclusiones del workshop

La realización de esta conferencia internacional en Canarias ha ayudado a recordar situaciones como la crisis volcánica de El Hierro, la cual sirvió para que las distintas instituciones sean más conscientes de la necesidad de disponer de planes de prevención para este riesgo que en España afecta a las islas Canarias.

El ICOG mostró su total apoyo a que se cree en Canarias una estructura científico-técnica que aglutine el conocimiento existente sobre este riesgo y así pueda España ponerse a la altura de otros observatorios vulcanológicos existentes en el mundo. La FEG está de acuerdo con la creación del Instituto de Volcanología (INVOLCAN) con sede en las islas Canarias, tal y como acordaron el Senado (2005) y el Parlamento canario (2006), pero que nunca se ha llevado a efecto, como herramienta para mejorar la colaboración científica para reducir el riesgo volcánico en Canarias, en coordinación con Protección Civil y otras instituciones.

Como propuestas concretas, se formularon por parte de la FEG y del ICOG las siguientes actuaciones:

1. Incluir más horas de geología y riesgos naturales en todos los niveles de la educación media, para aumentar la concienciación y el conocimiento de nuestros jóvenes sobre el planeta Tierra, el lugar donde viven, y el nivel de riesgo a que ellos y sus familias están expuestos.
2. Elaboración y uso obligatorio de los mapas de riesgos geológicos en la planificación urbana

con el lema "Ninguna ciudad amenazada por los riesgos geológicos".

3. Desarrollo de campañas permanentes sobre los riesgos geológicos, dirigidas a los ciudadanos que viven en zonas de riesgos, para recordarles continuamente que es necesario estar alerta y listo para reaccionar. Las labores de divulgación realizadas por el INVOLCAN en las islas Canarias se consideran un ejemplo a seguir.
4. Formar a los periodistas sobre cómo informar sobre los riesgos geológicos de modo que el mensaje llegue a los ciudadanos con la calidad y el rigor necesarios.
5. Desarrollar sistemas multidisciplinarios de control de los riesgos geológicos que combinen las observaciones sobre el terreno con sistemas de sensores remotos en todas las zonas con riesgos geológicos, de manera que se pueda reaccionar más rápidamente y con anticipación en caso de crisis.
6. Creación de una red de organizaciones (investigación, protección civil, servicios geológicos, etc.), con objeto de compartir experiencias sobre los riesgos geológicos y preparar acciones comunes.

Al día siguiente, tuvo lugar la reunión oficial de la FEG, que se celebró en el mismo hotel anterior (figura 13).



Figura 13. Panorámica de la sala durante la reunión de la FEG.

### Agradecimientos

Sirvan estas líneas como agradecimiento del ICOG a todas las personas e instituciones que han hecho posible que esta conferencia haya proyectado lo mejor de nuestra profesión hacia todos los territorios, como una ventana hacia la sociedad del conocimiento de la geología. La conferencia ha contado con el patrocinio de SP Mining, empresa especializada en la investigación y la promoción de los recursos naturales del continente africano. También hay que agradecer la colaboración de GRAFCAN y de los miembros del ICOG: José Luis Barrera, Ricardo García Moral, Manuel Regueiro, Luis González de Vallejo y Cristina Sapalski. Igualmente hay que agradecer las gestiones realizadas por Jaime Coello y la colaboración en la visita al Teide del geólogo Juan Jesús Coello.

# Consolidación de terreno: inyecciones de resina expansiva URETEK

Como ya se mencionó en el pasado nº 38 de Tierra y Tecnología, hoy en día, la consolidación del suelo mediante inyecciones de resina expansiva es una tecnología que se apoya sobre unas bases científicas muy sólidas.

URETEK®, que interviene esencialmente en casos de hundimientos, ha adquirido una experiencia muy amplia en la interpretación de fisuras. Los hundimientos diferenciales de los suelos de cimentación pueden ser causados por múltiples factores no siempre de fácil identificación. Se deben analizar los síntomas, esencialmente grietas y movimientos sufridos por el edificio (giros, asientos, desplazamientos, etc.) para de ellos deducir qué mecanismo los ha originado. A la vista de la cimentación existente y del conocimiento geotécnico del terreno de apoyo, se podrán deducir las causas del comportamiento conjunto estructura-terreno-cimiento que son el verdadero origen de la patología producida.

La compactación es el término que se ha utilizado tradicionalmente para describir el proceso de densificación de un material mediante medios mecánicos. En la práctica, la compactación se realiza con frecuencia sobre los materiales que se utilizan para rellenos en la construcción de terraplenes, pero también puede realizarse in situ con suelos naturales en proyectos de mejora del terreno.

El principal objetivo de la compactación es mejorar las propiedades mecánicas del material, tales como:

- Aumentar la resistencia al corte y, por consiguiente, mejorar la estabilidad de rellenos y la capacidad de carga de cimentaciones y pavimentos.
- Disminuir la compresibilidad y, por tanto, reducir los asentamientos.
- Disminuir la relación de vacíos y reducir la permeabilidad.
- Reducir el potencial de expansión, contracción o expansión.

URETEK Soluciones Innovadoras ([www.uretek.es](http://www.uretek.es)) cumplirá en los próximos meses dos años de implantación en España, confirmándose como empresa líder en el mercado con sus tecnologías patentadas especialistas en inyecciones de resinas expansivas para la consolidación de cimentaciones,



URETEK Soluciones Innovadoras cumplirá en los próximos meses dos años de implantación en España, confirmándose como empresa líder en el mercado con sus tecnologías patentadas especialistas en inyecciones de resinas expansivas para la consolidación de cimentaciones

levantamiento de pavimentos, reparación de mampostería y relleno de cavidades.

Como alternativa a soluciones tradicionales, se plantea una tecnología cuyas características son la poca invasividad y rapidez de ejecución: Uretrek Deep Injections® con inyecciones de resina expansiva Uretrek Geoplus®.

La intervención se ejecuta en dos fases:

**1ª Fase. Compactación superficial:** inyecciones a cota de apoyo de cimentación para mejorar las características geomecánicas del terreno y rellenar los huecos presentes entre cimentación y suelo.

**2ª Fase. Consolidación en profundidad:** inyecciones ejecutadas en distintos niveles de profundidad en el volumen de suelo afectado por las cargas.

El resultado de la intervención se verifica a través de monitorización láser durante las inyecciones, así como un control, mediante medidores volumétricos y manómetros, de la cantidad de resina inyectada y su presión de inyección.

A continuación se describen dos casos prácticos en los que la intervención en el terreno por parte de URETEK ha resuelto con éxito la problemática planteada.



### Edificio en Cuenca

Edificación de más de 100 años, situado en zona céntrica de la ciudad de Cuenca. Consta de 4 plantas sobre rasante.

#### El problema

Lavado del terreno de apoyo de la cimentación del edificio y, por tanto, pérdida de este. Nos indican que la red de saneamiento había tenido dos roturas importantes en años anteriores. La intervención era necesaria para consolidar el suelo de cimentación con el fin de dar continuidad a los trabajos de rehabilitación integral del edificio.

Se realiza un plan de intervención de recalce integral del edificio.

## URETEK® DEEP INJECTIONS

Para la estabilización de los suelos de cimentación

NUESTROS PUNTOS DE FUERZA:

- No invasivo: sin excavaciones ni obras de albañilería.
- Rápido e inmediatamente eficaz.
- No ensucia y no produce residuos.
- Permite intervenciones parciales y localizadas.
- Con control láser en tiempo real.

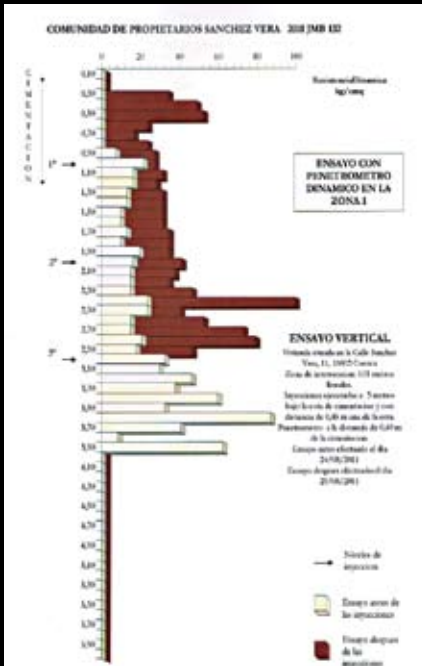
La resina URETEK GEOPLUS®:

- Expande rápidamente y con alta presión.
- No se aleja de bulbo de presión.
- Estable en el tiempo.
- No contamina.
- Producida en exclusiva para Uretek.

#### La intervención

La intervención de recompresión y consolidación efectuada en c/ Sánchez Vera (Cuenca), según lo dispuesto en el contrato 2011 JMB 132, ha tenido como objetivo recalce integral del edificio mediante inyecciones de resina en el suelo de cimentación subyacente por unos 103 m lineales bajo la cimentación continua de la edificación.

La tecnología aplicada, protegida por la Patente Europea nº 0851064 de propiedad de la empresa Uretek Srl, ha permitido la densificación en las profundidades del terreno a través de la inyección en el terreno mismo de resinas de poliuretano con alta presión de expansión que, expandiéndose, han transmitido al volumen sólido a su alrededor una acción de compactación que origina un aumento de capacidad de carga.



### Piscina en Marbella

Piscina construida sobre un relleno en ladera, en una vaguada que recoge agua de escorrentía.

El apoyo de la piscina se ha realizado en dos tipologías de material distinto, por una parte se apoya en terreno natural (esquistos) y por otra parte su cimentación se ha realizado sobre zahorra artificial compactada.

### El problema

Heterogeneidad en el plano de apoyo. Debido a las obras de ejecución del vaso de expansión y depuradora a una cota más baja que la cota de la piscina, y ejecutado con posterioridad a esta, el terreno de apoyo ha sufrido una descompresión que unido a un posterior lavado de finos tras una época de grandes lluvias provocaron el asiento de la piscina que giró sobre un eje central, que

sufrió un hundimiento de 5 cm en uno de sus bordes. No se produjo fisuración en la piscina.

### La intervención

La intervención de recompresión, consolidación y levantamiento efectuada en la piscina de "La Quinta Greens", en Marbella (Málaga), según lo dispuesto en el contrato 2010 MG 109, ha tenido como objetivo inyecciones de resina en el suelo de cimentación subyacente por unos 80 m<sup>2</sup> bajo el vaso de la piscina. La duración de la intervención ha sido de dos días.

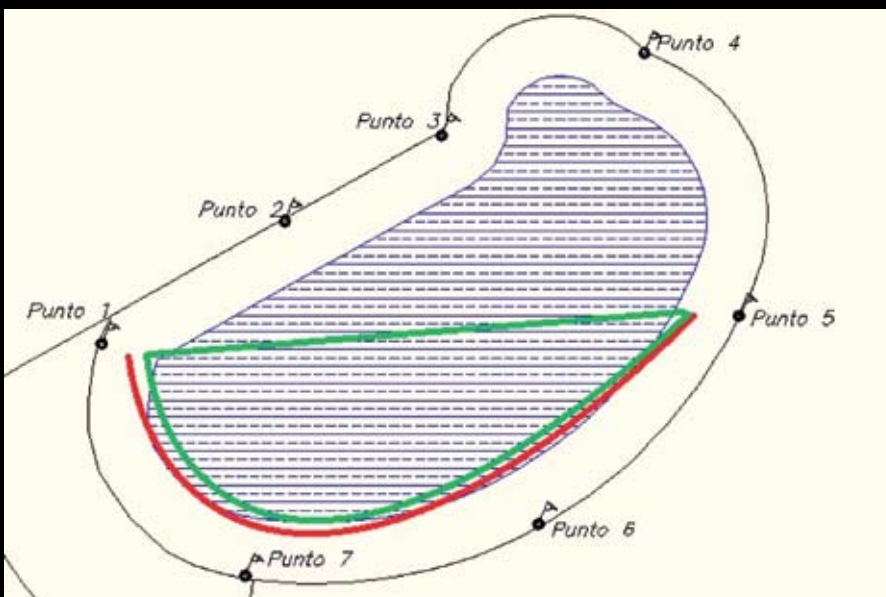
En líneas generales, el apoyo de la piscina se ha realizado sobre dos materiales distintos, terreno natural de naturaleza esquistosa y zahorra artificial compactada, de distinto comportamiento geomecánico. Sobre estos dos materiales se construyó la solera de 20 cm sobre la que se implantó la piscina

objeto de la intervención. Posteriormente se excavó en las proximidades de la piscina y a una cota más baja el edificio para vaso de expansión y depuradora, lo que provocó en este punto la descompresión del terreno bajo la piscina. Coincidiendo con una época de grandes lluvias en la zona, se produjo un lavado de finos del plano de apoyo de la piscina que, unido al hecho de la ejecución de las obras cercanas explicadas, provocaron un asiento diferencial de la piscina, que giró sobre un eje central, hundiéndose 5 cm el borde apoyado en las zahorras y levantando 2 cm el borde apoyado en terreno natural. No había fisuración en la piscina.

Las inyecciones con el fin de cubrir la totalidad del volumen de suelo a tratar se realizaron mediante la colocación de conductos de inyección alternada en diferentes planos de profundidad, llamados en adelante "niveles". El plan de intervención consistió en inyectar en el volumen de terreno de los dos primeros metros bajo la cota de apoyo de la cimentación. Igualmente se ha procedido a un levantamiento de la piscina para la reposición de la misma a su estado original.

El principio de levantamiento se evidencia inmediatamente por medio de un sistema láser, y esto permite decidir si seguir con las inyecciones, levantando el pavimento, o atenerse al consolidado del fondo.

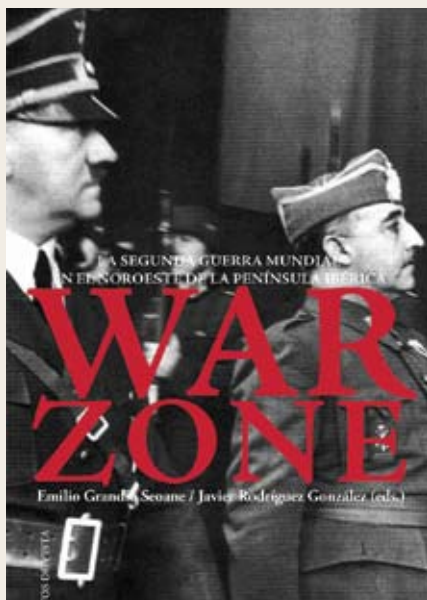
El levantamiento se mantiene bajo control milimétrico en tiempo real. La fuerza de expansión de la resina permite levantar incluso estanterías o instalaciones que estén apoyadas sobre el pavimento.



**URETEK**  
Soluciones Innovadoras S.L.U.

28002 MADRID  
Calle Principe de Vergara, 126  
uretek@uretek.es  
www.uretek.es

900 80 99 33



Título: War Zone. La Segunda Guerra Mundial en el noroeste de la Península Ibérica  
 Autor: Emilio Grandío Seoane y Javier Rodríguez González (eds.)  
 Colección Puntos de Vista nº 29  
 Tamaño: 15 x 23 cm  
 Páginas: 336  
 Precio: 18,50 €

## War Zone. La Segunda Guerra Mundial en el noroeste de la Península Ibérica

El libro aborda una historia poco conocida, la del periodo comprendido entre 1939 y 1945, años en los que el franquismo se desarrolla en un contexto de extrema violencia: entre el final de una guerra civil y el desarrollo de una guerra de ámbito mundial. El régimen de Franco estableció una colaboración abierta con los alemanes, aunque siempre se mantuvieron con ciertas suspicacias.

El estallido de la Segunda Guerra Mundial llevó aparejado el crecimiento de las necesidades alemanas de materias primas, entre las que se encontraba el volframio. En marzo de 1940, la diplomacia inglesa había recibido informaciones de sus homólogos franceses acerca del tránsito de grandes cantidades de volframio desde Portugal hasta Vigo, donde el mineral era embarcado en submarinos alemanes para transportarlo al país germano.

A partir de junio de 1940, la derrota de Francia permitió el transporte de mercancías por vía férrea desde Portugal y España hasta Alemania.

La política aliada de asistencia económica a España se basó en dos puntos básicos: suministros de petróleo a cambio del control de las adquisiciones de volframio. Alemania había comenzado a tener problemas de suministro de volframio cuando Rusia entró en guerra, al cerrar los yacimientos de la frontera de China y Corea. Y la zona de mayor producción de volframio a la que tenían acceso era precisamente el noroeste ibérico. Cerca del 90% del volframio producido por España salía de Galicia: Valdeorras, Xallas, Trasdeza, Barbanza y Bergantiños.

La demanda de volframio implicó una enorme expansión de esta minería, con millares de personas trabajando, hasta 15.000, en las minas de San Finx-Lousame.

Años de conflicto. La aplicación reiterada de la violencia política se convirtió en marca de imagen del régimen unipersonal de Franco. Y los grupos que demandaban la caída de la dictadura aumentaron, debido al apoyo aliado y al rumbo del conflicto, que parecía anticipar el final del régimen. Grupos de oposición en las ciudades, las primeras estructuras guerrilleras en los montes, fueron algunos de los ingredientes que se mezclaron en un territorio y una época: el noroeste peninsular. Esta situación cobra inusitada relevancia en el noroeste ibérico con respecto al volframio, ya que su utilización por la industria bélica alemana multiplicó su valor estratégico. Entre las aplicaciones que se han señalado para el volframio hay que destacar su utilización para reforzar el blindaje de las unidades de combate alemanas, para la elaboración de proyectiles con mayor capacidad de penetración e incluso como refuerzo interno de las piezas de artillería.

Históricamente, la minería del volframio había estado muy ligada a la del estaño, ya que ambos minerales suelen aparecer juntos bajo las formas de casiterita, volframita y scheelita. La antiquísima minería del estaño, tradicional en todo el noroeste ibérico, coincidió con la llamada provincia estaño-tungstífera ibérica, que abarca la mitad norte de Portugal, la mayor parte de Galicia y determinadas zonas de León, Asturias, Zamora, Salamanca, Cáceres y Badajoz. Aunque existieron inversiones de capital de otros países en los finales del siglo XIX y comienzos del XX, hay que destacar el dinamismo mostrado por emprendedores británicos ligados a la explotación de numerosas minas de estaño-volframio en las zonas de Lousame (A Coruña), Vila de Cruces (Pontevedra), y la región portuguesa de Trás-os-Montes. La historia del suministro de volframio español al Tercer Reich hunde sus raíces en uno de los momentos claves de la historia del periodo, como fue el viaje emprendido por el militante del partido nazi en Marruecos Johannes Frantz Bernhardt hasta Alemania, en los primeros días del golpe de Estado, ejerciendo de mensajero del general Franco para conseguir el apoyo alemán al golpe militar. En la entrevista con Hitler surgió ya la cuestión de que el suministro de materias primas (en aquel momento desde el norte de África) sería la moneda de cambio de los golpistas.

Para sus pedidos, visite el sitio: [www.editorialeneida.com](http://www.editorialeneida.com)





Título: Fotografía sin verdad. El poder de la mentira

Autores: Diego Caballo Ardila y Daniel Caballo Méndez

Editorial: Universitas

ISBN: 978-84-7991-342-7

Páginas: 256

## Fotografía sin verdad. El poder de la mentira

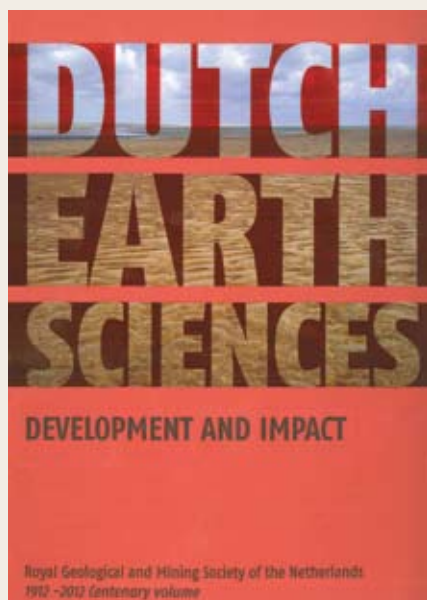
El papel que desempeña la fotografía, fundamentalmente desde su incorporación a la prensa, en la visualización de los problemas sociales, políticos, culturales y en otras áreas, la convierten en un arma muy poderosa y en un verdadero documento social. Reconociéndole la subjetividad que conlleva la toma, la imagen hecha con honradez representa a la memoria visual colectiva y una de las mejores formas de reflejar la realidad, esa realidad que tantas veces molesta.

*Fotografía sin verdad. El poder de la mentira* es un ensayo tras muchos años de investigación que puede ayudarnos a conocer mejor “cómo la verdad fue desvirtuada, pisoteada, disfrazada y padeció toda clase de atropellos con el fin de esconderla bajo un manto oscuro que siempre beneficiaba a alguien”, como señala Enrique Meneses en el prólogo. Discernir lo verdadero de lo falso es nuestra obligación para estar prevenidos contra los muchos tipos de photoshop destinados a confundir nuestra aprehensión de la realidad.

Los autores, ambos periodistas de la Agencia Efe y profesores de fotografía en la Universidad San Pablo-CEU, recogen en el libro, producto de largos años de investigación y recopilación de casos de manipulación fotográfica, más de un centenar de imágenes que han sido modificadas fraudulentamente a lo largo de la historia, ya sea con carácter político, social o ilustrativo, además de mostrar y detallar las alteraciones realizadas en cada foto con la intención de borrar un personaje, mejorar una escena o corregir elementos no deseados, entre otros casos.

Desde las dictaduras de Stalin, Franco, Hitler, Mussolini... y políticos de todos los tiempos, hasta las monarquías de diferentes países, organismos oficiales, los propios medios y profesionales, pasando por grandes y tristes acontecimientos como el 11-S, en los Estados Unidos, y el 11-M, en España, numerosas fotografías han sido utilizadas para engañar al público, que en la mayoría de los casos no tienen la oportunidad de contrastar lo verdadero con lo falso y aceptan como bueno algo que en realidad no lo es.

Como señalan Diego Caballo Ardila y Daniel Caballo Méndez, estamos viviendo una muy peligrosa crisis de la verdad dentro de la gran crisis. La democratización de las cámaras, el afán de registrarlos todo siquiera como testigos de los hechos (aunque no como profesionales), el deseo de los más altos responsables de los medios de comunicación en general de amoldar la verdad, su verdad, a la media, y la testuz bajada ante la miseria de los profesionales que se automanipulan para alcanzar el sueño de poder decir algo diferente de lo que en realidad ocurrió, nos puede conducir por el difícil camino en el que converjamos todos como sospechosos si no somos capaces de llevar grabada a fuego la ética sagrada de la profesión y de descubrir y delatar a los que empiezan engañándose a sí mismos y terminan haciéndonos caer en las trampas de sus mentiras con imágenes que distorsionan la realidad, dejándolas despobladas de su característica fundamental: la fiabilidad de los hechos, aunque solo sea el tiempo justo que se tarda en descubrirlo, que siempre llega.



Título: Dutch Earth Sciences. Development and impact

Editor: Royal Geological and Mining Society of the Netherlands

ISBN /EAN: 978-90-818323-0-1

Idioma: inglés

Páginas: 302

## Dutch Earth Sciences. Development and impact

El libro aborda una historia poco conocida, la del periodo comprendido entre 1939 y 1945, años en los que, con motivo de su primer centenario, la Royal Geological and Mining Society of the Netherlands (KNGMG), fundada en 1912, ha editado un volumen en inglés conmemorativo de dicha efeméride. Aunque es aún una sociedad geológica joven, hay que recordar que la británica se fundó en 1807; la francesa, en 1830 y la alemana, en 1848. Repasando esta historia centenaria, la sociedad holandesa se siente orgullosa de su enorme contribución al conocimiento geológico y minero del planeta, a través de sus muchas publicaciones, de los proyectos y la infinidad de contribuciones profesionales.

En el libro se hace un preciso repaso del origen y desarrollo de las Ciencias de la Tierra en Holanda, realizado por los múltiples miembros que ha tenido a lo largo de este primer centenario. Hay que destacar que el coordinador de la edición ha sido el prestigioso geólogo, especializado en petrología, Peter Floor, un conocido geólogo para la comunidad geológica española (sobre todo la que ha trabajado en Galicia), ya que trabajó muchos años en el territorio gallego, en el equipo del recientemente fallecido profesor Emile den Tex.

La edición, realizada en cuatricomía, está muy cuidada e ilustrada, con fotografías, mapas y esquemas geológicos, gráficos y cuadros de texto que hacen muy atractiva su lectura, por lo bien que esta realizada la maquetación.

El libro se divide en siete capítulos y cinco anexos, que completan las 302 páginas que lo componen. Después de la introducción y una pequeña reseña histórica de la KNGMG, el capítulo 1 realiza una breve reflexión sobre las circunstancias en que se ha desenvuelto el desarrollo de la geología en Holanda, en relación con el resto de países de su entorno.

El capítulo 2 revisa el desarrollo histórico de Holanda en el periodo 1568-1780 y el nacimiento de la actividad geológica y minera. El desarrollo social inducido por el crecimiento comercial atrajo a muchos ingenieros que se ocuparon de la lucha contra el mar para defender militarmente el país, las tierras de cultivo y crear nuevas para la creciente población que surgía. Entre 1752 y 1780, fueron surgiendo las primeras academias y sociedades científicas que agruparon el conocimiento que se tenía.

El capítulo 3 cubre el periodo 1780-1877, un espacio en el que se publicó el primer libro de geología en holandés, el primer mapa geológico de Holanda hecho por Winand Staring, considerado padre de la geología holandesa. También, la industrialización necesitó a los primeros ingenieros de Minas, con conocimientos geológicos, para la búsqueda de los recursos energéticos.

El capítulo 4 es, con mucho, el más extenso del libro. Comienza desde las consecuencias habidas con el importante cambio legislativo (ley de 1876), referente a los estudios geológicos universitarios en el país, prácticamente hasta nuestros días. Se hace un repaso de las instituciones académicas y universitarias, incluyendo las ingenierías de Minas que se fueron creando, y del grupo de profesores que lo hicieron posible.

El capítulo 5 se ocupa de la investigación y exploración estatal, no solo de la superficie sino también del subsuelo. En 1918 se creó el primer Servicio Geológico de Holanda que se ocupó de todas estas tareas. Se investigó el carbón, el petróleo, el gas y otros recursos naturales. También, las empresas privadas colaboraron en esta ingente tarea. El conocimiento acumulado sirvió para exportarlo a las colonias holandesas.

El capítulo 6 aborda la explotación de los recursos del país, a través de tres compañías estatales. Principalmente, se explotaron los recursos de gas, sal, hidrocarburos, carbón, rocas industriales y los áridos de construcción.

El capítulo 7, último del libro, trata de las investigaciones geológicas y mineras en las colonias orientales de Asia, especialmente en las Indias holandesas. Se incluyen también las colonias caribeñas.

Un gran libro, de fácil lectura y muy documentado, que es un ejemplo de lo que podrían hacer otros países europeos para conocer mejor la evolución de las Ciencias de la Tierra en nuestro continente.

## Normas de publicación

### Principios generales

- Los artículos deberán ser originales, estar escritos en castellano y no estar publicados en ninguna otra revista.
- El comité editorial revisará los manuscritos y decidirá su publicación o devolución.

### Texto

- Se entregará en un archivo Word, en cualquier tipo y tamaño de letra.
- Para calcular la extensión se informa de que 800 palabras son una página editada de la revista.
- Todas las ilustraciones (mapas, esquemas, fotos o figuras) y tablas serán referenciadas en el texto como (figura...) o (tabla...).
- Las referencias bibliográficas dentro del texto se harán siempre en minúscula.

### Tablas

Toda información tabulada será denominada "tabla" y nunca "cuadro".

### Figuras

- Todas las ilustraciones se considerarán figuras.
- Las figuras se reseñarán dentro del texto como (figura...).
- Es recomendable una o dos figuras por cada 800 palabras de texto.
- El tamaño digital de todas las figuras deberá ser > de 1 mega.
- NO SE ADMITEN ILUSTRACIONES DE INTERNET, salvo casos excepcionales.
- Cada figura se entregará en un archivo independiente.
- Los pies de figura se incluirán en una página independiente dentro del archivo de texto.

### Estructura del artículo

- Los artículos tendrán un título, seguido de un post-título (entradilla, a modo de resumen). De-

trás se pondrá el nombre del autor/es, con la titulación que tenga, y a continuación se incluirán palabras clave (entre tres y cinco).

Al final del artículo podrán incluir agradecimientos.

- El texto general estará dividido en epígrafes, pero NUNCA se comenzará poniendo la palabra "Introducción".

### Bibliografía

Las referencias bibliográficas se reseñarán en minúscula, con sangría francesa, de la siguiente manera:

Barrera, J. L. (2001). El institucionista Francisco Quiroga y Rodríguez (1853-1894), primer catedrático de Cristalografía de Europa. Boletín de la Institución Libre de Enseñanza, (40-41): 99-116.

El nombre del autor presentará primero su apellido, poniendo sólo la inicial en mayúscula, seguido de la inicial del nombre y del año entre paréntesis, separado del título por un punto.

Los titulares de artículos no se pondrán entre comillas ni en cursiva. Los nombres de las revistas y los títulos de libros se pondrán en cursiva.

### Envío

Los manuscritos se remitirán por correo en un CD o por correo electrónico a:  
Tierra & Tecnología, Colegio Oficial de Geólogos:  
C/ Raquel Meller, 7, 28027 Madrid.  
Tel.: + 34 915 532 403  
icog@icog.es

### Copias

Los autores recibirán un PDF y varios ejemplares de la revista completa. Se devolverán los materiales originales.



# ¿Asentamientos? ¿Grietas en las paredes? **URETEK® ES LA SOLUCIÓN**

**LEVANTAMIENTO**

## VENTAJAS

- No invasivo: sin excavaciones ni obras de albañilería
- Económico
- Rápido
- No ensucia y no produce residuos
- Garantizado durante 10 años

# URETEK®

## DEEP INJECTIONS

Método protegido por patente europea, para la consolidación del terreno con inyecciones de resina expansiva Uretek Geoplus® aplicable a todo tipo de estructura:

- Edificios históricos
- Torres
- Naves industriales
- Iglesias
- Viviendas
- Muros de contención
- Piscinas

Apto para todo tipo de suelos, tanto granulares como cohesivos y cualquier tipología de cimentación: zapatas aisladas, zapatas corridas y losas de cimentación construidas con cualquier material.

Visitas y presupuestos gratuitos en toda España\*



**URETEK**  
Soluciones  
Innovadoras S.L.U.

Llamada Gratuita  
**900 80 99 33**

[www.uretek.es](http://www.uretek.es)

\*Para presupuestos en Baleares y Canarias consultar condiciones

PATENTE EUROPEA n. 0.851.064