



Ilustre Colegio  
Oficial  
de Geólogos

# Tierra y Tecnología

REVISTA DE INFORMACIÓN GEOLÓGICA • N° 30 • SEGUNDO SEMESTRE 2006

## Cena de Navidad 2006 con Mercedes Cabrera

- Islas Chafarinas
- Educación ambiental
- El enigmático poliedro de Alberto Durero
- Riesgos naturales y composición musical

# Geólogos cultivando vino

Un grupo de colegiados participa activamente en la elaboración de un estupendo vino en la Ribera del Duero. Este vino ha sido elaborado por iniciativa de José Luis Casado, geólogo y amante del vino de la Ribera que, junto a otros colegiados de Madrid, pretenden incidir en la importancia de la Geología en la calidad de los vinos.

## *La uva*

Tempranillo o tinta del país. Cepas con una edad comprendida entre 20 y 40 años. Altitud media entre 800 y 900 metros.

## *El clima*

El clima de la comarca de la Ribera del Duero es mediterráneo templado, cálido y seco. Es característica la continentalidad determinada por una escasa precipitación media, entre los 400 y los 600 mm anuales, veranos secos e inviernos rigurosos. Enero es el mes más frío con temperatura media inferior a los 3º. El periodo libre de heladas es sólo de cuatro o cinco meses, lo que determina la importancia de la situación de las cepas. Las horas de sol medias anuales son unas 2.300.

## *El suelo*

Suelos arcillosos-calcareos, arcillosos-limosos y en algunas parcelas, importante presencia de cantos rodados, buena textura, medianamente calizos y bajos en contenido de materia orgánica con un pH comprendido entre 7 y 8,5.

## *La geología*

El suelo se encuentra sobre un gran zócalo antiguo arrasado y, en parte, recubierto por sedimentos terciarios, constituidos por capas lenticulares de arenas limosas o arcillosas, destacando la alternancia de capas, tanto de calizas como de margas. Su cuenca ribereña se formó durante el Mioceno, encontrándose en la actualidad en un estado de penillanura, cuyo relieve oscila entre las lomas interfluviales con altitudes de 911 metros y los valles con cotas topográficas situadas entre los 750 y 850 metros.

## *El vino*

- Vista: rojo intenso, con reflejos amoratados.
- Nariz: intenso y elegante, con aromas de frutas pasas y de membrillo. La madera es discreta, solamente presente para aportar delicadas notas de torrefactos.
- Boca: es golosa, redonda, potente y muy sutil. El gusto es de gran complejidad, con mucha personalidad.



**BODEGAS CALVARIO45, C.B.**

C/ Calvario, 45

09391 CASTRILLO DE LA VEGA

(Burgos) – [rutilotinto@telefonica.net](mailto:rutilotinto@telefonica.net)



Edita:

## Ilustre Colegio Oficial de Geólogos

### ADMINISTRACIÓN Y REDACCIÓN

AVDA. DE LA REINA VICTORIA, 8-4º B  
28003 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 Y PRODUCCIONES EDITORIALES, S.A.  
WWW.CYAN.ES  
CYAN@CYAN.ES

ISSN: 1131-5016

DEPOSITO 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 TÉCNICO, 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.

FOTO DE PORTADA: FLYSCH DE ZUMAIA  
AUTOR: JON PAUL LLORDÉS

# Sumario

- 2 • EDITORIAL
- 3 • CENA DE NAVIDAD 2006 CON MERCEDES CABRERA
- 13 • ISLAS CHARAFINAS. LA GEOLOGÍA DE UN ARCHIPIÉLAGO DESEADO POR TODOS
- 31 • LA EDUCACIÓN AMBIENTAL, UNA OPORTUNIDAD PROFESIONAL PARA LOS GEÓLOGOS
- 37 • LOS RIESGOS NATURALES EN LA COMPOSICIÓN MUSICAL
- 44 • EL ICOG EN EL CONAMA 8
- 47 • EL EBRO CAPTURA AL DUERO EN EL NORTE DE BURGOS
- 54 • EL FLYSCH DE ZUMAIA (PAÍS VASCO). CENTRO DE INTERPRETACIÓN ALGORRI
- 60 • EL ENIGMÁTICO POLIEDRO DE ALBERTO DURERO EN 'MELANCOLÍA I'
- 65 • ASEGURANDO LA INFORMACIÓN
- 66 • EL PARQUE NACIONAL DEL TEIDE: CANDIDATO A PATRIMONIO MUNDIAL
- 74 • LA GESTIÓN DE LA RECARGA DE ACUÍFEROS EN ESPAÑA: EL PROYECTO DINA-MAR
- 82 • ¿POR QUÉ INSISTE EL SISTEMA EDUCATIVO ESPAÑOL EN OLVIDAR LA TIERRA?
- 84 • PRESENTACIÓN DE LA REVISTA GEMAS Y MINERALES
- 86 • EL BUSCADOR DE GEMAS
- 88 • FACILITANDO LAS COSAS 2
- 92 • ALBERTO GARRIDO MEGÍAS (1936-2006)
- 94 • EDICIÓN FACSIMIL DE *DE RE METALLICA*
- 96 • DETECCIÓN DE BOCAMINAS ABANDONADAS MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA EN LA SIERRA DE GUADARRAMA, MADRID

# Editorial 2007 declarado Año de la Ciencia

Decíamos, allá por el año 2001, que los científicos debían participar mucho más en la elaboración de las leyes y en los distintos ámbitos de participación social. Y se lo decíamos nada más y nada menos que al actual presidente de Gobierno, José Luis Rodríguez Zapatero, cuando acudió como invitado a nuestra cena de Navidad. En un mundo donde el conocimiento es el motor del desarrollo, la Ciencia es el pilar básico para el cambio.

Pues bien, en España, el año 2007 ha sido declarado el Año de la Ciencia, coincidiendo con el centenario de la Junta de Ampliación de Estudios, precursora del actual Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Se pretende así mejorar el diálogo ciencia-tecnología-sociedad y aumentar las vocaciones científicas que, según los datos de las matriculaciones universitarias, van en descenso. También está entre sus objetivos el potenciar la cultura científica de la sociedad para garantizar la futura competitividad en términos de investigación y desarrollo. Parece que se han dado cuenta de que la ciencia española está algo atascada. Algunos indicadores así parecen señalarlo: desde hace 100 años no hay un premio Nobel español en Ciencias; nuestro presupuesto en investigación está por debajo de la media europea, nuestras universidades se encuentran en puestos muy bajos dentro del *ranking* mundial, los estudiantes que piden estudiar las carreras de Ciencias descienden vertiginosamente y, para colmo, la divulgación científica prácticamente se reduce a los documentales de TV2. Con lo fácil y barato que es hacer divulgación científica.

Ante este panorama tan sombrío, la iniciativa gubernamental para 2007 nos parece estupenda y sincera. Sobre todo si va a estar dirigida por una persona sensata como parece ser la ministra de Educación y Ciencia. Todo estupendo si no fuera porque la Geología sigue considerándose una ciencia menor, cuando no inexistente, en amplios sectores sociales. Sigue siendo muy común que, cuando la población y otros agentes sociales hablan de Ciencias en España, se citen como materias la Química, la Física, las Matemáticas y la Biología. La Geología, ni la conocen. A los hechos me remito. Hace pocas semanas, un columnista del periódico *El País*, escribía sobre la Ciencia y su importancia en el mundo actual. Pues bien, cuando cita las carreras científicas, ¿cuál creen ustedes que falta? No hay que pensar mucho: la Geología. Más grave es aun lo que dice un libro reciente (editado por

Telefónica y de venta en quioscos) sobre todas las posibles titulaciones superiores de España. De la Geología dice más o menos que “los licenciados tienen dos problemas a la hora de encontrar trabajo: la falta de conocimientos prácticos y las escasas perspectivas profesionales. Encuentran empleo como auxiliares administrativos o como peones en la industria”. Los contenidos de Geología en la ESO y Bachillerato han disminuido aunque, todo hay que decirlo, hace pocos días se reunió el Ministerio con los representantes de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, prometiendo estudiar el problema.

Ni siquiera en los nuevos planes de estudios de algunas universidades se contempla la Geología. En este curso 2006-2007, la Universidad Autónoma de Barcelona y la Universidad de Barcelona están impartiendo un Máster en Historia de la Ciencia: Ciencia, Historia y Sociedad, adaptado al Espacio Europeo de Educación Superior y al sistema europeo de reconocimiento y transferencia de créditos (European Credits Transfer System). En el programa se dan solamente las historias de la Química, Física, Biología y Matemáticas. ¿Cuál falta?, la Geología.

Con este panorama, muchos Años de la Ciencia necesita la Geología para elevarla al nivel de las demás ciencias, y no será por la atención que le prestamos desde el Colegio. No se puede decir que el ICOG es ajeno a las intenciones ministeriales. El Colegio de Geólogos ha participado en todas las Semanas de la Ciencia ininterrumpidamente, desde su creación hace seis años, obteniendo magníficos resultados, a decir de los organizadores que, año tras año, nos felicitan por las actividades que organizamos. También difundimos y divulgamos ciencia geológica desde las tertulias del Geoforo o desde la revista *Tierra&Tecnología*.

Si 2007 sirve de verdad para promocionar socialmente la ciencia, bueno será. Pero habrá que trabajarla, y sobre todo, habrá que promocionarlo adecuadamente. Algo falla cuando más de diez millones de ciudadanos —principalmente en edades escolares— visitan los modernos museos de ciencias españoles y, por contra, descienden las vocaciones científicas en las universidades. ¿No sería más rentable para el futuro del país cambiar la cultura del pelotazo inmobiliario por la cultura científica?

# Cena de **Navidad 2006** con Mercedes Cabrera

El pasado 13 de diciembre, el ICOG celebró su cena-coloquio de Navidad 2006, en el restaurante Pedro Larumbe de Madrid. Como viene siendo habitual en los últimos años, la persona invitada fue un alto cargo de la Administración: la ministra de Educación y Ciencia, Mercedes Cabrera. Al acto asistieron 185 personas, entre las que se encontraban tres directores generales del Ministerio de Educación (del IGME, de universidades y de instalaciones deportivas), el rector de la UIMP, Salvador Ordóñez, y varios diputados nacionales. También, entre el personal invitado estaban: el viceconsejero de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid, José Trigueros Rodrigo; la diputada Nacional, Dolores Puig; el secretario general del Consejo de Coordinación Universitaria, Félix García Lausín; el presidente del Colegio de Físicos y de la Fundación CONAMA, Gonzalo Echagüe; el decano de la facultad de Ciencias Geológicas de la UCM, Eumenio Ancochea; la directora de la Escuela de Protección Civil, M<sup>ª</sup> Nieves Sánchez Guitián; el decano del Colegio de Biólogos de la Comunidad de Madrid, Ángel Fernández Impar; el vicepresidente de la Fundación Predena, Fernando Davara; y la presidenta de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, Amelia Calonge.

El motivo de invitar este año a la ministra Mercedes Cabrera estaba en el interés que el Colegio tiene en los diversos temas relacionados con la geología que son competencia de su Ministerio, como: los contenidos geológicos en los programas de la ESO y el Bachillerato, la convergencia de títulos universitarios según la Declaración de Bolonia o el futuro del IGME como agencia. Temas muy importantes para el colectivo de geólogos.



*La Junta de Gobierno y los Consejos de Gobierno con la Ministra. De izquierda a derecha: Alberto Barcenilla, César Casero, Cristina Sapalski, Valeriano Perianes, Ramón Capote, Carlos Martínez Navarrete, Carlos Duch, Luis E. Suárez, Mercedes Cabrera, Roberto Rodríguez, José Luis Barrera, Juan Zubieta, Isabel Gómez, Juan Pablo Pérez Sánchez, Manuel Regueiro, Manuel de Tena-Dávila, José Luis González, Ángel Carbayo, Benito E. Rivera, Miguel Ángel Gómez.*



*La ministra firmando el Libro de Honor.*

La ministra llegó puntualmente, a las 20:45 h, acompañada por su jefa de gabinete, Carmen Balsa, y el director general de Universidades, Javier Vidal García. El presidente del Colegio la

recibió a su llegada y la acompañó hasta el salón donde estaba la Junta de Gobierno y los Consejos de Gobierno de las Delegaciones, para presentárselas.



La mesa presidencial. Desde la ministra, hacia su izquierda: José Luis Barrera, Mario Bedera, José Pedro Calvo, Salvador Ordóñez, Roberto Rodríguez, Javier Vidal y Luis E. Suárez.



Manuel Alía recibiendo la distinción de Colegiado de Honor.



Carlos Hellín recibiendo la distinción de Colegiado de Honor.

Realizada la presentación protocolaria y hecha la foto oficial, se pasó a tomar un cóctel hasta las 21:15 h, en que comenzó la cena. Hay que señalar que el vino que se sirvió en este cóctel es el que este año ha embotellado con su logotipo el Colegio. Es un vino tinto de la Ribera del Duero, con el nombre comercial de *Rutilo*.

Antes de tomar asiento en la mesa, la ministra firmó en el *Libro de Honor del ICOG*, siendo su dedicatoria la que ha estrenado el Libro.

Sentados los asistentes en sus correspondientes mesas —cada una denominada con el nombre de un mineral— el moderador, José Luis Barrera, dio la bienvenida a todos los presentes y presentó la mesa presidencial que estaba compuesta por la ministra de Educación y Ciencia, Mercedes Cabrera; el presidente del ICOG, Luis E. Suárez; el diputado nacional, Mario Bedera; el rector de la UIMP, Salvador Ordóñez; el director general del IGME, José Pedro Calvo; el director general de Universidades, Javier Vidal; el vicepresidente primero del ICOG, José Luis Barrera; y el vicepresidente segundo del ICOG, Luis Roberto Rodríguez. Una vez terminada la presentación, Barrera dio la palabra al presidente del ICOG, Luis E. Suárez, que expuso brevemente, entre otros asuntos, las inquietudes del Colegio ante los retos que se plantea el Ministerio de Educación en el ámbito de la geología. Posteriormente, el moderador presentó a la ministra, destacando los rasgos principales de su educación, formación, actividad profesional y carrera política. A continuación habló la ministra.

Finalizados los discursos, y cuando eran la 22:15 h, se sirvió la cena, que estuvo amenizada por un dúo de violín y arpa. A los postres, se entregaron las distinciones y las titulaciones profesionales concedidas este año por el ICOG.

La cena se desarrolló en un tono cordial, y en ella se establecieron las bases para negociar con el Ministerio los asuntos que más interesan al colectivo de geólogos españoles. Esperemos que nuestras legítimas demandas sean atendidas por este Ministerio al que agradecemos, en la persona de la ministra y de su equipo de colaboradores, su presencia en la cena.

Eran las 00:15 h del día 14 de diciembre cuando la ministra, Mercedes Cabrera, se despidió del Colegio.

### Entrega de distinciones

El secretario del Colegio, Manuel Regueiro, hizo la presentación de las personas distinguidas en el año 2006 por el ICOG, que recibieron de manos de la ministra la distinción: Los distinguidos fueron: Manuel Alía Medina, catedrático de Geodinámica de la UCM y académico de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, distinguido como Colegiado de Honor por su dilatada carrera docente en la UCM y su contribución al desarrollo de la geología del Sahara occidental, especialmente por los estudios conducentes al descubrimiento de los fosfatos; a Carlos Hellín, ex presidente de la Delegación del ICOG en Cataluña, distinguido como Colegiado de Honor por la organización e inicio de las actividades de esa delegación; y a Joaquín Lahoz, ex presidente de la Delegación de Aragón, distinguido como Colegiado de Honor por su dilatada dedicación al frente de la delegación y la defensa entusiasta que siempre ha hecho de la labor profesional del geólogo español.

### Títulos profesionales

Terminada la entrega de distinciones, la presidenta de la Comisión Nacional de Evaluación de Títulos, Cristina Sapalski, presentó la entrega de los títulos. Durante 2006, el ICOG a entregado diecinueve títulos profesionales a ocho colegiados. Sólo cinco de ellos recogieron su título en directo, o estuvieron representados, que les fue entregado por la ministra Mercedes Cabrera: Antonio Laqué Roca (especialista en Ingeniería Geológica y perito Geólogo en Ingeniería Geológica); Cristina Sapalski Roselló (especialista en Gemas y Minerales y perito en Gemas y Minerales); Joan French i Vaca (especialista en Ingeniería Geológica y perito Geólogo en Ingeniería Geológica), representado por el secretario de la Delegación de Cataluña, Ramón Pérez Mir; Ignacio M<sup>a</sup> Ibarbía Illarraz (especialista en Ingeniería Geológica y perito Geólogo en Ingeniería Geológica), representado por Javier Olaizola, y Xavier Serra Castella (especialista en Ingeniería Geológica), representado por Xavier Cuello.



*Joaquín Lahoz recibiendo la distinción de Colegiado de Honor.*



*Cristina Sapalski recibiendo el título de especialista y perito en Gemas y Minerales.*



*Antonio Laqué recibiendo el título de especialista y perito en Ingeniería Geológica.*

# Discurso del presidente del ICOG, Luis E. Suárez

Sra. ministra de Educación y Ciencia, autoridades y personalidades, presidentes y representantes de las delegaciones del ICOG, invitados y colegiados.

Como todos los años, los geólogos españoles y nuestros invitados nos reunimos para celebrar el **tradicional coloquio-cena** con un alto responsable de la Administración.

Es un honor contar con la presencia de D<sup>a</sup>. Mercedes Cabrera, ministra de Educación y Ciencia, y ello posibilite que nos transmita sus propuestas en este foro de profesionales y poder **trasladarle nuestras opiniones en los temas de su competencia**.

En la cena colegial de hace hoy cinco años, tuve la ocasión de presentar a José Luis Rodríguez Zapatero una **propuesta transformadora de los colegios profesionales**, que si se lleva a cabo con un uso eficaz del tiempo político, puede convertirse en una realidad.

En aquella cena, el actual presidente del Gobierno cumplimentaba la hoja de ruta del **desarrollo constitucional de los colegios profesionales**. En su discurso nos transmitía que: "la sociedad española debe de reconocer a los colegios profesionales, como ha ocurrido con los empresarios. Para ello, han de impulsar una mayor actitud de compromiso social, pues son un pilar básico de la vertebración social".

Creo que los colegios profesionales debemos hacer autocrítica. Ha llegado el **momento, de que los Colegios abandonemos trasnochados manuales corporativos**. En definitiva, es necesario un giro de los colegios profesionales hacia la sociedad para merecer su confianza. Para ello, nosotros venimos desarrollando una política profesional transformadora del sistema corporativo, para garantizar el principio constitucional de igualdad de oportunidades, impulsando la libre competencia profesional.

Con este objetivo, la sede central del Colegio ha renovado la **Certificación de Calidad ISO 9001/2000** de los servicios colegiales, y ha establecido un decidido programa de formación en nuevas tecnologías de su personal de gestión y administrativo, por lo que basa hoy la comunicación con más del 90% de sus colegiados por medio del correo electrónico y **la plataforma on line**, mejorando en especial el acceso de colegiados y empresas a **la bolsa de empleo**.

**El visado telemático**, que supone el 60% del visado total de la sede central, y que ya está operativo en las delegaciones de



Luis E. Suárez durante su intervención.

Cataluña y País Vasco, consiguió el segundo puesto en Innovación Tecnológica, por detrás de Radio Televisión Española, en los premios que anualmente entrega la revista *Computing*.

Por último, de acuerdo con el artículo 149 de la Constitución y los Estatutos del ICOG, y siguiendo el modelo anglosajón, desde hace cuatro años el Colegio ha instaurado los títulos profesionales y el título de eurogeólogo, en función de la experiencia profesional y la formación continua impartida en la **Escuela de Geología Profesional**, abierta a todos los hispanohablantes, mediante los cursos de formación *on line*. En el Colegio pensamos, como Gustave Flaubert, que la vida debe ser una continua educación. Cada profesional debe aplicarse a la educación propia hasta el último día de su vida, pensando que no hay maestro que no pueda ser discípulo.

Con toda la experiencia acumulada, **nuestros planes de futuro** irán dirigidos a la mejora y puesta en valor de la plataforma digital, la constitución del Consejo Superior de Colegios de Geólogos y, sobre todo, a dar una respuesta solvente al reto que supondrá la aplicación del Código Técnico de la Edificación (CTE), lo que obligará a los **departamentos de visados a supervisar su cumplimiento**, para lo cual todas las delegaciones del ICOG van a seleccionar, en los próximos cuatro meses, secretarios técnicos, de forma análoga a la sede central.

A partir del 29 de marzo próximo, la aplicación del capítulo Estudio Geotécnico del CTE obligará a los autores de estudios geotécnicos a realizar, visar y ejecutar el proyecto de

reconocimiento del terreno, que incluirá un plan de seguridad, que cumpla con el RD de disposiciones mínimas de seguridad y salud en obras de construcción y, en una segunda fase, realizar el informe geotécnico, **con visados independientes y complementarios, tanto del proyecto de reconocimiento como del informe geotécnico.**

Pero todo no va a ser profesión. También en el Colegio de Geólogos nos preocupamos y nos ocupamos por la acción humanitaria, por lo que hace siete años creamos la **ONG Geólogos del Mundo**, abierta a todos los ciudadanos, con el objetivo de participar activamente en la cooperación internacional.

La ONG cuenta con las cuotas de más de 700 socios, y dispone de la infraestructura de nuestras sedes, aumentada por la transferencia del 1% del presupuesto anual del Colegio. Tengo que expresar la satisfacción por la gestión de la ONG, que ya en este año ha realizado proyectos de abastecimientos de agua en Honduras, El Salvador, Nicaragua y Ecuador, y seis proyectos de prevención de riesgos geológicos en El Salvador y en Nicaragua.

Así mismo, en **educación para el desarrollo**, la ONG "Geólogos del Mundo" ha realizado tres Máster en Geología para la prevención de riesgos naturales, impartidos por profesorado del ICOG, de la Universidad Complutense de Madrid y la Universidad de Barcelona, para responsables de ordenación del territorio de El Salvador, dado que en este país no existe facultad de ciencias geológicas.

En estos momentos, cuando con mucha frecuencia los medios difunden noticias de terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas..., y cuando existe una mayor concienciación ciudadana por el cambio climático y el desarrollo sostenible, creemos que es el momento para que la cultura científica de orden geológico ocupe un lugar preferente en la educación de nuestros jóvenes

**Educación y Ciencia, dos conceptos para la transformación social** que se unen bajo las siglas de un Ministerio. Así, desde la sabiduría china, nos lo transmitió Confucio: donde hay educación, no hay distinción de clases.

Educar a los niños y no será necesario castigar a las personas. Educar es formar a personas aptas para gobernarse a sí mismas, y no para ser gobernadas por otros. En definitiva, educación para la ciudadanía.

Las escuelas son la base de la civilización, aunque, si la queremos preservar, será necesario concienciar a los futuros ciudadanos de la imperiosa necesidad de abordar un desarrollo económico sostenible. En este sentido, tengo que referirme a la situación, que se prolonga desde la promulgación de la LOGSE en 1990, de buen número de colegiados profesores de enseñanza secundaria, que han ido viendo **cómo los contenidos en la disciplina de geología se han ido reduciendo sistemáticamente**, empezando por la supresión de la geología como asignatura de la especialidad en el segundo curso de bachillerato y terminando por la reducción horaria en la ESO.

Esta situación ya ha sido planteada estos años a otros responsables políticos, que siempre nos han comentado que resolverían la misma. Pues bien, en el desarrollo actual de la LOE no se vislumbra que se vaya a abordar esta problemática, sino que hace unos meses han circulado rumores de que nuevamente iba a ser disminuido el currículo de geología en la ESO. En estos momentos, cuando con mucha frecuencia los medios difunden noticias de terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas..., y cuando existe una mayor concienciación ciudadana por el cambio climático y el desarrollo sostenible, creemos que es el momento para que la cultura científica de orden geológico ocupe un lugar preferente en la educación de nuestros jóvenes. Recordemos la niña británica que salvó cientos de vidas del tsunami del Índico en una playa de Tailandia, en diciembre de 2004, por su conocimiento de la dinámica de los tsunamis, aprendido en su escuela.

Esperamos que el Ministerio sea sensible a **este tema, prioritario para nuestro colectivo**, pero muy especialmente para la culturización de los adolescentes españoles. El impulso de la enseñanza de la geología en Secundaria es una excelente oportunidad, dado que 2008 será el año internacional del planeta Tierra (2007-2009), declarado por la UNESCO, siendo el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) quien lidera esa iniciativa en nuestro país desde la Comisión Nacional de Geología.

Aprovecho esta mención para referirme a continuación al IGME, organismo público de investigación, adscrito actualmente al Ministerio de Educación y Ciencia que, como sin duda ya conoce, **es el OPI español más antiguo**. En sus más de 150 años de historia, ha mantenido una actividad permanente de investigación geológica cuyo referente más emblemático es la reciente finalización del Plan MAGNA. Este Plan desarrollado de forma continuada a lo largo de 32 años, ha significado la participación de más de 1.200 geólogos e ingenieros pertenecientes al propio IGME, a 11 universidades, al CSIC y a 25 empresas de ingeniería. Sus resultados, analizados de forma

rigurosa en términos de coste/beneficio, han supuesto unos retornos de más de 2.200 millones de euros a la economía española, multiplicando por algo más de 18 el valor de la inversión, cifrada en 122 millones de euros.

Esta exitosa andadura como servicio geológico, no le ha impedido desarrollar su papel de OPI, como lo demuestra el hecho de ser, por ejemplo, uno de los copartícipes del único proyecto aprobado en ciencias de la tierra del **Plan CONSOLIDER INGENIO 2010, el Proyecto "Topolberia"**, en su primera convocatoria.



En este sentido, queremos expresar que **la anunciada transformación de los OPI adscritos al MEC en agencias, no debería suponer desnaturalizar la identidad del IGME** como institución, con fines y funciones claramente definidos y perfectamente homologable a instituciones equivalentes en más de 60 países, entre ellos todos los desarrollados. No sería, a nuestro juicio razonable, intentar recorrer un camino erróneo, como el que recorrieron hace unos años nuestros vecinos portugueses, que en aras de una supuesta "modernización" de la Administración pública, agruparon diversos organismos públicos de investigación en una superestructura de investigación y tecnología, (INETI). Afortunadamente, el actual Gobierno socialista de Portugal acaba de corregir esa lamentable decisión, haciendo desaparecer el INETI y devolviendo los distintos Laboratorios do Estado (OPI en la acepción portuguesa) a sus ministerios de origen, restituyéndoles su autonomía y sus competencias.

**El ICOG considera acertado modernizar la estructura de organismos** que, como el IGME, deben ser dotados de mecanismos más flexibles de gestión, pero no sería razonable desnaturalizar su perfil o hacerlo desaparecer en instituciones heterogéneas que carezcan de homologación en nuestro entorno

europeo. Apoyamos el **mantenimiento de su doble carácter de servicio geológico y de OPI**, papel que desempeñan exitosamente las instituciones equivalentes de nuestro entorno, como el *US Geological Survey*, el *BGS*, en el Reino Unido, el *BRGM*, en Francia, y de otros países de la Unión Europea, de Canadá, de Australia, de Japón o de la mayor parte de países de Iberoamérica.

Parfraseando a Herbert Spencer, **"la gran meta de la educación no es el conocimiento, sino la acción"**. Al primer inventor pertenece todo el mérito. Toda la historia del progreso humano se puede reducir a la lucha de la ciencia contra la superstición. Bertrand Russell aseveraba que "los científicos se esfuerzan por hacer posible lo imposible. La política por hacer lo posible, imposible". No comparto esa afirmación. La política debe intentar hacer posible, lo necesario para la ciudadanía.

Como presidente de la Comisión de Formación de Unión Profesional (UP) he mantenido reuniones con la ministra de Educación y Ciencia y con su equipo. Debo de reconocer que **el diálogo con el Ministerio es franco y constructivo**, por lo que confío que las propuestas de UP, con las matizaciones que sean necesarias, puedan ser asumidas por el Ministerio en beneficio de los ciudadanos.

**La Comisión de Formación de UP**, que constituye el órgano máximo de representación de los 36 consejos y colegios profesionales españoles, y que representa a más de un millón de profesionales en España, analizó el pasado 3 de octubre el documento de trabajo **La organización de las enseñanzas universitarias en España**, elaborado por el MEC, existiendo consenso en los siguientes puntos:

1. Existe total unanimidad acerca de la **obligatoriedad de que sólo a la finalización de los estudios de Grado se pueda comenzar los estudios de Máster**.
2. **Apoyo casi unánime de que los títulos de Grado tengan 240 créditos ECTS**.
3. Apoyamos la máxima troncalidad prevista en el RD de Grado, **correspondiente al 75% de los créditos ECTS**.
4. Apoyamos que **las disposiciones transitorias de los títulos actualmente vigentes a los nuevos títulos**, se realice mediante experiencia profesional o formación continuada acreditada por un colegio profesional o mediante "pasarelas académicas" de formación universitaria de postgrado.
5. En varios párrafos del referido documento de trabajo, y en las aclaraciones al mismo elaboradas por el MEC, se establece diferentes redacciones acerca las directrices específicas de las profesiones reguladas.

La Directiva 2005/36/CE relativa al reconocimiento de cualificaciones profesionales define textualmente "profesión regulada, como la actividad o conjunto de actividades profesionales cuyo acceso, ejercicio o una de las modalidades

de ejercicio están subordinados de manera directa o indirecta, en virtud de disposiciones legales, reglamentarias o administrativas, a la posesión de determinadas cualificaciones profesionales”.

De acuerdo con los informes jurídicos solicitados, la UP propone que **el concepto de profesión regulada sea el tipificado en esta directiva** con la siguiente redacción jurídica: **“Solamente en los casos de profesiones reguladas**, de acuerdo con la definición establecida en el artículo 3 de la Directiva 2005/36/CE del Parlamento Europeo y Consejo, relativa al reconocimiento de cualificaciones profesionales o las profesiones reguladas por la citada directiva, **los títulos de Grado o Máster estarán establecidos por directrices propias, de acuerdo con las atribuciones y funciones establecidas por el ordenamiento jurídico estatal”**.

Nada hay más difícil ni nada de más dudoso éxito, que la implantación de nuevas instituciones. Pues el introductor tiene como enemigos a cuantos obtuvieron provecho del régimen anterior, y encuentra sólo tímidos defensores entre los favorecidos con el orden nuevo, timidez que nace tanto del miedo a los adversarios como de la incredulidad de las personas, los cuales no se convencen de la bondad de algo nuevo hasta que no lo ven confirmado en la práctica”

Si el objetivo de la reforma universitaria en marcha es la homologación y la comparabilidad en el Espacio Europeo de Enseñanza Superior, pensamos que es políticamente justo y jurídicamente viable **adoptar el concepto de profesión regulada establecido en la referida directiva europea**, lo que nos permitiría alinear la reforma de los títulos universitarios con un concepto moderno de profesión regulada, que mira al

futuro, y no dar carta de naturaleza democrática a atribuciones profesionales exclusivas establecidas por legislaciones preconstitucionales.

Heinrich Heine nos dice que el historiador es un profeta que mira para atrás. Pienso que es necesario conocer la historia de las atribuciones profesionales en España, para con perspectiva de profeta regular el futuro, cimentado en el principio constitucional de igualdad de oportunidades entre todas las profesiones.

**Por ello, Unión Profesional solicita al MEC que valore y acepte nuestras propuestas, dado que apoyan en su conjunto el documento de trabajo *La organización de las enseñanzas universitarias* del MEC**, y sólo se solicita máxima troncabilidad en el grado de las profesiones reguladas, y una tipificación jurídica de profesión regulada de acuerdo con el acervo jurídico comunitario.

Asimismo, solicitamos que se valore con valentía política, la participación de los profesionales, respetando la autonomía universitaria, en la reforma de la LOU, en el Consejo de Universidades, los consejos sociales y la ANECA.

Somos conscientes de **la voluntad transformadora del Gobierno**, aunque la empresa será ardua. Apoyamos la puesta en marcha de los cambios legales y organizativos del Espacio Europeo de Enseñanza Superior, aunque sabemos que la política es el arte más importante y el más difícil.

Por ello, reitero la cita de Nicolás Maquiavelo. “Nada hay más difícil ni nada de más dudoso éxito, que la implantación de nuevas instituciones. Pues el introductor tiene como enemigos a cuantos obtuvieron provecho del régimen anterior, y encuentra sólo tímidos defensores entre los favorecidos con el orden nuevo, timidez que nace tanto del miedo a los adversarios como de la incredulidad de las personas, los cuales no se convencen de la bondad de algo nuevo hasta que no lo ven confirmado en la práctica”.

Nosotros, señora ministra, somos crédulos y convencidos y, si se adopta el concepto de profesión regulada en clave europea, valientes defensores de la reforma educativa del Espacio Europeo de Enseñanza Superior.

Por último, para finalizar, quiero aprovechar estas fechas señaladas para honrar la memoria de los amigos y colegiados que han fallecido este año, y en especial del ex presidente del Colegio Alberto Garrido.

Es mi deseo **felicitar las Pascuas** y desear un próspero 2007 a nuestros invitados y a todos los colegiados, así como reiterar el agradecimiento sincero a la ministra de Educación y Ciencia, por su presencia en este coloquio-cena y agradecer su franca voluntad de colaboración con el colectivo de profesionales españoles.

Muchas gracias por su atención.

# Discurso de la ministra de Educación y Ciencia, Mercedes Cabrera

Es para mí un placer estar hoy aquí con todos ustedes, compartiendo esta cena de Navidad, a la que, en nombre del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, me invitó su presidente Luis Suárez. Invitación que agradezco sinceramente.

Siguiendo lo establecido para estas cenas-coloquio, durante los próximos minutos les voy a hablar sobre algunos de los principios que inspiran la política educativa del Gobierno, y voy a insistir —sobre todo— en dos aspectos: la función de la educación como motor para el desarrollo y nuestra voluntad para conseguir una educación de calidad para todos, y en todos los niveles del sistema educativo.

## La educación como motor del cambio y elemento de cohesión social

El Consejo Europeo de Lisboa, en marzo del año 2000, abogó por el desarrollo de una economía competitiva y dinámica basada en el conocimiento, y apostó por una generalización y extensión de la educación, para la que fijó objetivos muy exigentes. Es en este contexto de una Europa del conocimiento y de un mundo fuertemente globalizado, donde debemos buscar las claves de las políticas educativas.

La formación de capital humano es uno de los factores clave en toda economía para conseguir un incremento sostenido de la productividad. Pero, además, la educación es la vía principal para fortalecer la convivencia democrática y garantizar el respeto a las libertades individuales, así como la solidaridad ciudadana y la cohesión social.

Por todas estas razones, mejorar la calidad de nuestro sistema educativo es y seguirá siendo una de las prioridades de este Gobierno. Y ello se traduce en el fuerte respaldo económico que en el próximo ejercicio recibirá el Ministerio de Educación y Ciencia, cuyo presupuesto se incrementa, en el proyecto de Presupuestos para 2007, en más de un 27% respecto al año anterior.

Hemos dado este salto cualitativo en la financiación de las políticas educativas porque estamos convencidos de que la educación es uno de los pilares del progreso y del desarrollo. Por ello, queremos una educación para todos, no discriminatoria, inclusiva y que promueva la igualdad de oportunidades. Queremos que nuestros jóvenes asuman los valores de una sociedad democrática y se integren plenamente como ciudadanos.



La ministra durante su intervención.

## Una educación de calidad para todos

Por esta razón, el primer artículo de la Ley Orgánica de la Educación (LOE), que entró en vigor el 5 de mayo pasado, incluye entre los principios que la inspiran "la calidad de la educación para todo el mundo, independientemente de sus condiciones y circunstancias".

La LOE proclama que a todos nuestros jóvenes "se les debe garantizar una igualdad efectiva de oportunidades, prestando los apoyos necesarios, tanto al alumnado que lo requiera como a los centros en que están escolarizados", de modo que mejore el nivel educativo de todos, "conciliando la calidad de la educación con la equidad de su reparto".

Apostamos por la calidad de la educación, entendida en términos de adquisiciones culturales sustantivas, de desarrollo de la responsabilidad, de formación de actitudes para la convivencia, de mejora de la igualdad de oportunidades, de preparación de todos para los retos del presente y el futuro previsible. Identificar solamente la calidad con las calificaciones académicas sería tanto como reducir la enseñanza a mera instrucción.

Tanto la OCDE como la UNESCO entienden la calidad como un objetivo de centros educativos y profesores para que sus alumnos

alcancen el máximo de sus posibilidades. Y actúen teniendo en cuenta la atención que debe prestarse a los alumnos más necesitados (la igualdad), la participación y satisfacción de la comunidad educativa (profesores, padres y alumnos) con su centro escolar y la influencia de las escuelas en su entorno más próximo.

Uno de los grandes desafíos pendientes en España es la reducción del número de alumnos que abandona la educación secundaria obligatoria sin lograr una titulación. Los estudios al respecto señalan que el fracaso y el abandono se produce, sobre todo entre adolescentes que provienen de familias con niveles socioeconómicos bajos, lo que suele coincidir con un nivel cultural también modesto de sus padres y madres. Por tanto, si se persigue una real igualdad de oportunidades, los jóvenes con situaciones más desfavorecidas deben contar con refuerzos especiales para evitar que éstas se consoliden.

### Por una universidad de calidad

El Ministerio de Educación y Ciencia también quiere ofrecer a nuestros ciudadanos una universidad de calidad. Nuestra sociedad reclama a la universidad un mayor protagonismo en el desarrollo económico y social. Y no sólo en relación con las actividades formativas, sino también como agente dinamizador de los sistemas de I+D+i, reforzando su relación con el tejido productivo, y abanderando la innovación en las actividades empresariales.

Las universidades son motores del cambio y del crecimiento económico y de ahí que hoy nadie dude que la inversión en educación superior es una de las mejores inversiones que un Estado puede hacer. Y no sólo desde un punto de vista estrictamente económico y laboral, sino también por las ventajas que para los ciudadanos supone disponer de una mente instruida, inteligente y activa.

Nuestra política universitaria debe arbitrar los medios para que las universidades sean más ágiles y flexibles. Flexibilidad y agilidad que son, sin duda, requisitos indispensables para que también puedan responder a los desafíos que implica la construcción del Espacio Europeo de Educación Superior.

Estoy segura de que nuestro sistema universitario, que ya ha demostrado su capacidad para superar los retos y exigencias sociales, será capaz de afrontar un nuevo y urgente desafío: conseguir una universidad de calidad, competitiva no sólo en Europa, sino ante el resto del mundo. Una universidad capaz de cumplir satisfactoriamente su función social y de actuar, no sólo como motor para el avance del conocimiento, sino como motor para el desarrollo social y económico del país.

### Autonomía universitaria y evaluación de la calidad

La reforma de la Ley Orgánica de Universidades, que tramitan en este momento las Cortes, corrige aquellos aspectos más

intervencionistas y restrictivos de la ley, y que son los que están limitando la capacidad de acción de nuestras universidades.

Si otorgamos más autonomía a las universidades es porque confiamos en su capacidad para mejorar la calidad del servicio público de educación superior. Estamos convencidos de que las universidades españolas deben afianzar su propio perfil y atender a sus peculiaridades, y por eso queremos remover los obstáculos que les dificultan el establecimiento de sus propias señas de identidad. Las universidades deben decidir con mayor libertad qué títulos imparten, qué líneas de especialización promueven o con qué instituciones cooperan.

De este modo, las universidades tendrán más oportunidades para reforzar su propia identidad. Esto aumentará la diversificación de nuestro sistema universitario y dará lugar a una sana competencia. Debemos tener en cuenta que la aparición de nuevas disciplinas, de nuevas enseñanzas, es un proceso siempre abierto que ni se puede ni se debe limitar y que está directamente relacionado con la rápida evolución del conocimiento científico y con las nuevas realidades sociales. Las universidades tienen que ser capaces de adaptarse con agilidad, para ofertar las enseñanzas que la sociedad demanda.



Pero un mayor grado de autonomía ha de ir unido, ineludiblemente, a una más efectiva rendición de cuentas ante la sociedad. A través de la formación, de la investigación y de la transferencia del conocimiento, la universidad ofrece un servicio público. Y es obligación de las administraciones velar porque este servicio público sea de calidad.

La evaluación no es un mecanismo de inspección cuya última finalidad sea la sanción y tampoco debe entenderse como un proceso negativo o inquisitorial. Al contrario, es una oportunidad para que nuestras universidades mejoren. La evaluación permite a cada universidad detectar sus puntos débiles, y también aporta información a las administraciones, y a la sociedad en su conjunto, sobre el estado de nuestro sistema universitario.

Por supuesto, la ANECA seguirá desarrollando su actividad de acuerdo con los principios de competencia técnica y científica, independencia y transparencia, en el marco de actuación fijado para estas instituciones en el contexto internacional. Asimismo, seguirá cooperando activamente con las otras agencias autonómicas.

### La investigación y la transferencia de conocimiento a la sociedad

La reforma de la LOU también avanza en una de las líneas esenciales de la política científica europea: el impulso a la investigación en y desde las universidades. En el Ministerio de Educación y Ciencia compartimos las tesis que propone la Estrategia de Lisboa y creemos que las universidades son un motor para el desarrollo económico y social.

El proyecto de ley da un nuevo impulso a la investigación en las universidades y a la transferencia de sus resultados a la sociedad: la capacidad para transferir el conocimiento científico será, en adelante, un mérito reconocido en la evaluación del profesorado. La reforma también propicia que los profesores de nuestras universidades puedan intensificar su trayectoria investigadora a lo largo de su carrera.

Por otra parte, el proyecto facilita la cooperación entre la universidad y el sector productivo, permitiendo la movilidad del personal docente e investigador hacia otros ámbitos a través de excedencias temporales. Y, asimismo, refuerza los lazos entre la investigación universitaria y el entorno productivo del sistema de ciencia y tecnología mediante la creación de institutos mixtos de investigación.

Esta política de fomento de la investigación en las universidades se enmarca en un contexto general de impulso a la I+D+i. Todo país que pretenda alcanzar los estándares de renta por habitante y de bienestar de las zonas más avanzadas del planeta debe promover políticas que favorezcan la generación, difusión y aplicación de nuevo conocimiento. Las ganancias de productividad y de competitividad asociadas a este proceso de innovación tecnológica acaban por tener un impacto directo sobre el potencial de crecimiento de la economía y, finalmente, sobre la calidad de vida de los ciudadanos.

El Gobierno, desde luego, está convencido de esto, y viene mostrando de forma inequívoca su fuerte compromiso, como refleja el aumento sin precedentes de los recursos que ha destinado a la I+D+i. De acuerdo con el proyecto de Presupuestos Generales del Estado, en el año 2007 los fondos destinados a investigación civil se incrementarán un 33%, con lo que duplicaremos en sólo tres años los recursos destinados a esta materia en el año 2004. En estos momentos es difícil encontrar otro país desarrollado cuyo gasto público en investigación esté creciendo a un ritmo tan elevado.

### La reorganización de nuestras enseñanzas universitarias

La transferencia de los resultados de la investigación es un factor esencial para el desarrollo de nuestra economía. Pero, por encima de todo, las empresas —la sociedad en general— necesitan que las universidades formen adecuadamente a sus titulados. Esta es una de las razones que nos ha llevado a proponer una reorganización de las enseñanzas universitarias, y a optar en ella por un Grado de 240 créditos.

El Grado de 240 créditos constituye un título universitario fácilmente reconocible. Permite la combinación de enseñanzas generales con cierto nivel de especialización y con una mayor presencia de enseñanzas prácticas, actividades externas y movilidad. Asimismo, hace posible que un solo título integre enseñanzas variadas, lo cual confiere al Grado suficiente entidad y facilita el acceso al mercado de trabajo de los estudiantes, sin que sea necesario un nivel de formación complementario.

Los estudios de Máster constituirán el segundo ciclo. Su finalidad es mejorar las competencias específicas en algún ámbito profesional o disciplinar, y para ello ofrecerán una formación de alto nivel y especializada, bien en un área concreta del saber, bien en áreas interdisciplinares. Los estudios de Máster oscilarán entre 60 y 120 créditos ECTS, en los que estará incluido todo tipo de aprendizajes con sus correspondientes evaluaciones.

El tercer y último título universitario es el de doctor. El doctorado representa el punto de transición entre el final de los estudios universitarios y el inicio de la carrera investigadora. Por esta razón para nuestra sociedad es muy importante la formación de nuestros doctores, pues influye de un modo exponencial en la generación de nuevos conocimientos.

### Final

En definitiva, y como señalé al principio de mi discurso, conseguir una educación de calidad para todos los ciudadanos es uno de los objetivos prioritarios de este Gobierno. Por eso, desde el Ministerio de Educación y Ciencia estamos impulsando proyectos y programas dirigidos a mejorar la calidad del sistema educativo en todos sus niveles. Y esto es así porque estamos convencidos de que una educación de calidad es un motor para el desarrollo, así como un factor esencial para la construcción de una ciudadanía democrática.

Luchamos por una educación para todos, no discriminatoria y que impulse la igualdad de oportunidades. Una educación adecuada a una sociedad en permanente estado de transformación y que, en un contexto caracterizado por la globalización, responda a los retos que plantea el raudo e imparable avance del conocimiento.

Muchas gracias.

# Islas Chafarinas

## La geología de un archipiélago deseado por todos

Los tres islotes que componen al archipiélago de Chafarinas (Congreso, Isabel II y Rey Francisco) constituyen los restos erosivos de un macizo volcánico mio-plioceno. Este territorio, disputado por franceses y españoles en el siglo XIX, ha sido el último en cartografiarse por el IGME, dentro del Plan MAGNA, lo que supone para Chafarinas un hecho histórico que se añade a su ya particular historia como posesión española en el Mediterráneo. Dependen administrativamente del Ministerio de Defensa que ejerce su labor de vigilancia sobre la plaza militar, y además decide el número y época de visitas.

**TEXTO** | José Luis Barrera, geólogo (biotita@arrakis.es); Antonio Pineda, geólogo (apineda@eptisa.es)

**FOTOS** | José Luis Barrera, Antonio Pineda

Palabras clave

**Chafarinas, vulcanismo neógeno, Melilla**

Desde el año 1848, las islas Chafarinas pasaron a ser de dominio español, tras haber sido utilizadas durante largo tiempo como apostadero por piratas y refugio de navegantes. A partir de esa fecha, fueron utilizadas como prisión de políticos y militares desterrados, entre los que se encontraban varios independentistas cubanos.

Poco a poco se llegaron a convertir en una verdadera población de más de mil personas, con iglesia propia que registraba nacimientos, matrimonios y defunciones. Actualmente sólo quedan algunas edificaciones abandonadas u ocupadas por militares, y otras tantas en ruinas. Un destacamento militar del Grupo de Regulares de Melilla, compuesto por unas 30 personas al mando de un teniente, permanece de manera constante en la isla de Isabel II.

De las islas Chafarinas muchas personas lo desconocen casi todo, como que, por sólo seis días de diferencia, son de dominio español y no francés. Cuando se les pregunta por ellas, lo más que llegan a decir es que están en África —no suelen saber su posición exacta— y que hay una película que se llama *Morirás en Chafarinas*. También aciertan a decir algunos que allí había una foca monje llamada *Peluso* que desapareció y nunca más se supo de ella. Los más estudiosos



Figura 1. Iglesia de la Purísima Concepción en la isla de Isabel II.

en temas de biodiversidad llegan incluso a decir que en Chafarinas hay una de las pocas colonias mediterráneas de gaviotas de pico rojo, la *gaviota de Audouin*.

La realización de la cartografía geológica de las islas, a escala 1:10.000 (Pineda, 2003), pone de manifiesto que los tres

islotes debieron ser un solo macizo volcánico en su origen, pero la erosión posterior y los cambios en el nivel del mar, las configuraron como se encuentran actualmente.

A pesar del interés que hay por la biodiversidad de las islas, muy poco se

conocía de su geología. Por esa razón, la intención de este artículo es la de comunicar al público las características tan singulares que tiene este pequeño archipiélago, tanto desde el punto de vista geográfico como geológico. Igualmente se plantea la pregunta lógica en este contexto geográfico: ¿este macizo volcánico estuvo unido al continente, o surgieron en la plataforma marina?

Pero Chafarinas es algo más que geología y biología, pues al interés medioambiental se unen otros aspectos culturales como: el yacimiento neolítico de hace 4.500 años a.C., existente en la isla del Congreso, y una de las iglesias más antiguas del norte de África (figura 1), construida entre 1851 y 1853, en la isla de Isabel II.

### Situación y rasgos geográficos

Las islas Chafarinas constituyen un pequeño archipiélago con una superficie total de 0,75 kilómetros cuadrados, que se localizan en la parte suroccidental del mar de Alborán. Toman su nombre del término árabe Xafarin (que denomina, de forma general, a delincuentes y criminales, ya que las islas sirvieron como refugio de piratas y malhechores antes de la llegada de los españoles). Los franceses las llamaron Zaffarines, o Djaferin, en lengua tamazigh (bereber). En diferentes cartas figuran con otros diversos nombres como: Yezirat Meluia, Yezirat Quebdan, Shaffarin, Yasfárin, Zafarin, Quebdana, Farines, Chiafarina, Aljafarinas o islas de Maluía.

Chafarinas son tres abruptos islotes de naturaleza volcánica situados entre los paralelos 35° 10' y 35° 11' de latitud norte, y los 2° 24' y 2° 27' de longitud oeste,



Figura 2. Vista aérea de la isla del Congreso (Fuente: GEORAMA).



Figura 3. Vista aérea de la isla de Isabel II (Fuente: GEORAMA).

denominados, de oeste a este, Congreso (Tenenfa para los rifeños), Isabel II (roca Kibdana, para los rifeños) y Rey Francisco (figuras 2, 3 y 4), los mismos nombres que se les dio en el momento de la ocupación. Solamente hay construcciones en la isla de

Isabel II que es, además, la única que tiene un puerto de atraque para barcos medianos y pequeños (figura 5).

El archipiélago se encuentra a 48 kilómetros al este de Melilla, a 3,2 kilómetros de la

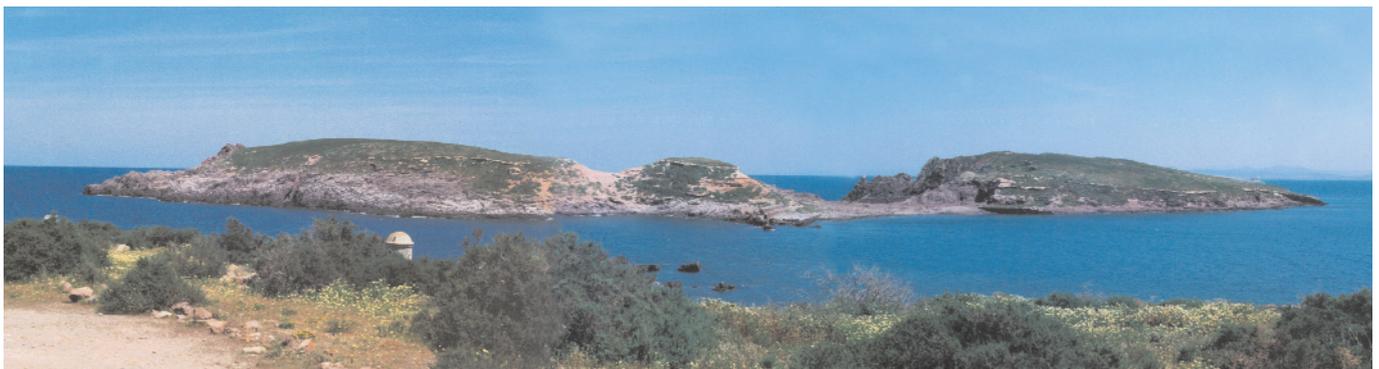


Figura 4. Panorámica de la isla Rey Francisco desde la isla de Isabel II.



Figura 5. Vista del puerto de Isabel II y puerta de entrada al recinto habitado.

costa este de Marruecos, enfrente del Cabo de Agua (*Ras el Maa*) (figura 6), y a 11 kilómetros al NO de la desembocadura del río Muluya, muy próxima a la frontera entre Marruecos y Argelia. Los terrenos son de titularidad pública y, desde 1982 (Real Decreto 1115/1982, de 17 de abril), constituyen el Refugio Nacional de Caza de las Islas Chafarinas.

Según los datos batimétricos, estos islotes se encuentran en el borde de una amplia plataforma marina de poca profundidad (entre 10-15 m), en la que existe un promontorio muy marcado en la parte norte del canal entre Congreso e Isabel II, denominado La Lajita, que son los restos submarinos de otro relieve volcánico situado actualmente a tan sólo 4 metros de profundidad. La disposición de las curvas batimétricas muestra que la isla del Congreso y La Lajita constituyen una unidad morfológica, y las islas de Isabel II y Rey, otra distinta. El canal entre ambas unidades se presenta con profundidades progresivamente crecientes hacia el norte, como si fuera un antiguo valle fluvial sumergido.

En el límite norte de la plataforma marina, las paredes rocosas descienden verticalmente desde los 12 hasta los 50 m. Los freus o canales que separan los islotes tienen una profundidad escasa (25 m entre Congreso e Isabel II, y 10 m entre Isabel II y el Rey), lo que sugiere que todo el conjunto constituye un gran macizo volcánico. Las corrientes marinas costeras que se desplazan en sentido oeste arrastran, desde la proximidad del río Muluya, una gran

cantidad de sedimentos a los fondos chafarinos, habiendo sido los responsables de la creación del fondo de fango hoy existente. La intensa acción marina ha deteriorado mucho la forma original de los relieves volcánicos, reduciendo sustancialmente la superficie original, sobre todo en la isla del Congreso.

Debido a su condición de aislamiento y su configuración rocosa, es uno de los lugares preferidos por ciertas especies de aves consideradas, hasta hace poco, en peligro de extinción: la pardela cenicienta (*Calonectris diomedea*), el águila pescadora (*Pandion haliaetus*), el ave rapaz con mayor peligro de desaparición de todo el territorio español dada su extrema sensibilidad a la presencia humana, y la gaviota de Audouin o de pico rojo (*Larus audouinii*). Por estas circunstancias, en 1989, se le designó Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA).



Figura 6. Vista aérea de Cabo de Agua en la costa marroquí, con las islas Chafarinas en su prolongación (fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Islas\\_Chafarinas](http://es.wikipedia.org/wiki/Islas_Chafarinas)).

El clima es de tipo mediterráneo con una temperatura media anual de 16°C y una precipitación anual de 300 mm. Este carácter árido, la influencia del mar y los vientos hacen que no existan árboles más que los plantados por el hombre, siendo su vegetación dominante la formada por matorrales adaptados a estas condiciones y vegetación herbácea.

En las tres islas existen multitud de pequeñas fortificaciones y casamatas (figura 7), así como dos viejos cañones de artillería de costa Ordóñez, emplazados en la isla de Isabel II, que recuerdan el pasado fortificado de estas islas.

Llegar actualmente a las islas tiene su dificultad. La autorización del viaje la tiene que conceder el Ministerio de Defensa y, una vez concedida, es el organismo autónomo Parques Nacionales el que realiza el traslado en su barco (figura 8). Ya en las islas, hay varios lugares para alojarse de manera sencilla: el más común, si no está completo, es la estación biológica que tiene Parques Nacionales en la isla de Isabel II (figura 9); también está disponible, ocasionalmente, las habitaciones del faro y, por último, algún pequeño espacio del resto de edificaciones que hay allí.

### Su pequeña gran historia

Las Chafarinas es un archipiélago que, por su localización tan estratégica, nunca ha pasado desapercibido para ninguna de las

importantes civilizaciones que colonizaron el Mediterráneo. Aparece representado en varios planos que incluían la ciudad de Melilla, prácticamente desde su conquista en 1497.

### Los romanos ya las conocían

Probablemente, las islas Chafarinas son las "Ad tres Insulae" del itinerario romano del siglo III d.C., *Itinerarium Antonini*. Los romanos daban el nombre de Itinerarium a las descripciones de las carreteras y caminos de su Imperio. En estas descripciones figuraba la lista de poblaciones que debían atravesarse, la duración del trayecto, y las mansiones o lugares en los que el viajero podía detenerse y encontrar alojamiento. El *Itinerarium Antonini Augusti* es uno de los más famosos y, a pesar de su nombre, no parece tener relación con el emperador Antonino Pío sino más bien con Marco Aurelio Antonino, conocido por Caracalla, que gobernó Roma del 211 al 217, y en cuyo tiempo se empezó a compilar dicho itinerario.

Los árabes las denominaron *Yesirat Muluya* (islas de Muluya, en referencia a su cercanía al río del mismo nombre) para posteriormente llamarlas *Yesirat Quebdana* (islas de Quebdana).

Los españoles conocíamos su existencia desde hacía siglos, pero hubo que esperar hasta 1743 para que fueran reconocidas oficialmente por el general de la Armada, marqués de la Victoria, al mando del navío *San Fernando*. Poco años después, en 1786, el almirante Vicente Tofiño efectuó trabajos cartográficos en la costa africana.

Las islas fueron siempre un importante refugio de navíos cuando los temporales, tanto de levante como de poniente, azotaban las costas norteafricanas. En Chafarinas se refugió la escuadra española durante el asedio de Melilla de 1774-1775 por el sultán marroquí Muley Mohamed. Sin embargo, a pesar de ser conocidas desde la antigüedad, permanecieron como *res nullius* (tierra de nadie) hasta la toma de posesión española ocurrida a mediados del siglo XIX.

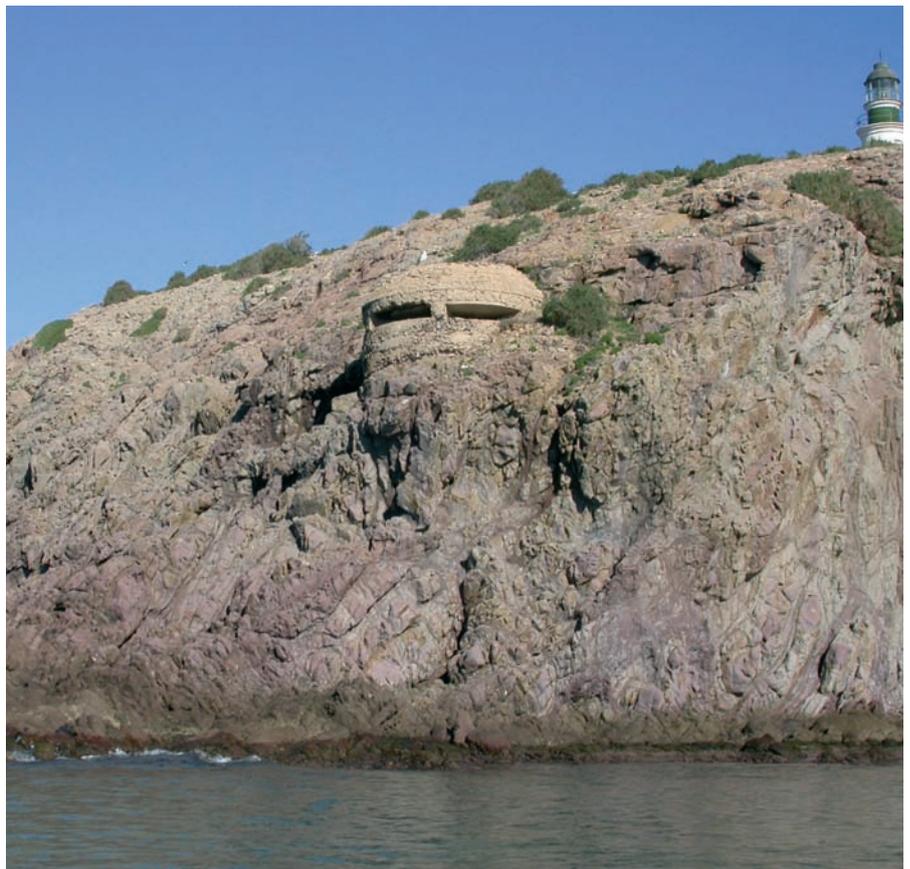


Figura 7. Casamata en la costa oeste de la isla de Isabel II.



Figura 8. El barco Zafarin, de Parques Nacionales, trasladando a los técnicos de Melilla a Chafarinas. Sentado, con gorra blanca, Angel Martín-Serrano; de pie y con niqui amarillo, José Luis Barrera; de pie y con niqui rosa, Roberto Rodríguez.

### El Gobierno español ordena tomar posesión de Chafarinas, en 1847

Ante la política expansionista colonial de Francia en el norte de África, en la década de los años treinta del siglo XIX, concretamente en la zona de la Argelia actual, el Gobierno español decidió

reforzar su presencia en esta zona. En el verano de 1831, los franceses ocuparon el enclave de Orán, hasta entonces en poder de los turcos, y construyeron un moderno puerto y una base naval desde la que comenzaron su expansión hacia el oeste. Este hecho hizo que la opinión pública española manifestara la necesidad de que



Figura 9. Casa de la estación biológica de Parques Nacionales en la isla de Isabel II, donde se alojan los visitantes.

España guardara las puertas de África, afianzando nuestra soberanía sobre las plazas norteafricanas de Ceuta y Melilla. Chafarinas constituía un buen refugio y fondeadero para los barcos, sin peligro de que las anclas fallaran fácilmente, además de ser un lugar estratégico para la vigilancia del estrecho y de la zona argelina. También se consideraba en aquella época que podría ser una plaza principal de la influencia española en Marruecos y un puerto militar avanzado de la plaza de Melilla. Esas fueron las razones políticas y estratégicas por las que el Gobierno español decidió la ocupación de Chafarinas.

Los primeros reconocimientos militares con el propósito de ocuparlas se realizaron en 1844 por el capitán Luis Hernández Pinzón y, al año siguiente, por el brigadier de ingenieros Miguel de Santillana. En 1845, el Gobierno solicitó información sobre la propiedad de las islas a la Real Academia de la Historia. En base a estas informaciones y tras las noticias que llegaron al Gobierno, a través de un espía, de que los franceses pretendían ocupar las Chafarinas. El 26 de junio de 1847 se dio la orden al general Francisco Serrano para que hiciera los preparativos y las ocupara lo antes posible, anticipándose a las intenciones

de los franceses. Se trataba de poner límite a la expansión del territorio argelino hacia el oeste, y que una potencia europea frenase la política expansionista de Francia en el norte de África. En aquellos momentos, España estaba regida por la joven reina Isabel II (tenía 18 años), vivía en pleno romanticismo literario y político, y Narváez presidía el Consejo de Ministros.

En los informes oficiales de la época (SGE, 1848) se decía, entre otras cosas, que “por algunas señales que se advierten en las hendiduras de las piedras hay probabilidades de encontrar agua potable”. Esa suposición resultó ser falsa pues en ninguno de los islotes hay agua. También, como una intención prioritaria estaba la de cerrar con espigones los dos freus que hay entre las islas para proteger aún más la rada sur de las mismas y favorecer la comunicación entre ellas. En la figura 10 se puede ver el mapa con una parte de ese proyecto que se pretendió llevar a cabo, unos años más tarde de la toma de posesión (CGE).

Esta no fue la primera vez que un Estado pretendía ocupar las Chafarinas. Ya en 1777, la joven república americana, durante las negociaciones para la independencia americana sostenidas en

París, y a instancia del gobierno francés —concretamente del barón de Rullecourt— se planteó tomar las islas y construir una base naval, con la ayuda de Francia. Rullecourt fue autorizado para fortificar y defender las islas, y para levantar y luchar bajo la bandera americana. Él y sus oficiales deberían nacionalizarse americanos. Al final, el plan no se llevó a cabo.

### *El general Serrano ocupa Chafarinas, en 1848*

El gobernador de la plaza de Melilla, el 22 de noviembre de 1847, dio parte de que el vapor de guerra francés *Veloz* había estado en Chafarinas y que, según noticias que le llegaban, el Gobierno francés pretendía contratarlas al emperador de Marruecos. Rápidamente, el Gobierno español, por R.O. de 10 de diciembre de 1847, dispuso que fueran ocupadas las islas y puso a disposición del capitán general de Granada dos vapores de guerra, un escuadrón de Caballería, un batallón de Infantería y otro fijo de Ceuta. También se sumaron otro vapor, un Pailebot<sup>1</sup> y un falucho de guerra; una batería de montaña, los confinados de oficio que hubiese en las cárceles de Granada y Málaga, una compañía del regimiento de Ingenieros y dos *blokaus*. El carácter activo y enérgico de Serrano le llevó a organizar rápidamente la expedición y, sin esperar mucho tiempo, salió de Granada hacia Málaga el 19 de diciembre llegando al puerto el 21. En la madrugada del 4 de enero de 1848, el general Francisco Serrano y Domínguez (figura 11), de 38 años, siendo capitán general de Granada, zarpó del puerto de Málaga con una escuadrilla de barcos de guerra formada por el *Piles*, *Vulcano*, *Isabel II* y *Flecha*, a la que le acompañaba un convoy de transportes con 550 hombres de desembarco, así como fuerzas de artillería e ingenieros, material de fortificación, municiones, agua y víveres. La noche del día 5, después de una travesía difícil por el temporal, la expedición se reorganizó en Melilla y, a las 9 horas del 6 de enero de 1848, Serrano desembarcó en Chafarinas

<sup>1</sup> El nombre del “Pailebot” viene del inglés *pilot boat*, es decir, de las famosas goletas francas americanas.

tomando posesión de las islas en nombre de la Reina Isabel II, pocos días antes de que lo intentara el almirante francés Muchez, procedente de Orán. Todo el desembarco de material se hizo muy penoso debido a los temporales que azotaron la zona durante varios días. El mal tiempo era de tal magnitud que una mañana aparecieron nevadas las cumbres de la costa marroquí. Pasados varios días, y después de comprobar que las islas estaban bien guarnecidas, Serrano las dejó bajo el mando de un gobernador, el coronel de carabineros don Vicente Llardulla, que dependía del de Melilla, y regresó a Málaga.

La ocupación supuso un nuevo enfrentamiento diplomático, al que se fueron sumando, en los años posteriores, los permanentes ataques de los marroquíes a las posesiones españolas de Ceuta y Melilla. Esta situación desembocó en la guerra entre España y Marruecos, de 1860, que terminó con la victoria española

en Wad-Ras y la firma de la paz de Tetuán, el 26 de abril, por la que se ampliaban los términos jurisdiccionales de las posesiones españolas en territorio norte-africano, sobre todo en Melilla. Ese debió ser el momento en que el Gobierno decidió la construcción del puerto de Chafarinas, tal y como figura en el proyecto de la *figura 10*.

### Las Chafarinas en el siglo XX

A principios del siglo XX, Chafarinas también pasó a la historia por ser el objeto de estudio de la primera tesis doctoral leída sobre el medio natural africano. Luis Descansa Casares, farmacéutico militar destinado en el hospital de Chafarinas, entre septiembre de 1900 y 1901, herborizó el material necesario para defender su tesis en la Universidad Central (Madrid).

Igualmente, desde principios de siglo, el archipiélago continuó siendo refugio de barcos ante los temporales del Mediterráneo.

Así, el 7 de marzo de 1905, en plena guerra ruso-japonesa, la 2ª Escuadra rusa del Pacífico se presentó, en medio de un fortísimo temporal de Levante, en las islas Chafarinas para refugiarse. La escuadra, con averías en varios de sus buques, estaba compuesta por un acorazado (buque Insignia),



Figura 11. Retrato del general Francisco Serrano.



Figura 10. Mapa con el proyecto para la formación de un puerto en las islas Chafarinas. Año 1860/80 (Fuente: España. Ministerio de Defensa. Archivo cartográfico y de Estudios Geográficos del Centro Geográfico del Ejército).



Figura 12. Cantera abierta en la costa este de la isla de Isabel II que suministró de material para la construcción del puerto y el dique.



Figura 13. Restos del dique de unión entre las islas de Isabel II y Rey Francisco. Al fondo, la isla de Rey Francisco.



Figura 14. Fotografía del geólogo Salvador Calderón.

un crucero acorazado y tres acorazados costeros, a los que acompañaban cuatro transportes de tropas, tres buques carboneros y cuatro contratorpederos. Como quiera que España permanecía neutral en este conflicto, a pesar de la amistad personal entre el rey Alfonso XIII y el zar ruso, el ayudante de marina de las islas comunicó al buque Insignia que, según la legislación internacional vigente, no podrían estar más de veinticuatro horas en el puerto, bajo amenaza de ser internados. El almirante Niebogotov solicitó la ampliación de ese plazo para poder reparar con seguridad las averías, concediéndosele ocho horas más. A las 20 horas del día 8, salía la escuadra rusa rumbo al canal de Suez.

Semanas más tarde, los japoneses vencieron a los rusos y hundieron varios de sus buques.

Desde finales del siglo XIX se proyectó la unión de la isla de Rey Francisco con la de Isabel II a través de un dique —como se puede comprobar en el proyecto de 1860 (figura 10)—. La construcción se inició en 1893 por los ingenieros militares aunque lo terminaron los civiles.

Algunos detalles de la construcción del puerto de Chafarinas los conocemos a través del ingeniero Becerra Fernández (1907 y 1911). El pequeño puerto y dique de unión entre Isabel II y la isla del Rey lo proyectó Becerra (el mismo que construyó el puerto de Melilla), en 1905, terminándose en 1911. El principal problema para su construcción fue la escasez de recursos económicos (crisis de 1898) a los que debía adaptarse la obra sin perder de vista las dificultades técnicas del lugar (temporales, etc.). La primera subasta para la construcción del puerto se realizó en enero de 1906, quedando desierta. Hasta septiembre de 1906, no se contrataron las obras civiles, junto con las del puerto de Melilla, a la Compañía Transatlántica, que no logró terminarlas. Previamente, en enero de 1906, la obra se empezó por Administración, desplazándose 53 obreros con dos capatazas a la isla de Isabel II, para comenzar el desbroce de la cantera de roca, en la costa este (figura 12). En abril de ese año, los obreros llegaron casi a 100 y se comenzó la construcción del dique del NE. La arena se sacó de playa Larga, en el sur de la isla del Congreso, por ser la única de todo el archipiélago que presentaba ese material. Para la obtención de la cal no se utilizaron las costras calcáreas de las islas, por ser poca la cantidad, sino que se trajo directamente de Melilla. A partir de abril de 1911, la construcción se terminó por Administración, al rescindirse el contrato con la Compañía Transmediterránea. El dique entre Isabel II y la isla del Rey duró poco tiempo ya que fue destruido por un temporal el 12 de marzo de 1914 y, desde entonces, no se ha vuelto a reconstruir (figura 13).

La isla de Isabel II llegó a albergar una importante población (poco más de 1.000 personas), y durante las guerras de Marruecos, a comienzos del siglo XX,

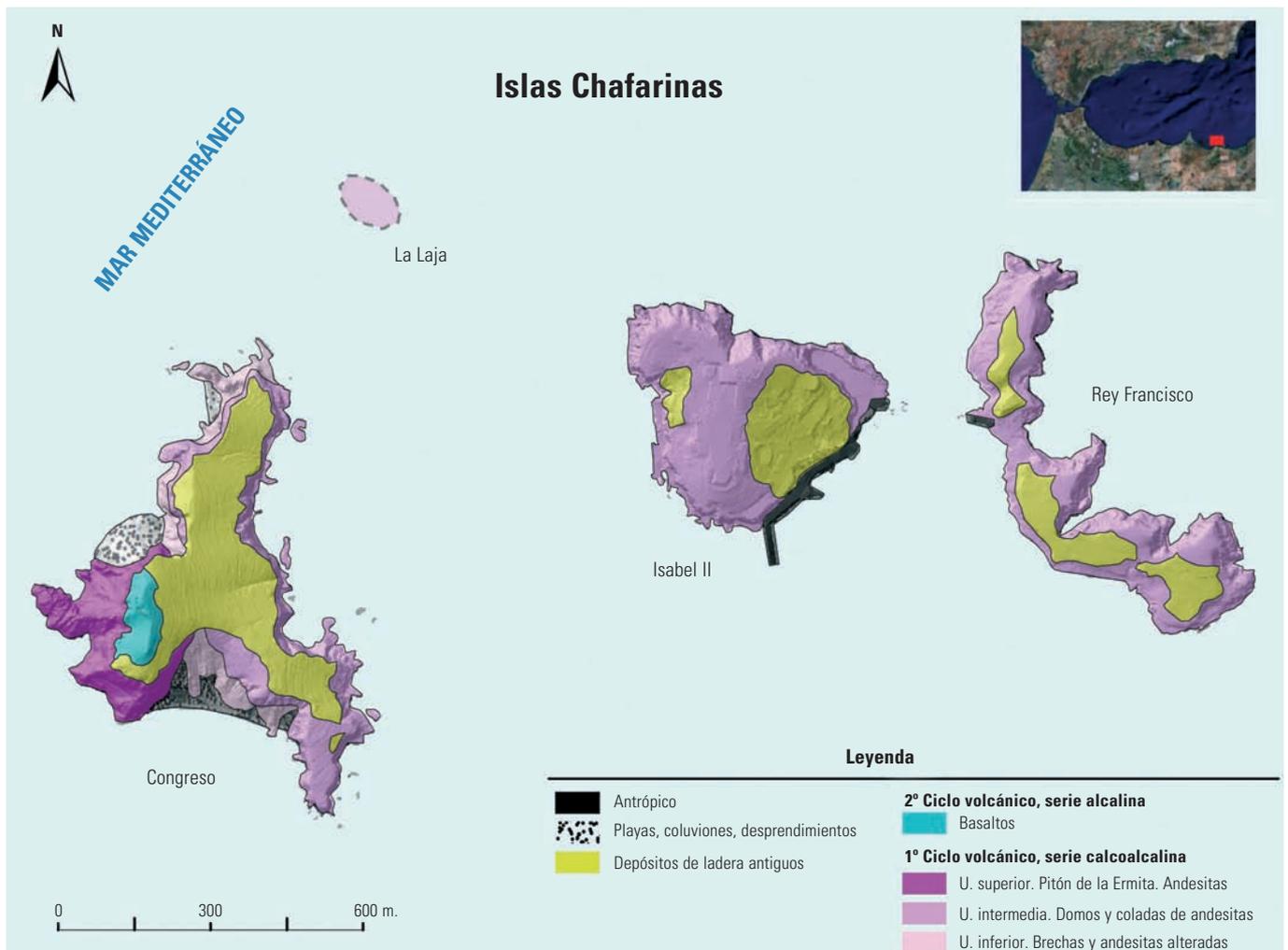


Figura 15. Mapa geológico de las islas Chafarinas (adaptado de Pineda, 2003).

servió de hospital para los heridos de las campañas del Rif así como prisión para los rebeldes de las cabilas rifeñas. Con el fin del Protectorado, en 1956, la población fue decreciendo paulatinamente.

En la década de los ochenta, la guarnición militar de la isla fue numerosa, llegando a trasladar hasta una compañía entera, llevándose los oficiales sus mujeres e hijos, para los cuales existían dos escuelas y toda clase de servicios.

Las islas nunca han tenido agua dulce y el suministro se hace actualmente mediante buques aljibe de la Armada. La electricidad proviene de generadores.

#### La historia de los estudios geológicos de Chafarinas

Han sido escasos los estudios geológicos realizados en las islas Chafarinas desde su toma de posesión hasta la actualidad.

Su lejanía, dificultad de traslado y la difícil logística local han impedido históricamente el estudio sistemático de su pequeño territorio.

#### Las primeras informaciones geológicas

Las primeras informaciones geológicas sobre las Chafarinas se deben al geólogo francés Charles Vélain (1845-1925) que las publicó en 1874. Fueron el resultado de un viaje que realizó por la costa norteafricana, entre el cabo de Agua (Marruecos) y el cabo Negro (Túnez), formando parte del equipo de científicos que participó en la campaña hidrográfica por el norte de África del barco francés *Narval*, al mando del almirante Mouchez. Este almirante había solicitado la presencia de un geólogo en su equipo científico y Vélain fue recomendado por el naturalista Lacaze-Duthiers (sucesor de Cuvier en la cátedra de París), Herbert y G. A. Daubrée (geólogo).

De oeste a este, Vélain hizo observaciones en los islotes de Chafarinas, Rachgoun, Habibas, La Plana, las tres en Argelia, y La Galita, en Túnez. Mouchez tenía el encargo del Ministerio de Marina francés de realizar la hidrografía de las costas argelinas, y había requerido llevar a bordo a un geólogo que pudiera completar los estudios geológicos de la línea de costa. Para Vélain, las Chafarinas estaban formadas esencialmente por *traquita granitoide de color violáceo, con grandes cristales hexagonales de mica bronceada*, que está cubierta por un travertino. Estas primeras observaciones se hicieron sin estudios petrográficos, por lo que la descripción litológica fue sólo aproximada. Lo que llamó *traquita granitoide* es la andesita biotítica alterada que es la roca dominante en las islas.

En el año 1894, el geólogo español Salvador Calderón (figura 14), en su



Figura 16. Venas silíceas cortando a las andesitas.

calidad de experto en petrografía, recibe unas muestras de las islas que le envía el farmacéutico militar destinado en ellas, Miguel Iborra, con el fin de que las estudie microscópicamente. Este fue el primer estudio petrográfico que se hizo de las rocas del archipiélago. Calderón da una clasificación petrológica que se aproximó mucho a la actual, aunque no estableció ningún tipo de cronoestratigrafía, ya que resulta bastante difícil poder hacerla sin haber ido el campo. Petrográficamente distingue cuatro tipos de rocas volcánicas: andesitas compactas oscuras, andesitas compactas rojizas, escorias y tobas. También menciona la existencia de capas de calizas compacta en Isabel II y la isla del Rey, que las supone, erróneamente, de origen marino. Su mayor acierto fue afirmar que la litología volcánica de las Chafarinas era similar a la que había en el SE español, y que su vulcanismo pertenecía a las erupciones desarrolladas en la zona de plegamiento que rodea, de manera casi continua, la cuenca del Mediterráneo. Sin embargo, el hecho de no existir bombas o lapillis en todo el archipiélago y la existencia de "sus" calizas marinas le llevó a concluir equivocadamente que las islas eran de origen submarino.

### Los estudios en el siglo XX

A principios de julio de 1905, las Chafarinas reciben, durante ocho días, al primer geólogo español que pisa su suelo: Lucas Fernández Navarro (1869-1930), catedrático de Cristalografía de la Universidad Central. Fernández Navarro las visitó en viaje de estudios dentro de una expedición más

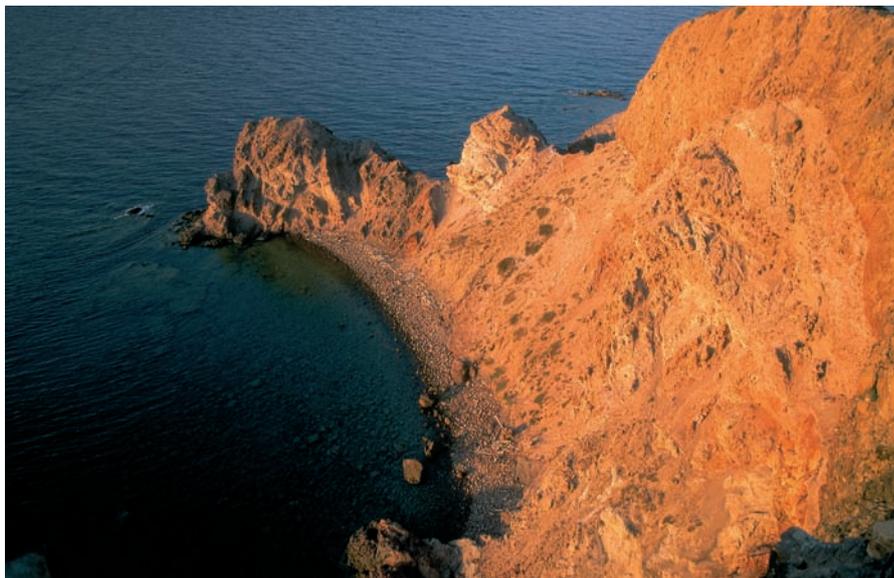


Figura 17. Panorámica de la costa acantilada oeste de isla del Congreso, en la playa de la Sangre (Fuente: GEORAMA).



Figura 18. Panorámica de la costa acantilada en la punta del faro de la isla del Congreso. La parte alta corresponde con un manto de andesitas de la unidad superior (Fuente: GEORAMA).

amplia por las posesiones españolas del norte de África. El resultado de esa expedición fue publicado tres años más tarde en las Memorias de la RSEHN (Fernández Navarro, 1908), con importantes avances petrológicos y estructurales sobre las observaciones realizadas por Calderón. En la cima de la isla del Congreso, menciona por primera vez la existencia de basaltos. En la cantera de Isabel II reconoce que la isla está compuesta casi exclusivamente por una andesita rojiza. Entre sus observaciones también menciona una red póstuma de pequeñas venas silíceas  $\pm$  carbonatos (calcita, ankerita y psilomelana) y óxidos de Fe-Mn que atraviesan sólo las andesitas. Uno de sus aciertos está en definir a la isla del Rey como un domo volcánico. También

reconoció en las islas tres niveles volcánicos: uno inferior, compuesto por andesitas sin mica; un segundo de andesitas azuladas (en estado fresco) micáceo-anfibólicas, y un nivel superior de basaltos. Observó también que, en las partes altas de Isabel II y el Rey, la serie volcánica estaba cubierta por un travertino calizo. En contra de la opinión de Calderón, consideró, muy acertadamente, que las Chafarinas no eran de origen submarino sino un resto erosivo de un macizo volcánico de importancia mucho mayor.

En la primera mitad de 1921, el interés minero en la zona del protectorado español de Marruecos, principalmente en la zona de Melilla donde la Compañía Española de Minas del Rif explotaba los

yacimientos de hierro, era muy alto. En este contexto, el ingeniero de minas Agustín Marín viaja a Chafarinas y recolecta muestras volcánicas de los tres islotes, dentro de los estudios geológicos que hacía en el protectorado español la Comisión de Estudios Geológicos de Marruecos (Marín, 1921). Sorprende de este autor que no cite, en los antecedentes geológicos, el buen trabajo del geólogo Fernández Navarro y considere sólo el de Calderón que, sin duda, es bastante más incompleto e impreciso. Desde el punto de vista petrológico y estratigráfico, Marín no hace prácticamente ninguna aportación nueva pues su afirmación de que las tres islas constituyeron un macizo único ya lo había dicho Fernández Navarro.

En 1998, un grupo de geólogos y biólogos de las universidades de Huelva y Sevilla publican un estudio del Medio Físico del archipiélago, en el que hacen un estudio geológico más completo que los anteriores. Aportan, por primera vez, un informe estructural de la fracturación frágil y de las estructuras de flujo magmático en las tres islas. También realizan un estudio petrográfico bastante completo, en el que concluyen que la mayoría de las rocas aflorantes en el archipiélago son andesitas piroxénicas. En la cima de la isla del Congreso describen, como ya lo hicieran los autores anteriores, basaltos. Igualmente hacen referencia a la existencia de enclaves pequeños de rocas plutónicas o de fragmentos no volcánicos. También a este mismo grupo de técnicos se debe la primera cartografía geológica del archipiélago realizada para el organismo autónomo Parques Nacionales ([http://www.mma.es/parques/centasoc/img/geologia\\_chafarinas.jpg](http://www.mma.es/parques/centasoc/img/geologia_chafarinas.jpg)).

### Los últimos estudios geológicos

Hasta hace sólo cuatro años, las islas Chafarinas carecían de la geología oficial elaborada por el Plan MAGNA. De hecho, junto a Ceuta, Melilla y resto de peñones españoles del norte de África, ha sido el último territorio de soberanía española en ser cartografiado geológicamente.

En septiembre de 2003 se programó la primera campaña de campo a Chafarinas.



Figura 19. Vista del acantilado en la costa noreste.

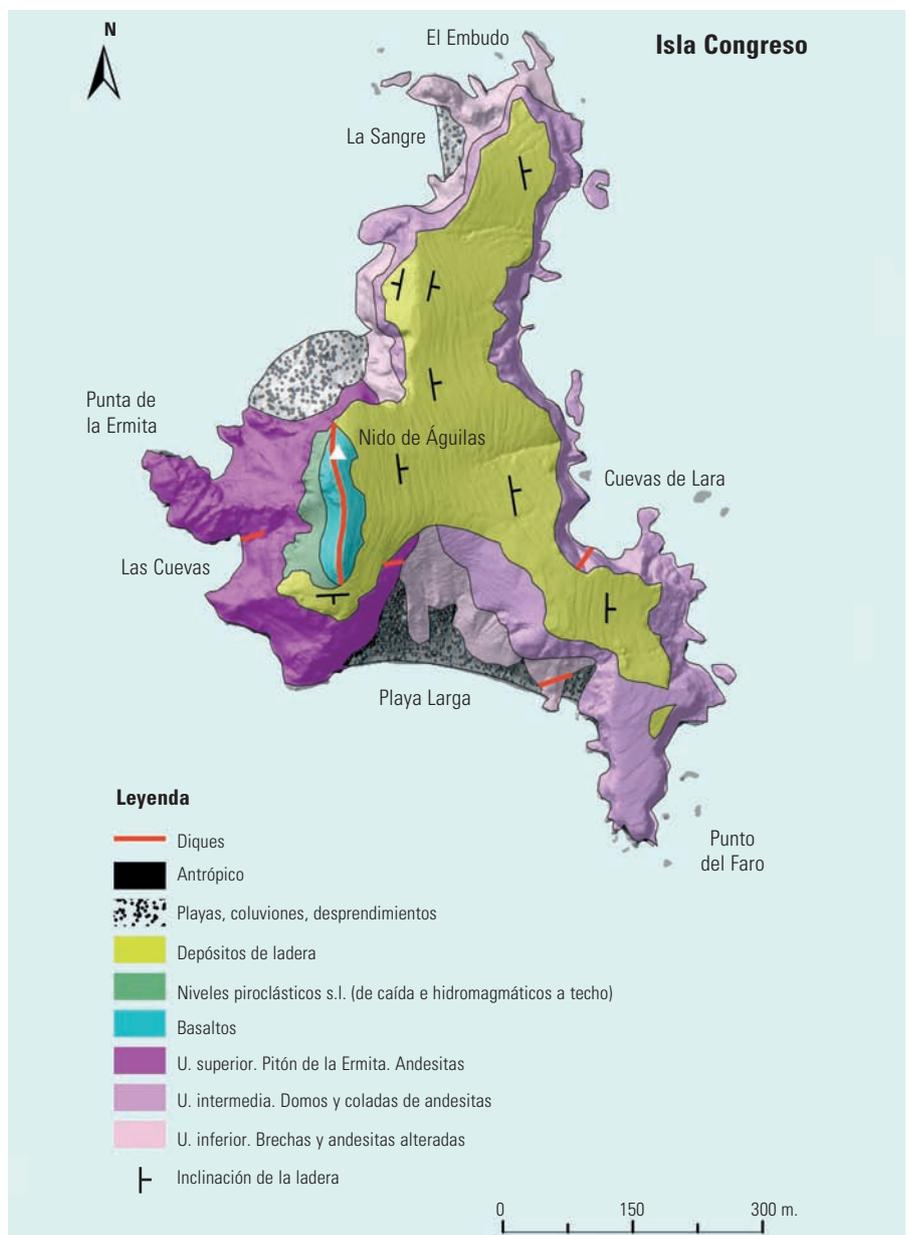


Figura 20. Mapa geológico de la isla del Congreso.

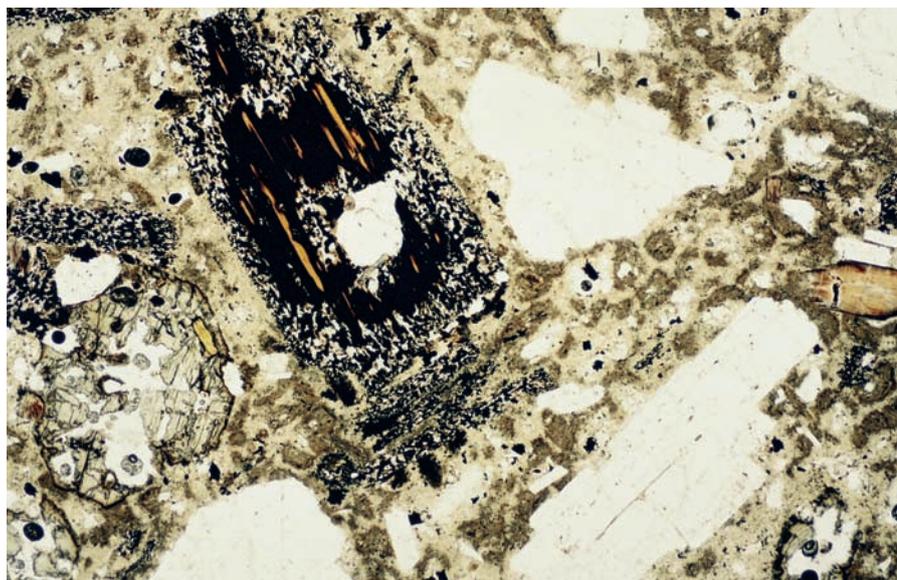


Figura 21. Textura microporfídica de la andesita: a) fenocristales de biotita muy transformada a un mosaico de opacos (nícoles paralelos).



Figura 22. Textura microporfídica de un dique de andesita, con fenocristales de biotita fresca (nícoles paralelos).



Figura 23. Vista del pitón de la Ermita, en la punta del mismo nombre. La parte superior subhorizontal corresponde a la serie alcalina de basaltos del segundo ciclo volcánico.

Los dos autores, junto con los supervisores del IGME, Roberto Rodríguez y Ángel Martín Serrano, viajamos a Melilla el 16 de septiembre con la intención de pasar a las islas al día siguiente. Por la noche, un fuerte temporal se levantó en el mar, haciendo imposible la travesía, y la campaña quedó anulada. En diciembre de ese año, volvemos solos los dos autores y logramos llegar a las islas. Realizamos prácticamente toda la cartografía geológica (Pineda, 2003) y la toma de muestras, con la ayuda de la zodiac y el técnico que la llevaba, pertenecientes ambos a la estación biológica que Parques Nacionales tiene allí.

En septiembre de 2004 volvimos nuevamente, esta vez acompañados por los dos supervisores del IGME que no pudieron ir el año anterior. En este viaje, los cuatro nos alojamos en las habitaciones del faro, y dedicamos la campaña a completar el muestreo y a perfilar detalles cartográficos de las islas.

Las aportaciones conseguidas en estas campañas al conocimiento de la geología del archipiélago son: la precisión cartográfica de varias unidades volcánicas hasta entonces no diferenciadas; el descubrimiento, cartografía y estudio petrológico de la importante red de diques presente en la isla del Congreso, la caracterización petrológica de los enclaves que tienen las andesitas, y la realización de la primera cartografía geomorfológica del archipiélago.

### El contexto geológico regional del archipiélago

Las grandes unidades geológicas del entorno de las islas Chafarinas están representadas por el Dominio de Alborán localizado, en su mayor parte, en el mar del mismo nombre. Estas grandes unidades coinciden, de forma general, con las denominadas tradicionalmente Zonas Internas Bético-Rifeñas. También forma parte de él la terminación oriental de la cordillera del Rif, constituida geológicamente por el Rif externo (dominio magrebí), y su antepaís, en el continente. Ambas unidades conforman,



Figura 24. Detalle de la disyunción columnar del pitón de la Ermita.

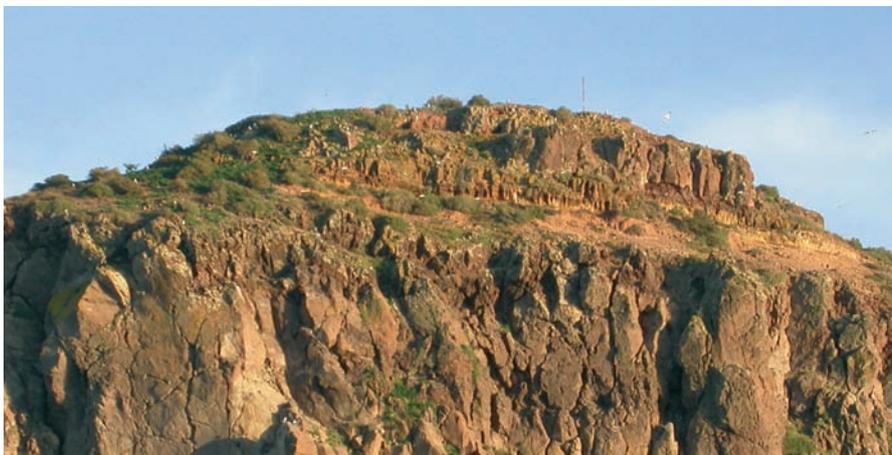


Figura 25. Afloramiento superior de las coladas basálticas subhorizontales, discordantes sobre el Pitón de la Ermita (parte inferior).

comprendidas entre 5,6 y 1,5 Ma. (El Bakkali et al., 1998) que, sin embargo, no es exclusivo de la parte oriental de la cordillera Bético-Rifeña, ya que sus manifestaciones aparecen también más al noreste (Cofrentes, Valencia) y, sobre todo, se prolongan hacia el suroeste según las directrices NE-SO del Atlas. En la parte oriental del Rif este vulcanismo alcalino puede superponerse al vulcanismo anterior, en los mismos centros de emisión como ocurre en el macizo del Gurugú y satélites (sur de Melilla).

### El vulcanismo de las islas

En la figura 15 está representado el mapa geológico de las islas, según datos adaptados de Pineda (2003). Mucha de la información geológica que se expone en este artículo está tomada, fundamentalmente, del Plan MAGNA, realizado por el IGME en 2003, aunque ya Pineda y Barrera (2004) avanzaron parte de la misma en la ponencia presentada en el VI Congreso Geológico de España celebrado en Zaragoza.

Las rocas volcánicas de las islas Chafarinas corresponden a dos momentos eruptivos muy diferentes. Las erupciones más antiguas emitieron magmas andesíticos calcoalcalinos, mientras que las posteriores y últimas son emisiones basálticas-traquibasálticas alcalinas. Ambos episodios tienen carácter subaéreo, no habiéndose encontrado ningún material volcánico submarino como insinuaba Calderón. Eso significa que si hubo un primer episodio submarino, el nivel actual del mar lo oculta.

Aunque no se poseen datos geocronológicos ni geoquímicos de ninguno de los afloramientos del archipiélago, se puede suponer que, dada la similitud magmática del vulcanismo de estas islas con el resto de la provincia volcánica norteafricana, el primer episodio se produjo durante el mioceno superior, mientras que el segundo sería plioceno. Según esto, puede suponerse que el vulcanismo se inició hace 9-8 millones de años, aproximadamente, y, después de un periodo erosivo prolongado, se reactivó en el plioceno.

con las cordilleras Béticas del sur y sureste de España, la cordillera Bético-Rifeña.

El macizo volcánico que constituye el archipiélago de Chafarinas está totalmente relacionado con el vulcanismo de la zona oriental del Rif. El vulcanismo neógeno y cuaternario de la cordillera Bético-Rifeña se encuentra localizado sólo en la parte oriental del mismo, tanto sobre el dominio de Alborán, como sobre el Rif externo. A menudo, está relacionado con fases tectónicas

extensionales, a favor de las cuales se han generado cuencas terciarias post-orogénicas. El primer vulcanismo, el más importante volumétricamente, es de edad neógena, y se encuentra en las zonas del cabo de Gata y de Mazarrón-Cartagena, en las cordilleras Béticas. En el norte de África, se extiende desde el macizo costero de Ras Tarf, al Oeste de Melilla, y parece haber emigrado de oeste hacia este.

Con menor importancia, hay un vulcanismo basáltico-alcalino, con edades



Figura 26. Basaltos-traquibasáltos vistos al microscopio. Los cristales menores de color rojizo son olivinos iddingsitizados (nícoles cruzados).

### Las grandes erupciones andesíticas primeras

Las primeras erupciones que dieron origen al macizo volcánico de Chafarinas tuvieron una importancia considerable. Los materiales andesíticos emitidos constituyen actualmente la mayoría del territorio de las tres islas, incluido el afloramiento submarino de La Laja. Lo que queda visible y residual de sus materiales, después del largo periodo erosivo al que han estado expuestos, se estructura en tres unidades. Lo más antiguo son unas brechas volcánicas no soldadas (depósitos de "debris-avalanche") y andesitas alteradas, que se ha denominado "unidad inferior", y que sólo esta presente en las partes bajas del acantilado en algunos puntos de la isla del Congreso. Su origen se encuentra en la destrucción o colapso violento de unos primeros edificios volcánicos andesíticos que, por causas diversas, fueron destruidos de forma violenta.

Pero como ocurre a menudo en los terrenos volcánicos, el vulcanismo siempre resurge. Posterior a estos grandes colapsos, el magma andesítico volvió a la superficie pero, esta vez, en forma de grandes domos andesíticos de los que sólo queda la parte más interna de ellos. Lo más característico que tienen estas rocas es la presencia de biotitas dispersas oxidadas, marcas del flujo magmático interno y la red de filoncillos silíceos con óxidos de Fe y Mn (figura 16). Este conjunto domático constituye la llamada "unidad superior" de andesitas biotítico-piroxénicas, presente en las tres islas y en La Laja.

Todavía, después de la intrusión de los domos, nuevos episodios intrusivos surgieron



Figura 27. Panorámica de las islas Isabel II y Rey Francisco, vista desde la isla del Congreso.

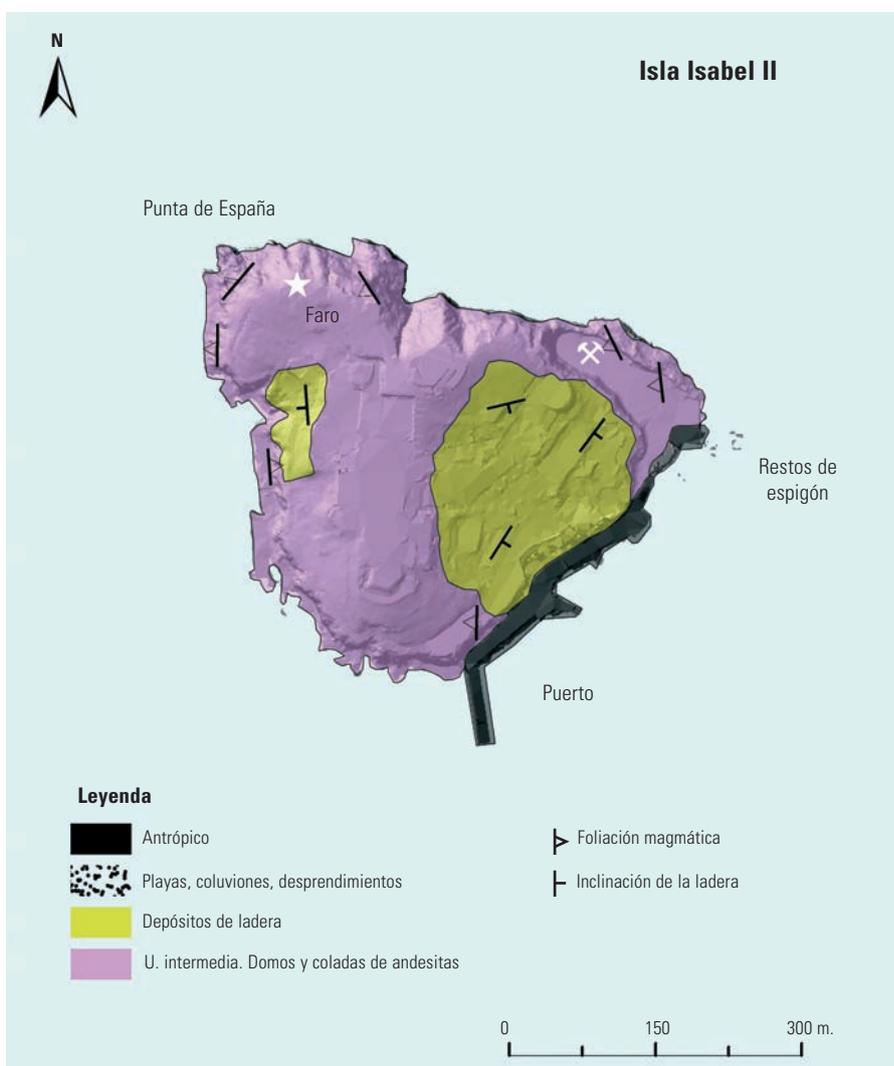


Figura 28. Mapa geológico de la isla de Isabel II.

en la zona. Un gran pitón de andesitas piroxénicas, el pitón de Punta de la Ermita en la isla del Congreso, atravesó todos los materiales anteriores. Hoy, esta unidad intrusiva constituye el potente y espectacular relieve de la costa suroeste de la isla.

### El gran periodo erosivo de arrasamiento y el resurgir del vulcanismo

Al terminar los episodios andesíticos, la calma eruptiva se estableció en la región. La erosión subaérea y ¿submarina?



Figura 29. Estructuras de flujo magmático en las andesitas.



Figura 30. Enclaves pirometamórficos en las andesitas.

(arrasamiento costero) dismanteló toda la parte superior de los afloramientos, creándose una superficie de arrasamiento ¿marino? Parte de esta superficie subhorizontal, hoy visible en la parte alta de la isla del Congreso, fue la que quedó cubierta por el segundo ciclo volcánico de carácter alcalino (basaltos y traquibasaltos).

Los primeros eventos de este nuevo vulcanismo fueron, como es normal en estos ambientes, de carácter piroclástico. Niveles piroclásticos s.l. (de caída e hidromagmáticos, a techo) constituyen las partes bajas del apilamiento basáltico. Agotados estos momentos explosivos de desgasificación magmática, surgieron las coladas basálticas-traquibasálticas, con intercalaciones piroclásticas rojizas. Todo el conjunto estuvo acompañado por diques subverticales basálticos de espesor decimétrico que representan los conductos de emisión del magma.

Terminadas las erupciones, la erosión marina y subaérea, ha desmembrado el macizo volcánico original hasta dejarlo



Figura 31. Costa oriental acantilada de la isla de Rey Francisco.

reducido a los tres pequeños islotes existentes.

### El vulcanismo, isla a isla

#### *Isla del Congreso*

Se encuentra situada en las coordenadas 35° 10' 46" N - 02° 26' 38" O, y es la isla más occidental del archipiélago. Tiene una forma irregular con unas dimensiones de 1.009 m de longitud mayor, en dirección norte-sur, un perímetro de 3,4 km, y una altura de 137 m. Sus costas son muy acantiladas y abruptas producto de la intensa acción erosiva del mar (*figuras 17, 18 y 19*). La pendiente general dominante es hacia el este, no conservándose prácticamente nada de la ladera oeste que ha sido erosionada por la acción marina. Geológicamente, en la isla están representados los dos ciclos volcánicos existentes en el archipiélago, como puede verse en el mapa geológico (*figura 20*).

- **Las erupciones andesíticas.** Los distintos episodios andesíticos constitutivos de las primeras erupciones están todos representados en la isla. En la parte inferior afloran brechas volcánicas (depósitos de "debris-avalanche") y andesitas alteradas, con potencias de 80-90 m. Sus mejores puntos de observación son las laderas de playa Larga, en el sur, y la costa septentrional (playa de la Sangre). En esta unidad no existen fragmentos

juveniles, y los depósitos pueden corresponder a grandes colapsos o derrumbes de los primeros edificios volcánicos, tal vez domáticos, surgidos en el área. En la base de esta unidad hay, en algunos puntos, lavas de andesitas biotíticas más o menos similares a las presentes en la unidad superior.

La Unidad superior está apoyada en la unidad anterior, a la que recubre en toda la isla, pudiendo ser observada en los acantilados orientales (*figura 18*) y noroccidentales de la misma. Es de colores más oscuros (grises, a veces con tonos rojizos) que la inferior, estando constituida por rocas masivas, y rocas brechoides, de composición andesítica biotítico-anfibólica. Se caracterizan por tener cristales milimétrico de biotita, perfectamente visibles, y contener, a veces, enclaves andesíticos redondeados de tamaño centi a decimétrico. El espesor visible mínimo para esta unidad (de la que no se conoce su techo, erosionado) es de unos 90-100 m. Su grado de oxidación magmática es muy elevado, estando la biotita totalmente transformada a un mosaico de gránulos de óxidos de Fe-Ti sobre una base neoformada de plagioclasa (*figura 21*). Cortando a estos materiales hay diques subverticales de igual composición, con la particularidad de no presentar oxidación y tener la biotita fresca (*figura 22*).

La última manifestación magmática de estos episodios es el pitón de la Ermita. Forma la extremidad acantilada más occidental de la isla (figura 23), con una morfología relevante y una disyunción columnar vertical muy acusada (figura 24). Constituye un pitón de unos 350 m de diámetro aproximado, que corta todos los materiales andesíticos anteriores, suponiéndose que también intruye en la unidad superior, aunque ello no se observa debido a la erosión y los recubrimientos existentes. Está compuesto por una andesita anfibólica microporfídica de matriz criptocristalina fluidal, alterada por un proceso de ¿silicificación? y carbonatación que rellena vacuolas.

- Las erupciones alcalinas.** Después de un largo periodo sin emisiones volcánicas, la zona sufrió los efectos de la erosión hasta que comenzó un nuevo ciclo volcánico de tendencia alcalina. Los primeros episodios, compuestos por niveles piroclásticos s.l. (de caída, e hidromagmáticos a techo), se dispusieron discordantemente sobre todas las andesitas anteriores. Actualmente, ocupan la parte más alta de la isla y su extensión cubre gran parte del pitón de la Ermita (figura 25). No hay que descartar que estas emisiones surgieran en el borde del mar, como parece indicar la existencia de posibles niveles de piroclastos hidromagmáticos que constituyen la parte baja de todo el apilamiento tabular subhorizontal, de unos de 20-30 m de espesor. Por encima de estos piroclastos, se emitieron coladas basálticas-traquibasálticas olivínicas (figura 26) con intercalaciones piroclásticas rojizas, formando un apilamiento de unos 10-15 m de espesor mínimo, ya que su techo está erosionado. Acompañando a estas manifestaciones alcalinas hay un conjunto de diques de igual composición (basaltos olivínicos) que cortan a todos los materiales de la isla. Concretamente, el vértice superior de la isla (Nido de Águilas, 137 m) lo configura un dique basáltico subvertical, de dirección norteada y varios metros de espesor. Tiene color gris oscuro, grano fino, y estructura lajeada en el contacto. Desde ese punto tan alto se tiene una

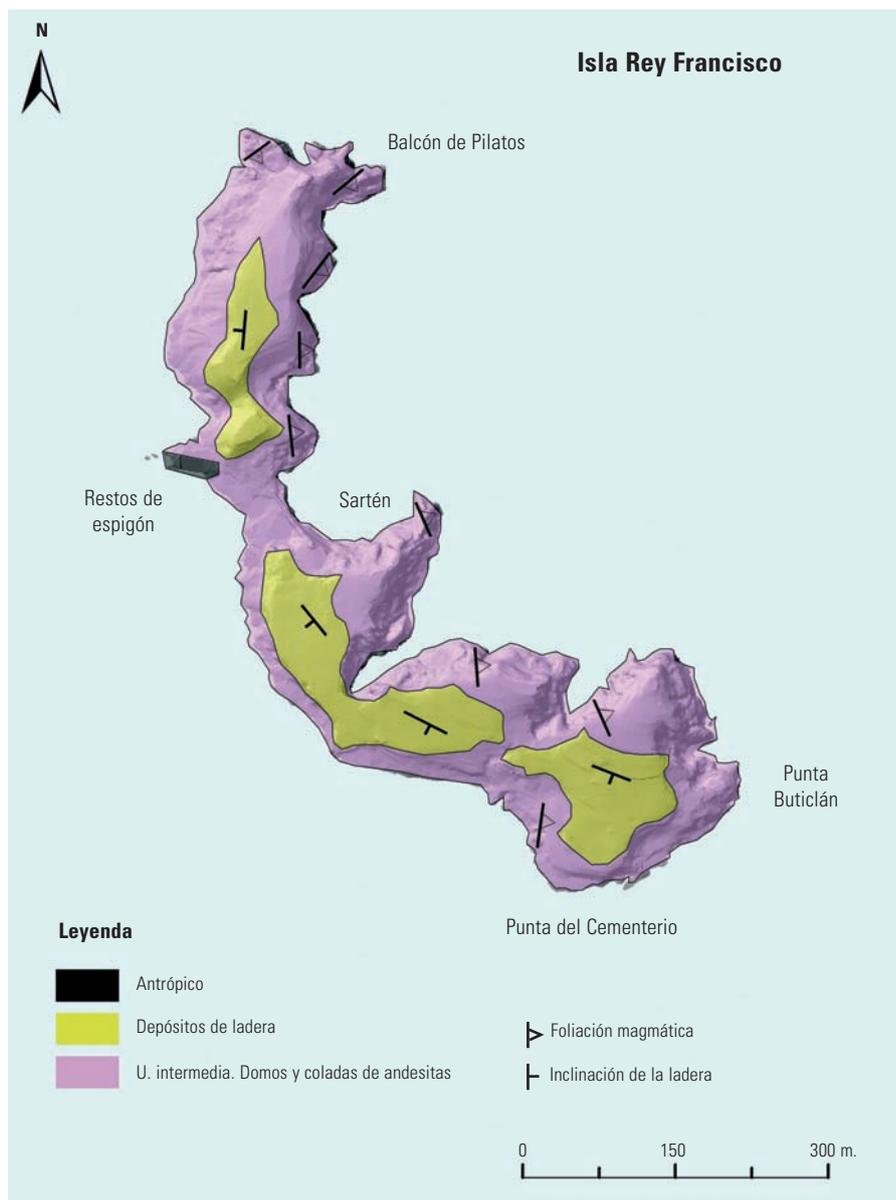


Figura 32. Mapa geológico de la isla de Rey Francisco.



Figura 33. Depósitos eólicos intercalados entre depósitos de ladera y costras carbonatadas, en la isla de Rey Francisco.

excelente panorámica de conjunto del archipiélago (*figura 27*).

### *Isla de Isabel II*

Se encuentra situada en las coordenadas 35° 10' 50" N - 02° 26' 00" O, a 800 m al este del Congreso, y tiene una superficie sensiblemente circular (*figura 3*). Aparte de la reducida guarnición militar, en la isla existe una estación biológica (*figura 9*) dependiente del Ministerio de Medio Ambiente, que se ocupa de preservar el importante ecosistema, uno de los pocos en que se reproduce la gaviota de pico rojo (Audoin). Es mucho más baja y plana que Congreso, con 2 km de perímetro y 35 m de cota máxima, y sus costas son acantiladas bajas.

Geológicamente (*figura 28*) está constituida por un único tipo rocoso de andesitas grises o rojizas, con cristales de biotita milimétricos bien visibles (totalmente oxidados), similares a las de la unidad superior de la isla del Congreso. Por esa razón, cabe suponerlas contemporáneas con ellas y con las de La Laja. El efecto de la oxidación generalizada de las biotitas (*figura 21*) y anfíboles en toda la roca se traduce en un color rosado pálido que tiñe todos sus afloramientos.

Los mejores puntos de observación se localizan en la antigua cantera de la parte nororiental de la isla (*figura 12*). Estas andesitas presentan estructuras de flujo magmático (*figura 29*) y disyunción columnar perpendicular o subperpendicular al flujo. Las estructuras de flujo son planares y responden a variaciones en el tamaño de grano o de la proporción de matriz vítrea, así como a la orientación magmática de los fenocristales. Estas características son típicas de estructuras domáticas.

Las andesitas tienen xenolitos de color gris-verdoso y grano fino (*figura 30*), que corresponden a rocas pirometamorfizadas de alto grado, procedentes del sustrato cortical de las islas.

### *Isla de Rey Francisco*

Se encuentra situada en las coordenadas 35° 10' 54" N - 02° 25' 33" O. Es la menor



*Figura 34. Vista de playa Larga, al sur de la isla del Congreso.*

y más alargada de todas, con forma de semiluna abierta a oriente, y sin otra particularidad que la de ser el lugar donde se halla el cementerio del archipiélago. Se encuentra a 175 m al este de Isabel II y su perímetro es de 2,3 km, con una altura máxima de 95 m. La costa oriental es acantilada (*figura 31*), mientras que la occidental se desarrolla sobre la suave ladera natural de la isla hasta el mar.

Geológicamente (*figura 32*) está constituida por el mismo tipo rocoso de andesitas grises o rojizas, que afloran en Isabel II, con los mismos xenolitos centimétricos del sustrato continental. De hecho, son la continuidad de las mismas, presentando también las estructuras de flujo magmático (*figura 29*) y disyunción columnar.

### *Afloramiento submarino de La Laja*

Gracias al personal de la estación biológica que tiene en las islas Parques Nacionales,

que se sumergió para tomar una muestra, se puede conocer la composición de este afloramiento submarino, situado entre las islas del Congreso e Isabel II. La roca corresponde a una andesita biotítico-anfibólica, similar a las de la unidad calcoalcalina superior de las tres islas.

### **Las formaciones sedimentarias cuaternarias**

Los depósitos sedimentarios más importantes que aparecen en el archipiélago son unas arenas eólicas pleistocenas, que sólo afloran en las islas del Rey y de Isabel II. Constituyen capas intercaladas entre otras formaciones superficiales (depósitos de ladera y costras carbonatadas) de las laderas altas y/o suaves de las islas (*figura 33*). En la isla del Rey, estos depósitos forman un tramo de arenas medias-finas, amarillentas, bastante homogéneas con una potencia de unos 3 m. Tienen abundantes restos fósiles de gasterópodos continentales, este tramo



Figura 35. Rock-fall en el pitón de la Ermita, en la islas del Congreso.

está datado por Rodríguez Vidal et al. (2000), mediante aminoácidos e isótopos de carbono en conchas de gasterópodos, en una edad superior a 40 Ka BP.

La otra formación sedimentaria de importancia la constituye las costras carbonatadas de edad pleistocena, que se presentan asociadas a las laderas de las partes altas de las islas, sobre todo en las de Rey e Isabel II. En la primera, es donde alcanzan más desarrollo, habiendo dos niveles cartografiados. Existen dataciones de edades absolutas de ambas costras y de la calichificación del sustrato volcánico (Rodríguez Vidal et al., 2000). Para la inferior, una datación mediante isótopos de uranio indica una edad de  $86,2 \pm 1$  Ka BP. Para la superior, una datación mediante isótopos de carbono indica  $20,3 \pm 0,3$  Ka BP. Para la calichificación del sustrato volcánico, una datación mediante isótopos de uranio indica una edad poco acorde con las otras:  $22,4 \pm 1,8$  Ka BP.

Otras unidades geológicas recientes son las playas. Sólo existen en la isla del Congreso, siendo la más grande la llamada playa Larga (figura 34). Todas ellas son muy estrechas y están

compuestas por cantos volcánicos heterométricos. Por último, hay que resaltar como un depósito muy llamativo el gran afloramiento de un *rock-fall* (desprendimiento) que se ha producido en la parte norte del pitón de la Ermita (figura 35), en la isla del Congreso.

#### Lo que queda de las estructuras del archipiélago

La isla del Congreso es un resto muy erosionado de varias estructuras volcánicas: un apilamiento volcánico de andesitas, y de una estructura intrusiva (Punta de la Ermita), siendo la segunda unidad apilada (las andesitas biotíticas rosas de la unidad superior) probablemente contemporánea del domo de Isabel II-Rey. Aún se conserva, en la parte superior, la superficie de arrasamiento sobre la que surgió el episodio basáltico subhorizontal.

Para las islas de Isabel II y Rey, la similitud litológica que tienen y los datos estructurales de flujo magmático parecen indicar que ambas conforman una única estructura domática. Ello estaría de acuerdo con los datos batimétricos, según

los cuales estas islas constituyen una misma unidad morfológica, separadas actualmente por una pequeña lámina de agua. No se conservan restos (erosionados posteriormente) de las rocas volcánicas encajantes del domo. Las venas silíceas, mayoritariamente presentes en estas dos islas, son de origen hidrotermal y suponen una prueba más del carácter subvolcánico del afloramiento.

#### ¿Estuvieron conectadas las islas con el continente africano?

Hay indicios que parecen sugerir que las Chafarinas estuvieron conectadas al continente. Del análisis geomorfológico del archipiélago (Pineda, 2003) se puede deducir su posible conexión con la costa africana a través de un desaparecido istmo arenoso que las conectaría con el actual Cabo de Agua (figura 6). Igualmente, los datos arqueológicos deducidos del yacimiento neolítico Zafrán existente en la isla del Congreso, indican la misma conclusión.

La posibilidad de que en el pasado las Chafarinas formaran un tómbolo unido al

continente africano, fue ya planteada geológicamente por el ingeniero de minas Valle de Lersundi (1927), quien ofrece además unos posibles mecanismos de desconexión. Desde el punto de vista geológico y fisiográfico, hay datos que abundan en dicha posibilidad. Si la conexión existió, la desconexión pudo deberse a la elevación del nivel de base marino durante la transgresión cuaternaria flandriense o anterior.

Geomorfológicamente, la fase erosiva más antigua reconocible en las islas es la correspondiente a los relieves de sus partes altas, más suaves, labrados en las rocas volcánicas que las constituyen. La datación de algunas formaciones superficiales asociadas a dichos relieves indican una edad de 86.000-20.000 años para su fase final de elaboración. Por sus características de tener pendientes relativamente suaves, y por la importancia de las costras carbonatadas asociadas, es posible que estos relieves se hayan generado en relación con un nivel de base marino más bajo que el actual, habiendo quizá en esa época una conexión física entre las islas y la costa norteafricana.

Los arqueólogos e historiadores del Instituto de Cultura Mediterránea de Melilla están estudiando, en la isla del Congreso, desde el año 2000, el yacimiento o poblado al aire libre El Zafrín, del tipo neolítico cardial del año 4.500 a.C. Han concluido que sería imposible concebir la existencia de un asentamiento neolítico de esa fecha, aislado en las islas, ya que, según las investigaciones geológicas, en ninguna de las tres islas hay agua potable, ni tampoco han aparecido restos de aljibes ni escorrentías para recoger agua de la lluvia.

### Bibliografía

- Alonso, F. M., Cáceres, L. M., Clemente, L., García Fernández, L. V., Marañón, T., Ojeda, F. y Rodríguez Vidal, J. (1998). Estudio del medio físico y vegetación de las Islas Chafarinas. Informe inédito.
- Becerra Fernández, M. (1907). Puertos de Melilla y Chafarinas. *Revista de Obras Públicas*, 55 (1), 331-334.
- Becerra Fernández, M. (1911). Puertos de Melilla y Chafarinas. *Revista de Obras Públicas*, 59 (I), 639-644.
- Calderón, S. (1894). Las Chafarinas. *Anales de la SEHN*, 23, 303-316.
- Coulon, Ch., Megartsi, M.H., Fourcade, S., Maury, R.C., Bellon, H., Louni-Hacini, A., Cotton, J. Coutelle, A. y Hermitte, D. (2002). Post-collisional transition from calc-alkaline to alkaline volcanism during the Neogene in Oranie (Algeria): magmatic expression of a slab breakoff. *Lithos*, 62, 87-110.
- Fernández Navarro, L. (1908). Datos geológicos acerca de las posesiones del norte de África. *Memorias de la RSEHN*. V. Memoria 6ª (1907-08) (las islas Chafarinas están en pp. 283-312).
- Marín, A. (1921). Nota geológica de las islas Chafarinas. *Boletín del Instituto Geológico de España*, II, 3ª serie, 224-241.
- Parques Nacionales.  
[http://www.mma.es/parques/centasoc/img/geologia\\_chafarinas.jpg](http://www.mma.es/parques/centasoc/img/geologia_chafarinas.jpg).
- Pineda, A. (2003). Mapa geológico y memoria de las islas Chafarinas a escala 1:10.000. (Plan MAGNA). IGME (inédito).
- Pineda, A. y Barrera, J. L. (2004). El volcanismo neógeno de las islas Chafarinas, mar Mediterráneo (N África, España). VI Congreso Geológico de España, Zaragoza. *Geotemas* 6 (1), 167-170.
- Rodríguez Vidal, J., Cáceres, L. M., Martínez Aguirre, A. Alcaráz, J. M. Belloumini, G., Alonso Chaves, F. M., Rodríguez Ramírez, A. y Cantano, A. (2000). Dataciones isotópicas de carbonatos continentales en el Pleistoceno superior de las Islas Chafarinas (N África, España). *Cuaternario y Geomorfología*, 14 (3-4), 101-108.
- SGE (1848). *Resumen histórico de la expedición y ocupación militar de las Islas Chafarinas*. 1848. Depósito de la Guerra. Archivo de planos.
- Valle de Lerchundi, A. del (1927). Nota acerca de la formación geológica de la región de Cabo de Agua. *Boletín del Instituto Geológico*, XLIX, 322-339.
- Vèlain, Ch. (1874). Constitution géologique des îles voisines du litoral de l'Afrique. *Comp. Rend. de l'Acad. Sc. Paris*, LXVIII, 70-74.

### Archivos

CGE. Proyecto para la formación de un puerto en las islas Chafarinas. Año. 1860/80. Planos y mapas históricos de las islas Chafarinas. España. Ministerio de Defensa. Archivo cartográfico y de Estudios Geográficos del Centro Geográfico del Ejército.

### Agradecimientos

A Parques Nacionales y a su personal desplazado en las islas Chafarinas, por el apoyo logístico durante las campañas de campo de 2003 y 2004; a Roberto Rodríguez y Ángel Martín Serrano, del IGME, por la autorización para publicar la información geológica y sus valiosas sugerencias para mejorar el texto; a Juan Bellver y su equipo del Instituto de Cultura Mediterránea de Melilla, por el apoyo logístico y el suministro de la información histórica de la toma de posesión de Chafarinas; a Pedro Martínez, de Biosfera XXI, por el tratamiento informático de la cartografía geológica, y a Francisco Sánchez, de la empresa Servicios Editoriales, Georama S.L., por la cesión de las fotos correspondientes a las figuras 2, 3, 17 y 18.

# La educación ambiental, una oportunidad profesional para los geólogos

En la última década se ha consolidado la educación ambiental como un campo de trabajo para equipos pluridisciplinares en el que tienen perfecta cabida los geólogos, pues por su formación están especialmente capacitados para tratar muchos de los temas sobre los que dicha tarea educativa incide.

**TEXTO** | M<sup>a</sup> José Fernández Casals, Dra. en CC. Geológicas y Técnica de Apoyo del Área de Educación Ambiental de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid

Palabras clave

**Educación ambiental, equipos pluridisciplinares, sostenibilidad**

Estamos viviendo en pleno siglo XXI y persisten, más bien se han incrementado, las condiciones que han hecho necesaria la educación ambiental: los problemas ambientales —agotamiento de los recursos naturales, aumento de las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, principalmente por la quema de combustibles fósiles para obtener energía, producción de residuos, contaminación— son cada vez mayores y los diagnósticos de los expertos predicen que van a seguir creciendo en los próximos años aun aplicando drásticas medidas. Y esto sucede mientras ya pronostican, en cambio, que los otros dos grandes problemas de la humanidad en el pasado siglo —crecimiento de la población y pobreza extrema— pueden tender a estabilizarse o incluso a disminuir.

La educación ambiental se planteó en la Conferencia de Tbilisi (Georgia), celebrada en 1977, como una disciplina necesaria para la formación de las personas ante la delicada situación de nuestro planeta, derivada de nuestra posición de dominio sobre la naturaleza y cuyas consecuencias previsibles hacían ver en peligro incluso nuestra supervivencia como especie. A lo largo de las últimas tres décadas, la educación ambiental ha impulsado un nuevo modelo de relación con el medio, cuya implantación requiere de un profundo cambio en los comportamientos de todos, individuos y grupos humanos.

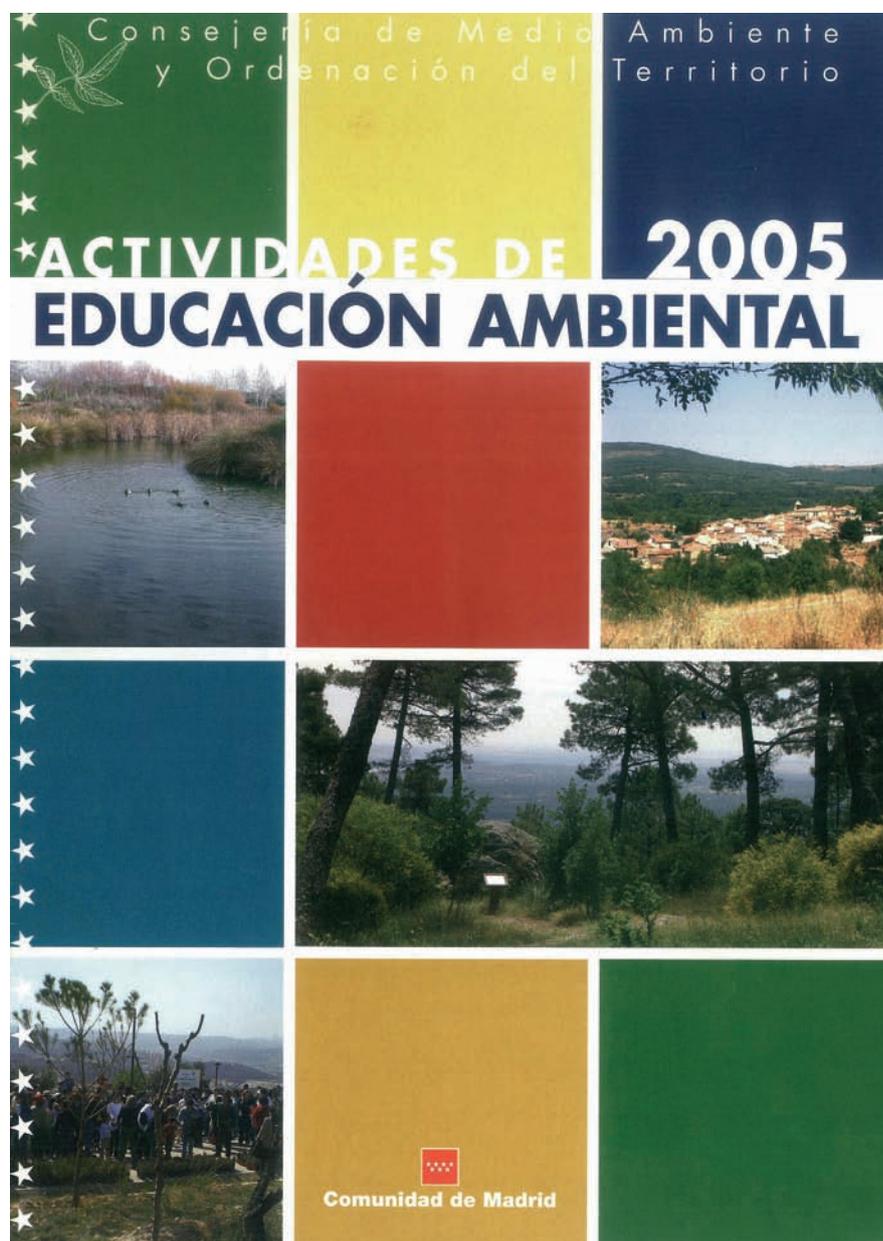


Figura 1. Programa de actividades de educación ambiental de la Comunidad de Madrid.

Este nuevo modelo, denominado de desarrollo sostenible desde 1991 por el Informe Brundtland, pretende hacer compatibles el uso de los recursos naturales y la conservación del medio.

Persiguiendo la sostenibilidad, la educación ambiental se ha consolidado también como una de las herramientas más eficaces para lograr los cambios que se precisan para actuar de manera responsable y solidaria. Teniendo en cuenta la diversa índole de las cuestiones y problemas ambientales, el trabajo educativo requiere de la colaboración de equipos pluridisciplinares en los que deben participar profesionales diversos, unos por sus conocimientos en los campos relacionados con el medio ambiente (caso de la geología, la biología y algunas ingenierías) y otros por las variadas metodologías que pueden utilizarse para acercar dichos conocimientos a los ciudadanos (pedagogía y ciencias sociales).

Como ejemplo del desarrollo de la educación ambiental en muchos países y regiones, se describe en este artículo el caso de la Comunidad de Madrid, que lleva realizando esta actividad de manera continua (figura 1). Desde su constitución en 1984, esta comunidad consideró necesario promover la sensibilización de los madrileños ante los problemas del medio. Ya en su primera década de funcionamiento autonómico puso en marcha diversas actividades, tanto desde el departamento responsable de la educación como del medioambiental; desde este último se llevaron a cabo aulas y sendas, dirigidas principalmente a los escolares, y cuya meta fundamental era dar a conocer y poner en valor la naturaleza madrileña. Poco después, se iniciaron campañas y otras actuaciones dirigidas a todos los ciudadanos, como las de prevención de incendios, eliminación y separación de residuos o ahorro de agua. Pero ha sido especialmente desde 1996 cuando se han planificado y diseñado verdaderos programas de educación ambiental, con la dotación de los recursos necesarios, entre los que destacan la Red de Centros de educación ambiental y los equipos que realizan los mencionados programas.

Cualificación profesional de los equipos educativos de la Red de Centros año 2005	Polvoranca	Hayedo de Montejo	Manzanares	Valle de la Fuenfría	Casero de Henares	Arboreto Luis Ceballos	Puente del Pertón	El Hornillo	El Campillo	El Águila	Total
<b>Agronomía</b>	1				2		2				5
<b>Biología</b>	3	1		3	1	4	1	1	3	3	20
<b>Ciencias ambientales</b>			1	3		1		1	2		8
<b>COU/FPII/Bachiller</b>	1	3	1	1	1		1	1		1	10
<b>Forestal/Montes</b>	2	2	2			2	3			1	12
<b>Geología</b>		1	1	1						1	4
<b>Magisterio/Pedagogía</b>	2	2	2	1	1	1			1	1	11
<b>Otras licenciaturas/diplomaturas</b>	1	2	3	2	2		1	1	3		15
<b>Total equipos educativos</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>85</b>

Figura 2. Relación de los profesionales y sus titulaciones en los centros de educación ambiental de la Comunidad de Madrid.

Los principios y métodos que la Consejería de Medio Ambiente sigue en materia de educación ambiental se basan en los convenidos internacionalmente y coinciden con los establecidos en el Libro Blanco de la Educación Ambiental en España (Ministerio de Medio Ambiente, 1999). Según se define en el mismo, “la educación ambiental es una corriente internacional de pensamiento y acción. Su meta es procurar cambios individuales y sociales que provoquen la mejora ambiental y un desarrollo sostenible”. De esta definición se desprenden con claridad dos aspectos básicos de la educación ambiental: el primero es que lo que se propone no es sólo conocer, sino solucionar los problemas ambientales; y, en segundo lugar, que este paso del pensamiento a la acción precisa de la voluntad, implica una vinculación afectiva. Se trata de involucrar en esta tarea a los individuos y a la sociedad en su conjunto, procurando que todos actuemos a favor del medio ambiente.

Además del criterio de *sostenibilidad*, se utilizan otros dos criterios o principios básicos, el de la *coherencia* y el de la *accesibilidad*. El primero obliga a predicar con el ejemplo, para lo cual se proyectan infraestructuras y actuaciones que no perturben el medio y se implantan sistemas de gestión ambiental, energías renovables, huertos y jardines ecológicos, entre otros. Se intenta, por otro lado, hacer accesibles a todo tipo de público actividades e instalaciones, evitando las barreras físicas y poniendo los medios pertinentes para alcanzar este fin (rampas para personas con problemas de movilidad, carteles en Braille para ciegos, audiovisuales con subtítulos para facilitar su comprensión a sordos, etc.).

Finalmente, otras características destacables de su forma de trabajar son el funcionamiento en equipo, la *coordinación* y la *evaluación* continua. La coordinación de los equipos se efectúa mediante reuniones semanales entre los técnicos del área, que son los directores de los centros, y mensuales con los coordinadores de los mismos (en cada centro el coordinador es el responsable y el representante de la empresa adjudicataria del contrato); además, tres veces al año se reúnen todos los educadores para abordar temas específicos o intercambiar experiencias. El seguimiento permanente que se lleva a cabo —evaluación interna de los equipos educativos, de las actividades y de los materiales, evaluación de los participantes, etc.— permite la corrección y mejora de los programas.

### Objetivos

Son *objetivos generales* de la educación ambiental:

- Favorecer el conocimiento de los problemas ambientales.
- Capacitar a las personas para el análisis crítico de la información y los conflictos ambientales, el debate de alternativas y la toma de decisiones.
- Facilitar la comprensión de los procesos ambientales en su contexto socioeconómico y cultural.
- Fomentar la adquisición de nuevos valores pro-ambientales y apoyar el desarrollo de una ética de protección del medio equitativa y solidaria.
- Impulsar la participación activa de la sociedad en los asuntos colectivos,

potenciando la responsabilidad compartida hacia el medio.

- Promover los modelos de conducta sostenible en todos los ámbitos de la vida (hogar, trabajo, ocio).

En cuanto a los *objetivos específicos* de cada programa o actividad, algunos tienen que ver con los destinatarios a quienes se dirigen, otros son territoriales y otros se refieren a problemas ambientales concretos. Así, en el caso de los programas educativos de los centros, entre dichos objetivos específicos pueden destacarse:

- Poner en valor los recursos naturales y culturales de su entorno. Dar a conocer los procesos ecológicos, los problemas que les afectan y la necesidad de cuidado y conservación de ese patrimonio.
- Atender adecuadamente a sus visitantes, adaptando técnicas y recursos a cada tipo de usuario, ya sea residente de la zona, miembro de la comunidad educativa o público visitante.
- Fomentar hábitos y ofrecer posibilidades de uso y disfrute del medio natural que sean compatibles con la preservación de sus valores.
- Favorecer la aproximación y la coordinación entre las necesidades de la población local, las expectativas de los visitantes y una gestión adecuada del medio.
- Ofrecer recursos didácticos asociados al espacio en el que se localizan.
- Apoyar a los profesores para que puedan incorporar la educación ambiental a sus programaciones escolares.

### Recursos

Los medios propios que se destinan para el alcance de los objetivos de educación ambiental propuestos son de varios tipos: humanos, materiales y financieros, además de los programas y actividades que planifica y pone en marcha. También podrían considerarse los que constituyen el patrimonio natural y cultural del entorno de los Centros, representativos de los de la Comunidad de Madrid y sobre

los que se apoyan algunas de las actividades que se organizan.

### Equipos humanos

La planificación y diseño de las actuaciones de educación ambiental de la Consejería se realiza por el personal del Área de Educación Ambiental junto con el que contratan las empresas adjudicatarias de la ejecución de los programas y del mantenimiento de los Centros, contratos que salen a concurso público para periodos de dos o tres años prorrogables. Los pliegos de prescripciones técnicas de dichos concursos exigen personal cualificado y con experiencia en educación, interpretación del medio y espacios protegidos, valorándose positivamente su pluridisciplinaridad.

El Área de Educación Ambiental cuenta actualmente con un equipo de quince personas, once de las cuales son técnicos de formación variada (Agronomía, Arquitectura, Biología, Derecho, Forestal, Geología, Pedagogía, Química) y las otras cuatro son de apoyo administrativo. En los Centros, por su parte, trabajan más de cien personas, de las que casi el 90% son técnicos y monitores, con una mayor diversidad en su formación (*figura 2*); el resto, realiza labores de mantenimiento, jardinería, limpieza y vigilancia. Puede, por ello, afirmarse que se ha colaborado en la generación de un mercado de trabajo en el campo de la educación ambiental, pues a la vez lo han hecho otras

comunidades, ayuntamientos, instituciones y entidades.

Como puede verse en la mencionada *figura 2*, cuatro de los técnicos integrantes en la actualidad del equipo de los Centros son geólogos (eran seis el año 2004), debiendo destacarse que dos de ellos ocupan el puesto de coordinador de dos Centros. Ignoramos las razones exactas por las que hay bastantes menos geólogos que biólogos o licenciados en Ciencias Ambientales; quizás desconocen esta salida profesional o sus preferencias y posibilidades se dirigen hacia otras actividades. Pero podemos en cambio asegurar que los geólogos que han trabajado, o lo estamos haciendo hoy en educación ambiental, poseemos conocimientos y habilidades por los que resultamos muy valiosos en los equipos; entre ellos se pueden destacar nuestra amplia visión espacial y temporal, el conocimiento y la comprensión del territorio y de los procesos y recursos naturales, como el agua, el paisaje o el suelo, y la facilidad para movernos en el campo y manejar todo tipo de cartografía.

### Recursos materiales

Están constituidos por las infraestructuras (red de Centros con sus edificios e instalaciones, parcelas, áreas temáticas, huertos, sendas, observatorios), las publicaciones en cualquier soporte y todos los materiales de apoyo (exposiciones, maquetas, paneles, señalización), además de los recursos financieros.



Figura 3. Presupuestos anuales de los programas de los centros y del Área de Educación Ambiental.

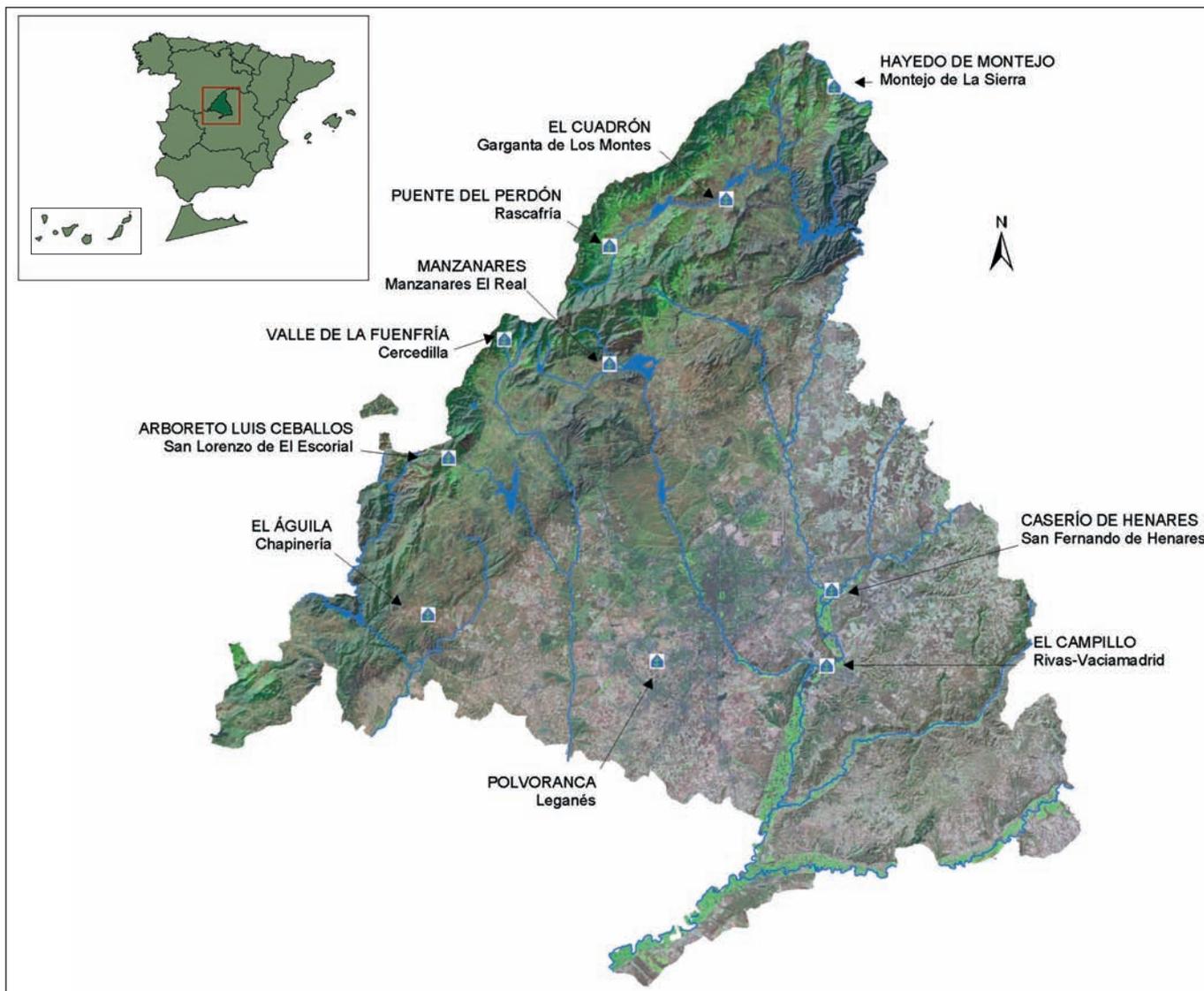


Figura 4. Situación de los centros de educación ambiental de la Comunidad de Madrid.

Los principales programas que se desarrollan en los centros, según los destinatarios a los que se dirigen, son los destinados al público general, al sistema educativo y a la población local

El presupuesto que la Consejería de Medio Ambiente dedica a la educación ambiental se incrementó sobre todo a partir de 1996, cuando se inició la creación de los Centros. Desde entonces ha continuado creciendo y, en la actualidad, supera los siete millones de euros al año, del que corresponde algo más de la mitad a los programas educativos de la red de centros (figura 3). En la otra mitad se incluyen algunas inversiones realizadas también en los centros (construcción, ampliación y conservación de los edificios) y en las sendas y áreas temáticas, además de otras cantidades relacionadas con gastos corrientes, subvenciones, convenios, etc.

#### Programas y actividades

Los principales programas que se desarrollan en los Centros, según los

destinatarios a los que se dirigen, son los destinados al público general, al sistema educativo y a la población local.

Para las personas que se acercan a los Centros, sobre todo en fines de semana, se llevan a cabo tareas fundamentalmente informativas, de sensibilización y de interpretación. Este público general sólo permanece un corto periodo de tiempo en el Centro, participando como mucho en alguna actividad guiada, cuando forma parte de un grupo (senda, visita a exposición).

El objetivo primordial del programa para el sistema educativo es apoyar a los profesores en la realización de actividades de educación ambiental (sendas, talleres, huerto escolar). Se colabora, además, en el programa de formación de profesores

de la Consejería de Educación, que atiende a casi 2.500 docentes al año.

La población que vive en los municipios de influencia de cada Centro constituye el grupo al que se dirige la mayor dedicación, dada la posibilidad de trabajo continuado y progresivo que permite su cercanía. En este caso, ya no se intenta sólo fomentar el que los vecinos se acerquen a los Centros, sino acudir al lugar de sus reuniones, asociaciones o escuelas, para tratar los temas que les preocupan o interesan; con ellos se organizan todo tipo de talleres, celebraciones, seminarios, grupos de trabajo, aulas o campamentos de verano.

### La red de Centros de educación ambiental

En la actualidad está integrada por diez Centros que están abiertos todos los días, incluso festivos, de 10 a 18 horas, ofreciendo sus actividades de forma

gratuita. Al menos alguna de ellas en cada Centro está adaptada para que puedan ser realizadas por personas con discapacidad. Los Centros se distribuyen por todo el territorio de la Comunidad (figura 4), tres en su parte central y siete en el norte, a lo largo de la Sierra de Guadarrama. En breve, la red se ampliará, tras la finalización del Centro Bosque Sur, junto a Fuenlabrada, y la próxima construcción de otro en Perales de Tajuña.

Si se habla de una red es porque se trabaja coordinadamente, con los mismos objetivos generales e igual metodología, pero cada centro tiene sus propias particularidades, tanto por sus infraestructuras y medios como por su ubicación concreta. Algunos destacan por disponer de edificios grandes, con espacio para biblioteca, exposiciones y aulas, como los de Manzanares, El Campillo (Rivas-Vaciamadrid) y El Águila (Chapinería); en otros, lo más característico es su situación privilegiada, dentro de espacios singulares o protegidos, como el

del Hayedo de Montejo, los del Valle del Lozoya —Puente del Perdón y El Cuadrón— y Valle de la Fuenfría o el Arboreto Luis Ceballos, situado en el Monte Abantos (San Lorenzo de El Escorial). El Centro de educación ambiental Caserío de Henares ocupa una finca en la vega de este río, con un interesante bosque de ribera y con huertos en los que se practica la agricultura ecológica. Por último, el de Polvoranca (Leganés) se sitúa dentro de un parque creado hace veinte años, con una serie de jardines temáticos diseñados con finalidad didáctica.

Aunque en todos los Centros se tratan los grandes temas y problemas del medio ambiente, particularmente los señalados para este decenio por el VI Programa de la Unión Europea, las peculiaridades de cada uno marcan también su orientación específica. Así, por ejemplo, el Centro de Manzanares, dentro del primer espacio declarado Parque Regional por la Comunidad de Madrid, se dedica especialmente a la conservación de los recursos, y, el del Valle de la Fuenfría, al uso público, por localizarse en una de las áreas de la Sierra más frecuentadas por los madrileños; la temática principal del Arboreto Luis Ceballos es la cultura forestal, mientras que El Campillo trata los humedales; por su parte, el Centro El Águila se dedica al encinar mediterráneo y su fauna.

Ya se ha comentado que muchos de los temas ambientales tienen un importante contenido geológico. Pero además, en algunos de los Centros se han creado áreas específicas de geología. Tal es el caso del jardín de rocas de Polvoranca (figura 5), que



Figura 5: Jardín de rocas de Polvoranca; puede verse parte del mapa litológico, la columna estratigráfica y alguna de las parcelas con las muestras de rocas que se exhiben.



Figura 6: Jardín de rocas del centro de Manzanares.

Si se habla de una red es porque se trabaja coordinadamente, con los mismos objetivos generales e igual metodología, pero cada centro tiene sus propias particularidades



Figura 7. Reproducción de fauna del pasado en el centro El Campillo.

Durante sus diez primeros años de funcionamiento, las actividades de la red de Centros de educación ambiental de la Comunidad de Madrid han llegado a más de dos millones de personas. A finales de 2005, la cifra exacta ascendía a un total de 1.839.137 participantes (figura 8), de los que aproximadamente un 70% correspondían a público general, un 20% al sistema educativo y un 10% a la población local.

La evaluación que se ha venido realizando de los recursos de la red de Centros de educación ambiental de la Comunidad de Madrid señala como más significativos precisamente a los profesionales especializados que integran su equipo pluridisciplinar de educadores. Dicho equipo está constituido, en la actualidad, por casi un centenar de técnicos, entre los que se encuentran geólogos, cuyo número puede y debe aumentar en el futuro, pues como se ha mencionado estamos en muy baja proporción. Para el ejercicio de la educación ambiental, que muestra un crecimiento sostenido y sigue demandando profesionales, los geólogos tenemos la formación técnica adecuada y es una actividad que puede resultar atractiva e interesante a todos aquellos a quienes gusta transmitir conocimientos, el trabajo educativo y el contacto con el público. El incremento del número de geólogos permitirá incluir un mayor número de temas geológicos en las actividades y programas de los Centros.

fue diseñado por la autora con el fin de dar a conocer los tipos de rocas que constituyen el sustrato geológico de Madrid y su distribución; para ello se presentan en una serie de parcelas diversos ejemplares de las quince litologías más significativas de la región, las cuales aparecen ordenadas por cronología y origen, y un mapa litológico simplificado a escala de la Comunidad de Madrid, formado por los propios materiales rocosos. El jardín cuenta además con una columna estratigráfica y carteles explicativos.

Dependiente del Centro de educación ambiental Hayedo de Montejo, y cerca de la localidad de Prádena del Rincón, junto a la lagunilla del Salobral, en la que termina la llamada senda del agua, se ha preparado otra muestra de rocas y paneles de interpretación del paisaje de esta zona de la sierra.

Varias de las áreas temáticas del Centro de Manzanares se refieren también a la geología. Así, la Pequeña Pedriza reproduce a escala alguno de los ejemplos más notables de su singular geomorfología, para que puedan ser reconocidos por los invidentes. El jardín de rocas ofrece muestras de las más representativas del Parque Regional y ejemplos de sus usos tradicionales (figura 6). Además de folletos sobre numerosas sendas, el Centro dispone de un vídeo sobre el origen de La Pedriza. Próximamente, en la nueva exposición que

se prepara sobre la Sierra de Guadarrama, se mostrarán diversos aspectos de la geodiversidad de estas montañas, como sus depósitos y formas glaciares o su paisaje.

Por su parte, el Centro El Campillo dispone de una réplica del yacimiento cuaternario de Áridos y de una reproducción de elefantes antiguos, madre y cría, de la especie encontrada en dicho yacimiento (figura 7). En su exposición permanente sobre los valores del Parque Regional del Sureste, se explican algunos hechos de su historia geológica, se muestran fósiles terciarios y cuaternarios de la zona y se habla del uso del territorio por las sociedades primitivas.

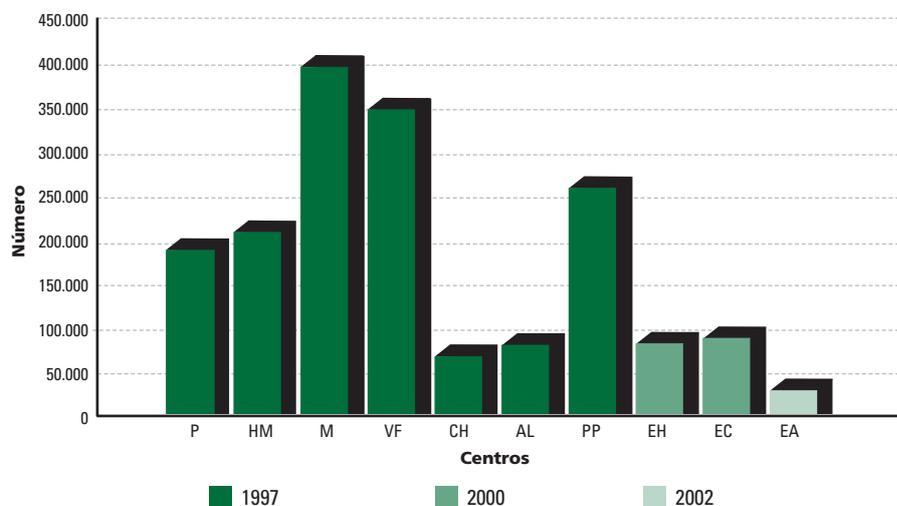


Figura 8. Número de participantes en los programas de los Centros de educación ambiental (P, Polvoranca; HM, Hayedo de Montejo; M, Manzanares; VF, Valle de la Fuenfría; CH, Caserío de Henares; AL, Arboreto Luis Ceballos; PP, Puente del Perdón; EH, El Hornillo, desde 2005 El Cuadrón; EC, El Campillo y EA, El Águila). Cada color señala el año de inicio de la actividad en los distintos Centros.

# Los riesgos naturales en la composición musical

Desde la aparición de las primeras manifestaciones artísticas, el hombre se ha sentido hechizado por el inmenso poder de las tormentas, las tempestades, las erupciones volcánicas y los terremotos. De una forma u otra, la música ha conseguido recrear el efecto que nos producen estos fenómenos. Es un hecho en nuestra cultura: existen músicas tanto en la tradición clásica occidental, como la ópera y la música instrumental programática, en las bandas sonoras de películas de catástrofes e incluso en el jazz. ¿Cuáles son las herramientas que utiliza un compositor para describir los riesgos naturales?

TEXTO | Carlos González Martínez, compositor y pianista

Palabras clave

Riesgos naturales, música, ópera

El nacimiento de la ópera en el siglo XVII tiene como principal representante al compositor italiano Claudio Monteverdi (1567-1643) (figura 1). Esta época corresponde con la transición del Renacimiento al Barroco. La ópera obligaba a los compositores a recrear las diferentes emociones que surgían en el transcurso de la acción narrativa. *El retorno de Ulises a la patria*, compuesta en 1640, es la segunda de las tres óperas de Monteverdi que se

En *El retorno de Ulises a la patria*, no aparecen todas las partes instrumentales de la obra, pero cuando comienza la tempestad se refuerza toda la plantilla: violines, violas, violas de gamba y contrabajos apoyados por diferentes instrumentos de viento

conservan. No es lo que hoy en día entendemos por una ópera barroca, ya que todavía no tiene arias y carece de números aislados. El argumento lo conforman los diez cantos de la *Odisea* de Homero, del decimotercero al vigesimotercero. En el primer acto se narra cómo Neptuno quiere impedir el regreso a Ulises para castigarle por haber cegado a su hijo Polifemo. De esta forma, encontramos la descripción de la tempestad marítima que intenta acabar con el barco de Neptuno. En la partitura no aparecen todas las partes instrumentales de la obra, pero cuando comienza la tempestad se refuerza toda la plantilla: violines, violas, violas de gamba y contrabajos apoyados por diferentes instrumentos de viento. Esta masa instrumental, muy grande para su época, permite enfatizar el efecto de agresividad producido por la tempestad.

Otra ópera compuesta cien años más tarde, en 1733, en plena culminación del Barroco, es *Hipólito y Auridice*, la obra más importante del compositor francés Jean-Philippe Rameau (1683-1764) (figura 2). Consiste en un drama de temática similar al de Monteverdi. En el acto II aparece la descripción de una erupción volcánica provocada por Plutón (figura 3). Sin embargo, a diferencia de la obra de Monteverdi, la instrumentación no es el medio empleado, sino la figuración



Figura 1. Retrato de Claudio Monteverdi.

melódica y la armonía. Son características las violentas sacudidas de escalas en fusas de la cuerda y los encadenamientos cromáticos de acordes, que conducen al oyente a una pérdida de la tonalidad principal.

La música instrumental también tiene obras maestras en las que aparecen fenómenos naturales adversos. Este es el caso del compositor italiano Antonio Vivaldi (figura 4) y su Concierto

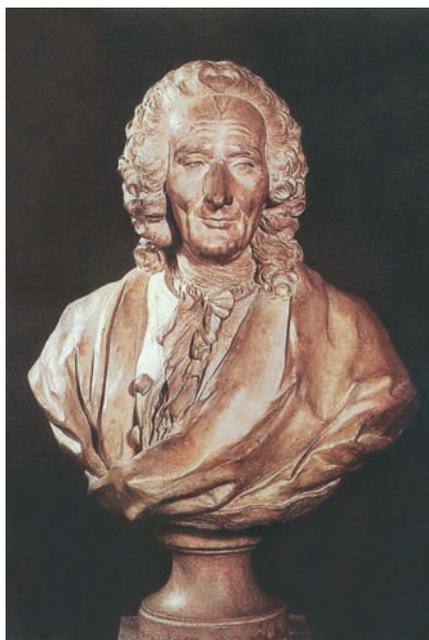


Figura 2. Busto de Jean-Philippe Rameau.

para violín, orquesta de cuerda y bajo continuo en sol menor, Op. 8 n.º 2 (RV 315) *Verano*, compuesto en 1720. El tercer movimiento recrea una tormenta de verano. La escritura de Vivaldi es fresca, vivaz y utiliza un motor rítmico de semicorcheas que nunca cesa. Para representar los truenos que aparecen al comienzo de la tormenta, Vivaldi emplea silencios entre violentas frases al unísono (figura 5). Las características principales de esta obra se sintetizan en repentinos cambios de tesitura y repetición de arpeggios, escalas y fórmulas melódicas sencillas en forma de *ostinati*.

### La tormenta de Beethoven

El compositor alemán Ludwig van Beethoven (1770-1827) (figura 6) es considerado como el fundador del Romanticismo musical y el paladín de la dignidad y la independencia de los creadores artísticos. Algunas de sus composiciones están repletas de connotaciones narrativas. Dentro de su producción pianística, es interesante destacar la Sonata en *re* menor (Op. 31, n.º 2) conocida como *La tempestad*. El primer movimiento alterna pasajes lentos, a modo de recitativo, con un *Allegro* de gran intensidad dramática, pero conservando la estructura bitemática tradicional de la Sonata Clásica. Parece que, con estos interesantes experimentos formales,



Figura 3. Erupción del volcán St. Helens el 18 de mayo de 1980. La obra más importante del compositor Jean-Philippe Rameau, "Hipólito y Aurídice" describe una violenta erupción volcánica.

Beethoven intenta describir la calma que precede a una tormenta y cómo ésta se intensifica. Sus amigos le pidieron que explicara el significado de esta Sonata y Beethoven aclaró: "Leed *La tempestad* de Shakespeare" (Scott, M., 1988). No obstante, Beethoven tenía la idea de que lo que el propio compositor quiere decir resulta más fácil experimentarlo a través de la música que entenderlo mediante sus palabras.

En la Sexta Sinfonía en *fa* mayor (Op. 68), compuesta en 1808, es donde encontramos el ejemplo más excepcional de la descripción de una tormenta. El

título original de la partitura se lo dio el propio compositor: *Pastoral*. Beethoven reflejó, de esta forma, el amor que sentía por la naturaleza. Este es un rasgo perdurable en toda su obra. Prueba de ello es que casi todos los veranos se marchaba de su residencia habitual en Viena por espacio de varios meses. Solía instalarse en algún pueblo de las afueras, como Mödling o Heiligenstadt —la sinfonía *Pastoral* fue compuesta precisamente en Heiligenstadt (figura 7)—, o en el balneario de Baden, algo más alejado y en pleno campo. En estos lugares daba largos paseos solitarios por los bosques y contemplaba



Figura 4. Retrato de Antonio Vivaldi.

la intensidad y grandeza de las tormentas (figura 8). Durante sus caminatas acostumbraba a llevar un hatillo con pliegos de papel pautado y, de vez en cuando, se detenía para hacer apuntes con un lápiz, actitud que sus contemporáneos consideraban una excentricidad. Cuando se desataba una tormenta corría a resguardarse en tabernas o restaurantes, en los que a veces se pasaba horas contemplando por la ventana mientras reflexionaba. En muchas ocasiones, el trabajo compositivo en su casa se veía interrumpido (en cierto sentido mantenido) por dos o tres breves excursiones por el campo durante las que continuaba

“Nadie puede amar el campo tanto como yo lo amo. Pues ciertamente los bosques, los árboles y las peñas producen el eco que se desea escuchar” (Kerman, J. y Tyson, A., 1985)

haciendo apuntes en papel pautado. Algunos de estos cuadernillos de bolsillo se han conservado junto con apuntes de escritorio en los que Beethoven trabajaba estando en casa. En 1810 escribió a Therese Malfatti: “Nadie puede amar el campo tanto como yo lo amo. Pues ciertamente los bosques, los árboles y las peñas producen el eco que se desea escuchar” (Kerman, J. y Tyson, A., 1985).

La sinfonía *Pastoral* es una obra de gran originalidad y representa la culminación de Beethoven en muchos aspectos. Algunos elementos constructivos son deudores del lenguaje de Vivaldi. Son habituales los diseños melódicos sencillos, la regularidad fraseológica

y el tratamiento funcional nítido en la armonía. Además, es curioso señalar la repetición obsesiva de un motivo del primer movimiento (figura 9). Parece que la música minimalista del siglo XX fue inventada 150 años antes, ya que recuerda a este pasaje.

Beethoven aprovechó la estructura formal de la Sinfonía Clásica en cuatro movimientos y añadió un nuevo movimiento entre el *Scherzo* y el *Finale* (*Scherzo* y *Finale* son el tercer y cuarto movimientos en la Sinfonía Clásica) que describe una tormenta. Estos tres últimos movimientos se interpretan sin pausa, lo que confiere unidad estructural a la parte narrativa de la obra. Cada movimiento lleva un título programático de la siguiente forma:

“Despertar de impresiones agradables al llegar al campo”

*Allegro ma non troppo*

“Escena junto al arrollo”

*Andante molto mosso*

“Alegre reunión de campesinos”

*Allegro*

“Tormenta”

*Allegro*

“Canto pastoral: Sentimientos de alegría y gratitud tras la tormenta”

*Allegretto*

Figura 5. Vivaldi emplea silencios entre violentas frases al unísono para representar los truenos que aparecen al comienzo de una tormenta.



Figura 6. Retrato de Ludwig van Beethoven.

Este plan formal es uno de los mayores logros musicales de Beethoven. La tormenta aparece sobre unos trémolos de cuerda en *pianissimo*, estalla con toda su fuerza y termina con la acción de gracias que pone fin a la obra. La orquesta no toca al completo hasta que la tormenta alcanza el clímax. De esta forma, Beethoven consigue intensificar el efecto dramático de los acordes en *fortissimo*, añadiendo trompetas y timbales (figura 10), que no habían tocado en los tres movimientos anteriores. Los pasajes en semicorcheas de los violonchelos y contrabajos contribuyen a generar una gran tensión junto con los encadenamientos de acordes de séptima disminuida.

La sinfonía *Pastoral* permite ser escuchada por los oyentes aficionados de forma narrativa; los oyentes son capaces de imaginar cómo se desencadena la tormenta desde las primeras gotas de lluvia y la forma en la que se escuchan los truenos. Sin embargo, lo impresionante es que la música de Beethoven tiene un componente extranarrativo que consigue transmitir un mensaje psicológico aún cuando el oyente prescinde de elementos programáticos.



Figura 7. Alrededores de la villa de Heiligenstadt, en donde Beethoven se inspiró para componer la famosa sinfonía *Pastoral*, que contiene el ejemplo más excepcional de descripción musical de una tormenta.



Figura 8. Tormenta con relámpagos.



Figura 9. Fragmento de la partitura del primer movimiento de la sinfonía *Pastoral*.

The image shows a page of a musical score for the fourth movement of Beethoven's Pastoral Symphony. The score is arranged in a standard orchestral format with staves for various instruments. The woodwinds (Flute, Oboe, Clarinet in B-flat, Bassoon) and brass (Trumpet in F, Trombone in B-flat, Timpani) sections are shown with long notes and dynamic markings like 'cresc.' and 'ff'. The strings (Violin I, Violin II, Viola, Violoncello, Contrabass) are shown with rhythmic patterns and dynamic markings. The score is in a key with three flats and a common time signature.

Figura 10. Fragmento del cuarto movimiento de la sinfonía Pastoral. Para intensificar el efecto dramático de los acordes en fortissimo, Beethoven añade trompetas y timbales.

### La tormenta de Liszt

El compositor húngaro Franz Liszt (1811-1885) (figura 11) es conocido como uno de los grandes virtuosos del piano de su época. Amy Fay, alumna de Liszt, recuerda en una de sus clases cómo improvisó una pieza que recreaba una tormenta:

“—[...] he inventado muchas cosas —dijo [Liszt], mostrando indiferencia—, ésta, por ejemplo. Y empezó a tocar una tanda doble de escalas cromáticas con la mano izquierda. Sonaba magníficamente y el sonido llenaba toda la habitación.

Con la sinfonía *Pastoral* los oyentes son capaces de imaginar cómo se desencadena la tormenta desde las primeras gotas de lluvia y la forma en la que se escuchan los truenos

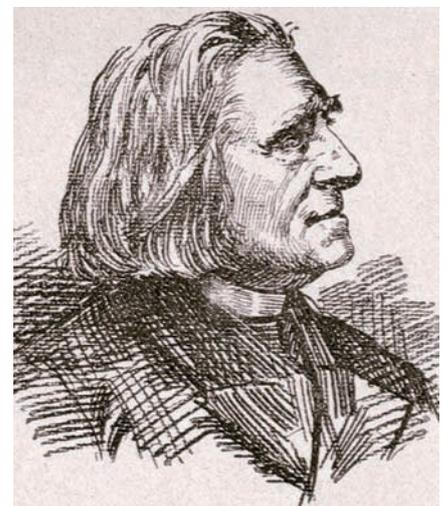


Figura 11. Retrato de Franz Liszt.



Figura 12. Retrato de Richard Wagner.



Figura 13. Retrato de Richard Strauss.



Figura 14. Retrato de Benjamin Britten.

—Espléndido, dije yo.  
 —¿Me has oído alguna vez hacer una tormenta? —replicó él.  
 —No.  
 —Deberías oírme hacer una tormenta. Las tormentas son mi fuerte.  
 Después murmuró para sus adentros, mientras sus ojos se llenaban de un aire de misterio, como si, en efecto, pudiera provocar una tempestad.  
 —*Da krachen di Bäume* (Los árboles se quiebran) [...] (Fay, A., 2003).

Liszt es autor de una obra para piano que precisamente se titula *Tormenta*, compuesta en 1842, y que consiste en una evocación de una tormenta en una montaña. Pertenece a una colección de piezas que surgieron a partir de impresiones personales agrupadas bajo el título de *Cuadernos de años de peregrinación*, y en concreto al primer cuaderno: *Suiza*, que tiene que ver con la naturaleza. Es una obra muy efectista de gran dificultad técnica, donde aparecen violentos pasajes en octavas. La atmósfera armónica en la que Liszt sumerge al oyente nos sitúa en un lugar de inestabilidad. Quizá esta sea la descripción más diabólica de una tormenta que nadie haya compuesto.

### Romanticismo musical y cine de catástrofes

Otros ejemplos de tormentas se deben a los compositores alemanes Richard Wagner (1813-1883) (figura 12) y Richard Strauss (1864-1949) (figura 13), que tienen relación con la técnica programática similar a la de Beethoven y característica en el Romanticismo. La tempestad de Wagner se encuentra en el Preludio de su ópera *La Valkiria*,

La atmósfera armónica en la que Liszt sumerge al oyente nos sitúa en un lugar de inestabilidad. Quizá esta sea la descripción más diabólica de una tormenta que nadie haya compuesto

donde una rápida figura ascendente precede a una sucesión de escalas en el registro grave. Sobre un trémolo de cuerda crece toda la masa orquestal. En la *Sinfonía Alpina* de Strauss se narra la expedición de unos alpinistas, su ascensión a la cima de una montaña y su descenso. En este momento son sacudidos por una fuerte tormenta. Strauss maneja una orquesta gigantesca con extrema agresividad, dotando a todos los timbres de su propia personalidad.

El oyente aficionado se siente a gusto con este tipo de "tormentas románticas", ya que actualmente se han desarrollado una serie de clichés musicales que nos resultan familiares en nuestro entorno. La música de cine ha ayudado a afianzar esta serie de códigos musicales propios del romanticismo. Podríamos decir que es una música basada en las emociones con las que todo el mundo se identifica. Los cineastas la utilizan para provocar ciertos estímulos en el espectador. Las superproducciones del cine americano han dado lugar a este tipo de composiciones basadas en giros y lenguajes musicales tópicos. Algunas de estas películas tienen como bandas sonoras composiciones muy pobres

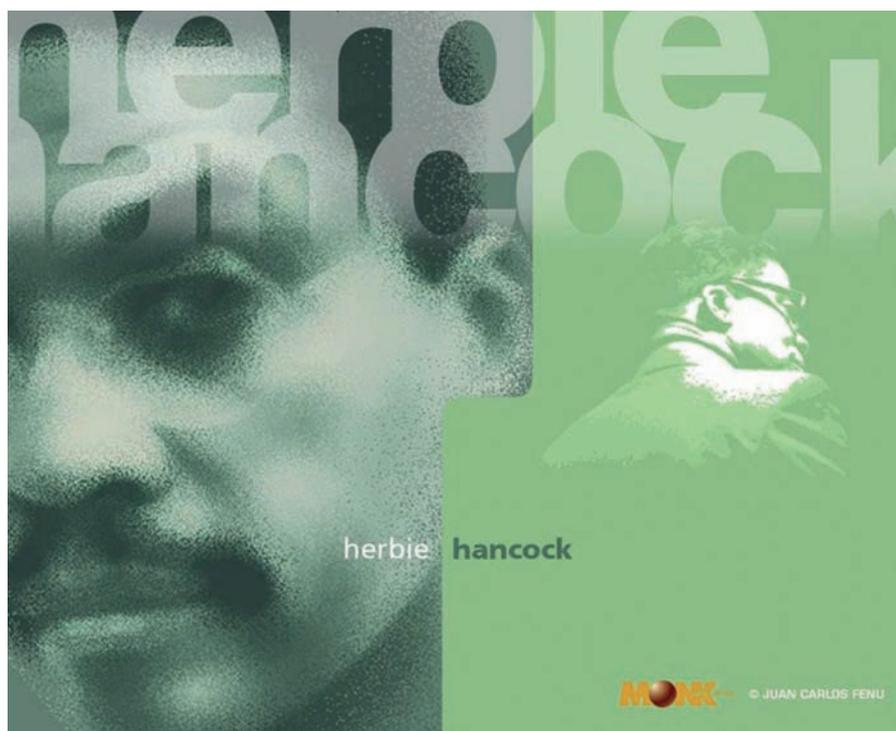


Figura 15. El intérprete de jazz Herbie Hancock.

En el terreno del jazz, es destacable la composición *Eye of the Hurricane* (Ojo del huracán), perteneciente al álbum *Maiden Voyage* (1965), del pianista norteamericano Herbie Hancock (n. 1940) (figura 15), y que es un magnífico ejemplo del estilo *hard-bop*. El huracán aparece descrito con tempos rápidos y armonías modales. Las improvisaciones sobre esta melodía tienen un carácter agresivo y eléctrico, habitual en este tipo de jazz.

### Epílogo

Las composiciones destinadas a la descripción de riesgos naturales son el producto de un gran esfuerzo por parte del compositor. Los ejemplos analizados son obras de gran calidad musical y representan el intento de entender el mundo y situar al hombre frente al poder de la naturaleza. La música va más allá de la pura descripción literal o de la narración programática, es un reflejo de la condición humana y de nuestra psicología.

musicalmente. La película de ciencia ficción *Waterworld*, que describe un mundo futuro después del deshielo de los polos, fue un fracaso comercial y sin embargo dio lugar a una banda sonora de gran calidad debida a James Newton Howard (n. 1951). La plantilla instrumental es de proporciones espectaculares: dos orquestas, dos coros y sintetizadores manipulados por cuatro intérpretes.

### Opera inglesa del siglo XX y música de jazz

Dentro de las óperas del siglo XX tiene especial importancia *Peer Gremes*,

del compositor inglés Benjamin Britten (1913-1973) (figura 14). El argumento cuenta la historia de Peer Gremes, un pescador que sale al mar con su aprendiz, donde son víctimas de una fuerte tempestad que provoca la muerte del aprendiz. Britten compuso esta tempestad en forma de interludio instrumental. Es de una gran simplicidad formal, se basa en un solo motivo que se intensifica de forma salvaje, y al final se alcanza la calma. La orquestación utiliza una textura muy densa, el motivo principal se apoya sobre la cuerda y una gran fanfarria de metales. El estilo compositivo de Britten es de una sutileza magistral.

### Bibliografía

- Fay, A. (2003). *Mis clases de piano con Franz Liszt*. Madrid: Intervalic University, p. 70.
- Kerman, J. y Tyson, A. (1985). *Beethoven*. Barcelona: Muchnik Editores, 132-133.
- Scott, M. (1988). *Beethoven*. Barcelona: Salvat, p. 129.

### Relación de obras musicales que hacen referencia a riesgos naturales

Monteverdi, Claudio: Il ritorno d'Ulisse in patria (El retorno de Ulises a la Patria).

Vivaldi, Antonio: Concierto para violín, orquesta de cuerda y bajo continuo en sol menor, Op. 8 No. 2, RV 315 "Verano", III movimiento: Presto.

Rameau, Jean-Philippe: Hippolyte et Aricie (Hipólito y Aurídice).

Beethoven, Ludwig van: Sinfonía No. 6 en Fa Mayor "Pastoral", Op. 68, IV movimiento: "Tormenta" Allegro.

Wagner, Richard: La Valkiria, Preludio.

Liszt, Franz: Primer cuaderno de Años de Peregrinación (Suiza): "Orage" (Tormenta) No. 5.

Strauss, Richard: Una Sinfonía Alpina: "Gewitter und Sturm" (Tempestad y Tormenta) No. 19.

Britten, Benjamin: Cuatro Interludios Marinos de Peer Gremes, Op. 33a: "Tempestad" No. 4.

Newton Howard, James: "Waterworld" BSO (1995).

Hancock, Herbie: "Eye of the hurricane" (Ojo del huracán), en *Maiden Voyage* (1965).

# El ICOG en el CONAMA 8

Con una gran asistencia de público, se ha celebrado en Madrid, en el Auditorio Municipal de Congresos del Campo de las Naciones, la octava edición del Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA 8), celebrado del 27 de noviembre al 1 de diciembre.

**TEXTO** | Juan Pablo Pérez Sánchez, geólogo, Marc Martínez, geólogo, José Luis González, geólogo

Han pasado ya 14 años desde que, en 1992, se celebrara la primera edición organizada por el Colegio Oficial de Físicos. En esta edición han participado 700 ponentes, 80 entidades sociales, 1.500 técnicos profesionales y 10.532 asistentes inscritos (tres mil más que en la séptima edición celebrada en 2004). Paralelamente al congreso se dedicaron más de 3.500 metros cuadrados de exposición, en la cual organismos oficiales, comunidades autónomas, entidades y empresas mostraron sus experiencias y proyectos medioambientales.

Como en ediciones pasadas, el ICOG ha tenido una participación destacada como coordinador de varios Grupos de Trabajo (GT). En este año, han sido tres grupos los que coordinaron vocales experimentados de la Junta de Gobierno, a saber:

- GT-11 **Próximos retos en la gestión de suelos contaminados.**  
*Coordinador:* Juan Pablo Pérez Sánchez (vocal de Medioambiente)
- GT-16 **Protección de las aguas subterráneas.**  
*Coordinador:* Marc Martínez Parra (vocal de Hidrogeología)
- GT-23 **Implicaciones económicas y sociales de los riesgos naturales.**  
*Coordinador:* José Luis González García (vocal de Riesgos Naturales)

También intervino como relator del GT-16, el vocal Hidrogeología del ICOG, Carlos Martínez Navarrete.

La inauguración del Congreso estuvo presidida por la presidenta de la Comunidad de Madrid, Esperanza Aguirre, y la ministra de Medio Ambiente, Cristina Narbona. En la mesa presidencial (*figura 1*) les acompañaban el presidente de la Federación Española de Municipios y Provincias (FEMP), Heliodoro Gallego; la concejala de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Madrid, Paz González; el presidente de Unión Profesional en representación de millón y medio de

profesionales de toda España, Carlos Carnicer y el presidente de la Fundación CONAMA, Gonzalo Echagüe. La ministra se refirió a CONAMA 8 como “la cita para todas las Administraciones ante el reto del desarrollo sostenible”, en la que dar a conocer los aciertos que se han producido durante estos últimos años.

## GT-11 Próximos retos en la gestión de suelos contaminados

Entre las actividades desarrolladas por el ICOG en el recientemente concluido Congreso Nacional de Medio Ambiente, estuvo la coordinación de este Grupo de



Figura 1. Mesa inaugural. De izquierda a derecha, Carlos Carnicer, Paz González, Esperanza Aguirre, Cristina Carbona, Heliodoro Gallego y Gonzalo Echagüe.



Figura 2. Mesa del GT-11. De izquierda a derecha. Josep Anton Domènech, Javier Lillo, Isabel Coletto, Juan Pablo Pérez Sánchez y Mikel Aguirregomezkorta.



Figura 3. Marc Martínez durante su intervención.

Trabajo, que se dedicó a evaluar los próximos retos en la gestión de los suelos contaminados. Este grupo contó con la colaboración de más de 20 personas, y la asistencia a su presentación de conclusiones de más de 90 personas, lo que supuso el grupo con más auditorio de todos los celebrados en esta edición del CONAMA, tal y como indicó la organización del mismo. Es una satisfacción conocer este alto grado de participación para esta actividad organizada por el ICOG —que también se repitió en la edición anterior— y poder contribuir a la comunicación de los últimos avances en la gestión de suelos contaminados. La mesa estuvo presidida por Juan Pablo Pérez Sánchez (figura 2).

Las principales conclusiones de este grupo fueron la detección de que este

En la gestión de suelos contaminados se demanda, por parte de las industrias afectadas, la uniformidad de criterio técnico entre las diferentes CCAA

sector se encuentra todavía en fase de desarrollo y en continuo crecimiento, en el que ya se empiezan a apreciar síntomas de competencia en todas las áreas. Si bien, todavía hay aspectos técnicos a desarrollar y mejora, como son las metodologías de trabajo de campo y toma de muestras, metodologías de conservación y transporte de muestras y metodologías analíticas.

Así mismo se demanda por parte de las industrias afectadas, las empresas de consultoría e ingeniería y por las empresas de servicios (laboratorios y empresas de perforación), la uniformidad de criterio técnico entre las diferentes comunidades autónomas.

También se comentó la necesidad de mejorar y mantener la formación del personal técnico de campo. En este sentido, la Universidad española se encuentra en plena fase de adaptación a la Declaración de Bolonia, advirtiéndose ya la aparición de formación de postgrado que incluyen formación específica en materia de suelos contaminados.

Finalmente, se ha observado un aumento significativo en la investigación en materia de suelos contaminados en los dos últimos años, si bien casi toda esta iniciativa ha correspondido a organismos públicos, por lo que existe la necesidad de que la empresa privada se involucre más en la I+D+i.

### GT-16 Protección de las aguas subterráneas

La exposición de este trabajo se realizó el 1 de diciembre, último día de congreso, con notable presencia y participación del público.

El Grupo de Trabajo trató un tema tan importante y siempre de actualidad como es la protección de las aguas subterráneas en España. Esta temática surge del interés de la vocalía de Hidrogeología del ICOG por estar presente en aquellos foros en los que se pueda influir en la política actual de las aguas subterráneas y defender la necesidad de que el colectivo de hidrogeólogos tenga mayor presencia en la administración y en la sociedad. La coordinación de dicho grupo estuvo al cargo de Marc Martínez Parra (figura 3), siendo uno de los relatores Carlos Martínez Navarrete (figura 4).

El grupo se constituyó con técnicos e investigadores de experiencia contrastada, pertenecientes tanto a la Universidad, ONG o Administración. Han elaborado un texto de 77 páginas cuyo objetivo es reflexionar sobre la situación real de la protección medioambiental de las aguas subterráneas, tanto para uso humano como preservación de ecosistemas y la aplicación real de las normas existentes para ello. Con ese fin se han incluido en el texto los siguientes apartados: la DMA y la protección del

agua en España, las herramientas legales existentes para la protección y su aplicación real, las propuestas de reformas de las leyes del agua, los usos del agua, desde un punto de vista novedoso, mostrando las problemáticas existentes en el uso urbano, de regadío y cómo la Administración española debe mejorar el conocimiento de los acuíferos y cumplir los objetivos medioambientales de la DMA. También se han mostrado aspectos poco convencionales de la obtención de recursos hídricos, como qué hacer con el agua proveniente de la minería así como el impacto de las nuevas tecnologías para obtener el recurso hídrico. Por último, se ha tratado la presencia de los hidrogeólogos en la Administración y en la sociedad en general, y la manera de mejorar esa imagen.

### GT-23 Implicaciones económicas y sociales de los riesgos naturales

El 27 de noviembre se presentó en el CONAMA el trabajo sobre "Implicaciones Económicas y Sociales de los riesgos naturales", elaborado por el Grupo de Riesgos Naturales y coordinado por el vocal del ICOG José Luis González (figura 5). La presentación fue iniciada por Juan Carlos García López-Davalillo (IGME) y Julián García Mayordomo (CEDEX), que expusieron la situación actual de los



Figura 4. El vocal del ICOG, Carlos Martínez Navarrete, durante su intervención.



Figura 5. Mesa del GT-16. De izquierda a derecha, Fernando Davara, José Luis González y Julián García Mayordomo.

riesgos naturales en España y en el mundo. El primero hizo un acertado repaso a los riesgos más frecuentes en España, concretamente las inundaciones y los terremotos, mientras que el segundo disertó sobre los tipos de riesgos más frecuentes que sacuden al planeta.

Intervinieron a continuación Isabel Martínez Torre-Enciso (Universidad Autónoma de Madrid) y Ana Fernández-Ardavín (Universidad Rey Juan Carlos), refiriéndose a la existencia de nuevos instrumentos financieros de alternativa de riesgos para complementar los mecanismos tradicionales de reaseguro, y señalando que en la evaluación de desastres naturales no basta con valorar las pérdidas económicas directas, sino que es necesario evaluar las implicaciones macroeconómicas que afectan a las principales macromagnitudes (PIB, balanza de pagos...).

El vicepresidente de la Fundación Predena y antiguo director del Centro de Satélites de la Unión Europea, Fernando Davara, defendió la utilización ventajosa de la observación de la tierra a través de la tecnología espacial, planteando una reflexión sobre la dificultad de cuantificar de manera eficiente los impactos no económicos de los riesgos naturales y abordando el fenómeno de la recursividad entre riesgos naturales y conflictos.

Joan Manuel Vilaplana, coordinador de la Red Temática de Riesgos Naturales de Catalunya y profesor de la Universitat de

Barcelona, señaló la necesidad de promover y potenciar la investigación básica sobre peligros naturales en España, reforzando la coordinación de los equipos e instituciones y mejorando la aplicación de los resultados de la investigación en actividades de reducción del riesgo.

Por último, se expuso el desafío de mejorar el proceso de transferencia de conocimiento desde el ámbito científico-técnico al nivel político/normativo y a la sociedad en general, planteando la necesidad de incorporar de manera preceptiva o vinculante los estudios de riesgos en la normativa de prevención, y acentuando la necesidad de mejorar los programas de educación en materias relativas a los procesos involucrados en los peligros naturales.

Como conclusiones principales se destacó la necesidad de fomentar el empleo de redes temáticas de riesgos naturales, la conveniencia de establecer un centro de referencia para análisis y difusión de información sobre aspectos socioeconómicos y ambientales, y la necesidad de desarrollo de cartografías de peligrosidad como instrumento esencial de la sostenibilidad en la ordenación territorial y urbana.

### Agradecimientos

A la Fundación CONAMA por la cesión de las fotografías incluidas en este artículo.

# El Ebro captura al Duero en el norte de Burgos

## Guía de una excursión geológica

La diferente altitud de los niveles de base de las redes del Duero y del Ebro, en los límites de La Bureba (Burgos), propicia el retroceso de la divisoria hacia el oeste y sur. El retroceso comporta la destrucción del paisaje propio de la vertiente del Duero y su sustitución por el del Ebro. El propósito de este artículo es, tras la descripción y justificación de las características geomorfológicas y su evolución en la divisoria y alrededores, proponer un itinerario de lugares seleccionados que permitan la observación, con notable valor didáctico, de los principales rasgos indicativos del fenómeno.

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

Palabras clave  
Cuencas del Duero y Ebro, Divisoria hidrográfica, Capturas, Bureba.

En el noreste de la provincia de Burgos, la divisoria Duero-Ebro constituye el límite meridional natural de la comarca de La Bureba.

La Bureba, drenada por el río Oca y afluentes, que vierten a la red del Ebro, presenta una altitud promedio de unos 750 m. En Briviesca, la capital comarcal, el Oca discurre a 720 m de altitud. Las zonas localizadas al oeste y suroeste de La Bureba, es decir, el ámbito de Burgos y alrededores, presentan una altitud mayor (del orden de 900 m de promedio) y están drenadas por los ríos Ubierna y Vena, afluentes del Arlanzón por su margen derecha, pertenecientes a la red hidrográfica del Duero. En Burgos, el Arlanzón discurre a 850 m de altitud.

La diferencia de cotas-promedio entre La Bureba y las zonas limítrofes occidentales y meridionales determina un mayor potencial erosivo para los arroyos de la cuenca del Ebro respecto de los del Duero, en la zona de divisoria. Consecuentemente, la superficie de la cuenca del Ebro se expande hacia al oeste y suroeste a expensas de la del Duero.

Conviene distinguir en la divisoria, una parte oriental (entre las estribaciones de la Sierra de la Demanda y la terminación



Figura 1. Contexto fisiográfico y geológico de la región.

oriental de la de Ubierna-Santa Casilda, pasando por el puerto de la Brújula y otra occidental (que coincide, en su mayor parte, con dicha última sierra) (figura 1). Este artículo trata sobre la movilidad de la parte occidental de la divisoria, dejando para un artículo futuro la concerniente a la parte oriental de la misma.

Las primeras referencias que describen los rasgos y evolución geomorfológicos de esta zona, tal y como se mencionan en este artículo, aparecen en Pineda y Arce (1990) y Pineda (1991). Recientemente, el área ha sido objeto de estudios de erosión prospectiva y de cuantificación de la misma (Mikes et al., 2004; Vergés et al., 2005).

**Contexto geológico**

La zona de estudio se encuentra en el enlace entre dos de las grandes depresiones terciarias, continentales y endorreicas, de la península Ibérica: la del Ebro y la del Duero. La Bureba se localiza en la parte más occidental de la primera, en el llamado pasillo de La Bureba o surco de La Rioja, entre el macizo paleozoico-mesozoico de la Sierra de la Demanda (Cordillera Ibérica) y las estribaciones meridionales de la Orla Vasco-Cantábrica (prolongación occidental del Pirineo). El área de Burgos pertenece al borde nororiental de la depresión del Duero.

En el conjunto de la zona de enlace, los materiales terciarios se presentan subhorizontales, con una ligera inclinación

(unos 0,2°) hacia el suroeste (Pineda, 1996). Suelen ser de naturaleza "blanda" (limos, margas, arenas y yesos) y, por tanto, fácilmente erosionables. No obstante, existen algunos tramos calizos que, por su mayor resistencia a la erosión, pueden destacar del conjunto, originando replanos tabulares. Los más notables son los correspondientes a la Caliza final del ciclo Dueñas (Mioceno inferior-medio) y a las Calizas de los Páramos (Mioceno superior). Las Calizas de los Páramos son los depósitos terciarios más recientes de la sedimentación endorreica de la depresión del Duero y marcan, por tanto, el nivel de referencia a partir del cual se ha encajado la red hidrográfica.

Por lo demás, en esta zona de enlace aparecen varios asomos mesozoicos plegados, siendo los más importantes los correspondientes a las sierras de Ubierna-Santa Casilda, que enlaza hacia el noroeste con la Orla Vasco-Cantábrica, y la de Atapuerca (figura 1), prolongación probable de la Cordillera Ibérica (Pineda y Arce, 1990). Estos asomos son, sobre todo, de edad cretácica y de naturaleza predominantemente calcárea, presentando una cierta resistencia ante la erosión, comparativamente mayor que la ofrecida por los materiales terciarios.

**Rasgos geomorfológicos**

*La vertiente del Duero: las gargantas fluviales y la Paleobureba*

En el noreste de la depresión del Duero, las Calizas de los Páramos forman replanos estructurales a 900-1.000 m de altitud. Las sierras de Ubierna-Santa Casilda y de Atapuerca se presentan arrasadas por una superficie de erosión, a cotas entre 1.020 y 1.040 m, que enlaza aproximadamente con los replanos estructurales de los Páramos (Gracia et al., 1990).

El río Ubierna, en su camino hacia el Arlanzón, atraviesa la sierra mesozoica del mismo nombre mediante una garganta meandriforme de unos 4 km de longitud, encajada unos 100 m bajo la superficie de erosión. Después discurre por un ancho valle entre los relieves amesetados de los páramos terciarios. Sin embargo, antes de la garganta, el Ubierna y sus afluentes recorren una amplia depresión,

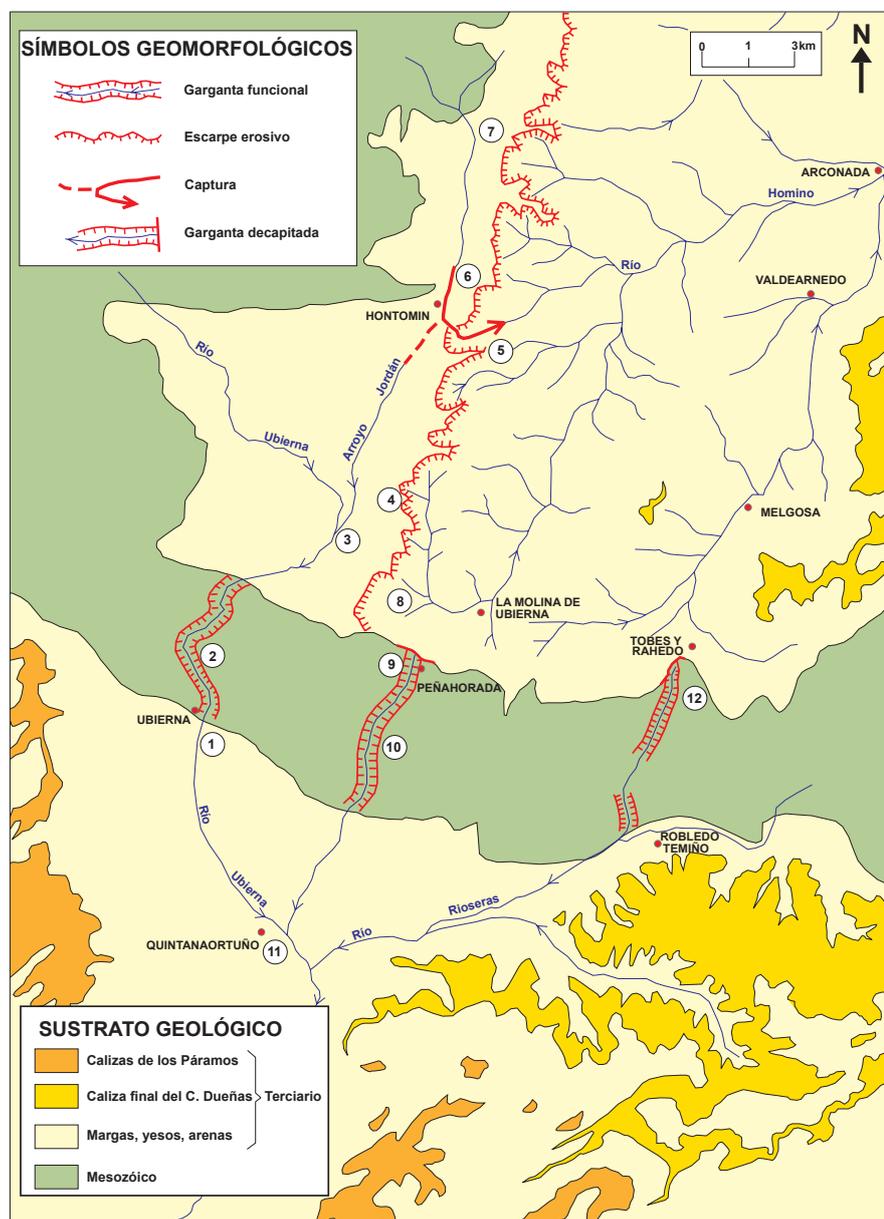


Figura 2. Rasgos geomorfológicos y geológicos de la zona de estudio (y situación de las paradas seleccionadas).

labrada en los materiales terciarios al norte de la sierra, depresión que será denominada en este artículo Paleobureba (*figura 2*).

La Paleobureba presenta, como rasgos geomorfológicos principales, un relieve ondulado bastante suave, y una altitud promedio de 940 m. El vaciado erosivo que supone la Paleobureba, aguas arriba de la garganta, implica una interesante historia evolutiva previa para la red hidrográfica atlántica, incluyendo un probable proceso de sobreimposición sobre el mesozoico de la sierra. Y todo ello, desde el Mioceno superior, la edad del nivel de referencia (Páramos) a partir del cual se inició el encajamiento de la red.

Al sureste de la garganta del Ubierna, el río de la Hoz, afluente del mismo junto a la población de Quintanaortuño, también ha atravesado la sierra mesozoica mediante una garganta muy parecida a la

anterior. Aunque hay que hacer notar que, en esta zona, la depresión labrada en el Terciario, al norte de la sierra, no drena al Arlanzón sino al Oca: la garganta queda, así, decapitada (es decir, sin cabecera funcional en la actualidad) en Peñahorada.

Otra garganta decapitada, menos notable que la de Peñahorada, más alta y localizada al este de la misma, es la correspondiente a la cabecera de un arroyo afluente del río Rioseras. Está recorrida por la carretera entre Robledo-Temiño y Tobes y Rahedo.

Las gargantas son, pues, un rasgo geomorfológico notable de la sierra de Ubierna – Santa Casilda (*figura 2*), y la coexistencia de ambos tipos, funcionales y decapitados, un hecho singular de gran significado en la reconstrucción de la evolución geomorfológica de la región, como se verá más adelante.

### La vertiente del Ebro: la Neobureba

La cuenca del río Oca está labrada en los materiales terciarios blandos del norte de la sierra de Ubierna-Santa Casilda. Morfológicamente, corresponde a una zona deprimida de 750 m de altitud promedio que será denominada en este artículo Neobureba.

En la Neobureba apenas sobresalen relieves amesetados, coronados en este caso por las calizas finales del ciclo Dueñas, a 980-1.000 m de altitud, y preservados en la terminación oriental de la sierra. Aguas arriba de las poblaciones de (citadas de norte a sur) Arconada, Valdearnedo y Melgosa, la Neobureba está caracterizada por una red dendriforme de arroyos, notablemente acarvacada en sus zonas de cabecera.

La Neobureba queda limitada al sur por la sierra mesozoica de Ubierna-Santa Casilda (con las mencionadas gargantas decapitadas) y al oeste por un escarpe erosivo acarvacado que sirve de límite con la Paleobureba (*figura 2*). Este escarpe es aquí, pues, la divisoria Duero-Ebro. Su carácter acarvacado indica que está sometido a erosión y a retroceso, si se tiene en cuenta que la diferencia de cotas entre la Paleobureba y la Neobureba es del orden de unos 190 m.

### Morfodinámica actual

#### El retroceso del escarpe-divisoria y las capturas

El retroceso erosivo del escarpe conlleva la captura de los ríos atlánticos de la Paleobureba. El ejemplo más notable es la captura de la cuenca alta del río Ubierna (el arroyo de Fuentepeña, afluente del arroyo Jordán), por el río Homino (afluente del Oca) en la población de Hontomín (*figura 3*). La captura se materializa por su traza cartográfica curva (el "codo" de captura, ya que del trazado aproximadamente norte-sur del antiguo arroyo Jordán, se pasa al suroeste-noreste del Homino) y por un encajamiento de varios metros en el antiguo Jordán, pero sólo en las inmediaciones de la población. La escasa magnitud del encajamiento es un dato indicativo del carácter muy reciente (¿histórico?, ¿subhistórico?) del fenómeno.

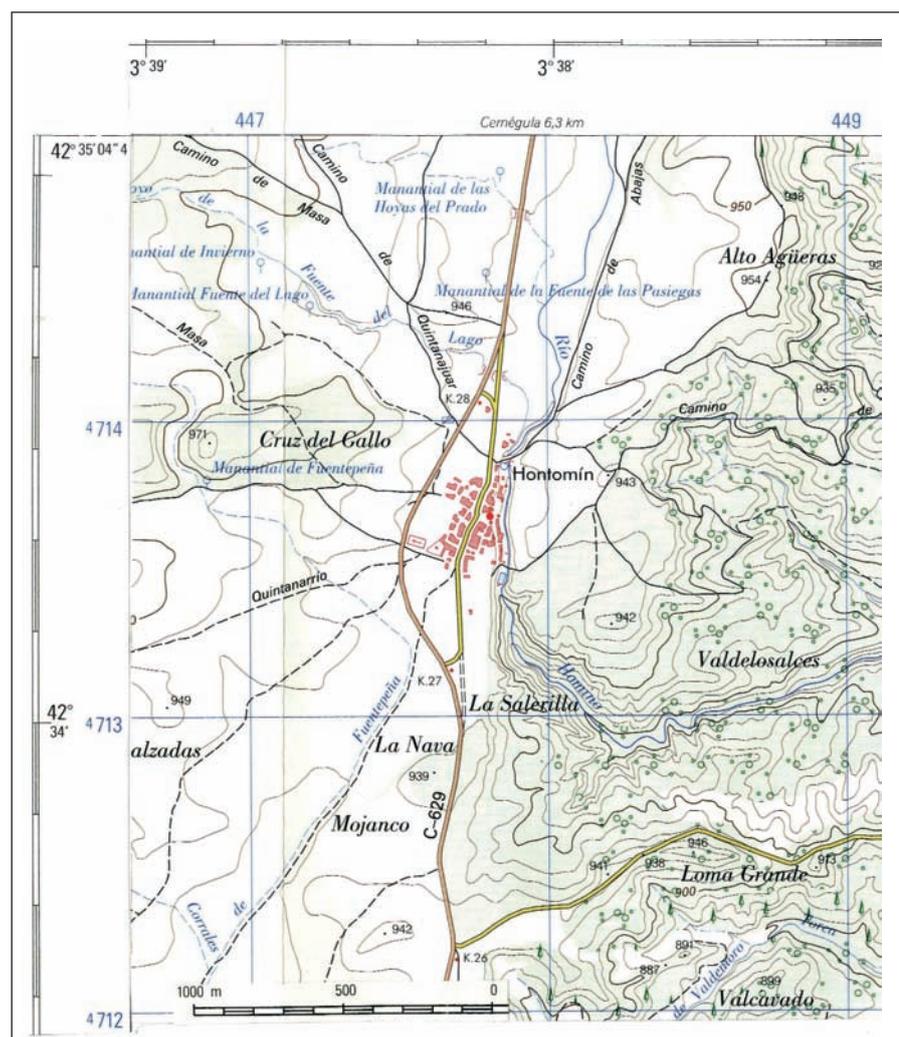


Figura 3. La captura de Hontomín, en la Hoja 167-IV del Mapa Topográfico 1/25.000 del IGN.

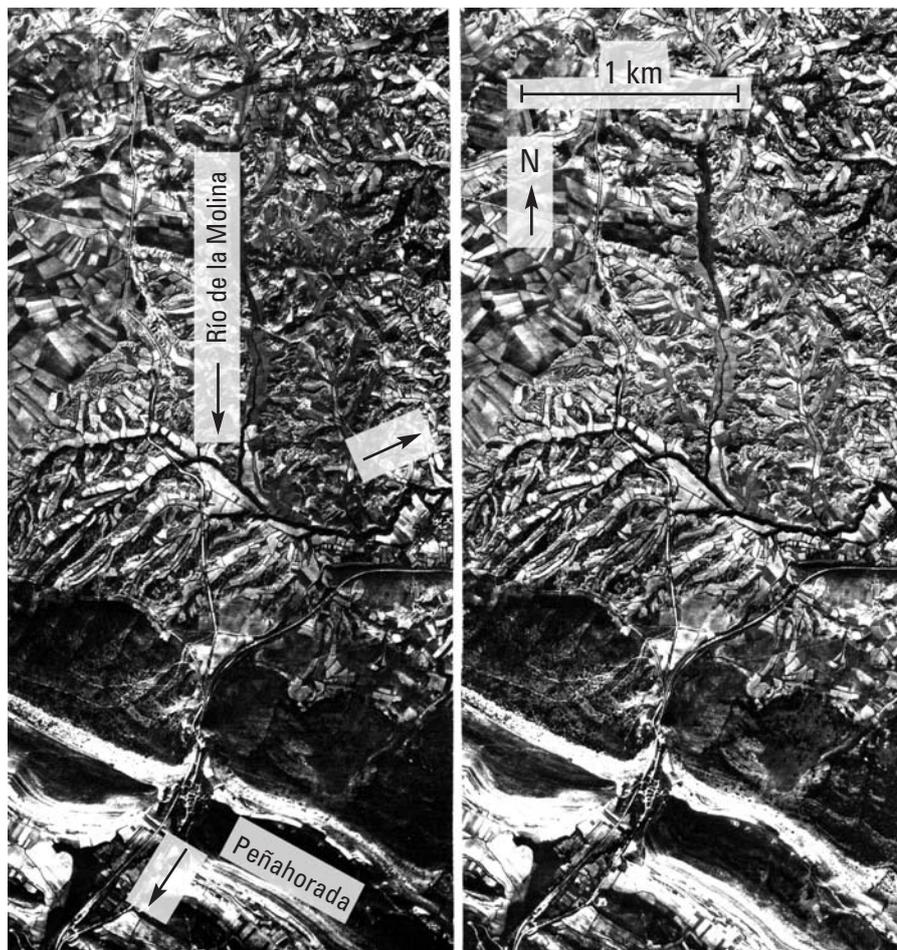


Figura 4. Foto aérea, en par estereoscópico (vuelo de 1956), de la antigua captura al norte de la garganta decapitada de Peñahorada.

hacia el sur se detuvo en la sierra mesozoica, que actuó, por su mayor resistencia a la erosión, a manera de muro frente a la erosión. De esta forma llegó a quedar colgada, sin cabecera y no funcional, la garganta de Peñahorada.

Un proceso idéntico, pero temporalmente anterior, es el que originó la garganta decapitada del arroyo afluente del Rioseras. Estas gargantas decapitadas, vertientes al Duero, son mudos testimonios de la amplia extensión que debió tener la Paleobureba al norte de la sierra mesozoica, en el pasado geológico reciente.

### La morfología futura

El proceso de transformación geomorfológica descrito para la zona al norte de Peñahorada se reproducirá, o mejor dicho, se está reproduciendo en toda la cuenca alta del Ubierna.

El pronóstico para esta zona es que el Homino continúe encajándose y desarrollando lateralmente zonas acarcavadas, de tal manera que toda la zona al norte de Hontomín será la primera en experimentar su transformación a Neobureba. Pero el continuo retroceso del escarpe al sur de la población propiciará la creación de nuevas capturas en lo que vaya quedando de red atlántica. Ello, a su vez, inducirá nuevos procesos de encajamiento y acarcavamiento en áreas al norte de la sierra mesozoica.

Así, poco a poco, la Neobureba sustituirá totalmente a la Paleobureba, y todo el drenaje al norte de la sierra pasará a ser mediterráneo: la garganta del Ubierna quedará en el futuro decapitada y no funcional, como la de Peñahorada.

En la figura 5 se presenta la evolución geomorfológica del área, pasada y futura. Nótese que el conjunto del proceso tiende a la eliminación erosiva preferencial de los materiales terciarios, más blandos, lo que supondrá una exhumación del sustrato mesozoico, más duro, y por tanto, un aumento de la superficie de afloramiento de éste.

Aguas arriba de la captura, los rasgos geomorfológicos de la cuenca del ahora Homino son idénticos a los del arroyo Jordán aguas abajo de la misma. Es decir, al norte de la captura, la morfología es todavía "atlántica" (Paleobureba), aunque el drenaje esté gobernado actualmente por el Ebro. Ello no hace sino confirmar la juventud de la captura, como se verá más adelante.

Al norte de Peñahorada se reconoce una captura similar a la descrita, pero más antigua. El codo de captura es todavía identificable en la traza del río de la Molina, en plena Neobureba acarcavada. El río pasa de una dirección norte-sur, aguas arriba de La Molina de Ubierna, a suroeste-noreste, aguas abajo de la misma (figura 4). Por comparación con lo descrito para la captura de Hontomín, puede suponerse que este río se dirigía, originalmente, hacia el sur atravesando después la sierra mesozoica, a la manera en que lo hace todavía hoy en día el Ubierna. Lógicamente, en este momento, el río correría sobre una morfología suave

y alta, de tipo Paleobureba. Tras la captura, toda la cuenca alta capturada fue siendo, poco a poco, objeto de adaptación al nuevo nivel de base, más bajo y vertiente al Oca.

### De Paleobureba a Neobureba y la "decapitación" de las gargantas

La adaptación al nuevo nivel de base consiste primeramente en un encajamiento que conlleva un acarcavamiento lateral asociado, siendo en conjunto un proceso expansivo que afecta, progresivamente, a una superficie cada vez mayor. De esta manera, los rasgos geomorfológicos suaves, casi planos, de la Paleobureba se van transformando paulatinamente en los característicos de la Neobureba, es decir en una red dendrítica de barranqueras y cárcavas.

En el caso que nos ocupa, y mediante capturas posteriores, antes de Peñahorada, el proceso de expansión

**Itinerario de paradas seleccionadas**

A continuación se relacionan y describen las paradas seleccionadas que permiten comprender, en el paisaje, los rasgos geomorfológicos del área y su evolución (figura 2). El orden de las mismas responde, aproximadamente, a la sucesión de acontecimientos descrita.

Por las condiciones óptimas de luz para las observaciones, es deseable iniciar el itinerario a primera hora de la mañana. La duración estimada del mismo es, prácticamente, un día, incluyendo un descanso para almorzar (recomendable en cualquiera de los restaurantes de Sotopalacios, en la N-623), entre las paradas 7 y 8, o entre las 10 y 11, dependiendo de la hora.

Probablemente, la mejor época para realizar el itinerario es el otoño temprano. La primavera es también una buena época pero el verde de los sembrados puede impedir la apreciación óptima de los tonos de los terrenos y de los contrastes entre los mismos.

Se recomienda llevar un mapa de carreteras suficientemente detallado para la correcta identificación de las localidades citadas y las

carreteras que las unen, como, por ejemplo, el Mapa Oficial de Carreteras, a escala 1/300.000 del Ministerio de Fomento.

**1. Inmediaciones de la población de Ubierna**

Desde el borde meridional de la población, o antes de llegar a la misma, junto a la carretera de Burgos a Santander (N-623), se observan: al oeste, los relieves amesetados del Terciario del noreste de la Cuenca del Duero, culminados por las Calizas de los Páramos; al este, la sierra mesozoica coronada por la superficie de erosión, así como la salida suroeste de la garganta del río Ubierna (vertiente del Duero), al atravesar la sierra; y al norte, el enlace entre las superficies de los Páramos y la de erosión (figura 6).

**2. Entre las poblaciones de Ubierna y San Martín de Ubierna**

En la N-623, se observa la garganta del Ubierna, meandriforme, al atravesar el Mesozoico (Cretácico) de la sierra de Ubierna-Santa Casilda. Se aprecian, también, algunas estructuras plegadas en el mismo. Desde San Martín se sigue por la carretera citada para girar a la derecha, a 1 km, en el primer desvío (carretera local).

**3. Al llegar a la población de Villalbilla-Sobresierra**

Desde este punto se observan, al oeste y norte, los rasgos geomorfológicos de la Paleobureba: relieve suave, casi plano, labrado por el Ubierna y su afluente (el arroyo Jordán, aguas arriba de Villalbilla) sobre los materiales terciarios del norte de la sierra mesozoica. Al suroeste, se aprecian el inicio de la garganta del Ubierna, al comenzar a atravesar dicha sierra, y la superficie de erosión que corona ésta. Nótese cómo el Ubierna y su afluente corren sin encajamiento sobre la Paleobureba (figura 7).

**4. Junto a la carretera a Villarcayo, a unos 2 km desde Villalbilla**

Junto al punto de unión de las carreteras locales de Villalbilla y Mota con la de Villarcayo (C-629) se ve, hacia el este, la Neobureba (cuenca del Oca, vertiente al Ebro) y el escarpe erosivo (divisoria hidrográfica Ebro-Duero) que la limita, hacia el oeste, de la Paleobureba (figuras 8 y 9). Nótese el contraste entre ambas zonas: más baja y acaravada la Neobureba y más alta y suave la Paleobureba. Después se sigue por la C-629 hacia el norte y, a unos 5 km, se toma el primer desvío (carretera local a Quintanarraz) a la derecha.

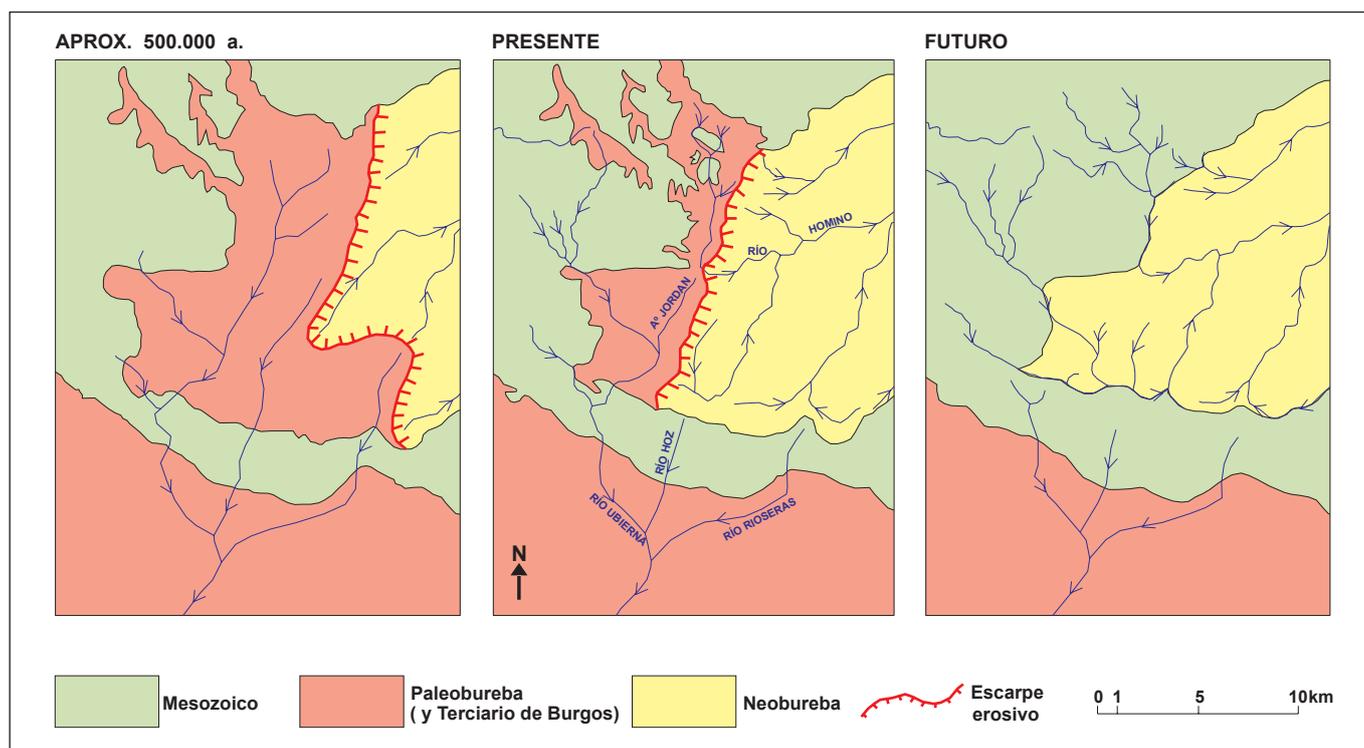


Figura 5. Evolución geomorfológica de la zona de estudio.



Figura 6. Enrasamiento entre el replano de los Páramos y la superficie de erosión sobre la sierra mesozoica (parada 1). Vista hacia el norte.

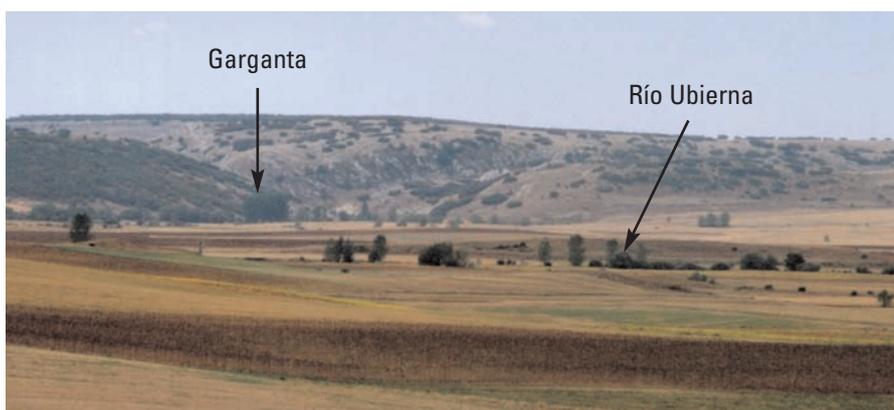


Figura 7. El río Ubierna sobre la Paleobureba e inicio de la garganta del mismo (parada 3). Vista hacia el sur. Nótese la suavidad topográfica, típica del paisaje de la Paleobureba.



Figura 8. El escarpe-divisoria Duero-Ebro, o límite Paleobureba-Neobureba (parada 4). Vista hacia el norte.

5. En la carretera a Quintanarroz, a 1 km de su inicio

Hacia el noroeste se observa, frontalmente y desde aguas abajo, la captura de Hontomín, junto a la población del mismo nombre (figura 10). Nótese cómo la captura de la parte alta del arroyo Jordán (Paleobureba) por el río Homino (Neobureba) corresponde a una cárcava (mayor y ya más evolucionada, por encajamiento) dentro del conjunto acarcavado que define, característicamente, el escarpe-divisoria Duero-Ebro.

6. En el borde septentrional de la población de Hontomín

Tras retornar a la C-629, se sigue hacia el norte hasta llegar a Hontomín, donde un camino nos conduce a la parada. Observación del antiguo arroyo Jordán (hoy en día, Homino) en el tramo inmediatamente precedente a la captura. Se observa el encajamiento progresivo del mismo hacia el sur.

7. En las proximidades de la carretera a Villarcayo, a unos 3 km al norte de Hontomín

Se sigue la C-629 hacia el norte durante unos 3 km. Observación del antiguo arroyo Jordán (hoy en día, Homino), aguas arriba de la captura. Nótese que, al igual que el actual Jordán, al sur de la misma, corre sin encajamiento sobre la Paleobureba. El paisaje en este punto es idéntico al de la parada 3 y, si no se hubiera observado la captura en Hontomín, cualquiera hubiera afirmado, en este punto, que este curso es el verdadero arroyo Jordán "atlántico", yendo al Ubierna.

Al llegar a esta parada, hay que considerar la conveniencia de denominar antiguo Ubierna a todo el trazado (tanto actual como antiguo) del arroyo Jordán, dado que su longitud puede superar a la del Ubierna actual, aguas arriba de Villalbilla (parada 3).

8. Carretera de Villarcayo, entre Hontomín y Peñahorada

Desde Hontomín hacia el sur, la carretera C-629 corre durante unos 5 km por la Paleobureba. Después, desciende y atraviesa la Neobureba, lo que permite apreciar las características abarrancadas y acarcavadas de ésta. A la derecha se observa cómo la Neobureba queda limitada por la sierra mesozoica de Ubierna-Rojas. Al frente, y algo más lejos, se destaca un boquete o tajo en ésta: es la parte "trasera", es decir, vista desde aguas arriba, de la garganta decapitada, no funcional, de Peñahorada (figura 11).

9. En el borde septentrional de la población de Peñahorada

Hacia el sur, se observa la garganta del río de la Hoz al atravesar la sierra mesozoica. Hacia el norte, se aprecian la Neobureba y el desnivel existente entre ésta y la base de la garganta (unos 40 m).

10. Entre las poblaciones de Peñahorada y Villaverde-Peñahorada

Siguiendo la C-629 hacia el sur, se observa la garganta del río de la Hoz al atravesar el Mesozoico (Cretácico) de la sierra de Ubierna-Santa Casilda. Nótese la gran similitud de esta garganta con la del Ubierna (parada 2).



Figura 9. Detalle del escarpe mostrado en la figura 8.



Figura 10. La captura de Hontomín (parte frontal) (parada 5). Vista hacia el noroeste.

### 11. Junto al cruce de las carreteras de Santander y Villarcayo

Observación de la salida suroeste (vista desde aguas abajo) de la garganta del río de la Hoz, al atravesar la sierra mesozoica. Hacia el sur y oeste, se aprecian los replanos estructurales más altos del Terciario del noreste de la depresión del Duero, correspondientes a las Calizas de los Páramos (Mioceno superior), a 990 m de altitud. Hacia el este, se observan replanos estructurales más bajos, marcados por las calizas finales del ciclo Dueñas (Mioceno inferior-medio), a 920-960 m de altitud.

Después se recorre la C-629 durante 1 km hacia el norte, girando a la continuación en el primer desvío a la derecha, hacia Rioseras y Robledo-Temiño. Un poco antes de esta última población, hay que desviarse por una carretera local a la izquierda, hacia Tobes y Rahedo.

### 12. Collado de la carretera entre Rioseras y Tobes y Rahedo, 1 km antes de esta población

Este punto se localiza sobre la sierra mesozoica de Ubierna-Santa Casilda y es un buen colofón para la excursión didáctica propuesta. En este punto, se observa la cabecera, decapitada, de un arroyo vertiente al sur. Al noreste se aprecian replanos estructurales correspondientes a las calizas finales del ciclo Dueñas, a 990 m de altitud. Al norte y noroeste, se observa el gran vaciado erosivo causado por la Neobureba.



Figura 11. La sierra mesozoica y la parte aguas arriba de la garganta decapitada de Peñahorada, desde la Neobureba (parada 8). Vista hacia el sureste. Nótese la naturaleza acarcavada, típica del paisaje de la Neobureba.

### Bibliografía

- Gracia, F.J.; Nozal, F.; Pineda, A. y Wouters, P. (1990). Superficies de erosión neógenas y neotectónica en el borde NE de la Cuenca del Duero. *Geogaceta*, 7; 38-39.
- Mikes, D.; Vergés, J.; Fernández, M.; García-Castellanos, D.; Peña-Moné, J.L.; Pineda, A. y Plaza, J. (2004). *La evolución de los sistemas fluviales del Ebro y del Duero durante el Cenozoico superior*. VI Cong. Geol. España, Zaragoza.
- Pineda, A. (1991). *Mapa Geológico y Memoria explicativa de la Hoja nº 167 (Montorio) del Mapa Geológico Nacional (MAGNA) a escala 1/50.000*. ITGE.
- Pineda, A. (1996). El enlace y la paleogeografía neógena entre las Cuencas del Duero y del Ebro en La Bureba (Burgos). *Bol. Geol. y Min.*, 7; 14-28.
- Pineda, A. y Arce, J.M. (1990). *Mapa Geológico y Memoria explicativa de la Hoja nº 200 (Burgos) del Mapa Geológico Nacional (MAGNA) a escala 1/50.000*. ITGE.
- Vergés, J.; Fernández, M.; García-Castellanos, D.; Mikes, D.; Pineda, A. y Plaza, J. (2005). *River captures along the water divide between the Ebro and the Duero drainage basins (N of Spain)*. Póster presentado en EGU (Reunión Anual de Geología y Geofísica).

# El Flysch de Zumaia (País Vasco)

## Centro de Interpretación Algorri

La divulgación geológica es, sin duda, una de las asignaturas pendientes de nuestra ciencia. El centro geológico Algorri es una iniciativa municipal que nació hace aproximadamente un año con el objetivo de investigar, proteger y sobre todo divulgar el impresionante patrimonio geológico de uno de los afloramientos más espectaculares e importantes del mundo: el Flysch de Zumaia. La experiencia no podía ser más positiva, la divulgación geológica bien hecha interesa y atrae a un público cada vez más variado y numeroso.

**TEXTO** | Asier Hilario Orús, Dr. en CC. Geológicas y director del centro Algorri.  
ah-algorri@zumaia.net. www.Algorri.eu

Palabras clave  
**Zumaia, Flysch, divulgación geológica, Cretácico, Terciario, Algorri**

Zumaia es una pequeña y bonita localidad del litoral guipuzcoano situada a 35 km de San Sebastián y 75 km de Bilbao. Incluso en los meses de verano, cuando el turismo es más importante, Zumaia se caracteriza por su tranquilidad, que unido a su entorno natural envidiable, su clima suave, las magníficas playas y su excelente gastronomía, han hecho de él un destino cada vez más solicitado por amantes de la naturaleza, la tranquilidad y la buena mesa (figura 1).

Desde el punto de vista geológico nos encontramos en el dominio septentrional de la cuenca vasco-cantábrica, formado principalmente por materiales de origen marino profundo. Desde el punto de vista litológico, el Flysch de Zumaia presenta una intercalación constante de calizas, margas y turbiditas.

La espectacularidad de sus acantilados, donde las capas del Flysch desafían la ley de la gravedad, ha convertido este lugar en una referencia geológica de primer orden desde hace ya más de 50 años, convirtiéndolo en uno de los afloramientos mejor estudiados del planeta. El primer valor llamativo del afloramiento es su gran envergadura, ya que a lo largo de más de 10 km de acantilado ininterrumpido muestra un registro continuo desde el Albiense, en el Cretácico inferior, hasta el Ypresiense, en el Eoceno (figuras 1 y 2).

### Puntos de interés geológico

- **Geomorfología:** la dinámica de acantilados es tan activa que ha dado lugar a una de las rasas mareales más extensas de Europa. Desde aquí se distinguen perfectamente valles colgados y grandes desprendimientos desde los acantilados, pruebas evidentes del rápido retroceso de estos gigantes de roca (figuras 2A y 2B). Todos estos elementos forman un paisaje tan singular como atractivo que anualmente atrae a numerosos fotógrafos y naturalistas.
- **Los límites:** debido a su gran envergadura, alta calidad de afloramiento y buena accesibilidad, la sección de Zumaia es referencia para algunos de los límites geocronológicos más importantes de la historia de la tierra (figura 3):

– **El límite K/T:** el límite Cretácico-Terciario se sitúa en la base de la punta Aitzgorri, aproximadamente a 15 minutos andando desde el centro de interpretación, y es sin duda uno de los mayores atractivos del afloramiento (figura 3C). En Zumaia, este límite está marcado por la extinción masiva de los amonites y la gran mayoría de los foraminíferos planctónicos y los nanofósiles calcáreos. Dicha extinción coincide con la desaparición de los dinosaurios y está representada por un nivel arcilloso que contiene iridio, microesferulas con espinelas ricas en níquel y, localmente, hollín (figuras 3D y 3E) como reflejo del meteorito que impactó la tierra hace 65 millones de años.

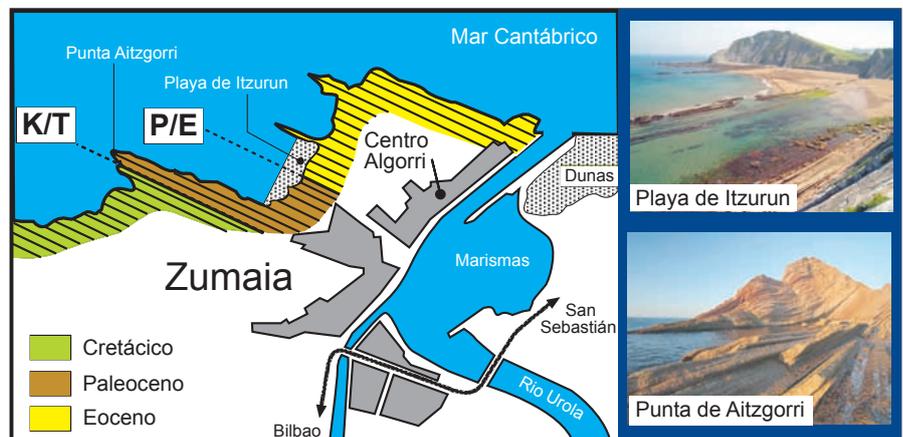


Figura 1. Distribución de los afloramientos cretácicos y terciarios en Zumaia. Panorámica de la bonita playa de Itzurun, situada en la mitad del afloramiento, y de la punta de Aitzgorri.

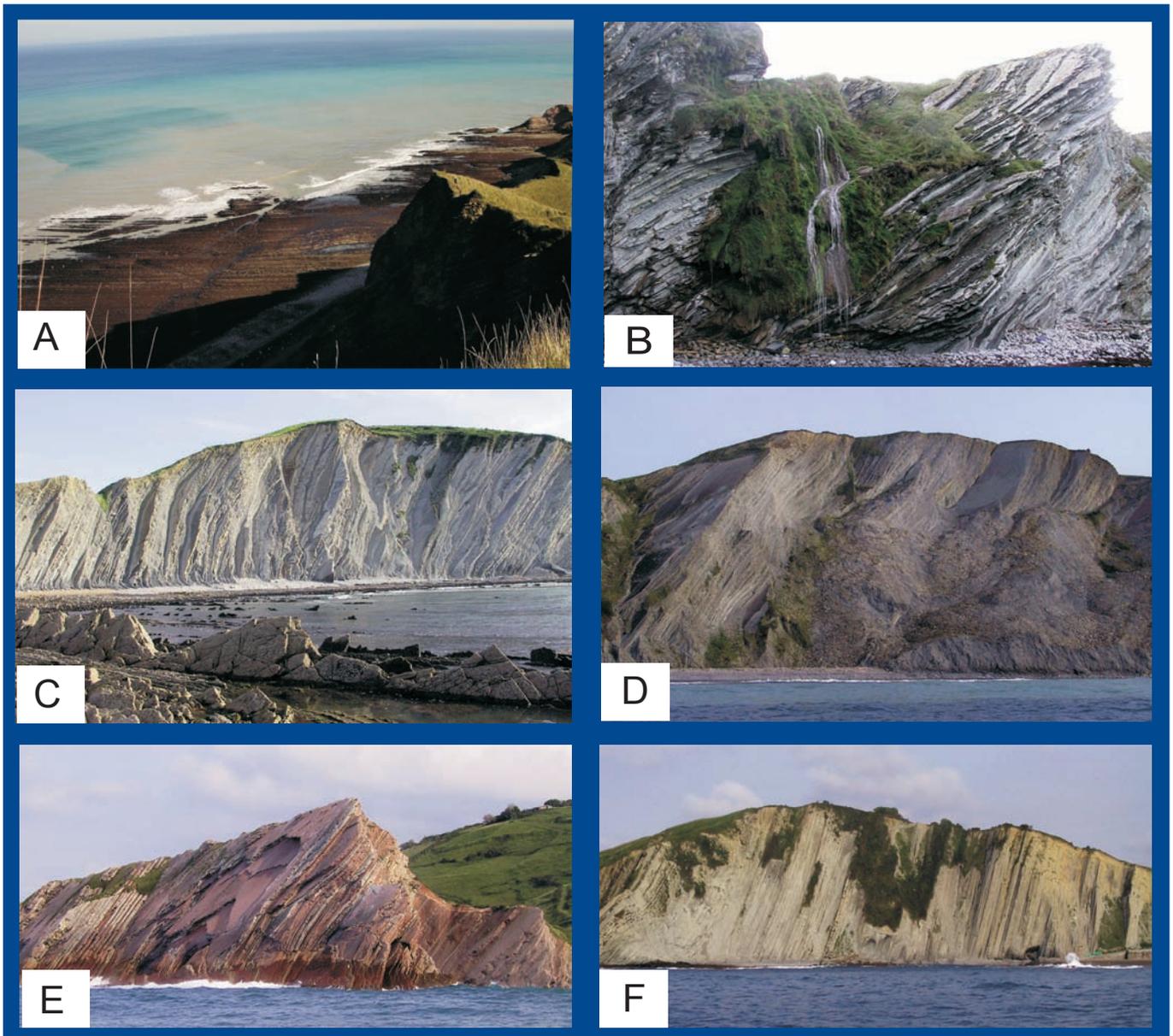


Figura 2. Aspecto general del afloramiento. A) Impresionante rasa mareal formada en la base de los grandes taludes. B) Los valles colgados terminan en pequeñas cascadas, prueba evidente del rápido retroceso de los acantilados. C) Aspecto del Cretácico inferior en la cala de Sakoneta. D) Panorámica del Cretácico superior en la zona del monte Pikote. E) Espectacular formación del Danes (Paleoceno) en Punta Aitzgorri. F) Acantilados del Eoceno turbidítico en el monte Talaimendi.

Debido a su gran envergadura, alta calidad de afloramiento y buena accesibilidad, la sección de Zumaia es referencia para algunos de los límites geocronológicos más importantes de la historia de la tierra

– El límite P/E: asimismo, Zumaia es también una de las secciones de referencia a nivel mundial del límite Paleoceno-Eoceno. Este límite tiene una edad aproximada de 54-55 millones de años y se sitúa en la misma entrada de la playa, aproximadamente a diez minutos andando desde el centro de interpretación (figura 3A). El límite P/E aparece representado por un intervalo de aproximadamente 1-1,5 metros de espesor de materiales blandos de colores rojizos, con anomalías geoquímicas, isotópicas y paleontológicas importantes (figuras 3B) que se asocian con un evento de rápido calentamiento climático a escala

global, denominado IETM, ocurrido en un periodo geológico muy corto (aproximadamente 10.000 años).

– Otros límites: actualmente se está trabajando para la definición de otros límites tipo de menor entidad dentro del Cretácico superior y del Paleoceno medio, de manera que el Flysch de Zumaia se convertiría posiblemente en el afloramiento con mayor densidad de límites geocronológicos relevantes del mundo.

- Por las características ya mencionadas, la sección de Zumaia es también de especial importancia para la construcción de las escalas de tiempo geológico. Dichas

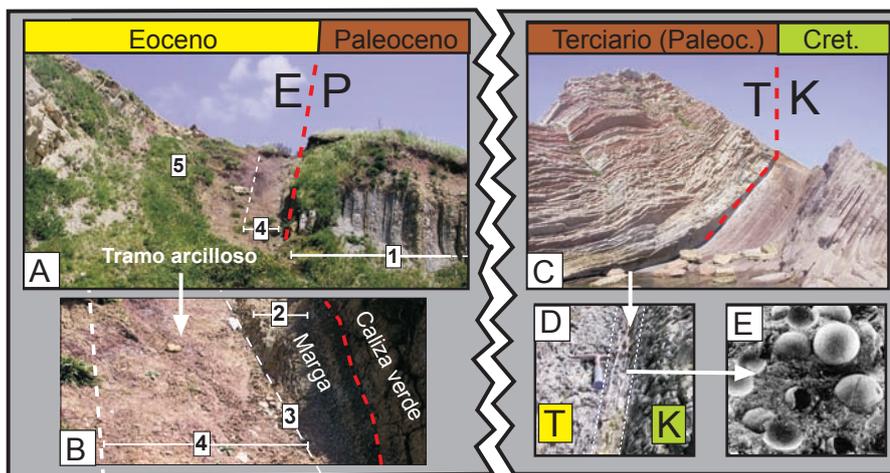


Figura 3. Los límites geocronológicos más importantes del afloramiento: A) Aspecto general del Lim P/E. B) Detalle del tramo arcilloso P/E. B1) Disposición normal de 13C, B2) Caída brusca de 13C, B3) Extinción masiva de bentónicos, B4) Zona sin CaCO<sub>3</sub> y aumento de caolinita, B5) Recuperación paulatina de 13C. C) Aspecto general de Lim K/T bajo punta Aitzgorri. D) Detalle de nivel oscuro de arcilla que define el límite. E) Microesférulas.

escalas suelen elaborarse integrando información muy diversa como:

- *Análisis isotópicos* de carbono y oxígeno.
- *Análisis magnetoestratigráfico*.
- *Cicloestratigrafía*: la intercalación constante de capas margosas y calcáreas parece responder fielmente a los ciclos climático-astronómicos de precesión (20.000 años) y de excentricidad (100.000 años) de Milancovitch.
- *Análisis paleontológico*: las rocas de Zumaia presentan además de una gran abundancia, un grado de conservación muy bueno en amonites, inocerámidos, foraminíferos planctónicos, bentónicos y nanofósiles calcáreos (figuras 4A y 4B).
- *La icno-paleontología*: las huellas fósiles son otro de los atractivos fundamentales del afloramiento. En el afloramiento se pueden encontrar buenos ejemplares de zoophycus, chondrites, paleodictyon... (figuras 4C y 4E).
- *Las septáreas*: el Cretácico inferior alberga un filón con espectaculares septáreas de calcita, conocidas en todo el mundo por su desarrollo y su belleza (figura 4E).
- *Estratigrafía y sedimentología general*.

Tal y como se puede concluir de la descripción realizada, el afloramiento de Zumaia presenta múltiples atractivos y campos de investigación, que unido a su espectacularidad y accesibilidad, han otorgado a este santuario geológico un renombre internacional sin duda merecido.

### El centro Algorri y sus actividades

El centro de interpretación e investigación de Algorri abrió sus puertas hace aproximadamente un año y medio, convirtiéndose así en uno de los primeros centros de interpretación y divulgación geológica del Estado. El gran número de geólogos, paleontólogos, naturalistas, colegios, universidades y particulares que cada año visitan el afloramiento no ha pasado inadvertido para la administración y los poderes políticos municipales, que apostaron, muy acertadamente, por crear un centro de interpretación sobre su privilegiado entorno natural con tres campos de acción bien definidos: promover y coordinar la investigación, proteger el afloramiento y principalmente divulgar el enorme valor geológico del mismo. El poco tiempo pasado ha demostrado que la decisión no podía ser más acertada ya que, tal y como se pretendía, el centro y las actividades geológicas relacionadas se han convertido en uno de los principales atractivos de la zona con más de 9.000 visitas.

#### 1. El centro

El centro de interpretación se encuentra en el casco urbano de Zumaia, y para su construcción se ha renovado el antiguo matadero del pueblo, edificio de dos plantas de aspecto modernista (figura 5A). Con la renovación, Algorri dispone de toda la infraestructura necesaria para la

El centro de interpretación e investigación de Algorri abrió sus puertas hace un año y medio, convirtiéndose así en uno de los primeros centros de interpretación y divulgación geológica del Estado

divulgación e investigación geológica. La planta baja, donde se encuentra la entrada principal, alberga la recepción, la sala audiovisual y de conferencias, la biblioteca y el aula-taller. La segunda planta, por su parte, está dedicada a la exposición interpretativa sobre la rasa mareal y el interés geológico del Flysch. El contenido de los paneles interpretativos de la exposición ha sido diseñado con el objetivo de satisfacer a la mayoría del público, desde los menos iniciados en la materia, hasta los geólogos más interesados por la misma.

#### 2. La investigación

La divulgación y la interpretación del medio sólo pueden ser de calidad cuando están basadas en el conocimiento máximo y riguroso de las características del afloramiento. Cada año cerca de 50 geólogos de todo el mundo visitan Zumaia, convirtiendo este afloramiento en uno de los mejor estudiados del planeta. En adelante, el centro tratará de coordinar toda esta actividad investigadora y ofrecerá todo el apoyo logístico necesario para trabajar en la zona como, por ejemplo, la biblioteca, la base de datos, acceso a Internet, facilidades de alojamiento y, sobre todo, apoyo de campo para todos aquellos que lo necesiten.

En el año y medio de funcionamiento, el centro ha recibido la visita de más de 100 geólogos de todo el mundo y mantiene contacto con una veintena de

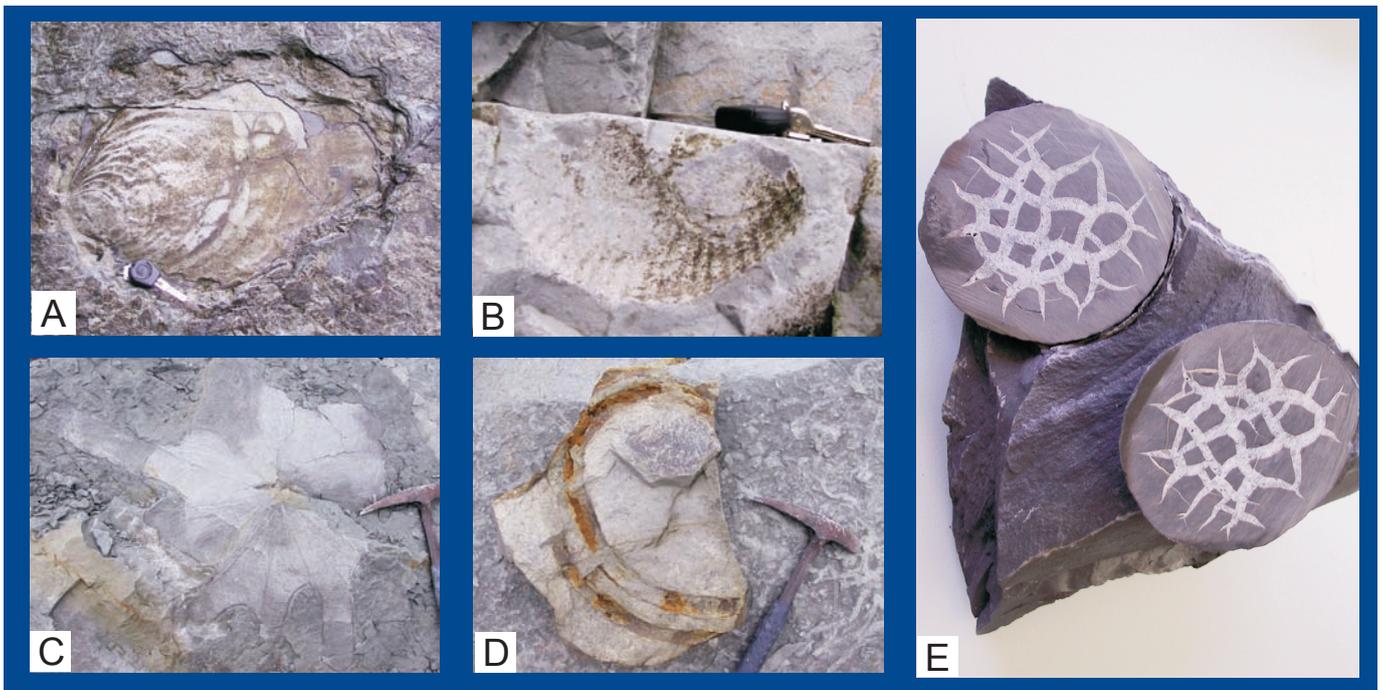


Figura 4. Pequeños detalles del afloramiento: A) Inocerámido cercano a la extinción. B) Los amonites han sufrido tal expolio que hoy ya no es tan fácil encontrar buenos ejemplos. C) Gran Zoophycos. D) Las huellas fósiles son muy abundantes y espectaculares. E) Muestra con septareas del Cretácico inferior recogida recientemente en un desprendimiento.

universidades y centros de investigación nacionales e internacionales. El centro realizó su presentación oficial ante la comunidad científica durante el congreso internacional *Climate and biota of the early Paleogene* realizado en Bilbao, en junio de 2006 (figura 5B). Entre los geólogos que han visitado el centro y firmado el libro de visitas se encuentran algunos de los nombres más importantes de la geología actual como, por ejemplo, Bruce Runnegar, director de astrobiología de la NASA, o Birger Schmitz, director de la comisión del Paleoceno.

El centro pretende de esta manera ofrecer un servicio a todos aquellos investigadores que lo deseen y convertirse en el campo base de los grupos de trabajo que actúen en el afloramiento.

### 3. Estrategias de protección

El impresionante valor paisajístico, geológico y biológico de la zona no ha pasado desapercibido para las instituciones autonómicas. En este sentido, el centro Algorri ha apoyado siempre la protección del afloramiento ante abusos de tipo urbanístico, pesquero o incluso de coleccionismo de fósiles. Así, en breve, todo el entorno será declarado biotopo protegido y pasará a ser el primer

espacio natural protegido en el País Vasco por su valor principalmente geológico. Esta declaración permitirá adaptar el entorno para su disfrute y desarrollar políticas y actividades de divulgación y educación ambiental de mayor rango que en la actualidad. La protección nunca será una barrera para la investigación.

### 4. La divulgación geológica del afloramiento: educación ambiental y atractivo turístico

La divulgación geológica del afloramiento es la principal razón de ser del centro. Existen pocos lugares donde las condiciones para la divulgación geológica sean tan favorables como en Zumaia, ya que al incalculable valor geológico del afloramiento hay que añadirle la vistosidad del mismo, la accesibilidad y cercanía de los puntos más interesantes, el paisaje espectacular y salvaje, el clima, las playas, la red de senderos y, en general, todos los atractivos que un pequeño pueblo costero del cantábrico vasco puede ofrecer.

#### 4.1. Los colegios y las universidades

De cara a los colegios, y en vista del declive general que está sufriendo la geología en la enseñanza secundaria y el bachillerato, se ha organizado

una unidad didáctica llamada *Historia geológica del País Vasco: un viaje por el tiempo a través de las rocas y los fósiles de nuestras montañas*. La unidad didáctica consiste en montar un puzzle con mapas, rocas, fósiles y fotos de paisajes de nuestro entorno con el objetivo de transmitir al alumnado conocimientos básicos de la geología de su tierra y aportar la base mínima necesaria para entender el paisaje con una perspectiva diferente (figuras 5C y 5D). La unidad didáctica se complementa con una visita guiada por los puntos más interesantes del afloramiento (figura 5E). Tras un año de funcionamiento, la demanda de colegios es prácticamente diaria y su valoración es siempre positiva. En mi opinión, el éxito del programa geológico diseñado para los colegios responde a dos factores:

- La unidad didáctica llena un vacío existente en el programa educativo actual.
- La unidad ofrece una visión cercana y atractiva de la geología, ya que está adaptada al entorno geográfico local.



A



B



C



D



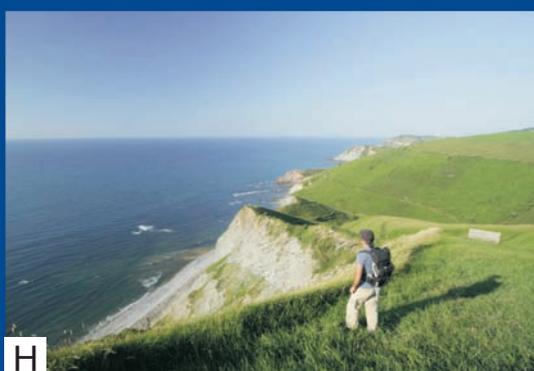
E



F



G



H

Figura 5. El centro y sus actividades: A) Aspecto exterior del centro Algorri. B) Cerca de 100 geólogos de todo el mundo participantes en el congreso visitaron el centro y el afloramiento. C) Unidad didáctica ya montada. D) Detalle de las muestras, cromos, mapas y fotos a colocar. E) Grupo de bachillerato visitando el afloramiento. F) La Punta Algorri, situada justo encima del K/T, ofrece una panorámica inmejorable del afloramiento y es por ello el punto de inicio de casi todas las salidas guiadas. G) El geólogo del centro da explicaciones durante la salida geológica. H) Paisaje de acantilados, campiña y rasa mareal en las salidas de acantilados y el trekking Deba-Zumaia.

#### 4.2. El público general

Las actividades realizadas alrededor del afloramiento y los acantilados se han convertido en uno de los atractivos turísticos principales de la zona. En todas estas actividades el denominador común es la divulgación y la interpretación del medio.

El éxito de esta tarea está basado en tres elementos: los guías, el lenguaje y el soporte gráfico. Las salidas son guiadas por el geólogo del centro o por personal licenciado bien cualificado y buen conocedor del afloramiento, lo cual transmite sensación de seriedad y de calidad, cuestión esta cada vez más demandada entre el público que visita este tipo de centros de interpretación. El lenguaje debe de ser sencillo, coloquial y entendible por todos, sin que esto reste contenido y rigor científico a la explicación. Las palabras técnicas invitan a desatender la explicación. El soporte gráfico es también una herramienta fundamental ya que las nuevas tecnologías permiten elaborar gráficos, esquemas, dibujos y montajes fotográficos atractivos y fáciles de entender. La vistosidad del afloramiento, claro está, ayuda también mucho en la divulgación del medio.

La oferta es muy variada y va desde salidas puramente geológicas, hasta *trekkings* o paseos en barco por los acantilados:

- **Salida geológica** (duración 3 h): recorrido corto por los puntos más importantes del afloramiento que permiten entender con gran detalle esta espectacular formación (*figuras 5F y 5G*). Tras el recorrido a pie se embarca para admirar esta maravilla geológica desde el mar. El afloramiento es todavía más espectacular cuando los visitantes han adquirido ya las nociones básicas del mismo.
- **Acantilados y rasa mareal** (duración 4 h): recorrido paisajístico espectacular a lo largo de la cresta de los acantilados más altos y la rasa mareal situada a su base. Además de conceptos básicos sobre la formación del

Flysch se ven principalmente cuestiones relacionadas con la geomorfología de los acantilados y la rasa mareal (*figuras 5F y 5H*).

- **Trekking Deba-Zumaia** (duración 6 h): *trekking* que recorre todo el afloramiento por la parte superior de los acantilados. El objetivo es principalmente disfrutar del paisaje y adquirir nociones básicas sobre la formación (*figura 5 h*).
- **Salidas en barco:** la perspectiva marina del afloramiento es realmente vistosa ya que los acantilados alcanzan cerca de 200 m y permite admirar la grandeza del mismo con mayor claridad que desde tierra (*figura 2*).

#### Valoración y conclusiones

- Tras la experiencia obtenida en el proyecto Algorri, se puede afirmar que la divulgación geológica bien hecha interesa y atrae a un público cada vez más variado y numeroso.
- Un proyecto de estas características otorga una imagen positiva del entorno y puede representar un atractivo turístico importante para la zona.
- La divulgación geológica es una buena manera de actualizar el concepto árido que el público general tiene sobre nuestra ciencia, y de transmitir ese punto de vista diferente y apasionante que los geólogos y las geólogas podemos tener sobre nuestro entorno.



**Algorri ezagutza etxea**  
Centro de interpretación Algorri

Zumaiaiko Udala

**Ingurumen hezkuntza**

- Kostaldeko ekosistemak
- Marearteko zabalgunea
- EH-ko historia geologikoa
- Zumaiaiko Flysch-a

**Oferta educativa**

- Ecosistemas de la costa
- La rasa mareal. Biodiversidad
- Historia geológica de E.H.
- El Flysch de Zumaia

#### Contacto

Asier Hilario  
Centro de interpretación Algorri  
Juan Belmonte 21, 20750 ZUMAIA (Guipúzcoa)  
T. 943 14 31 00  
ah-algorri@zumaia.net • www.algorri.eu

#### Agradecimientos

Quisiera agradecer sinceramente a todas aquellas personas que con su voluntad han hecho posible que este proyecto haya salido adelante: Ayuntamiento de Zumaia, en particular a María Eugenia Arrizabalaga, alcaldesa de Zumaia, por apostar y creer en Algorri. Grupo de estratigrafía de la UPV, en particular a Juan Ignacio Baceta, por transmitirme tu conocimiento sobre el afloramiento. Grupo de naturaleza de Zumaia, en particular a Manta y Aitor Leiza, por vuestra buena disposición y voluntad. A todos aquellos visitantes que han aplaudido nuestras iniciativas y nos han animado a seguir adelante. Gracias a los que han venido y a todos los que quedan por venir.

**Espero poder verles pronto por aquí.**

# El enigmático poliedro de Alberto Durero en 'Melancolía I'

## Una nueva interpretación mineralógica

El tan debatido y misterioso poliedro que aparece en el grabado de 1514 *Melancolía I* del pintor alemán Alberto Durero, puede ser interpretado como un "elemento natural", procedente del "mundo real". La conjunción del estudio de la perspectiva del "sólido" y la prueba los datos mineralógicos hace suponer que el famoso poliedro es un cristal de alunita. Muy probablemente, el autor lo incorporó a la obra, como un símbolo del poder de la jerarquía eclesiástica de la época que explotaba, en exclusiva, los yacimientos de alunita de Tolfa (Italia).

**TEXTO** | Jesús Martínez Frías (martinezfrias@mncn.csic.es), Dr. en CC. Geológicas. Laboratorio de Geología Planetaria, Centro de Astrobiología, CSIC/INTA, asociado al NASA Astrobiology Institute. Jaime Nadal (jnadal@hotmail.com), arquitecto. ETSAM, Universidad Politécnica de Madrid

Palabras clave  
**Alunita, alumbre, Melancolía, Durero**

Alberto Durero [Albrecht Dürer (1471-1528)], pintor, grabador y dibujante renacentista alemán, está considerado uno de los genios más sobresalientes de todos los tiempos (*figura 1*). De acuerdo con Lienhard (2001), Durero representa para Alemania lo que Leonardo para Italia: un gran artista, un humanista y un estudiante e investigador de la Naturaleza, algo que, como veremos más adelante, no sólo es crucial para su obra sino que también justifica, en cierto modo, la idea que aquí subyace.

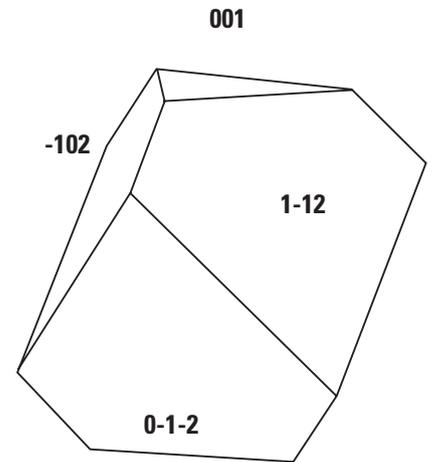
Aunque no es el objeto de este trabajo presentar aquí una descripción exhaustiva de la ingente capacidad creativa de Durero, es importante ofrecer algunos datos que nos acerquen al personaje y ayuden a entender la nueva interpretación mineralógica que se propone. La obra de Durero, constituida por unos 350 grabados en madera y cobre, en los que aparece su conocido monograma AD, y los casi mil dibujos, acuarelas y óleos que actualmente se conservan, evidencian una colosal labor como artista. Autor de tratados sobre teoría artística, fortificación, medidas, y de un diario muy detallado, Durero fue, por encima de todo, un compendio de modernidad, un hombre que revolucionó (tanto artística como técnicamente) el modo de concebir la pintura y la impresión, elevándolas a una



Figura 1. Autorretrato de Alberto Durero, Museo del Prado, Madrid.



Figura 2. Izquierda: Melancholia I, 1514. Grabado en cobre (24,1x18,8 cm). Herbert F. Johnson Museum of Art – Cornell University. Derecha: cristal de tipo alunita, con sus caras.



forma de arte independiente y de estilo propio, representando la fusión entre el espíritu del Renacimiento y el de la Reforma (Global Gallery, 2006).

### La formación artística y científica de Durero

Durero fue un gran admirador del espíritu renovador y universal de Leonardo da Vinci y, como él, estaba especialmente interesado por las proporciones del cuerpo humano, del caballo y de la arquitectura. Aunque no hay datos que indiquen que llegó a conocerlo durante su estancia en Italia, se sintió claramente influenciado por el interés y magnitud de sus trabajos sobre matemáticas y geometría. De hecho, después de 1506 aplicó, casi de

manera rigurosa, las proporciones de Leonardo a sus propias figuras.

Con respecto a su formación como científico, es importante señalar que conocía el célebre tratado de Marcus Vitruvius *De Architectura*, así como las teorías de Euclides y, a través de su relación con Jacopo de Barbari, los trabajos matemáticos de Alberti y Pacioli y su relación con la teoría de la belleza.

Cuando Durero comenzó sus estudios de matemáticas, en su ciudad natal Nürenberg, ya estaba familiarizado con el trabajo de Pacioli sobre matemáticas y arte (Heaton, 1977). No obstante, es un hecho aceptado que el reconocimiento científico de la maestría de Durero vino de

la publicación de su libro *Underweysung der Messung* (1525), en el que el autor realiza una aproximación científica a los problemas de representación plástica. Además, este libro es de gran importancia, pues la edición de 1538 contiene la primera muestra de un cuboctaedro truncado y del denominado 'cubo snub': primer sólido quiral<sup>1</sup> de Arquímedes, que fue redescubierto en el Renacimiento (Hart, 1997).

### 'Melancholía I'

Una de las obras maestras de Alberto Durero es *Melancholía I* (figura 2). Con la trilogía, *El Caballero, la Muerte y el Diablo, San Jerónimo en su Estudio y Melancholía I* (1513-1514), Durero alcanzó

<sup>1</sup> Objeto que no se superpone con su imagen especular.

la cima de su expresión y concentración artísticas. Hay que reseñar que *Melancolía I*, junto con otras 84 obras procedentes de la Galería Albertina de Viena, formó parte de una exposición monográfica de Durero, celebrada en Madrid (marzo-mayo, 2005). *Melancolía I* transmite, en palabras del famoso biógrafo de Durero, Charles Heaton (1977): “la insuficiencia del conocimiento humano para conseguir la inspiración divina, o penetrar en los secretos de la Naturaleza”. En definitiva, en este extraordinario grabado en cobre, el artista vincula sus ideas y filosofía de la vida, con la religión, la naturaleza y diversos objetos, en una composición realmente difícil de interpretar. Probablemente, una de las mejores descripciones sintéticas de este grabado, y que por su relevancia consideramos apropiado transcribir en parte aquí, sea la del catedrático en Psiquiatría Gerardo Herreros:

“Melancolía es una mujer [ángel], sentada en un banco de piedra, en lo que parece un edificio inacabado. El lugar es frío y solitario, cerca del mar, en mitad de la noche (por un lado tenemos la sombra que proyecta la luna sobre los objetos, y por otro el brillo de un cometa encerrado en un arco iris lunar).

A Melancolía le acompañan un angelote triston y un perro famélico dormido a sus pies. También Melancolía está absorta, pero no en un trabajo sino en un estado de inactividad completa. Es indiferente a su aspecto descuidado, al cabello despeinado. Apoya la cabeza en el puño mientras que la otra ase mecánicamente un compás y reposa sobre un libro cerrado. Sus enormes ojos están abiertos y fijos, con expresión sombría. El estado espiritual atormentado de la mujer se traduce también en los objetos desordenados que la rodean: sobre el muro hay una balanza, un reloj de arena, una campana y un cuadro mágico con números. Al lado, la escalera apoyada en la pared sugiere los trabajos recién abandonados. En el suelo hay herramientas de carpintería y arquitectura, un tintero, una pluma y dos objetos simbólicos: una esfera de madera torneada y un poliedro de piedra. Resulta evidente que cada objeto es un símbolo

deliberadamente amontonado junto a los otros, por lo que el autor nos plantea una lectura bastante compleja” (...) “La Melancolía se asociaba a uno de los siete pecados capitales, la Pereza. Pero Durero cambia la Pereza por la inactividad, no por desidia sino por otros motivos. Está sumida en una intensa actividad intelectual, totalmente estéril. No continúa su trabajo por pereza sino porque le parece que no tiene sentido. Es la inteligencia la que paraliza su energía. El hecho de su superioridad intelectual se traduce en las alas que adornan su espalda, símbolo de la imaginación y la creatividad. Los diferentes objetos que la rodean son los atributos de la Geometría, que era la síntesis de las Artes Liberales, propias de los aristócratas, y las Artes Mecánicas, de los artesanos y villanos. Durero, de este modo, intelectualiza la Melancolía y la asocia al Arte. Lo que está tratando de conseguir es identificar al artista con un carácter melancólico, dotado de ciertos rasgos que le hacen único y genial, puesto que la Melancolía se asocia con Saturno. Saturno es el planeta de los creadores. Su influencia es terrible sobre el ánimo de los melancólicos, por lo que han de protegerse con talismanes astrológicos: la mala influencia se aprecia en el cometa, un fenómeno maléfico. La protección está

en el cuadro mágico, conocido como la “mesa de Júpiter”, cuyas cifras leídas en cualquier sentido suman 34. Además, incluyen las cifras de la muerte de la madre de Durero, que afectó mucho al artista (ocurrió el mismo año de 1514). En fin, los símbolos y los significados van mucho más allá de lo que razonablemente podemos incluir en esta descripción y sólo puede decirse que Durero realizó un auténtico manifiesto lleno de modernidad en la constitución del artista, tal y como hoy lo conocemos”.

### La interpretación geométrica del “sólido”

La complejidad de *Melancolía I* deriva, por tanto, de la multiplicidad de significados y simbolismo de sus diferentes elementos (Gerardo Herreros). Uno de estos objetos es un poliedro inusual, el denominado “sólido o poliedro de Durero” (Lienhard, 2001) (*figura 2*). La incorporación de figuras poliédricas era relativamente frecuente en los trabajos artísticos del Renacimiento (Paolo Ucello, Luca Pacioli, Leonardo da Vinci, Nicolaus Neufchatel). Field (2004) subraya la popularidad que alcanzaron los poliedros en esta época como temas de ilustración en tratados sobre perspectiva. Sin embargo, numerosos estudios sobre Durero y su legado, han



Figura 3. Le Allumiere di Tolfa, 1625-1630 ca, óleo sobre tela, 61x75 cm, Pietro da Cortona (Pietro Berrettini, Cortona 1597 - Roma 1669). Pinacoteca Capitalina.



Figura 4. Cristal de 1,5 cm de alunita. Zona de Montcada i Reixac, Vallès Oriental, Barcelona.  
Foto: <http://www.mindat.org/gallery.php?min=161>

incidido en la búsqueda de significados adicionales de “su” sólido, por ejemplo, desde el punto de vista puramente matemático/geométrico. Panofsky (1955) lo describe como un romboide truncado (Federico, 1972; Walton, 1994; Sharp, 1994). Schreiber (1999) indica que el sólido parece consistir en un cubo distorsionado, que primeramente se despliega para dar caras rómbicas con ángulos de  $72^\circ$ , y que luego se trunca, arriba y abajo, para generar series de caras triangulares cuyos vértices caen en la circunferencia de los vértices azimutales del sólido.

No obstante, la interpretación puramente geométrica del sólido es, cuando menos, controvertida, puesto que al no ser un elemento convencional ni regular, solamente se cuenta con la fuente del grabado de Durero para tratar de reproducir con la mayor exactitud posible su realidad geométrica. Este camino se enfrenta al hecho de la bondad de la representación del artista, que, aun siendo un maestro del grabado, pudo cometer errores en su interpretación perspectiva que impedirían la obtención exacta de los parámetros geométricos del objeto. A todo ello cabría añadir que la indeterminación de la geometría del sólido no ha estado suficientemente apoyada en un verdadero análisis científico, sino en consideraciones más o menos literarias, exentas de rigor geométrico.

Se han publicado otras interpretaciones que intentan explicar el significado del poliedro en el contexto general del

grabado: un icono de la naturaleza matemática de la “esfera intelectual” (Finkelstein, 2006); una representación de la visión Pitagórica sobre el sentido de número y forma en el Cosmos, e incluso un constituyente importante de la doctrina alquímica, sugiriéndose que podría corresponder al plomo como imagen de la Piedra Filosofal (Read, 2006).

### La interpretación mineralógica del “sólido”

Sin descartar otros posibles factores o motivaciones que pudieron contribuir a la incorporación de dicho sólido en el grabado, en este artículo se propone una nueva interpretación mineralógica para explicar su significado. El poliedro representaría un cristal de alunita (serie alunita-jarosita), a través del cual Durero intentó simbolizar algunas circunstancias sociales, religiosas y económicas que caracterizaron los inicios del siglo XVI.

Existe una correspondencia total entre el enigmático poliedro de Durero y los cristales de alunita (figura 2). De acuerdo con la orientación del cristal, el sólido de Durero muestra exactamente las caras 001, 1-12, 0-1-2 y  $-102$  de este mineral. La alunita, junto con la jarosita, constituyen dos términos principales de una serie bien conocida de sulfatos. La alunita se observó por primera vez en el siglo XV en Tolfa (Italia) (figura 3) (Euromin, 2006), y la jarosita recibe su nombre del barranco Jaroso en Sierra Almagrera, Almería, la localidad española donde fue caracterizada por primera vez (Amar de la Torre, 1852; Martínez-Frías, 1999). Los minerales de esta serie (grupo de la alunita) se definen como un grupo isoestructural de sulfatos de fórmula general  $AB_3(XO_4)_2(OH)_6$ , donde A es un catión monovalente ( $K^+$  y  $Na^+$  son los más comunes, aunque también se han observado  $Pb^+$ ,  $Ag^+$ ,  $HH_4^+$  y  $H_3O^+$ ), y B es  $Al^{3+}$  (alunita),  $Fe^{3+}$  (jarosita) u otro catión trivalente (Scott, 2000; Dutrizac y Tambor, 2000). Tanto alunita como jarosita son trigonales, aunque algunos cristales, principalmente los de alunita (figura 4), se asemejan a romboedros cúbicos.

### ¿Por qué un cristal de alunita?

En el grabado hay razones adicionales que van más allá de la pura similitud cristalográfica, y que permiten sugerir dicha correspondencia entre el poliedro y el mineral. No parece casual que Durero utilizara un cristal de este mineral para representar un poliedro “irregular”, pudiendo haber dibujado otros muchos poliedros regulares. ¿Por qué entonces escogió un cristal de alunita?

La alunita era, y es, una de las fuentes más importantes para la obtención de alumbre. El uso extendido del alumbre en procesos textiles y en la fabricación de papel (Bruckle, 1993) hizo de él uno de los productos más valiosos y estratégicos en el comercio europeo de la época. Grandes cantidades de alunita que, como se ha indicado previamente, fue descubierta en la vecindad de Tolfa (figura 3), una pequeña ciudad dentro de los Estados Papales, estaban bajo el control del Vaticano, produciendo alumbre de muy alta calidad a escala industrial. Pero para defender sus beneficios económicos, los Papas calificaron los depósitos como un bien divino amenazando con la excomunión a aquellos que adquirieran alumbre procedente de otros países (Balston, 1998; Cooper y Mirete, 2001; Mckim, 2003). Estos hechos, junto con la política —particularmente después de 1514— de compraventa de indulgencias (Mckim, 2003), en muchos casos utilizando directa o indirectamente los beneficios de la minería, dañó seriamente la credibilidad de la jerarquía eclesiástica del momento. Durero fue un artista socialmente comprometido que manifestó claras diferencias contra este tipo de comportamientos, y mostró un profundo interés y apoyo a la doctrina reformista de Lutero. También es un hecho comprobado que Durero sentía, como se ha mencionado anteriormente, una inmensa curiosidad por la Naturaleza, utilizando su espíritu enciclopédico para estudiar los seres vivos, animales y vegetales, con la misma pasión y rigor científico que aplicarían un zoólogo, un botánico o cualquier naturalista aunque su finalidad no fuera exactamente la misma. Por ello, aunque es cierto que muchas de sus obras tienen una temática religiosa, también fue capaz de combinar su

capacidad artística con una intensa observación de la Naturaleza. A menudo, incorporaba animales exóticos creando composiciones inusuales, tales como un mono en un grabado de la Virgen María, o un alce en uno sobre Adán y Eva. También produjo trabajos realmente magníficos sobre temas naturales: rinocerontes, liebres, leones, loros, mandriles, cigüeñas, langostas, escarabajos, etc.

Por otro lado, dada su gran formación artística, experiencia y motivaciones por la búsqueda del conocimiento, Durero conocía perfectamente el alumbre, sus propiedades y sus usos, no sólo como un componente fundamental en sus técnicas pictóricas, sino también desde el punto de vista alquímico. El uso común del alumbre para la preparación de algunos compuestos, tales como pigmentos, utilizados por los artistas del Renacimiento (en acuarelas, óleos) (Butler y Furbacher, 1985) apoya claramente esta hipótesis y Durero fue uno de los primeros artistas en utilizar acuarelas (en su sentido moderno).

### Conclusión

Por diversas razones profesionales e históricas de la época, es un hecho probado que Durero estaba familiarizado con el alumbre (y específicamente con la alunita). Por ello, proponemos que el poliedro de alunita que aparece en Melancolía I, puede ser interpretado como un "elemento natural", procedentes del "mundo real". Sería, por tanto, el primer motivo en relación con la Naturaleza de tipo "geológico/mineralógico", que Durero incorpora en sus obras, además de los ya conocidos de animales y plantas. Asimismo, se podría también teorizar sobre el tamaño exageradamente grande del cristal de alunita en el grabado, sugiriendo que Durero podría estar reflejando sus bien conocidas críticas a la excesiva ambición de la jerarquía eclesiástica de la época, en relación con el comercio del alumbre y las indulgencias.

Esta nueva interpretación mineralógica sobre el enigmático poliedro no excluye otras previas; es compatible con el lugar y momento histórico del genial artista, coincide con la importancia social,

económica (y también alquímica) del mineral y es coherente con la formación, ideas y pensamiento socio-religioso de Durero.

En un trabajo posterior, se expondrá, con más detalle, el significado global y simbólico de los elementos del grabado, en el contexto político, religioso y minero.

### Agradecimientos

A José Luis Barrera, Almudena García-Orea y José María Cabrera, por sus valiosas sugerencias históricas y artísticas.

### Bibliografía

- Amar de la Torre, R. (1852). Descripción de los minerales, algunos de ellos nuevos, que constituyen el filón del Barranco Jaroso de Sierra Almagrera, por el caballero profesor el doctor Augusto Breithaupt, de Freiberg. *Revista Minera*, 3, 745-754.
- Balston, J. (1998). *The Whatmans and Wove Paper*, 3 Bde., England 1998, ISBN 0951950533, Edition Whatman House in Maidstone, Kent. England.
- Bruckle, I. (1993). The Role of Alum in Historical Papermaking. *Abbey Newsletter*, vol. 17, núm. 4. <http://palimpsest.stanford.edu/byorg/abbey/an/an17/an17-4/an17-407.html>.
- Butler, I.S. y Furbacher, E.J. (1985). Chemistry and artists' pigments, *Journal of Chemical Education*, 62: 334.
- Cooper E. y Mirete, S. (2001). *La mitra y la roca: intereses de Alfonso Carrillo, Arzobispo de Toledo en la ribera del Ebro*. Diputación Provincial de Toledo, España, 179 p.
- Dutrizac, J.E. y Jambor, J.L. (2000). Jarosites and their application in hydrometallurgy. In C.N. Alpers, J.L. Jambor, and D.K. Nordstrom (eds.), *Sulfate Minerals: Crystallography, Geochemistry, and Environmental Significance*, 40, 405-452.
- Euromin (2006). <http://euromin.w3sites.net/mineraux/ALUNITE.html>.
- Field J.V. (2004). Renaissance mathematics: diagrams for geometry, astronomy and music *Interdisciplinary Science Reviews* 29-3, 259-277.
- Finkelstein, D.R. (2006). <http://arxiv.org/abs/physics/0602185>.
- Federico, P. J. (1972). The Melancholy Octahedron *Mathematics Magazine*, 30-36.
- Global Gallery (2006). <http://www.globalgallery.com/artist.bio.asp?nm=albrecht+durer>.
- Hart, G.W. (1997). <http://www.georgehart.com/virtual-polyhedra/durer.html>.
- Heaton, C. (1977). *The life of Albrecht Durer of Nurnberg: with a translation of his letters and journal and an account of his works*. 2d ed., rev. and enl. Portland, Me.: Longwood Press.
- Lienhard, J.H. (2001). *The Engines of Our Ingenuity: An Engineer Looks at Technology and Culture*, Oxford University Press, 262 p.
- Martínez-Frías, J. (1999). Mining vs. Geological Heritage: The Cuevas del Almazora Natural Area (SE Spain), *AMBIO*, 28-2: 204-207.
- Mckim, D.K. (2003). *The Cambridge Companion to Martin Luther*, Cambridge University Press, United Kingdom, 313 p.
- Panofsky, E. (1955). *The Life and Art of Albrecht Durer*, Princeton, USA, 317 p.
- Read, J. (2006). <http://www.alchemylab.com/melancholia.htm>.
- Schreiber, P. (1999). A New Hypothesis on Dürer's Enigmatic Polyhedron in His Copper Engraving 'Melancholia I'. *Historia Math.* 26, 369-377.
- Scott, K.M. (2000). Nomenclature of the alunite supergroup: Discussion. *Canadian Mineralogist*, 38-5, 1295-1297.
- Sharp, J.J. (1994). Durer's Melancholy Octahedron *Mathematics in School*, Sept., 18-20.
- Walton, K.D. (1994). Albrecht Durer's Renaissance Connections Between Mathematics and Art, *The Mathematics Teacher*, 278-282.

# Asegurando la información

Proteger los datos se ha convertido en algo extremadamente importante para las organizaciones desde que las leyes que protegen la privacidad del consumidor entraron en efecto.

La seguridad de las Tecnologías de la Información (TI) para los entornos corporativos ha cambiado considerablemente en los últimos tres años. El creciente número de portátiles que se conectan a puntos de acceso de banda ancha fuera de la organización, unido al amplio uso de aplicaciones de red, exponen las infraestructuras TI a nuevas vulnerabilidades mientras se incrementa la complejidad de la gestión del sistema. Las medidas tradicionales de seguridad aplicadas en las empresas no aseguran que si un PC cae en las manos equivocadas no se pueda acceder a información confidencial.

Cada día, más y más usuarios ven un gran valor añadido en la confidencialidad de los datos almacenados en unidades de red, que el administrador no pueda leer su correo cuando este todavía permanece en el servidor o que el sistema pueda facilitar un repositorio seguro de datos.



El número de incidentes con el *spyware* y *adware*, espionaje industrial, intrusiones en la red, robo o pérdida accidental de material informático, y otros incidentes de seguridad que comprometen el activo más grande que tiene cualquier organización, los datos, se ha incrementado con gran rapidez los últimos doce meses. Según el informe *Deloitte's 2006 Global Security Survey*, el 49% de las empresas sufrieron algún problema de seguridad en 2005. De ellas, el 31% padecieron problemas debido a códigos maliciosos. Sin embargo, los datos más significativos son que el 28% observaron intentos de ataques desde el interior de la red, y que el 18% sufrieron robos de datos desde el interior de la red.

Por todo ello, la seguridad se convierte en una preocupación para los responsables de las organizaciones, trascendiendo el habitual ámbito de aplicación dentro de las TI. Esto genera un gran impacto en la forma en la que la seguridad es gestionada dentro de las organizaciones y crea un dilema para las tecnologías de seguridad, ¿cómo una organización implementa una solución de seguridad a nivel corporativo que mejore y facilite el negocio en lugar de limitarlo?

La solución a estos problemas pasa por:

- El cifrado de los sistemas de archivos usados en los sistemas informáticos.
- El encriptado de cada uno de los archivos que contengan información sensible de acuerdo a patrones personalizados por cada usuario o grupo de usuarios del sistema.
- El uso de medidas de seguridad perimetral que protejan tanto de los accesos no deseados desde el exterior, como de la salida de información no controlada de la empresa producida de forma consciente o inconsciente.

Técnicamente, los sistemas operativos de código abierto han demostrado estar en condiciones de responder a las necesidades más **exigentes** de cualquier compañía sin importar su tamaño. Si a esto unimos tecnologías de seguridad como las desarrolladas por algunas compañías, entre ellas Zitralia, para entornos Linux, podemos cubrir cada uno de los elementos mencionados anteriormente.

**Carlos de Nova**

Carlos de Nova, ingeniero de Desarrollo de Zitralia. Zitralia es una empresa constituida con capital cien por ciento español, cuyo objetivo es desarrollar soluciones de seguridad para servidores Linux y Unix. Su sede se ubica en el Parque Tecnológico Walqa (Huesca), y cuenta con la participación de Savia Capital de Atracción, sociedad de capital riesgo promovida por el Gobierno de Aragón, en la que también están presentes accionistas como Ibercaja, Caja de Ahorros de la Inmaculada, Caja Rural de Teruel, Multicaja y Cajalón.

Pionera en el mundo de la seguridad para sistemas Linux y tecnología de cifrado físico y lógico de servidores, Zitralia ha perfeccionado una plataforma de seguridad para sistemas basados en código abierto, que permitirá a los clientes usuarios:

- Prevenirse del robo o filtrado de la información.
- Proteger el acceso a la información más sensible de su empresa u organización.
- Favorecer la estabilidad de las plataformas.

Las soluciones de seguridad para Linux desarrolladas por Zitralia son Lime CryptoFiles y Lime Server. El primero permite el cifrado fácil y seguro de los archivos confidenciales. Por su parte, Lime Server es la Suite que protege los servidores basados en Linux de manera integral.

# El Parque Nacional del Teide: candidato a Patrimonio Mundial

El Parque Nacional del Teide es el candidato por España para su inclusión en la Lista de Bienes de Patrimonio Mundial de la UNESCO, en la categoría de Bien Natural. Esta candidatura se fundamenta en dos de los varios criterios que establece este organismo de la ONU para que un bien pueda formar parte de ella: por un lado, representar fenómenos naturales o áreas de belleza natural e importancia estética excepcionales y, por otro, ser ejemplo eminentemente representativo de las grandes fases de la historia de la tierra y de procesos geológicos en curso, en la evolución de las formas terrestres o de elementos geomórficos o fisiográficos de mucha significación.

**TEXTOS<sup>1</sup>** | Manuel Durbán Villalonga, ingeniero de montes y director-conservador del Parque Nacional del Teide; Juan Carlos Hernández Álvarez, periodista y responsable del Servicio de Uso Público del Parque Nacional del Teide.

**FOTOGRAFÍAS** | Fondo fotográfico del Parque Nacional del Teide.

Autores: Diego L. Sánchez y Carlos Velázquez

Palabras clave

**Parque Nacional del Teide,  
Patrimonio Mundial, Tenerife**

Los valores naturales, culturales y de conservación hacen del Parque Nacional del Teide uno de los parajes sobresalientes de la Tierra, como ha sido reconocido secularmente por la ciencia a través de sus más destacados geógrafos, geólogos y naturalistas. El Teide posee un valor excepcional a escala mundial como conjunto geográfico completo de marcada entidad, y también por su elevada peculiaridad y geodiversidad, derivadas de su emplazamiento en altitud, latitud e insularidad. De este modo, responde a los más exigentes criterios de valoración en los aspectos geológicos, fisiográficos, biológicos, estéticos y conservacionistas, tanto por el sistema natural que contiene como por el paisaje geográfico en el que se formaliza (*figura 1*). Pocas construcciones volcánicas de la Tierra, incluso aquellas que tienen la entidad física del Teide, poseen tan definida calidad como conjunto armónico de paisajes, tal estructuración geológica y tan evidente integración biológica. Por todo ello, en el año 2002 se iniciaron los trabajos para incluir al Parque Nacional del Teide en la Lista del Patrimonio Mundial como bien natural.

Tras varios procesos de selección, finalmente el Comité de Patrimonio



*Figura 1. Atardecer sobre los Roques de García.*

Histórico de España eligió, en el mes de junio de 2005, al Parque Nacional como candidato español, procediéndose a redactar un extenso documento, la *Propuesta de Inscripción del Parque Nacional del Teide en la Lista del Patrimonio Mundial*. Esta propuesta, que, redactada por personal técnico del parque, con la colaboración de prestigiosos científicos de distintos departamentos universitarios e instituciones científicas, fue remitida a UNESCO para su evaluación, a principios

de 2006, y, en su caso, conseguir la declaración como tal por el Comité de Patrimonio Mundial, en la reunión que tendrá lugar en junio de 2007 en Nueva Zelanda.

## Tenerife y su Parque Nacional del Teide

Tenerife es la isla de mayor superficie y altitud del archipiélago canario. En su parte central se encuentra situado el Parque Nacional del Teide (*figura 2*),

<sup>1</sup> El texto es un extracto del documento *Propuesta de Inscripción del Parque Nacional del Teide en la Lista del Patrimonio Mundial*, redactado por varios autores, entre los que cabe destacar: en Paisaje, a Eduardo Martínez de Pisón y María Eugenia Arozena Concepción, geógrafos; y, en Geología, a Juan Carlos Carracedo Gómez e Inés Galindo, geólogos.

Los ecosistemas más representativos asentados en este territorio responden a matorrales de alta montaña macaronésica

suspendido por encima del mar de nubes (figura 3). El Parque se desarrolla entre los 1.650 metros, de cota mínima, y los 3.718 metros del Teide, el pico más alto del Estado español. Está conformado por una gigantesca caldera volcánica situada a una altitud media de unos 2.100 m, dentro de la que se yergue un impresionante complejo estratovolcánico, el Teide-Pico Viejo, rodeado por distintas tipologías de estructuras y materiales volcánicos. Los ecosistemas más representativos asentados en este territorio responden a matorrales de alta montaña macaronésica, que atesoran una biota rica en endemismos adaptados al rigor de las especiales condiciones climáticas (figura 4). Todo ello bajo un escenario estético impresionante, realzado por la excepcional calidad de la atmósfera.

La superficie del Parque Nacional del Teide es de 18.990 ha y se encuentra rodeado por su Zona Periférica de Protección (7.515 ha) y por el Parque Natural de Corona Forestal, de 46.612,9 ha.

### Geología y geomorfología

El Parque Nacional del Teide resulta un enclave paradigmático en el campo de la geología y la volcanología, tanto por su génesis e historia como por la gran variedad de materiales volcánicos presentes, lo que permite admirar y conocer en detalle un amplio abanico de procesos y estructuras, dentro de un espacio abigarrado y claramente delimitado. Este conjunto volcánico, por su contenido, grado de conservación y excelente exposición, es único en el mundo y constituye una referencia

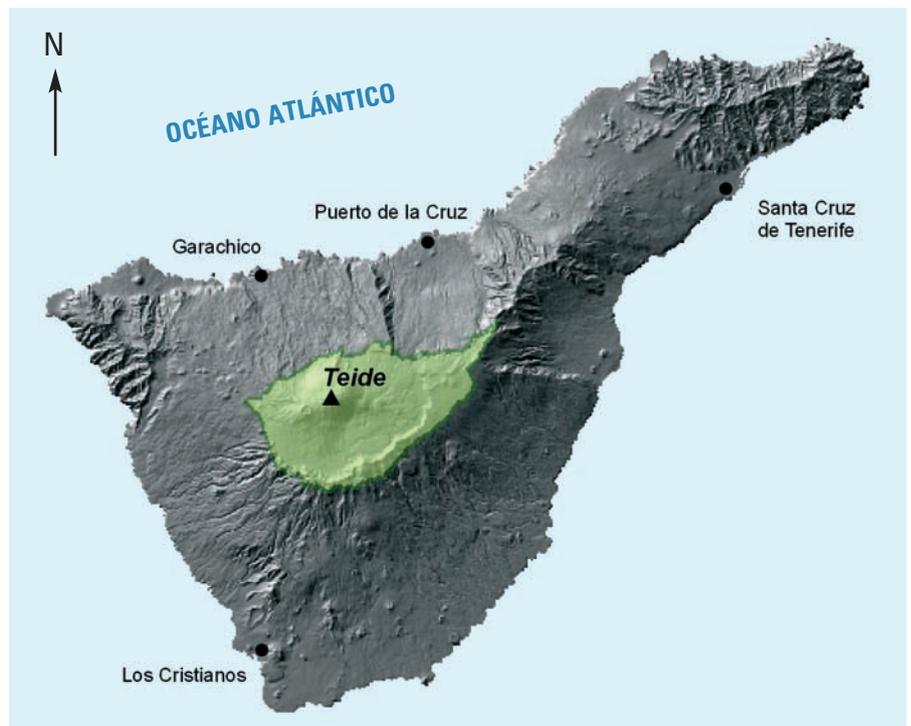


Figura 2. Isla de Tenerife con la situación del Parque Nacional del Teide.



Figura 3. Mar de nubes sobre el valle de La Orotava, con el Teide al fondo.

obligada tanto para los estudiosos de la volcanología como para todas aquellas personas interesadas en este tipo de procesos naturales.

El Parque se configura, esencialmente, a partir de elementos geográficos de rasgos morfológicos y geológicos muy definidos. Indudablemente, el elemento geográfico dominante es el estratovolcán Teide-Pico Viejo (figura 5), que, formado en el Pleistoceno, permanece activo en la actualidad.

El estratovolcán se sitúa en el centro de una gran depresión, la Caldera de Las Cañadas (figura 6), que está limitada al norte, este, sur y parte de la zona oeste por una pared de abruptos escarpes de hasta 650 metros de desnivel, que muestran a lo largo de 25 kilómetros y a través de sus diferentes estratos, la historia geológica de la zona.

Entre la base del estratovolcán y el pie de la pared de la caldera existe un extenso campo de lavas y piroclastos recientes,

procedentes del Teide-Pico Viejo y sus conos adventicios, así como de otros centros de emisión existentes en el interior de la mencionada caldera. Este conjunto se completa con las llanuras endorreicas de materiales volcanosedimentarios existentes a lo largo de la base de la pared.

Asimismo, alberga muestras espectaculares de vulcanismo reciente, de fecha histórica, asociado a la emisión de magmas basálticos, como lo muestra la existencia del volcán de Fasnía, cuya actividad acaeció en 1705, y la erupción de las Narices del Teide, ocurrida en 1798, cuyas lavas cubren una superficie de unos 4,5 km<sup>2</sup> dentro de los límites del Parque.

### Paisaje

El renombre adquirido por el Teide a lo largo de siglos procede de su elevada silueta vista desde el mar, asomada por encima de las nubes. Las formas del paisaje son reveladoras de unidades a distintas escalas, de procesos de distintas épocas, de diferentes relieves contruidos y modelados y con el sistema geográfico de conjunto Teide-Cañadas. De este modo, el observador aprecia al mismo tiempo, primero, la armonía y la belleza del conjunto en el volumen cónico del estratovolcán, destacando 1.700 m de

desnivel sobre el rellano o atrio de Las Cañadas. Segundo, tal atrio, Las Cañadas propiamente dichas, con planta en forma de luna creciente, en buena parte alrededor de los 2.000 m de altitud, configurado hoy por el relleno de un fondo de caldera volcánica de amplias dimensiones por la suma de una red de bocas volcánicas menores, de coladas del Teide y de Pico Viejo, y de sus domos periféricos, con diversidad de lavas desde cordadas con flujos suaves a derrames viscosos de bloques de obsidiana, y de llanos de finos depósitos torrenciales y lacustres atrapados sin salida e intercalados entre tales lavas. Tercero, por un espigón de agujas rocosas ruñiformes que cruza y divide en dos tal atrio, denominado *Los Roques de García*. Cuarto, cerrando el conjunto al sur, el resto marcadamente lineal y suavemente arqueado del edificio volcánico Cañadas, precedente al Teide, y afectado por la mencionada Caldera de Las Cañadas, que sobrepasa los 2.700 m de altitud en su cumbre mayor, Guajara (*figura 7*), edificio disimétrico que muestra hacia el norte un acentuado escarpe, tapizado parcialmente por derrubios abundantes, y hacia el sur un pronunciado declive en rampa hacia las altitudes de medianías e incluso hacia el próximo litoral. Éstos son los escenarios en los que se integran a su vez formas medias y menores como coladas, lomos,

conos, cráteres, campos de volcanes, domos, fisuras, muros, taludes, llanos, bloques, agujas, tubos, jameos, canales, malpaíses y lajiales, todos ellos en relieves rotundos.

### Criterios en los que se basa la propuesta de inscripción

La *Propuesta de Inscripción del Parque Nacional del Teide en la Lista del Patrimonio Mundial* se fundamenta principalmente en dos criterios



Figura 4. Ejemplo de vegetación hidrófila de alta montaña macaronésica.



Figura 5. Panorámica del complejo volcánico Teide-Pico Viejo, reflejado en la laguna de Ucanca. A la derecha, una visión parcial de Los Roques de García.

específicos (el VII y VIII) de los que establece el Comité de la UNESCO para que un bien pueda formar parte de ella; concretamente, en el criterio (VII), concierne a representar fenómenos naturales o áreas de belleza natural e importancia estética excepcionales, y en el criterio (VIII), referido a ser ejemplos eminentemente representativos de las grandes fases de la historia de la Tierra, incluido el testimonio de la vida, de procesos geológicos en curso en la evolución de las formas terrestres o de elementos geomórficos o fisiográficos de mucha significación.

### Criterio (VII)

El sistema volcánico de Las Cañadas-Teide, con una posición central en el archipiélago canario, se puede considerar como el paisaje resultante del encuentro entre los ámbitos estructurales del Atlántico —entorno de la dorsal oceánica— y del continente africano —la cordillera del Atlas—. La disposición de las grandes formas de relieve que lo caracterizan y la de los elementos menores que lo integran manifiestan con gran perfección una geometría original y exclusiva que responde a dicha conexión. Como consecuencia de esa ubicación, en la franja de longitud del globo en que aparece, no se encuentra otro relieve similar desde Islandia hasta la Antártida, y, si se hace el seguimiento de este a oeste, tampoco en esa latitud se encuentra nada igual desde el Sinaí hasta la Sierra Madre Oriental. Es una gran construcción volcánica dormida que remata la elevada isla, levantada sobre los hondos abismos marinos que la circundan; un ámbito único suspendido en altitud cuya silueta, por encima del nivel de nieblas de las montañas subtropicales, permite al viajero localizar la isla que no ve.

Además, la excepcionalidad de su paisaje también se fundamenta en una riqueza infrecuente de formas eruptivas, de tipos de construcciones explosivas y efusivas, de modalidades de conos y coladas, concentradas en un espacio delimitado, con un orden preciso en sus rocas, tiempos y relieves que indican una lógica estricta en su dinámica, en su espacio, en su



Figura 6. Panorámica de la pared de la Caldera de las Cañadas. Tajinastes (*Echium wilpretti*) en flor, en primer plano.

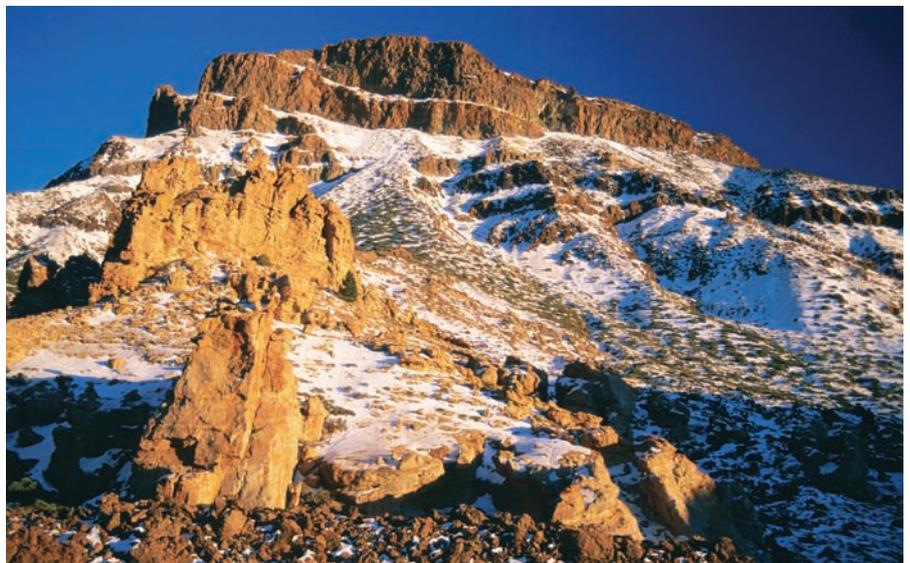


Figura 7. Escarpe de montaña Guajara, formado por lavas y piroclastos sálicos del Edificio Cañadas.

evolución y en su materia, donde la apariencia pudiera ser de caos. Incluso los repartos de su peculiar vegetación de altitud expresan grados elevados de armonía natural con ese sustrato y una vivacidad ecológica y cromática que contradice las impresiones superficiales de esterilidad en un medio rocoso, frío y árido. Es un paisaje insólito, de formas contundentes, fuertes, de colores intensos, ásperas, sólo revestidas por una veladura vegetal, que refleja, a la vez, la estética propia de los grandes volcanes y de los grandes desiertos. Las variaciones de continuidad y de recubrimiento de la película vegetal, así como las diferentes combinaciones de especies florísticas, ponen énfasis en los rasgos

geomorfológicos, ayudando a remarcar la distribución y los tipos de formas de relieve. También la originalidad asociada a su localización geográfica se evidencia en algunos rasgos fisonómicos de la vegetación y, aunque es una vegetación arbustiva característica de la montaña templada, incorpora elementos de gran belleza y singularidad, como las especies del género *Echium* (figura 6), que evocan la imagen de la vegetación de los pisos más elevados de la montaña tropical, indicando el carácter de transición de esta alta montaña atlántica.

El Teide presenta un valor añadido que radica en los cambios estéticos que hacen que en diferentes momentos del día y del



Figura 8. El Pico del Teide destacando en el atardecer sobre el mar de nubes.



Figura 9. Vista del Teide y Montaña Blanca, desde el Llano de Maja.

El Teide presenta un valor añadido que radica en los cambios estéticos que hacen que en diferentes momentos del día y del año varíen las calidades de su belleza

año varíen las calidades de su belleza. El paisaje del Teide muestra una variación fenológica anual llena de contraste. Sin duda, esta variación es algo habitual en muchos lugares, pero aquí muestra unos caracteres especialmente marcados y resalta en un entorno definido precisamente por la atenuada estacionalidad: un invierno con nieve, que se convierte en el protagonista del paisaje, una primavera en floración explosiva con dominio intenso en el ambiente — *Spartocytisus supranubius*, *Echium sp.*, etc.—; un verano seco donde vuelve a dominar lo mineral; un otoño entrecortado

por rachas de temporal con los vivos colores tardíos de las plantas, entre ellos el amarillo de la hierba pajonera. Y cambio, además, según el paso de las horas del día, de intensa luz, donde un amanecer de luces tendidas y sombras largas que saca todos los colores de lavas y plantas, contrasta con un mediodía de sol cenital sin sombras salvo en la vertical dominante hasta que llega un rápido atardecer de tonos suaves donde todas las formas adquieren relieves (figura 8). Pero aún más llamativo es el cielo de la noche, de tan extrema pureza y diafanidad en la atmósfera que las constelaciones plagan el

cielo con una proliferación y nitidez fuera de lo común, y donde la Vía Láctea dibuja su rumbo con inusual brillantez. La presencia próxima de observatorios astronómicos obedece a estas virtudes excepcionales de la atmósfera de altitud en el Teide, sobre el soporte único de una cota de alta montaña en un punto de latitud subtropical emplazado en el océano Atlántico.

A la elevada riqueza en valores naturales de los paisajes del Teide se añade el hecho de que en este espacio se localizan los volcanes activos más grandes, más



Figura 10. Volcanes recientes emitidos a lo largo del rift NO. Al fondo, el volcán Pico Viejo.



Figura 11. Volcanes recientes emitidos a lo largo del rift NO. Montaña Samara. Al fondo, el pico del Teide.

A la elevada riqueza en valores naturales de los paisajes del Teide se añade el hecho de que en este espacio se localizan los volcanes activos más grandes, más accesibles y mejor estudiados del mundo

condiciones excepcionales. Concurren en Canarias condicionantes muy particulares en este tipo de islas volcánicas, como la baja velocidad de desplazamiento de la placa africana (un orden de magnitud inferior a la de la pacífica), el menor vigor y las bajas tasas de fusión de la pluma magmática que ha generado el archipiélago, y su peculiar emplazamiento en un borde continental pasivo (a 100 km de la costa de África), que ha dificultado el relativamente rápido hundimiento (subsistencia) habitual en este tipo de islas. Este excepcional marco geodinámico ha tenido como consecuencias la generación de islas con una muy dilatada historia volcánica (>20 ma, Tenerife 12 ma), dando tiempo a la evolución de los magmas hasta términos muy diferenciados, proceso que no ha podido culminar en las demás islas volcánicas de intraplaca, en las que la serie magmática está incompleta en sus términos más diferenciados (félsicos). Estas circunstancias han

accesibles y mejor estudiados del mundo, por lo que tienen una calidad adquirida como patrón universal en los aspectos culturales y científicos, además de ser un lugar geoturístico espectacular y mundialmente popular. Es un paisaje excepcional, sin duda grandioso, donde disfrutan los sentimientos y aprende la razón. Por ello, aunque algunos de los elementos morfológicos que caracterizan el paisaje del Teide existen en otros lugares, lo hacen individual o parcialmente, y la excepcionalidad de este espacio es la integración de todos ellos en una misma área, muy accesible además para fines educativos y de investigación (figura 9).

#### Criterio (VIII)

Las principales razones que justifican esta singularidad y relevancia universal

para ser ejemplos eminentemente representativos de las grandes fases de la historia de la Tierra son:

- El Parque Nacional del Teide incluye un volcán central formado, en su fase final, por erupciones explosivas (plinianas), con una gran caldera en su cima (Caldera de Las Cañadas), en cuyo interior se han formado anidados los dos grandes estratovolcanes Pico Viejo y Teide; este último, aún activo, con 3.718 m sobre el nivel del mar (7.500 sobre el fondo oceánico) es la tercera estructura volcánica más elevada del Planeta.
- Los procesos geológicos que han configurado el Parque, y que siguen activos, son muy representativos del volcanismo de las islas oceánicas de intraplaca, pero apareciendo aquí en

permitido la presencia en las Canarias de materiales, formas, estructuras y procesos eruptivos que sólo se dan en este archipiélago con esta espectacular variedad. Tenerife es la isla que está actualmente en la etapa de mayor desarrollo geológico, donde esta representación alcanza su máximo nivel, concretamente en el Parque Nacional del Teide.

- Los singulares procesos geológicos que han tenido lugar dentro del Parque en la última fase de evolución volcánica de Tenerife han originado asimismo paisajes de excepcional belleza natural, y extraordinario interés por la espectacularidad de sus mecanismos de formación. Un gigantesco e instantáneo deslizamiento lateral excavó un enorme cuenco en forma de herradura, cuya cabecera es la actual Caldera de Las Cañadas, con un diámetro de 16 km y un borde acantilado de 600 m. La actividad eruptiva posterior culminó con la construcción, anidados en la depresión de deslizamiento, de dos grandes estratovolcanes diferenciados —Pico Viejo y Teide—, grupo que alcanza 3.718 m. Este conjunto paisajístico, de excelentes condiciones de observación por la escasa vegetación (sin embargo de espectacular floración) y la profusión de accesos y miradores (siendo el mismo Pico del Teide el más imponente), tiene en sí mismo un valor universal excepcional, al ser el único ejemplo en las islas volcánicas oceánicas de intraplaca de estratovolcanes diferenciados activos anidados en una caldera de deslizamiento.
- Los elementos geológicos que conforman el Parque son consecuencia de la culminación de los procesos de diferenciación que hacen que la serie magmática alcalina esté representada en toda su extensión, con un gran volumen y variedad de los términos félsicos (fonolitas), lo que no ocurre en las demás islas volcánicas oceánicas de intraplaca, donde estos elementos tienen escasa relevancia. No existe un competidor del Parque Nacional del Teide con esta representación,



Figura 12. Retrato del naturalista alemán Alexander von Humboldt.

integridad y accesibilidad entre los espacios correspondientes a las islas oceánicas de intraplaca. El único de esta clase con valores geológicos igualmente singulares y extraordinarios es el Parque Nacional de los Volcanes de Hawaii. Pero en este espacio, sólo están presentes las erupciones volcánicas correspondientes a los magmas menos evolucionados de las islas oceánicas de intraplaca y, en consecuencia, sólo pueden observarse allí los procesos, productos y formas de ese volcanismo restringido, aunque de una extraordinaria espectacularidad e interés. Por ello, la inscripción del Parque Nacional del Teide supone aportar al Patrimonio de la Humanidad

un espacio único y excepcional. De incluirse el Parque Nacional, ambos escenarios volcánicos representarían, en su integridad, y con una relevancia excepcional, la evolución de los volcanes oceánicos intraplaca del Planeta. La idea fundamental que subyace en esta propuesta es que el Parque Nacional del Teide contribuye excepcionalmente a la representación del volcanismo de islas de intraplaca del Planeta aumentando considerablemente su valor e integridad.

- Como procesos geológicos importantes en la formación del relieve y el paisaje natural y de estructuras geomorfológicas y fisiográficas relevantes

presentes en el Parque Nacional del Teide se pueden destacar los siguientes:

- El Edificio Cañadas, caso excepcional en islas oceánicas de intraplaca de desarrollo de un edificio volcánico que evoluciona hacia estadios de diferenciación capaces de dar erupciones fonolíticas explosivas (plinianas), e incluso probablemente del tipo “caldera forming”.
- La Caldera de Las Cañadas, una de las calderas más espectaculares, mejor expuestas y accesibles del Planeta, de origen científicamente debatido entre colapso vertical, deslizamiento gravitatorio, o una combinación de ambos.
- Los rifts activos del NO y NE (*figuras 10 y 11*). Excelente ejemplo de rifts activos y el papel que estas estructuras desempeñan en el control de procesos cruciales en el desarrollo de las islas oceánicas, en su crecimiento y configuración, y en su destrucción por deslizamientos gravitatorios masivos.
- Un posible ejemplo excepcional del papel de los rifts en generar procesos complejos concatenados que generan cuencas de deslizamiento y posteriormente las rellenan, induciendo en el proceso la diferenciación de magmas y la construcción de estratovolcanes diferenciados anidados en esas cuencas.
- Dos grandes estratovolcanes fonolíticos, Pico Viejo y Teide, este último aún activo, con 3.718 m sobre el nivel del mar (7.500 sobre el fondo oceánico), la tercera estructura volcánica más elevada del Planeta. Estos estratovolcanes son únicos en las islas volcánicas oceánicas con esta grandiosidad y accesibilidad.
- Un excelente ejemplo de la evolución completa de la serie magmática propia de las islas oceánicas de intraplaca, con una amplia representación de los términos iniciales, intermedios y

## El Teide y la Caldera de Las Cañadas han tenido un destacado papel en la Historia de la Ciencia, y en su estudio se han hecho importantes aportaciones al desarrollo de la Geología y Vulcanología modernas

más evolucionados de esta serie, así como procesos de mezcla.

Estos procesos geológicos únicos han dado lugar a paisajes de excepcional belleza natural que, a los aspectos de interés cultural o científico, añaden el puro disfrute estético de espectaculares formas y estructuras del relieve, acrecentado, en determinadas épocas, por una espléndida floración.

Por otra parte, el Teide y la Caldera de Las Cañadas han tenido un destacado papel en la Historia de la Ciencia, y en su estudio se han hecho importantes aportaciones al desarrollo de la Geología y Vulcanología modernas. La parte más espectacular de la isla de Tenerife, y concretamente lo que hoy es el Parque Nacional del Teide, ha atraído el interés de naturalistas y geocientíficos de todo el mundo, destacando los trabajos pioneros de naturalistas de comienzos del siglo XIX como Leopold von Buch, Alexander von Humboldt (*figura 12*) y Charles Lyell, que sentaron en este escenario geológico conceptos básicos de la Geología y la Vulcanología. En este contexto cultural y científico, el Parque Nacional del Teide podría ser respecto a Europa lo que actualmente es el Parque Nacional de los Volcanes de Hawaii para EEUU y Japón.

Tenerife es una isla cuya actividad económica básica es el turismo y, por ello, tiene unas excelentes comunicaciones, especialmente con Europa. La población de la isla (unas cinco veces mayor que la de Hawaii) y el número de visitantes (más de 5 millones al año) garantizan el disfrute de sus

singulares y sobresalientes valores geológicos y paisajísticos, por un gran número de personas.

Complementariamente, la ampliación y extensión de su conocimiento aportará un indudable reforzamiento de las medidas ya existentes de protección.

El Parque Nacional del Teide posee, además de los extraordinarios valores geológicos y paisajísticos, otros de importancia igualmente sobresaliente, como los endemismos de flora y fauna, los yacimientos arqueológicos aborígenes, o la pureza y transparencia de la atmósfera, que lo han hecho asiento de uno de los complejos astrofísicos y atmosféricos más importantes del mundo. Este conjunto de valores hace que este espacio sea, sin duda, uno de los más completos y extraordinarios entre las islas oceánicas de intraplaca del Planeta.

### Epílogo

Para lograr ser incluido en la Lista del Patrimonio Mundial es necesario contar con apoyos institucionales y con ayuda de organismos no gubernamentales (ONG), así como con la solidaridad de todos los sectores de la sociedad (asociaciones, grupos, particulares, etc.), que deseen participar de forma voluntaria. Para mayor información al respecto se puede consultar la página web:

<http://reddeparquesnacionales.mma.es/parques/teide/index.htm>

# La gestión de la recarga de acuíferos en España: el proyecto DINA-MAR

La gestión de la Recarga de Acuíferos o “Managed Aquifer Recharge” (en adelante MAR) es un método de gestión hídrica que permite introducir agua en los acuíferos en general de buena calidad y pretratada, aunque ha habido varias experiencias de recarga con aguas residuales. Una vez almacenada en éstos, puede ser extraída para distintos usos (abastecimiento, riego, etc.) frenar la intrusión marina y contaminación, etc. Esta técnica es considerada una *Driving Force* o actividad capacitada para provocar un impacto, positivo o negativo, sobre la cantidad y la calidad de las masas de agua.

TEXTO | Enrique Fernández Escalante, Dr. en CC. Geológicas. Grupo Tragsa

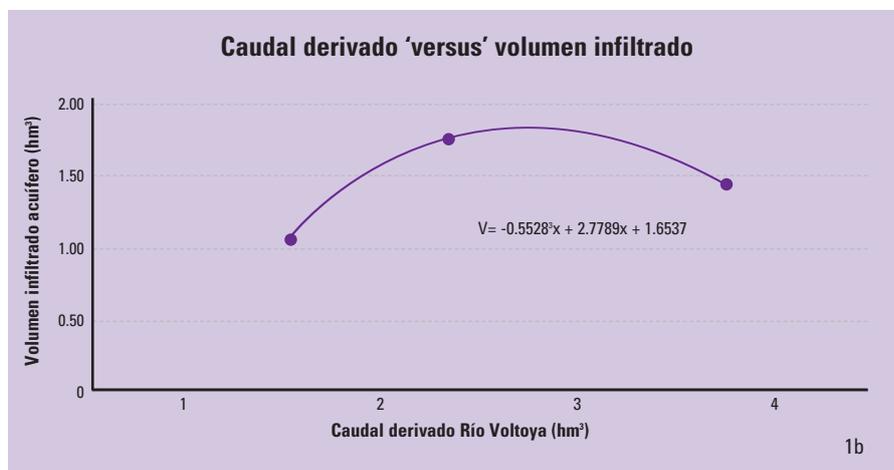
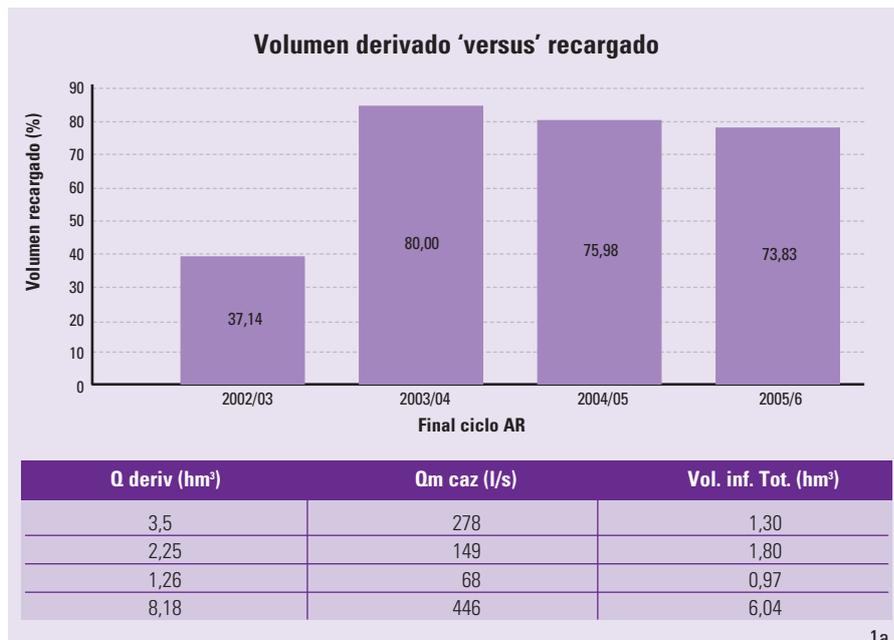
Palabras clave  
Recarga artificial de acuíferos,  
proyecto DINA-MAR, hidrogeología

El agua utilizada en la recarga artificial de acuíferos puede proceder de ríos, depuradoras, escorrentía urbana, desaladoras o humedales, entre otros orígenes, y es introducida al acuífero mediante zanjas, balsas, pozos, sondeos de inyección, etc., generalmente en invierno. Se “almacena” en el acuífero en cantidad superior a lo normal, y sigue su circuito natural subterráneo, depurándose durante un periodo de tiempo variable. Posteriormente es extraída y empleada para diferentes usos como abastecimiento y regadío, generalmente con adecuada calidad.

## Pros y contras de la técnica MAR

La técnica MAR es considerada una alternativa de gestión hídrica de primer orden en varios lugares del mundo, mientras que en nuestro país se considera una técnica “especial” que suscita un cierto escepticismo a pesar de su gran potencial. A modo de ejemplo, cabe destacar que se han inventariado más de 40 dispositivos y experiencias distribuidos en 18 países europeos (Fernández Escalante, 2005). Por citar algunos ejemplos destacables, las ciudades de Dusseldorf y Budapest dependen en un 100% de aguas de MAR; Berlín, en un 75%, etc.

Entre las ventajas de la técnica caben destacar:



Figuras 1a y 1b. Volúmenes infiltrados en cuatro ciclos de operatividad del dispositivo de recarga artificial (AR) de la Cubeta de Santiuste (Segovia) y evolución de la tasa de infiltración.

- Almacenar agua en los acuíferos, especialmente en zonas de escasa disponibilidad de terreno en superficie o sin posibilidad de otras formas de embalsamiento.
- Eliminación de patógenos, sustancias químicas, etc., del agua durante el proceso de infiltración a través del suelo y su posterior residencia en el acuífero, suavizando diferencias cualitativas y reduciendo riesgos medioambientales, incluidos aquellos relacionados con la salud.
- Utilización del acuífero como embalse regulador, almacén y red de distribución dentro de un sistema integrado, permitiendo suavizar fluctuaciones en la demanda y reducir el descenso del nivel del agua por sobrebombeo.
- Reducir las pérdidas por evaporación respecto al agua embalsada y compensar la pérdida de recarga natural en un acuífero por actividades antrópicas.
- Integración de actividades medioambientales, por ejemplo el tendido de barreras hidráulicas para la intrusión marina, la prevención de problemas geotécnicos, la reutilización de aguas residuales urbanas, la regeneración hídrica de humedales, etc.
- Mejora económica de zonas deprimidas.
- Intervención para aminorar la desertización, cambio climático, erosión de suelos, etc.

Por el contrario, no todo son ventajas, pues en contra de esta técnica están:

- Grado de conocimiento incipiente de su potencial.
- Visión principalmente hidráulica de la política de gestión hídrica en el país, que la considera una “técnica especial”.
- Escasez y falta de continuidad en las experiencias, que van cobrando importancia creciente, por ejemplo las del MAPA en Segovia, si bien no hay bagaje histórico que demuestre su idoneidad y la técnica se perfila como una operación de cierto riesgo para los inversores.
- Escasa dedicación en las publicaciones de gestión hídrica del país, como los libros blancos de las aguas, hasta la fecha.
- Es preciso un control durante el diseño y construcción, así como realizar varios estudios y proyectos para minimizar los riesgos e impactos ambientales.

#### Comparativa con otras técnicas de gestión hídrica

En nuestro país, la mayoría de las experiencias tienen un carácter experimental, con escasos dispositivos operativos de gran envergadura, ubicados en Castilla y León y Cataluña. La cifra de agua recargada de manera artificial a los

acuíferos oscila, según las fuentes, desde 50 hm<sup>3</sup>/año (IGME, 2000) hasta 350 hm<sup>3</sup>/año (MIMAM, 2000), cifras que, aún en el mayor de los casos, representan un volumen del orden de diez veces inferior al entorno de Europa Central. Los cálculos realizados por el autor arrojan cifras cercanas a 60 hm<sup>3</sup> (Fernández Escalante, 2006).

De todos los puntos de vista para este enfoque prima el económico. Se ha realizado un análisis preliminar, al haber un volumen de información bastante escaso, que concluye en que el agua procedente de la gestión de la recarga de acuíferos (MAR) tiene unos costes ligeramente inferiores al coste medio del agua desalada e inferior a la mitad que el agua embalsada en presas y balsas.

El indicador adoptado ha sido el ratio entre el coste de construcción y el volumen de agua almacenada para casos documentados. No se ha entrado en consideraciones relativas a costes de amortización, vida media de las estructuras y otros cálculos a largo plazo, por carecer de información suficiente ante la juventud y heterogeneidad de la mayor parte de las experiencias de *Aquífer Recharge* (AR) en España.

Se ha conseguido información relativa a dieciséis balsas edificadas recientemente,

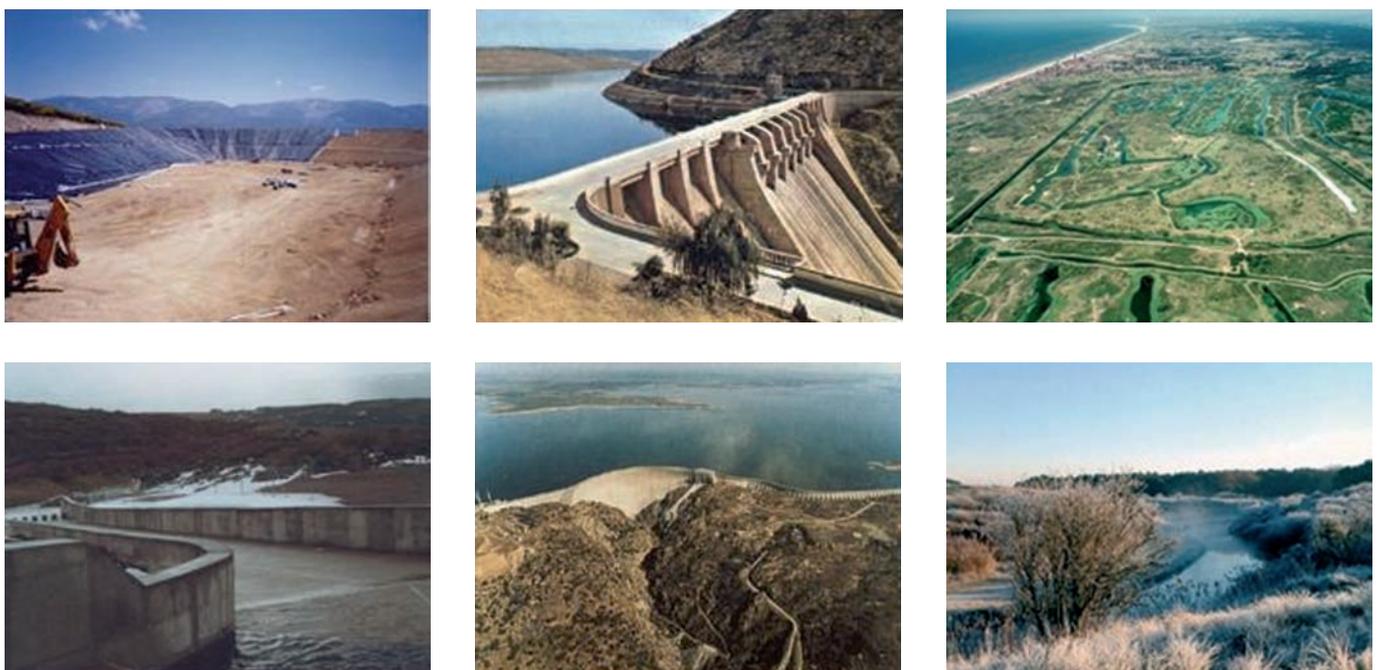


Figura 2. Aspecto de varios dispositivos de almacenamiento superficial (izquierda) y dos de recarga artificial de acuíferos (derecha, por cortesía de Scholten y AWS).

distribuidas por toda España. La relación media o *ratio* de todas ellas asciende a 10,50 €/m<sup>3</sup>.

El mismo cálculo se ha llevado a cabo con ocho presas, todas ellas de Castilla y León y la Rioja. El *ratio* resultante medio es de 1,25 €/m<sup>3</sup>.

El coste del agua en los dispositivos de AR varía entre límites más anchos, dependiendo de la naturaleza del dispositivo, edad, años en funcionamiento, etc. Se han analizado también todos los casos a los que se ha podido acceder a la información:

- Dispositivo superficial Cubeta de Santiuste (Segovia). La relación media en sus cuatro años de funcionamiento: coste obra/agua infiltrada, desde el dispositivo al acuífero, asciende a 0,39 €/m<sup>3</sup>. En el último año se ha introducido de manera intencionada en el acuífero cerca de 6,1 hm<sup>3</sup>. En las figuras 1 a) y b) se representan los volúmenes infiltrados en cuatro ciclos de operatividad y la evolución de la tasa de infiltración en un ciclo de AR.
- El dispositivo superficial (canales) del Carracillo (Segovia), para el primer ciclo de operatividad (2003-2004) y un volumen recargado de casi 5 hm<sup>3</sup> tuvo un coste económico de 0,15 €/m<sup>3</sup>, de acuerdo con los datos del MAPA (2005 a y b).
- El caudal inyectado a través del dispositivo experimental (sondeo de inyección) ensayado en el año 2001 por el Canal de Isabel II (Casilla de Valverde, Madrid), tuvo un coste económico de aproximadamente 1,02 €/m<sup>3</sup>. Se recargó un total de 450.000 m<sup>3</sup> de agua pretratada, originando importantes problemas de colmatación.
- Los costes estimados en los dispositivos de AGBAR en Barcelona (Cornellá) ascienden a 0,08 €/m<sup>3</sup>, sin tener en cuenta los costes de amortización de las obras (Armenter, 2006).

Analizando los datos, podemos establecer unas primeras aproximaciones a la realidad económica de cada técnica (valores medios de las relaciones):

- Balsas: 10,50 €/m<sup>3</sup>.
- Presas: 1,25 €/m<sup>3</sup>.
- Dispositivo AR superficiales: 0,21 €/m<sup>3</sup>.
- Dispositivo AR profundos: 1,02 €/m<sup>3</sup>.
- Desaladoras: 0,45 a 0,90 €/m<sup>3</sup> (durante su amortización).

Estos datos, aunque carezcan del rigor de un análisis económico completo, permiten afirmar que los costes del agua procedente de operaciones MAR son algo inferiores al coste medio del agua desalada y menos de la mitad del embalsado en presas y balsas.

A tenor de estos resultados, se desprende que los costes del agua son asumibles y descendentes a medida que se avanza en el grado de conocimiento de la técnica MAR, especialmente desde que se ha mejorado el diseño de los dispositivos de recarga profunda, que adolecían hasta la fecha de falta de experiencia.

A la ventaja económica cabe añadir la vinculada a la ocupación del terreno y su alto valor paisajístico o contingente (figura 2).

Los dispositivos inventariados en España sobrepasan los 26, si bien no todos están operativos en la actualidad (figura 3). Gran parte de ellos corresponden a experiencias llevadas a cabo por el IGME (ITGE, 2000).

En Cataluña predominan dispositivos de infiltración por pozos y sondeos en el aluvial de ríos, escarificación del lecho y

sondeos de infiltración profunda (figura 5). En el resto del arco mediterráneo e islas Baleares predominan los pozos, galerías y balsas de infiltración, con abundantes diques de retención y boqueras en Levante.

En las zonas de meseta predominan los dispositivos de recarga artificial superficial promovidos por el MAPA por canales y zanjas (Segovia), además de una serie de instalaciones con pozos en el aluvial de ríos (Valladolid, La Rioja).

En Madrid y Castilla-La Mancha las experiencias más notables se han realizado mediante sondeos profundos.

En Andalucía Central hay sistemas de acequias o careos (figura 4), drenajes de minas y sondeos; mientras que en la Occidental predominan los pozos y balsas como dispositivos de infiltración inducida.

### El Proyecto DINA-MAR



Con objeto de conocer el potencial y alcance de esta técnica, se ha iniciado un proyecto denominado DINA-MAR, financiado por el Grupo Tragsa con costes a su programa interno de I+D+i, cuyo objeto es determinar las zonas de España susceptibles a la aplicación de esta técnica.

El programa se ha iniciado con un amplio estudio del "estado del arte" a escala mundial, actualizando el inventario de experiencias (Fernández Escalante, 2005), observando que esta técnica se encuentra

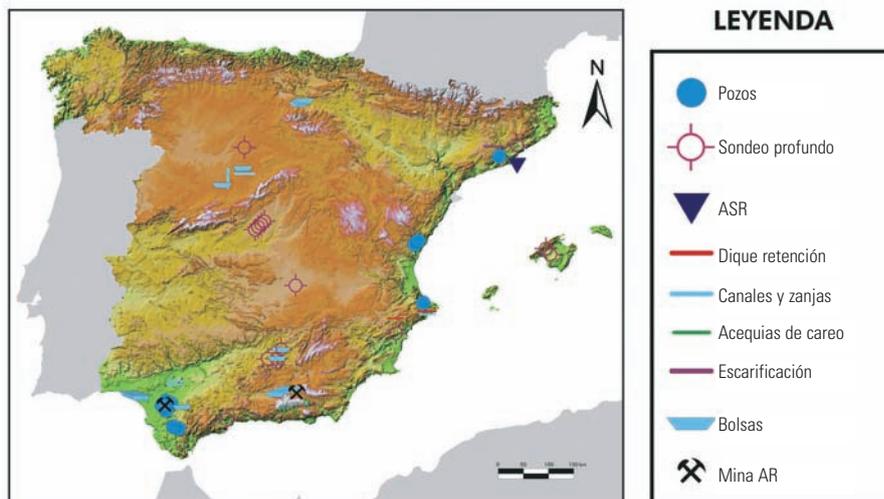


Figura 3. Dispositivos operativos de recarga artificial de acuíferos en España por tipologías.

infrautilizada en el Estado español, a pesar de su enorme potencial y de ajustarse a los requerimientos hídricos y el marco legal de la realidad hidrológica española de principios del siglo XXI (Fernández Escalante y García, 2004).

Una vez elegidas las zonas se está iniciando un estudio de los dispositivos más idóneos para alcanzar la máxima efectividad, basándose en la técnica de escenarios análogos y adoptando unas zonas piloto experimentales

Se ha llevado a cabo un proceso de cálculo, apoyado en una fuerte componente de Sistemas de Información Geográfica (SIG), para determinar mediante cruces de coberturas temáticas y análisis vectorial aquellos acuíferos que son más susceptibles para ser recargados de forma artificial, agrupados por cuencas hidrográficas y masas de agua. Para ello, se tienen en consideración más de 30 parámetros representados en coberturas temáticas, en general vectoriales y georreferenciadas (por ejemplo, regadío con aguas subterráneas, cercanía a cauces fluviales, datos foronómicos, hidrológicos, climáticos, presencia de depuradoras, mapas litológicos, hidrogeológicos y de suelos, espesor de la zona no saturada, presencia de masas forestales, un MDT de 100 metros de tamaño de celda de toda España, y un largo etcétera que contempla incluso circunstancias socio-económicas y políticas).

Conocidas las zonas susceptibles en una primera aproximación, se está iniciando un estudio de los dispositivos más idóneos



Figura 4. Aspecto de acequias de careo, dispositivos de origen árabe que aprovechan el deshielo de Sierra Nevada para la recarga artificial de acuíferos. Careo de Mecina Bombarón.



Figura 5. Centro operativo de AGBAR en Cornellá, donde se controlan las operaciones de recarga artificial de acuíferos en la cuenca del río Llobregat.

para alcanzar la máxima efectividad, en principio basándose en la técnica de escenarios análogos, y adoptando unas zonas piloto experimentales, hasta ahora en Madrid y Segovia, para el test controlado de los dispositivos, su respuesta y valoración de su eficiencia.

Como resultados preliminares, cabe destacar que una vez elaborado el SIG y realizados los primeros análisis con cruces de unas primeras coberturas provisionales, los resultados difieren según el orden de aplicación. Los datos presentados a continuación corresponden a una etapa de tanteo con varios análisis diferentes, que permiten obtener y empezar el tratamiento de los primeros resultados, identificar áreas susceptibles y seleccionar zonas piloto para su estudio detallado. Se han seleccionado cuatro ejemplos, que son:

- Cruce de unidades hidrogeológicas con sistemas acuíferos, masas de agua y zonas regadas con aguas subterráneas, cruce 1 (figura 6a).
- Cruce de sistemas acuíferos, cauces fluviales de cierta entidad (se han establecido varias categorías de acuerdo con su caudal medio) y su posible zona de influencia, cruce 2 (figura 6b).
- Cruce de sistemas acuíferos, usos forestales, zona de influencia en torno a los cauces fluviales (buffers) y subcuencas hidrográficas, cruce 3 (figura 6c).
- Regadío con aguas subterráneas, sistemas acuíferos y humedales con su zona de influencia (en principio se han considerado buffers de 1 km). A este análisis se ha añadido la cobertura con datos relativos a la calidad de las aguas, cruce 4 (figura 6g).

Las figuras 6 a) a g), correspondientes al análisis SIG, ilustran el proceso de obtención de los primeros resultados.

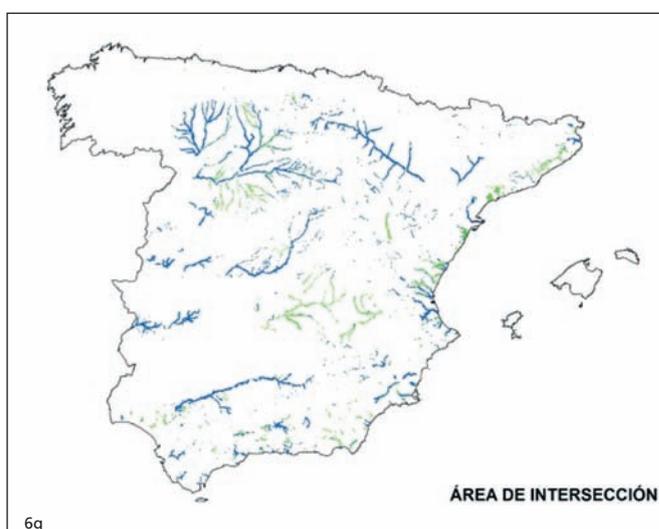
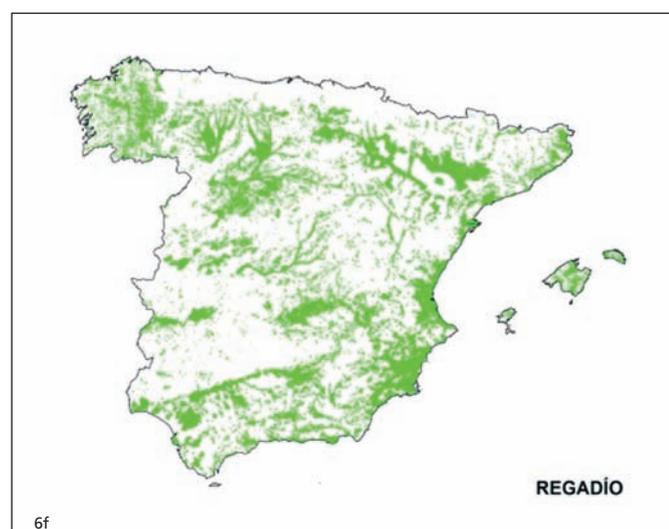
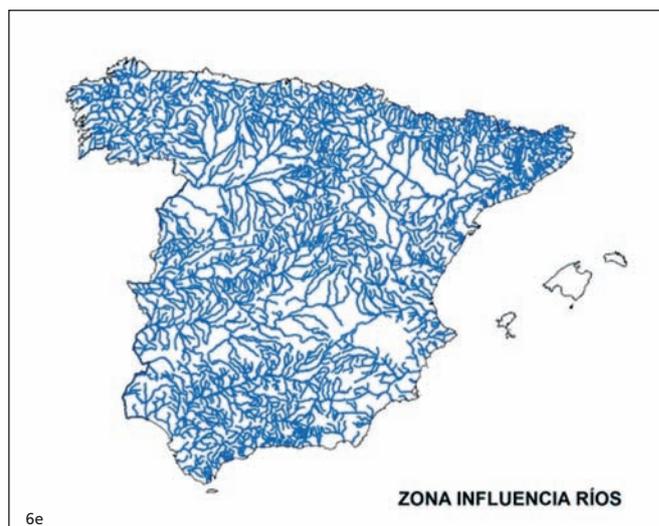
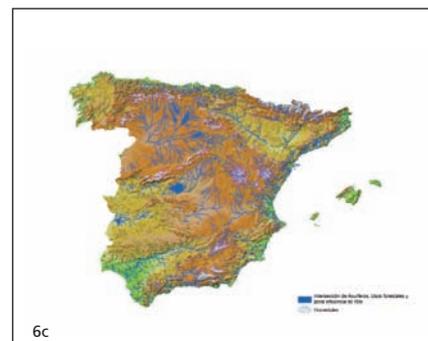
Los resultados de los cruces desprenden listados de polígonos susceptibles para llevar a cabo actuaciones de recarga artificial de acuíferos en ellos. Las

superficies calculadas para todo el territorio nacional excluidas las islas Canarias se especifican en la tabla 1.

El área total calculada oscila entre 27.000 y 43.000 km<sup>2</sup> en zonas de acuífero en las inmediaciones de cauces fluviales de cierta entidad, en muchos casos con implantación

de zonas de regadío con aguas subterráneas.

El área del terreno susceptible de albergar volúmenes adicionales a los aportados por la recarga natural con uso forestal, generalmente ubicado en las cabeceras de cuenca, es ligeramente inferior a 9.000 km<sup>2</sup>.



Figuras 6a a 6g. Imágenes de los primeros cruces de coberturas temáticas realizados con objeto de determinar las zonas (provisionales) susceptibles de regeneración hídrica en España.

Según estos primeros resultados preliminares, se estima que aproximadamente un 8% del territorio estudiado es susceptible de albergar técnicas MAR

Los terrenos asociados a cauces fluviales o humedales con la misma particularidad del caso anterior alcanzan los 10.500 km<sup>2</sup>.

La distribución para la mayoría de las cuencas hidrográficas quedaría del siguiente modo (tabla 2).

Según estos datos, la cuenca más apropiada para operaciones de recarga artificial es la del Duero. La siguen Ebro, Guadalquivir y Júcar, por este orden, cuyas zonas susceptibles están supeditadas al caudal circulante en cauces fluviales de primer orden, por lo general.

Según estos primeros resultados preliminares, se estima que aproximadamente un 8% del territorio estudiado es susceptible de albergar técnicas MAR.

Obtenidas las zonas "susceptibles" (el problema radica más en conseguir toda la información que en procesarla), se está comenzando el estudio de cada cuenca hidrográfica pormenorizadamente, para así proponer una serie de opciones. Esta etapa cuenta con una importante fase de I+D+i, y se prevé tantear varios sistemas de cruce, modificando el orden.

Además del análisis SIG, el proyecto contempla otros objetivos, algunos simultáneos, tales como:

- Diseño de una aplicación informática orientada a visualización, cálculos

Cruce	Área cruce	Área cruce 2	Área cruce 3	Área cruce 4
Área (km <sup>2</sup> )	26.588	10.403	42.998	7.822

Tabla 1. Resultados preliminares del área susceptible para ser recargada de modo artificial de acuerdo con los distintos cruces de coberturas especificados.

Cruce	Cuenca	Cruce 2 (km <sup>2</sup> )	%	Cruce 3 (km <sup>2</sup> )	%
1	Norte II	1	0,01	1.473	3,48
2	Duero	2.699	25,95	11.113	26,23
3	Tajo	973	9,35	5.515	13,02
4	Guadiana I	881	8,47	2.972	7,02
4	Guadiana II	24	0,23	91	0,22
5	Guadalquivir	1.406	13,51	3.500	8,26
6	Sur	468	4,50	1.674	3,95
7	Segura	494	4,74	1.633	3,85
8	Júcar	1.224	11,77	5.884	13,89
9	Ebro	1.822	17,51	6.599	15,58
10	Catalunya	413	3,97	1.910	4,51
<b>TOTAL</b>		<b>10.403</b>	<b>100,00</b>	<b>42.364</b>	<b>100,00</b>

Tabla 2. Resultados preliminares del área susceptible para ser recargada de modo artificial de acuerdo con los distintos cruces de coberturas especificados distribuido por cuencas hidrográficas.



Figura 7. Fotografía aérea de Villagonzalo de Coca (Segovia), remarcando el cuenco de la laguna de la Iglesia (nº 56) y humedales adyacentes inventariados (Fernández Escalante, 2005) en un estado de conservación deficiente. En la margen este se ha dibujado sobrepuesto el trazado del dispositivo de recarga artificial de la Cubeta de Santiuste. La fotografía aérea es del año 2001.

algebraicos y análisis del producto generado.

- Desarrollo de dispositivos acordes con las especificaciones de cada sistema.
- Desarrollo de la dimensión medioambiental de la técnica MAR. Las actividades tienen un proceso de detección de impactos ambientales, bajo la máxima de planificar las actuaciones en el marco del desarrollo sostenible. Para ello hay varias líneas de actuación, como la determinación de los caudales ambientales en los cauces fluviales de toma: se ha establecido una



Figura 8. Regeneración hídrica de la laguna de la Iglesia en mayo de 2005 y detalle del dispositivo de entrada (conocido como "hongo"). Laguna de la Iglesia, Coca (Segovia).

En vista de que las sequías son procesos recurrentes en España; sería conveniente dedicar el esfuerzo necesario en investigar, promocionar y construir nuevas técnicas y dispositivos de AR

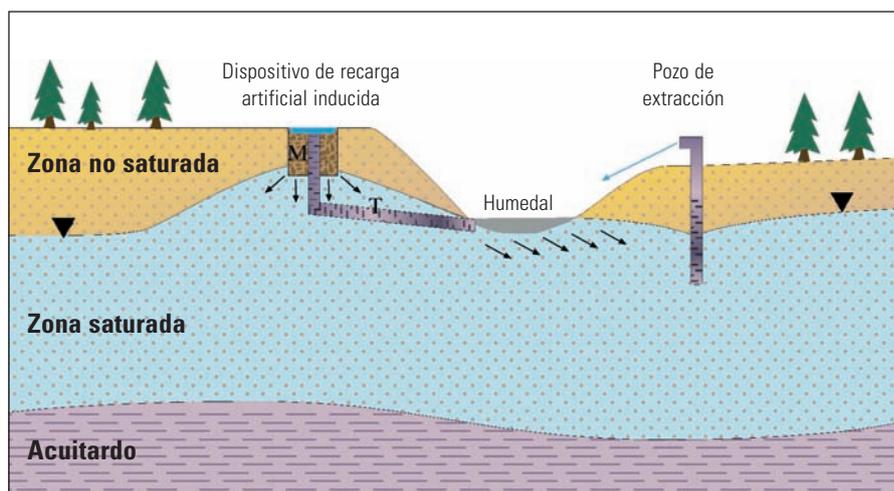


Figura 9. Diseño genérico de un dispositivo de recarga artificial inducida para aumentar la salinidad de las aguas de recarga artificial hasta alcanzar unas características similares a las aguas indígenas regulando la superficie de contacto y el tiempo de interacción con el material salino natural del terreno, precipitado por el ascenso de flujos subterráneos profundos. (Fernández Escalante, 2005).

metodología, actualmente en vías de mejora, que se apoya en la premisa de nunca extraer recursos para AR que puedan provocar un descenso del caudal inferior al 15-20% del caudal medio.

- Regeneración hídrica de humedales y otros elementos clave aplicando la técnica MAR: en el invierno de 2005, se ha llevado a cabo una actuación consistente en la restauración hídrica de la laguna de la Iglesia, principalmente endorreica y de carácter salino, situada en Coca (Segovia), con aguas procedentes del dispositivo de recarga artificial de la Cubeta de Santiuste. A lo largo del año 2006, se ha derivado un caudal de 11.600 m<sup>3</sup> hacia el humedal (Grupo Tragsa, 2006), lo que representa un 0,13% del total. Esta actuación, con escasos antecedentes en España, ha sido debidamente controlada como "experiencia piloto" por el Grupo Tragsa, con objeto de estudiar la idoneidad y viabilidad de estas actuaciones.

En las figuras 7 y 8 se presenta el aspecto del dispositivo de recarga artificial inducida. Algunos detalles técnicos pueden ser consultados en Fernández Escalante, 2006 (CONAMA 8).

Los indicadores medioambientales de respuesta aplicados (Fernández Escalante et al., 2005; ídem y García, 2006), y en vía de diseño como hito dentro del programa DINA-MAR, revelan que la regeneración hídrica evoluciona en sentido favorable,

tanto desde el punto de vista hidrológico como ecológico. Se está generando la orla perimetral entre los cultivos y el cuenco y se percibe una cierta regeneración natural.

El previsible impacto medioambiental generado cuando las aguas salinas del humedal se infiltran y mezclan con las aguas dulces del acuífero es mínimo, dado que el sustrato es de escasa permeabilidad. Además, existe una divisoria hidrogeológica (física) que impide el flujo subterráneo en esta dirección, si bien es previsible que este aspecto deba ser considerado en la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) de cualquier otra actuación futura. Para ello, es preciso contar con un buen conocimiento tridimensional de la geometría del acuífero y de su funcionamiento hidrogeológico y diseñar dispositivos mejorados (figura 9).

El proyecto DINA-MAR se encuentra actualmente en curso, terminando la fase de definición. Está prevista su continuidad en otra fase de desarrollo tecnológico para el diseño e implementación de nuevos dispositivos, acordes con cada caso concreto, que permitan alcanzar unas tasas de infiltración altas, estudio de técnicas de tratamiento de suelo y acuífero (SAT), de nuevos materiales y energías alternativas, tanto para la alimentación de los dispositivos como para la

producción de energía eléctrica a pequeña escala que posibilite el funcionamiento de los aparatos de medida, *data logger*, etc., instalados en las zonas piloto.

El programa cuenta con un programa de educación ambiental y divulgación simultáneo, si bien precisa una financiación adicional para completar todos los objetivos previstos.

### Conclusiones

La recarga artificial de acuíferos (AR o MAR) es una técnica de gestión hídrica de gran potencial muy poco utilizada en España. Hay un gran escepticismo sobre su valor y una escasa difusión hasta la fecha. Así mismo, sigue estando escasamente considerada por los gestores hídricos del país.

Las circunstancias socio-económicas y políticas, así como el marco legal que regula la actividad, son idóneas en el momento actual para incluir este tipo de dispositivos en los nuevos esquemas de gestión hídrica.

En vista de que las sequías son procesos recurrentes en España durante todo el periodo cuaternario; sería conveniente dedicar el esfuerzo necesario en investigar, promocionar y construir nuevas técnicas y dispositivos de AR en aquellas ubicaciones donde resulte viable y conveniente.

El análisis económico y la dimensión medioambiental de la técnica MAR refrendan su efectividad, su conveniencia y su buena adecuación a la realidad hídrica española del siglo XXI. Esta técnica no debe ser entendida como una herramienta para controlar el medio, sino como un instrumento para actuar en las consecuencias de unas actividades mal planificadas en el pasado, y/o planificar otras para el futuro más afines con el desarrollo sostenible.

En España hay grandes posibilidades de instalar nuevos dispositivos de recarga artificial de acuíferos. La cuenca más proclive es la del Duero, y las que menos las del norte

A pesar de su apariencia, excesivamente ecológica, se trata de una medida estructural más “elegante” que la construcción de una presa o una balsa, si bien permite un margen de maniobra muy superior, al posibilitar la ocupación del terreno sobre el acuífero empleado para la recarga artificial, que es más barata, y hay quien aboga por el mayor valor contingente de los elementos asociados con respecto a las grandes obras hidráulicas.

La técnica debe ser incorporada en esquemas de utilización conjunta complejos, ya que, por sí misma, difícilmente puede cubrir una fuerte garantía de suministro.

En España hay grandes posibilidades de instalar nuevos dispositivos de recarga artificial de acuíferos (según cálculos provisionales, aproximadamente un 8% del territorio nacional es susceptible a operaciones de AR). La cuenca más proclive es la del Duero, y las que menos las del norte.

## Agradecimientos

*El autor desea manifestar su agradecimiento a Manuel López y Rodrigo Calero, del Grupo Tragsa, quienes han hecho posible el arranque del proyecto DINA-MAR, inscrito en el programa de I+D del Grupo con código 00/13.223, a la decena de técnicos del equipo investigador y a todos los profesionales que nos están brindando ayuda y apoyo.*

## Bibliografía

- Armenter Ferrando, J.L. (2006). *La recarga artificial de acuíferos en la gestión conjunta de los recursos del río Llobregat*. Agua y Ciudad en el ámbito mediterráneo (AQUAinMED). Memoria de las jornadas de Málaga del 24 al 28 de abril de 2006. Edita: IGME, serie Hidrología y Aguas Subterráneas, nº 19.
- Fernández Escalante, A.E. (2005). *Recarga artificial de acuíferos en cuencas fluviales. Aspectos cualitativos y medioambientales. Criterios técnicos derivados de la experiencia en la Cubeta de Santiuste (Segovia)*. Tesis doctoral. UCM.
- Fernández Escalante, A.E. (2006). *Gestión de la recarga de acuíferos como práctica alternativa de gestión hídrica. El proyecto DINA-MAR*. JT 6: Gestión integral de los recursos y los servicios del ciclo del agua. CONAMA 8. Madrid.
- Fernández Escalante, A.E. y García Rodríguez, M. (2004). *La recarga artificial de acuíferos. Marco legal que regula sus aplicaciones*. VIII Simposio de Hidrogeología. AEH-IGME. Octubre de 2004.
- Fernández Escalante, A.E. y García Rodríguez, M. (2006). Descripción de indicadores medioambientales para la evaluación de impacto ambiental, seguimiento y control de la restauración de humedales mediante técnicas de recarga artificial de acuíferos. (Segunda parte: indicadores de respuesta). *Tecnología y Desarrollo*, IV. Universidad Alfonso X el Sabio de Madrid.
- Fernández Escalante, A.E., García Rodríguez, M., Villarroja Gil, F. y Montero Fernández, J. (2005). Propuesta de un sistema de indicadores medioambientales para la evaluación de impacto ambiental y seguimiento de actividades de regeneración hídrica mediante recarga artificial de acuíferos. *Tecnología y Desarrollo*, III. Universidad Alfonso X el Sabio. Villanueva de la Cañada (Madrid).
- IGME (2000). *Identificación de acciones y programación de actividades de recarga artificial de acuíferos en las cuencas intercomunitarias*. MCT.
- MAPA (1999). *Estudio hidrogeológico complementario para la recarga artificial en la cubeta de Santiuste (Segovia)*. Informe técnico no publicado. Secretaría General de Desarrollo Rural-Tragsatec.
- MAPA (2005a). *Asistencia técnica para el seguimiento y modelización de la recarga artificial en la cubeta de Santiuste de San Juan Bautista (Segovia)*. Dirección General de Desarrollo Rural-TRAGSATEC.
- MAPA (2005b). *Asistencia Técnica para la gestión de los recursos hídricos en el acuífero de Los Arenales, comarca de “El Carracillo” (Segovia)*. Dirección General de Desarrollo Rural-TRAGSATEC.
- MIMAM (2000). *Libro Blanco del Agua en España 2000 (LBAE)*. MIMAM.
- MOPTMA-MINER (1994). *Libro Blanco de las Aguas Subterráneas (LBAS)*. Secretaría General Técnica del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. [www.dina-mar.es](http://www.dina-mar.es)

En cuanto a los aspectos cuantitativos, en la situación hídrica actual se considera posible y procedente “invertir” volúmenes procedentes de ríos para la regeneración de espacios de interés medioambiental, si bien está en tela de

juicio si esta actividad podrá mantenerse en el tiempo en caso de persistir la sequía actual, agravada por problemas globales tales como la desertización, el cambio climático, etc. La polémica está servida.

# ¿Por qué insiste el sistema educativo español en olvidar **la Tierra?**

**TEXTO** | Francisco Anguita, Dr. en CC. Geológicas. Profesor Titular.  
Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense

Palabras clave  
**ESO, Bachillerato,  
Sistema educativo**

No es tan fácil olvidar nuestro planeta: sus temblores, erupciones, avalanchas, huracanes y maremotos se encargan de recordarnos que sigue ahí, dándonos energía, a veces en sobredosis. Y sin embargo, el sistema educativo español se empeña, sin prisa pero sin descanso, en que nuestros ciudadanos no entiendan por qué hay terremotos o tsunamis, por qué no debemos construir un camping en la desembocadura de un barranco (Biescas), o una ciudad (Nueva Orleans) sobre un delta. O, para el caso, el origen del petróleo y de los metales que nos rodean. O el enigma del origen de la vida y el surgimiento y desaparición de los dinosaurios, y en general la evolución de la vida en la Tierra. Ni la exploración (esencialmente geológica) del Sistema Solar. O, volviendo a casa, problemas más humildes como es el origen de la arena de las playas, el porqué ésta desaparece de vez en cuando, y con qué precauciones se puede reponer. E incluso otros cargados de política, como es el de los trasvases: ¿cómo opinar sobre ellos sin saber nada del ciclo del agua?

Al igual que en cualquier área de conocimiento, no es fácil agotar los temas, y los geólogos no pretendemos que éstos sean más importantes que los de otras especialidades, científicas o no científicas. Pero la presunta desaparición de los contenidos de Geología de la asignatura "Biología y Geología", de 3º de la ESO, representa un paso más en ese camino hacia la ignorancia de problemas que a los

geólogos, e incluso a los políticos que se dicen preocupados por la Ciencia, no les pueden parecer triviales. Esta medida sigue a la descalificación de la Geología como materia de modalidad en el Bachillerato. No existiendo en Selectividad, una materia está condenada a la desaparición práctica, como en efecto ha venido ocurriendo con ésta, que ya apenas se imparte en ningún centro. Y con la modificación en ciernes, los últimos datos que el ciudadano ilustrado de este país tendrá sobre su planeta serán los que haya obtenido a los 14 años, en sus Ciencias de la Naturaleza de 2º curso de la ESO. No muchos, puesto que allí el temario está justamente repartido con la Biología, la Física y la Química.

¿Cuál es el marco en el que se inserta esta catástrofe geológica? Respuesta: el peor posible, el del desastre general de la investigación científica en nuestro país. A petición del Ministerio de Educación, el Instituto Nacional de Calidad y Evaluación elaboró hace unos años un Diagnóstico General del Sistema Educativo. En él se comparaban los planes de estudios en los países de la Unión Europea, revelándose que ningún país dedica menos horas que el nuestro a la enseñanza de la Ciencia. El tratamiento es deficiente en la Educación Secundaria Obligatoria, pero aún empeora en el Bachillerato: en el actual, no existe en ninguno de sus dos cursos *ni una sola asignatura de Ciencias que sea común*



para todos los bachilleres. Más: en la modalidad de Ciencia y Tecnología, la materia "Biología y Geología" es optativa, de forma que ni siquiera los estudiantes que cursen el Bachillerato de Ciencias tienen que estudiarla. ¿Se corregirá este desajustado con la reforma en curso? Hay grandes esperanzas enfocadas hacia la nueva asignatura "Ciencia en el mundo contemporáneo", cuyos borradores están empezando a circular. Sin embargo, a juzgar por los globos sonda que se elevan desde la calle Alcalá, este remedio —precedido por los buenos resultados de un curso similar en Gran Bretaña— puede acabar en una gran frustración, si nuestro Ministerio se empeña en incluir en él *toda* la Ciencia y *toda* la Tecnología de este mundo contemporáneo, desde los fractales a los SMS.

Pongamos los pies en el suelo: un titular reciente de prensa nos colocaba —junto con Italia, ilustre compañía— en el furgón de cola de los países europeos en su viaje hacia la Sociedad del Conocimiento. ¿Circulamos al menos en la vía correcta?



Me permito dudarle, y mi duda comienza en las desérticas aulas de las clases de Ciencias de los Institutos para proseguir en nuestras Facultades de Ciencias, que igualmente se desertizan a ojos vistas. No me es fácil entender cómo, en ese mundo futuro que, para tener probabilidades serias de viabilidad, necesita asentarse sobre una sólida base científica, la Ciencia es la hermana pobre del sistema

educativo. Y entiendo aún menos que, dentro de este ya de por sí sombrío panorama, la ciencia que estudia la salud del planeta y los recursos y riesgos naturales parezca un enemigo combatido con especial saña por las autoridades educativas. Por ello pido a éstas reflexión, antes de que esta nueva mutilación del conocimiento científico se haya convertido en irreversible.



## GEÓLOGOS DEL MUNDO

### Colabora con nosotros para...

- Prevenir y/o mitigar los efectos de los desastres naturales
- Buscar abastecimientos de agua subterránea
- Proyectos de desarrollo

### Hazte socio

Información: Avda/ Reina Victoria, 8. 4ºB. Madrid  
28003. España.  
Teléfono: 91 553 24 03. Fax: 91 533 03 43.  
[www.geologosdelmundo.org](http://www.geologosdelmundo.org)  
E-mail: [geologosdelmundo@icog.es](mailto:geologosdelmundo@icog.es)



# Presentación de la Revista Gemas y Minerales

El pasado 26 de octubre, a las 19 h, en el incomparable marco de la Sala Noble del Museo Arqueológico Nacional, tuvo lugar la presentación de la revista *Gemas y Minerales*, bajo el patrocinio de la ministra de Cultura, Carmen Calvo, y del presidente del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, Luis Eugenio Suárez Ordóñez.

TEXTO | M. Regueiro

La asistencia fue de unas 100 personas, entre los que se encontraban las grandes firmas de joyería de Madrid, el director del Museo de Ciencias de Cuenca y otras personalidades del mundo de la investigación mineral de gemas.

El vicepresidente del Colegio Oficial de Geólogos, José Luis Barrera, que actuó de moderador, se dirigió en primer lugar a los asistentes al acto presentando a las personas que componían la mesa presidencial (*figura 1*):

- José Luis Barrera, *vicepresidente del ICOG*.
- Luis E. Suárez Ordóñez, *presidente del ICOG*.
- Rubí Sanz Gamo, *directora del Museo Arqueológico Nacional*.
- Carmen Mañueco, *conservadora jefe del departamento de Edad Moderna del Museo Arqueológico Nacional*.
- Cristina Sapalski Roselló, *directora de la revista Gemas y Minerales y vocal de la Junta de Gobierno del ICOG*.

A continuación, Rubí Sanz Gamo, directora del Museo, dio la bienvenida a todos los asistentes a la presentación. Dijo: "Es para el Museo Arqueológico Nacional un placer poder realizar la presentación de la revista *Gemas y Minerales*". Sus palabras se refirieron al Museo y a los distintos actos que en él se realizan. "Siempre —añadió—

encaminados a fomentar las actividades divulgativas, formativas, científicas y didácticas relacionadas con los contenidos del Museo."

Luis Suárez se refirió al patrocinio que el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos ha dado a esta revista. Dentro de las funciones del Colegio se encuentra promover todas las actividades de interés colegial, dentro de ellas, las formativas y de divulgación cultural. Esta revista —dijo— sale a la luz

de la mano de un miembro del Colegio, vocal de la Junta de Gobierno. Es para nosotros un placer apoyar la iniciativa de una geóloga que ha trabajado durante más de 25 años en el campo de la enseñanza, divulgación e investigación de las piedras preciosas.

La presentación de la revista estuvo a cargo de Carmen Mañueco, conservadora jefe del departamento de Edad Moderna del Museo Arqueológico Nacional, quien,



Figura 1. Mesa presidencial. De izquierda a derecha: José Luis Barrera, Luis Suárez, Rubí Sanz, Carmen Mañueco y Cristina Sapalski.

después de agradecer la presencia de los asistentes al acto que llenaban la Sala Noble del Museo, se refirió a los contenidos de la revista: “una revista de información y actualidad gemológica homologable con las que, dentro de esta especialidad, aparecen en otros países”. Sus diferentes contenidos —dijo— abarcan un gran abanico de temas. El de historia abre una puerta al conocimiento de la calidad de la joyería española del siglo XVI, que permite conocer el diseño, la riqueza de los materiales empleados y el trabajo del metal y de las piedras preciosas que adornaban los ricos vestidos de las damas de la época. A continuación se refirió a todos y cada uno de los distintos apartados: diamantes, gemología, ferias, colecciones, subastas, viajes, novedades internacionales y guía de compras.

Esta revista “nace de la necesidad que existe en España de contar con una publicación de información y actualidad gemológica, comparable a lo que sucede en otros países”



Figura 2. Cristina Sapalski durante su intervención.

Finalmente, tomó la palabra, Cristina Sapalski (figura 2), directora de la revista, quien después de agradecer su presencia a las personalidades que componían la mesa, se dirigió a los asistentes al acto, con palabras de

elogio hacia todos aquellos que habían hecho posible la realización de la revista. Esta revista “nace de la necesidad que existe en España, de contar con una publicación de información y actualidad gemológica, comparable a lo que sucede en otros países”. Pretende estar en la línea de las grandes revistas del mundo, profundizando en diversos aspectos de la ciencia, por medio de la publicación de artículos propios e internacionales, pero también artículos de divulgación más al alcance de todo el mundo.

Es de destacar la exhibición de magníficos ejemplares de minerales pertenecientes a la prestigiosa firma Diorita, que se exhibieron en dos vitrinas muy bien iluminadas (figura 3). Estas obras maestras de la naturaleza, constituyeron el broche de oro de este gratuito acto cultural.



Figura 3. Topacios (colección Diorita).

# El buscador de Gemas



Eutimio extrajo con lentitud el espectroscopio del bolsillo y observó cuidadosamente el pedrusco. Era una de las mejores esmeraldas que jamás había tenido en sus manos.

Levantó los ojos hacia el garimpeiro que le ofrecía la mercancía, e inalterable lanzó un montón de falsedades envueltas en jerga técnica: "No se puede tallar en una sola pieza, habrá que dividirla en tres para evitar los defectos con el consiguiente desperdicio, además la calidad es de regular a baja...".

El trabajo cotidiano no le había permitido superar el estatus de una roñosa clase media en Zaragoza y, harto de pedruscos mediocres, había vendido todas sus pertenencias con el demente convencimiento de que una aventura en Colombia, sazónada con contrabando y estafa, iba a ser su bonoloto millonaria.

Sus veinte años de experiencia como gemólogo le dotaban de una formación excepcional para el tráfico de piedras preciosas, y ya iba siendo hora de hacer grandes negocios y jubilar de una vez por todas sus trapacerías provincianas.

De todo eso se acordaba muy bien, igual que recordaba al detalle la trifulca de despedida con Fernando:

—Abandonarlo todo después de veinte años... ¡empiezas a chochear Eutimio! ¿Que haré, yo ahora solo?

—El que hayas sido mi socio no te da derecho a insultarme. He agotado mi capacidad de vender cadenitas de oro a carcamales y mamacallos enamoradizos. El otro día tuve que aguantar a un demente atacado de estulticia amorosa que deseaba un anillo de diamantes para el dedo meñique del pie derecho de su Julieta. ¡Que no, Fernando! ¡Estoy hasta el gorro! Y esto de la libertad de horarios ha sido la gota que ha colmado el vaso. Si te complace pasarte sábados y domingos rodeado de viejas, paletos de pueblo y amantes decimonónicos, es tu problema, ¡yo me largo!

Fernando, en un gesto tragicómico, cogió una alianza de diamantes y se la ofreció mientras decía con voz afeminada:

—¡Adiós Eutimio! ¡No te olvidaré jamás!

Eutimio arrojó con furia el anillo y salió de la joyería hecho un basilisco.

—¡Lo que faltaba! Ya había aguantado bastantes bromas sobre su soltería para que encima Fernandito le viniera con rechiflas adicionales.

Todo aquello lo recordaba muy bien pero, tras el negocio con los garimpeiros en minas Gerais, lo sucedido comenzaba a volverse nebuloso.

Sí, había conseguido una partida de esmeraldas que, puestas en Madrid, podría colocar obteniendo unos treinta kilos. ¡Y sólo por ochocientas mil pesetas al cambio! Realmente era un hacha del regateo y la mangonería.

Antes de comenzar con el rosario de autobuses que lo devolvieran a Caracas, le venció su afán coleccionista y se volvió a recorrer el mercado de gemas. Como había empleado toda su liquidez monetaria en el asunto de los berilos de "calidad", tuvo que recurrir al trueque. Su reloj de oro lo cambió por una aguamarina, los gemelos y el alfiler de la corbata fueron el justo precio de unas increíbles turmalinas, pero cuando se sorprendió dando sus zapatos nuevos como pago de un coquetuelo ojo de tigre, comprendió que debía huir de aquel lugar de tentación o acabaría haciendo alguna tontería.

Había tenido suerte, en el asiento adyacente de la primera de las doce guaguas que, tras 56 horas de viaje, acabarían arrojando sus doloridos huesos en la capital, se había sentado ella. Era una jovencita hermosa y educada que le habló de "usted" en todo momento.

Llevaba una falda hasta los pies que apenas dejaba entrever sus tobillos y, a pesar de ello —o maravilla de las maravillas—, había mantenido a Eutimio de un color rubí y una temperatura infernal durante todo el viaje.

—¿Me sujeta la cintura?, no vaya a caerme con estos saltos, le susurraba cada veinte minutos para subir y bajar el bolso del portamaletas con el autobús en marcha.

—¿Me da un empujoncito?, solicitaba para subir al vehículo después de cada uno de los descansos.

—Mire aquellos ranchitos, qué preciosos son; y al señalar le metía en el ojo, al desventurado solterón, uno de sus orondos y turgentes senos.

Debía ser por aquella continua calentura que los recuerdos eran vaporosos. No obstante, creía acordarse de que, en la primera noche de viaje, durante la cena, ella le había tirado de la lengua y se había enterado de todos sus negocios pasados, presentes y futuros.

Pero era en la segunda noche de viaje donde los recuerdos se desvanecían. Alcanzaba a entrever una invitación de su señorita a unas copitas de agua del Carmen, que cura los ahogos, le había asegurado al verlo tan acalorado tras el último empujoncito. Una deliciosa y subyugante agua del Carmen, un verdadero licor celestial... Luego estaba aquel apartamento, algunas imágenes sueltas incomprensibles y ¡aquel terrible dolor de cabeza!

Al día siguiente, sereno y con las ideas más aclaradas, telefoneó a su madre desde el pisito donde se encontraba:

—Sí mamá, ¡me lo robaron! Me ha robado el corazón y se llama Gema.

Mientras, en el sofá, nuestra Gema releía con insidioso placer y fruición femenina, el fruto de la segunda noche de viaje que todavía destilaba pecaminosa seducción alcohólica. La chica del autobús esgrimía en sus manos un certificado de matrimonio que le otorgaba poder legal para administrar la vida y la hacienda de nuestro gemólogo.

De fondo se oía la voz de Eutimio:

—Sí mamá, Gema es una joya, se ocupa de todo. Sí mamá, no te preocupes mamá, ha vendido algunas piedras para comprar el apartamentito y piensa que de momento es mejor que nosotros vivamos acá y tú vivas allá...

No, no hace falta que vengas mamá.

# Facilitando las cosas 2

## Cálculo de la resistencia uniaxial de las rocas con el martillo Schmidt

Transformación del ábaco de Miller, para el cálculo de la resistencia a compresión uniaxial de las rocas, en una hoja de cálculo.

**TEXTO** | Carlos Manera Bassa. Geólogo. MMInstrumentos, S.L.

Palabras clave  
**Martillo Schmidt,**  
**resistencia uniaxial**

La resistencia a compresión simple de las rocas puede obtenerse en el campo mediante ensayos no destructivos realizados con el instrumento conocido como "martillo de Schmidt".

El martillo de Schmidt es un instrumento portátil, esclerómetro (*figura 1*), que permite obtener la resistencia de materiales de construcción, hormigón, productos cerámicos partiendo del valor del "índice de rebote" que proporciona el instrumento. El valor de la resistencia a compresión del elemento de hormigón ensayado se obtiene del índice de rebote, resultado que proporciona el martillo, mediante un ábaco que facilita el fabricante.

Para efectuar ensayos en rocas se emplea el modelo L (energía de impacto 0,735 kN), con un rango de medida de la resistencia a compresión entre 10 y 70 N/mm<sup>2</sup>. El valor de la resistencia uniaxial se obtiene mediante el ábaco de Miller (que no facilita el fabricante del instrumento) en el que las entradas para obtener el valor de la resistencia a compresión son: el índice de rebote del martillo, el peso específico de la roca y la inclinación del instrumento al realizar el ensayo.

La validez de este tipo de ensayo para la obtención de una estimación razonable del valor de la resistencia uniaxial de las rocas, es comúnmente aceptado por la comunidad de técnicos, tal como evidencian las citas en

la mayoría de los libros de tipo general de mecánica de rocas.

No existe una norma o procedimiento "oficialmente reconocido" para la realización de este ensayo. La praxis general ha impuesto el procedimiento incluido en la publicación: ISRM (1971). *Rock characterization testing & monitoring. Suggested Methods*. Editor, E.T. Brown. Pergamon Press.

Cuando se hace una toma de datos con el martillo de Schmidt, lo habitual es hacer un número "razonable" de ensayos

—entre 5 y 10, por ejemplo— para caracterizar cada tipo litológico. Cada "ensayo" consta de entre 10 y 20 "rebotes" obtenidos con el martillo en la misma zona (un sector pequeño de la superficie de roca ensayada 10x10 cm aproximadamente). Normalmente se pretende caracterizar varios términos litológicos o dentro de una litología caracterizar la resistencia en la roca en las caras de varias familias de juntas. Por ejemplo, una zona que requiera caracterizar una litología y cuatro familias de juntas precisaría de 1x5 ensayos para el tipo litológico y 4x5 ensayos en cada

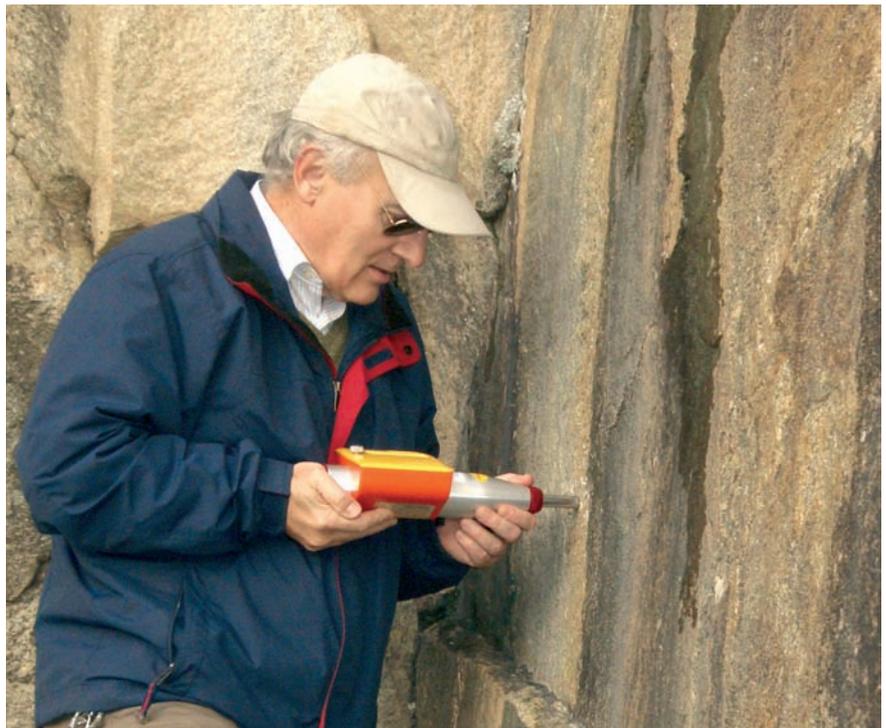


Figura 1. El autor realizando una medida sobre un plano subvertical.

familia de juntas, total 25 ensayos. Posteriormente, cada ensayo precisa de un tratamiento sencillo para la obtención del valor del índice de rebote medio y la obtención del valor de la resistencia a compresión uniaxial mediante el ábaco de Miller. Es obvio que tratar los datos de 25 ensayos requiere consumir cierto tiempo. El objeto de esta nota es facilitar un procedimiento para reducir el tiempo de elaboración de los datos, transformando el ábaco de Miller, en una hoja de cálculo.

El ábaco de Miller —esquemáticamente representado en la *figura 2*— tiene en el eje de abscisas (X) una escala con valores entre 0 y 60 para el “índice de rebote del martillo” se entra en el ábaco con ese valor y se accede a un conjunto de líneas inclinadas un determinado ángulo “ $\alpha$ ” con el eje de abscisas (X) que corresponden cada una con un peso específico de la roca, de 20 a 32 kN/m<sup>3</sup>. De esa línea se pasa al eje de ordenadas (Y) donde se obtiene el valor de la resistencia a compresión de la roca en MPa; este eje tiene una escala logarítmica con valores entre 10 y 400 MPa.

El ensayo se realiza de la siguiente forma:

1. Sobre la roca el martillo se posiciona normal a la superficie a ensayar; vertical hacia abajo (-90°), a 45° hacia abajo (-45°), horizontal (0°), a 45° hacia arriba (+45°), vertical hacia arriba (+90°).
2. Se presiona contra la roca obteniendo entre 10 y 20 valores del índice de rebote. Si se trabaja sobre una junta y se quiere obtener la resistencia de la roca “en su superficie” no se prepara en absoluto dicha superficie previamente al ensayo. Si se quiere obtener la resistencia de la roca del macizo, se selecciona una zona representativa de la roca. Si la superficie es irregular es aconsejable eliminar las irregularidades de la zona de los impactos puliendo o lijando manualmente esa área previamente con una piedra de esmeril que elimine los granos o asperezas superficiales débiles de la superficie.
3. En gabinete, de cada ensayo se ordenan de mayor a menor los valores de rebote obtenidos.

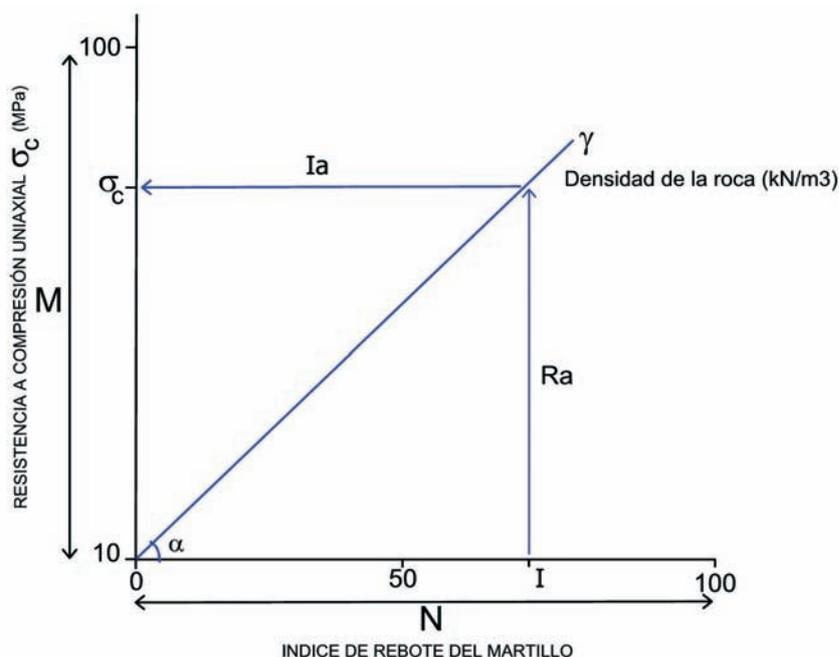


Figura 2. Esquema del ábaco de Miller.

4. Se eliminan del conjunto de valores medidos, la mitad de valores más bajos.
5. De los valores resultantes se obtiene el valor medio.
6. El valor medio es el valor “de campo” del índice de rebote de cada ensayo.
7. En función de la inclinación con la que se realizó el ensayo se corrige —reduce— el valor del índice de rebote de campo mediante los datos de la *tabla 1*; *ISRM Suggested Methods*.
8. El índice de rebote, “corregido” a posición del martillo vertical hacia abajo, se transforma en un valor de resistencia a compresión uniaxial mediante el ábaco de Miller.

La obtención de la resistencia de la roca requiere pues:

- El índice de rebote medio “de campo”.
- La inclinación del martillo en el ensayo, para obtener el índice “corregido”.
- El peso específico de la roca.

Aunque no se dice en ningún sitio, se entiende que cuando se da un valor del índice de rebote como resultado del ensayo, se hace referencia a un resultado obtenido con el martillo en posición vertical hacia abajo o al corregido a esa posición; dado que de otro modo no hay forma de comparar unos valores con otros.

Las reproducciones del ábaco de Miller en diferentes publicaciones tienen tamaños diferentes. En la copia específica del ábaco de Miller de que dispongamos, *figura 2*, el módulo logarítmico del eje de ordenadas mide “M” milímetros. En el eje de abscisas, 100 unidades del índice de rebote miden “N” milímetros. Un valor del índice de rebote I es un segmento que medirá a su vez en ese ábaco, un determinado número de milímetros Ia (mm):

$$I_a = I * \frac{N}{100}$$

Tabla 1. Valores de las correcciones por inclinación					
Ind. rebote	Hacia abajo		Hacia arriba		Horizontal
I	-90°	-45°	90°	45°	0°
10	0	-0,8	-	-	-3,2
20	0	-0,9	-8,8	-6,9	-3,4
30	0	-0,8	-7,8	-6,2	-3,1
40	0	-0,7	-6,6	-6,6	-2,7
50	0	-0,6	-5,3	-4,3	-2,2
60	0	-0,4	-4	-3,3	-1,7

Tal como puede verse en la *figura 2*, para un determinado índice de rebote "I" y una determinada línea de densidad de la roca, el valor del segmento "Ra", en mm es:

$$\text{Tan}(a) = \frac{Ra}{I_a} = \frac{100 \cdot Ra}{R \cdot I}$$

$$Ra = \frac{N \cdot I \cdot \tan(\alpha)}{100}$$

De la *figura 2* el valor en mm del segmento Ra en el eje de ordenadas —siendo M el módulo logarítmico en mm de ese eje— es:

$$Ra = M \cdot [\log(\sigma_c) - \log(10)]$$

Igualando pues las dos últimas expresiones

$$M \cdot (\log(\sigma_c) - \log(10)) = \frac{N \cdot I \cdot \tan(\alpha)}{100}$$

$$\log(\sigma_c) = 1 + \frac{N \cdot I \cdot \tan(\alpha)}{100 \cdot M}$$

El valor de la resistencia a compresión uniaxial  $\sigma_c$  es entonces:

$$\sigma_c = 10^{1 + \frac{N \cdot I \cdot \tan(\alpha)}{100 \cdot M}} \tag{1}$$

Partiendo de la última expresión (1), del valor del índice del martillo "I", del ángulo "α" y los valores "M" y "N" se obtiene directamente el valor de "σ<sub>c</sub>" resistencia a compresión uniaxial de la roca; α, M y N son valores que varían de una reproducción del ábaco a otra.

En la tabla de valores de la *figura 4* se incluyen los valores del ángulo "a" medidos directamente en un ábaco con valores de M=100 mm y N=200 mm. Con dichos valores la fórmula (1) pasa ser:

$$\sigma_c = 10^{1 + \frac{2 \cdot I \cdot \tan(\alpha)}{100}} \tag{2}$$

Las reproducciones del ábaco en cada publicación tienen tamaños diferentes y relaciones M/N diferentes, lo que origina que, en función de la relación de escalas M/N, el ángulo "α" varíe de unas publicaciones a otras. Por ello, para utilizar la fórmula (2) es necesario emplear los ángulos de la *tabla 2*, o bien medir dichos ángulos α y los valores de M y N del ejemplar de ábaco que tengamos y utilizar la fórmula (1).

Densidad roca (kN/m <sup>3</sup> )	Ángulo α (°)
32	54,866765
31	53,885800
30	52,970826
29	51,982731
28	51,108285
27	50,052600
26	48,996618
25	47,741706
24	43,671116
23	45,564120
22	44,312867
21	42,903305
20	41,687952

Con la fórmula (2), los datos de "α" de la *tabla 2*, y las correcciones por inclinación del martillo de la *tabla 1* se ha construido una hoja de cálculo que permite con facilidad obtener el valor final del ensayo.

Se incluye, *tabla 3*, un ejemplo de hoja de cálculo para que pueda servir de modelo para crear la hoja directamente. Puede descargarse la hoja de cálculo ya montada del "minisite" del autor en la página de internet del ICOG para entrar directamente: [www.icog.es/carlosmanera](http://www.icog.es/carlosmanera)

Debe tenerse de todas formas claro que el resultado que se obtiene del ensayo con el martillo de Schmidt es el índice de rebote "de campo", el valor del índice corregido a la vertical hacia abajo "índice corregido" es el valor final. La resistencia uniaxial es un valor deducido mediante la correlación del ábaco de Miller. (Miller R. P. (1965). *Engineering classification and index properties for intact rock*. Ph.D. Thesis. Univ. of Illinois.)

En la hoja, *tabla 3*, los datos de campo de cada ensayo se introducen en las celdas sombreadas. Se ordenan en sentido

descendente en la columna "ordenar". El valor de la resistencia a compresión uniaxial lo proporcionan las filas 32 y 33.

Se indican, a continuación, las fórmulas que permiten montar la hoja. Cada ensayo ocupa dos columnas. Las fórmulas de un ensayo se repiten en tantas columnas dobles como ensayos se incluyan.

Las operaciones que hace la hoja son las siguientes:

Traslada primero los datos de los rebotes de campo introducidos, de la columna de la izquierda a las celdas de la derecha; filas 7 a 26.

$$D7 = \$C\$7$$

$$D8 = \$C\$8$$

$$D26 = \$C\$26$$

En las filas 29 a 33 se efectúan los cálculos.

$$D29 = \text{REDONDEAR.MAS}(\text{CONTAR.SI}(D7:D26;">0")/2;"0")$$

$$D30 = \text{SUMA}(D7:ELEGIR(D29;D7;D8;D9;D10 \dots;D26))/D29$$

$$D31 = \text{SI}(C4=-90;D30;\text{SI}(C4=-45;D30-D43;\text{SI}(C4=0;D30-D44;\text{SI}(C4=45;D30-D45;\text{SI}(C4=90;D30-D46;"mal inclinación")))))$$

$$D32 = 10^{((D31 \cdot 2 \cdot \text{TAN}(\text{RADIANES}(C42))+100)/100)}$$

$$D33 = D32 \cdot 10,2$$

Las filas 35 a 36 contienen una tabla de valores constantes que relacionan la densidad de la roca con el ángulo α: hay que introducir los valores de la *figura 4* en esas celdas.

$$D37 = (E36 - D36) / 10$$

$$D37 = (E36 - D36) / 10$$

$$C37 = (O36 - N36) / 10$$

Las filas 35 a 37 pueden ocultarse en la salida final pues son siempre las mismas.

En las filas 39 a 42 se calcula el ángulo α que se utiliza en la fórmula (2) de la celda D32.

$$C39 = \text{ELEGIR}(\text{TRUNCAR}(C5-19); \$C\$36; \$D\$36; \dots; \$O\$36)$$

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	<b>Tabla 3. Hoja de cálculo para siete ensayos</b>														
2															
3	Referencia ensayo	E1		E2		E3		E4		E5		Gneis glandular		Esqu. Cuarzítico	
4	Inclinación ensayo	-90		-45		-90		-45		-90		-90		-45	
5	Densidad roca (kN/m³)	26,10		25,50		26,10		26,10		25,50		26,30		25,80	
6	Nº rebotes	Datos	Ordenar	Datos	Ordenar	Datos	Ordenar								
7	1	53,00	56,00	31,50	51,50	54,00	54,00	43,00	57,00	39,00	43,00	55,50	58,00	36,50	58,00
8	2	56,00	53,50	40,00	47,50	45,50	53,00	57,00	54,50	39,00	42,00	58,00	55,50	37,00	58,00
9	3	47,00	53,00	37,50	44,00	39,50	51,50	53,00	54,00	39,00	41,50	43,50	53,00	50,00	57,00
10	4	35,00	52,00	44,0	43,50	39,00	51,00	44,00	53,50	42,00	41,00	39,50	53,00	37,00	55,00
11	5	51,50	52,00	41,00	43,00	41,00	47,50	53,00	53,00	38,00	39,50	45,00	47,00	38,00	54,50
12	6	53,50	51,50	43,50	41,50	51,50	47,50	54,50	53,00	39,50	39,00	32,00	45,00	55,00	51,00
13	7	52,00	50,00	29,00	41,50	47,50	47,00	54,00	52,50	37,00	39,00	47,00	43,50	58,00	50,00
14	8	50,00	50,00	47,50	41,00	35,00	46,50	52,00	52,00	41,00	39,00	38,00	43,50	47,00	47,00
15	9	47,50	50,00	41,50	40,00	40,50	45,50	52,00	52,00	34,50	39,00	42,00	42,50	44,00	44,50
16	10	41,50	47,50	38,00	39,50	39,50	43,00	44,00	52,00	39,00	38,00	53,00	42,00	44,50	44,00
17	11	37,00	47,00	39,50	39,50	47,50	41,00	51,00	51,00	38,00	38,00	40,00	41,50	51,00	38,00
18	12	30,00	41,50	39,50	38,00	47,00	50,50	52,00	51,00	38,00	38,00	43,50	40,00	54,50	37,00
19	13	35,50	37,50	43,00	37,50	43,00	39,50	49,00	49,00	41,50	37,00	53,00	39,50	27,00	37,00
20	14	50,00	37,00	51,50	35,50	46,50	39,50	52,50	44,00	43,00	35,00	39,00	39,00	57,00	36,50
21	15	50,00	35,50	35,50	31,50	53,00	39,00	51,00	44,00	35,00	34,50	41,50	38,00	58,00	27,00
22	16	37,50	35,00	41,50	29,00	51,00	35,00	38,50	43,00	31,00	31,00	42,50	32,00	0,00	0,00
23	17	52,00	30,00	0,00	0,00	0,00	0,00	53,50	38,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	Inclinación martillo-90° vertical abajo, -45° abajo, 0° horizontal, 45° arriba, 90° vertical arriba.														
28															
29	Nº Rebotes cálculo	9,00		8,00		8,00		9,00		8,00		8,00		8,00	
30	Rebote medio de campo	52,00		44,19		49,75		53,50		40,50		49,81		53,81	
31	Índice corregido	52,00		43,53		49,75		52,97		40,50		49,81		53,29	
32	R. Uniaxial. MPa	158,75		95,39		140,85		167,15		81,53		144,14		164,10	
33	R. Uniaxial. kp/cm²	1619		973		1437		1705		832		1470		1674	
34															
35	Densidad (kN/m³)	20,00	21,00	22,00	23,00	24,00	25,00	26,00	27,00	28,00	29,00	30,00	31,00	32,00	
36	Ángulo α (°) del ábaco	41,6880	42,9033	44,3129	45,5641	46,6711	47,7417	48,9966	50,0526	51,1083	51,9827	52,39708	53,8858	54,8668	
37	Incremento décimas	0,12	0,14	0,13	0,11	0,11	0,13	0,11	0,11	0,09	0,10	0,09	0,10		
38															
39	Ángulo α (°) entero	48,9966		47,7417		48,9966		48,9966		47,7417		48,9966		47,7417	
40	Incremento décimas	0,1056		0,1255		0,1056		0,1056		0,1255		0,1056		0,1255	
41	Total incremento deci.	0,1056		0,6275		0,1056		0,1056		0,6275		0,3168		48,7456	
42	Ángulo α	49,1022		48,3692		49,1022		49,1022		48,3692		49,3134		48,7456	
43	Reducción -45°		0,56		0,66		0,60		0,53		0,70		0,60		0,52
44	Reducción 0°		2,10		2,49		2,21		2,02		2,67		2,21		2,01
45	Reducción 45°		4,10		4,88		4,32		3,95		5,25		4,32		3,92
46															

$$C40 = \text{ELEGIR}(\text{TRUNCAR}(C5-19); \$C37; \$D37; \dots; \$O37)$$

$$C41 = (C5 - \text{TRUNCAR}(C5; 0)) * 10 * C40$$

$$C42 = C39 + C41$$

En las filas 43 a 46 se calcula el valor de la reducción del valor del índice de campo en función de la inclinación del martillo al realizar el ensayo.

$$D43 = \text{SI}(D30 < 10; "WW"; \text{SI}(D30 < 20; 0,8 + (D30 - 10) * 0,01; \text{SI}(D30 < 50; 0,6 + (50 - D30) * 0,01;$$

$$\text{SI}(D30 <= 60; 0,4 + (60 - D30) * 0,02; M29)))$$

$$D44 = \text{SI}(D30 < 10; "WW"; \text{SI}(D30 < 20; 3,2 + (D30 - 10) * 0,02; \text{SI}(D30 < 30; 3,1 + (30 - D30) * 0,03; \text{SI}(D30 < 40; 2,7 + (40 - D30) * 0,04; \text{SI}(D30 <= 60; 1,7 + (60 - D30) * 0,05; "WW"))))$$

$$D45 = \text{SI}(D30 < 20; "WW"; \text{SI}(D30 < 30; 6,2 + (30 - D30) * 0,07; \text{SI}(D30 < 40; 5,3 + (40 - D30) * 0,09; \text{SI}(D30 <= 60; 3,3 + (60 - D30) * 0,1; "WW"))))$$

$$D46 = \text{SI}(D30 < 20; "WW"; \text{SI}(D30 < 30; 7,8 + (30 - D30) * 0,1; \text{SI}(D30 < 40; 6,6 +$$

$$(40 - D30) * 0,12; \text{SI}(D30 <= 60; 4 + (60 - D30) * 0,13; "WW"))$$

"WW" expresa un valor fuera del rango de las densidades de la roca, 20-30 kN/m³.

En EXCEL 2003, existe una función "ordenar" que, como un botón, puede instalarse en D6 y permite ordenar los datos de campo en esa columna con mas facilidad; a la izquierda, columna sombreada, los datos de campo introducidos permanecen en el orden en el que se tomaron.

# Alberto Garrido Megías (1936-2006)

Se ha ido Alberto...

Un mes de octubre aciago para la Geología empieza con esta noticia... corro apresurado porque la llamada llega muy tarde y hay que ir a Alcalá de Henares, a la cantera donde tanto disfruté haciendo paleomagnetismo y enseñando a varios compañeros y amigos, y que ahora le ve así. Hasta el final quiso imponer su voluntad y no dejó que nos enterásemos de su estado ni que fuésemos a despedirnos. Me cuesta, pero creo que lo comprendo.

Y se me agolpan los recuerdos, las vivencias y la pena por él y por su familia a la que tanto quiso. Pero, por encima de todo, el agradecimiento. El agradecimiento porque, antes que nada, Alberto fue para muchos de nosotros además de un amigo, un referente y un ejemplo de geólogo. Y más que eso: un pensador de la Geología. Era así porque ante algo que uno veía claro, él levantaba interminables cuestiones y planteaba dudas porque, en su opinión, había afloramientos en donde se veían otras cosas. Afloramientos a los que había que ir con él para verlos y para disfrutarlos. Hubo quienes no le entendieron y le tachaban de cascarrabias y de contracorriente... cuando lo que él quería era, precisamente, que la corriente entrase en nosotros.

Ahora, revisando con otros compañeros sus papeles, esos que atesoraba con pasión en decenas y decenas de archivadores, nos damos cuenta de hasta qué punto lo que digo era el fruto de muchas horas de meditación plasmados en cientos de dibujos y comentarios, a veces verdaderos ensayos. Cómo le cautivaba el tema de la fracturación continental y el desarrollo de cuencas y dominios sedimentarios asociados... Ver todo esto revela la profundidad de su pensamiento y la sensibilidad con que abordaba los problemas.

Ese es el Alberto que yo recuerdo: el de los días de campo en Almería, con el perro Victoriano, la mejor escala para sus fotografías en las eternas discusiones sobre los yesos, el inventor de las UTS, el promotor de las rupturas, el que jamás se preocupó de publicar "por ahí fuera", el que nunca se conformaba con una explicación sin que la demostrases con los datos de campo, el que te exigía mirar siempre más allá y que infundieses este espíritu en tus clases, sin dogmatismos, ni aceptación ciega de las enseñanzas, para conseguir alumnos críticos, incrédulos e inquietos... la misma raíz de la verdadera ciencia.

Cierto es que Alberto no tenía alumnos directos, pero creo que logró meternos esas ideas en la cabeza y espero que sepamos transmitirlo.

Adiós Alberto, amigo. Adiós Alberto, maestro.

**Cristino J. Dabrio**



*Figura 1. Foto oficial de Alberto Garrido durante su presidencia del ICGO (1981-1982).*

Impensadamente se ha marchado un buen amigo. Teníamos la costumbre de juntarnos a merendar y comentar los temas más recientes casi todos los miércoles de cada semana, aunque la rutina y el desarrollo de la vida había decidido que nuestras reuniones se espaciaran aunque no por ello eran menos divertidas y enriquecedoras pues los componentes del grupo son gente informada y responsable y siempre bien humorada, y resultó que en la convocatoria telefónica para una de estas reuniones, su esposa, Luisi, me comunicó con la voz entrecortada por los sollozos que acababa de fallecer. No me lo creía y su hijo me comunicó que así era y que no habían querido decirnos nada de su enfermedad porque él no quería que lo viésemos en el estado en que se encontraba para que tuviéramos siempre su recuerdo como le habíamos visto en la última reunión, lleno de vida y de alegría y comentando con su voz más o menos fuerte y persuasiva los últimos rumbos que habían tomado sus ideas sobre el ritmo de evolución de la geología o cualquier evento más próximo al quehacer diario o profesional o técnico.

En esto siempre fue como un volcán, y desde que en su Tesis Doctoral sacó a la luz las unidades tectosedimentarias que compartimentan la sedimentación de las cuencas en donde decía que hasta la más pequeña manifestación geológica, vista en el campo, puede ser asociada a los mayores eventos evolutivos de las cuencas estudiadas, siempre anduvo enriqueciendo estas ideas y asociándolas a cualquier evento y/o manifestación, ya fuera minera, petrolera o de cualquier tipo que se incluyera dentro de los límites "cuencales".

Pero además tenía para algunos el don de la transmisión y aceptación de sus criterios y, desde mi propia experiencia, puedo decir que satisfactoriamente, pues encontrábamos respuestas para muchas de las preguntas que, desde que concluimos nuestros estudios en la facultad, nos hacíamos de manera sistemática al enfrentarnos a la realidad geológica de cada momento y de cada sitio.

Aparte de esto, puedo decir que era un profesional con inquietudes en las reividincaciones colectivas de los geólogos y por ello fue presidente de la AGE castellana y después miembro activo para lo consecución de la carta de naturaleza del Colegio de Geólogos, y llegó a ser presidente del mismo, ayudando a conseguir el sitio en que ahora nos encontramos.

Muchos le recordaremos por su aportación a la Geología del país, muchos otros por su humanidad y su comportamiento para transmitir sus enseñanzas, y todos por su locuacidad, su buen humor y su amistad.

Querido Alberto, mucho te extrañamos y deseamos que cunda tu ejemplo.

**Vicente Crespo**

## Alberto Garrido en el ICOG

Garrido fue uno de los primeros colegiados que tuvo el Colegio. Se dio de alta en mayo de 1979, correspondiéndole el número 6 de colegiado. Desde aquella fecha, perteneció ininterrumpidamente al Colegio, llegando a hacerse cargo de la presidencia en los momentos más difíciles, cuando el colegio tenía aún su sede en la calle Santa Feliciano de Madrid, y pasaba por una crisis económica. Ocupó el cargo durante un año, convocando elecciones en 1989 que dieron como resultado la elección del siguiente presidente, Santiago Leguey.

Alberto Garrido había nacido en Granada en junio de 1936, y estudió la carrera de Geología en la universidad de dicha ciudad, terminándola en 1962. En esa misma universidad se hizo doctor.

Participó activamente en todas las tareas que le encomendó el Colegio, y acudió con cierta frecuencia a los actos de Geoforo. Su última asistencia fue a la tertulia sobre "Dónde invertir en el actual escenario", celebrada el 15 de junio de 2006, pocos días antes de que se le detectara la enfermedad.



Figura 2. Alberto Garrido, con camisa blanca en primer plano de la primera fila, durante la tertulia del 15 de junio de 2006 celebrada en el ICOG.

# Edición facsímil de *De re metallica*

TEXTO | Dionisio Zabala Redondo.

El Círculo Científico ha publicado una edición facsímil del conocido tratado de minería y geología, *De re metallica*, una obra que ha sido un manual durante varios siglos y que ha sido capaz de seducir a personalidades tan ricas y dispares como la de Erasmo de Róterdam, Felipe II o H. Hoover.

*De re metallica*, cuyo autor, Georg Bauer, es más conocido por la versión latina de su apellido, Agrícola, ya que se trataba de una costumbre bastante frecuente en el Renacimiento, nació en Glauchau, Alemania, y murió en Chemnitz el año 1555. Recibió el equivalente a nuestra formación primaria y secundaria en varias escuelas de Glauchau, Zwickau y Magdeburgo. Tras sus estudios en la Universidad de Leipzig, consigue el título de Bachillerato en Artes y comienza su actividad profesional enseñando griego y latín. El fruto de sus experiencias como docente nos lo presenta en su primera obra, *De prima ac simplici institutione gramática* (1520).

En 1523, inicia sus estudios de medicina en la Universidad de Leipzig para continuarlos en Bolonia y Venecia. No lejos de los vidrieros de Murano (Venecia), sus profundos conocimientos del griego y latín le permiten colaborar en las ediciones de las obras de Hipócrates y Galeno. Conseguido el doctorado en Medicina, se instala como médico y farmacéutico en Joachimsthal (Chequia), el centro de minería más importante de Europa. Aquí continúa sus investigaciones sobre las aplicaciones farmacéuticas de los minerales y sobre las enfermedades profesionales que afectaban a los mineros

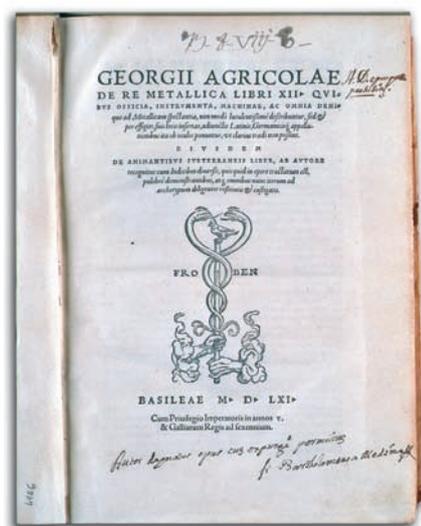


y fundidores. De sus frecuentes visitas a las minas y fundiciones adquiere un conocimiento profundo sobre geología, minería y metalurgia. Su obra, *Bermannus sive de re metallica dialogus* (1530), es la primera edición moderna sobre mineralogía.

Agrícola vuelve como médico a Chemnitz, donde desempeña importantes cargos

relacionados con la política y la administración: alcalde, consejero de la Corte de Sajonia y mediador, en el proceso de la Reforma Protestante, entre los poderes locales y el emperador Carlos V.

Como Chemnitz tiene una fundición de cobre, Agrícola puede armonizar sus tareas políticas con sus investigaciones sobre geología y metalurgia. En 1549



publica *De animantibus subterraneis*. La vida de Agrícola es un claro ejemplo de que el camino de la fortuna está más próximo al que se acerca a la naturaleza con los métodos de la ciencia y de la técnica que de los que siguen las quimeras alquímicas. En efecto, Agrícola llegó a ser uno de los hombres más ricos de Chemnitz pues, una alta inversión llevada a cabo para localizar nuevos yacimientos de minerales en Joachimsthal, se vio coronada por el éxito.

Durante los años 1552 y 1553, la peste negra asoló Sajonia, y Agrícola, como médico, trabajó intensamente curando y aliviando a los contagiados. En 1554, Agrícola publica *De peste libri III*, una síntesis de sus observaciones y estudios sobre la peste. Finalmente, muere en 1555.

Su gran batalla la ganó después de muerto, al ver la luz, cuatro meses después, su obra *De re metallica libri XII*, la obra sobre ingeniería más representativa del Renacimiento. Su contenido, claro, preciso y novedoso en muchos aspectos, ha ayudado a geólogos, mineros y fundidores durante siglos. Un bibliófilo como Felipe II tenía un ejemplar de *De re metallica* en su austera habitación del Monasterio de El Escorial, y Juan de Herrera construyó, cerca del molino de la Casa de Campaña del Monasterio de El Escorial, una máquina para cortar hierros como las que se ve en

el libro de Agrícola. Herbert Hoover, geólogo e ingeniero de Minas e incansable investigador del mundo mineral, trabajó en California, Australia, China y Londres, donde tradujo del latín al inglés, en el año 1912, *De re metallica*. Después, entre 1928 a 1932, Hoover fue presidente de los Estados Unidos. Gran admirador de Agrícola, Hoover nos dice que "es el primero en basar las ciencias naturales en la investigación y la experiencia como opuestas a todas las fútiles especulaciones previas".

El gran humanista Erasmo de Róterdam era un ferviente admirador de los innovadores trabajos de Agrícola. Erasmo, tal como podemos leer en *Bermannus sive de re metallica dialogus*, proclama la singularidad de los escritos de Agrícola cuando afirma: "una mente tan lúcida no puede producir nada mediocre". Por otra parte, un alquimista intentó subirse al carro triunfal de nuestro autor, atribuyéndole falsamente la autoría de una obra sobre la piedra filosofal.

Agrícola dedicó los veinte años más fecundos de su vida a escribir *De re metallica*. Su conocimiento de los clásicos, su condición de médico y boticario ennoblecen los estudios de la geología y minería, alejados durante siglos de los intereses primordiales de los teólogos y de los filósofos de la naturaleza. Por otra parte, los delicados dibujos de Basilius Weffring, a los que dedicó tres años, convierten a nuestra obra en un tesoro artístico capaz de seducir a los espíritus más sensibles y exigentes.

*De re metallica* está dividida en doce libros. Las razones por las cuales es interesante el estudio de la geología, minería y metalurgia.

1. Las cualidades que debe poseer un minero. La varilla para localizar esos puntos singulares de la tierra donde se concentran los minerales.
2. Las vetas y depósitos.
3. Los oficiales de las minas y las condiciones de trabajo.
4. La agrimensura, el entibado, la construcción de galerías y la búsqueda de minerales.

5. Las herramientas, bombas, desagües, maquinaria y enfermedades de los mineros.
6. Métodos de ensayo de minerales en copelas de ceniza de madera y hueso. Los hornos de mufla. El proceso incluye la escorificación de las menas de pirita, el uso de la piedra de toque y las agujas para ensayos construidas con la aleación de oro, plata y cobre.
7. La preparación de los minerales: selección, trituración, molienda, lavado, tostado, y el proceso de amalgamación para el oro.
8. Trata sobre los hornos de fusión y la preparación del mercurio por descenso.
9. Nos describe la separación del oro y la plata por varios métodos.
10. Describe la separación de la plata del cobre y la construcción de hornos. Nos habla también de los métodos utilizados para el laminado de metales y para la fabricación de piezas. Termina este capítulo con los procedimientos para separar el hierro de la plata.
11. La obtención de la sal común a partir tanto de sus soluciones naturales como del agua del mar. La obtención de sustancias alcalinas de las cenizas de plantas. Métodos de extracción y purificación del salitre, alumbre y vitriolo. La fabricación de objetos de vidrio.

La edición facsímil de *De re metallica* es una fiel reproducción del ejemplar que se conserva en la Real Biblioteca del Monasterio de San Lorenzo de El Escorial. Otro ejemplar de la misma edición se expone a la contemplación del turista en la habitación de Felipe II, en este mismo monasterio.

El inmejorable estado en el que se encuentra la obra es un claro testimonio de que los bibliotecarios Jerónimos y Agustinos, a lo largo de cinco siglos, han sabido realizar, siguiendo la petición expresa de Felipe II, una buena guardia y fiel custodia de los incontables tesoros, tanto impresos como manuscritos, con los que el investigador se puede encontrar en la Real Biblioteca del Monasterio de El Escorial.

# DetECCIÓN de bocaminas abandonadas mediante tomografía eléctrica en la Sierra de Guadarrama, Madrid

Las posibilidades de detección de galerías de mina abandonadas mediante la técnica geofísica de la tomografía eléctrica son cada vez más elevadas e interesantes. La zona de investigación elegida ha sido la Sierra de Guadarrama donde hay, desde hace muchos años, minas históricas abandonadas que beneficiaban diversos metales. El trabajo se enmarca dentro de la tesis doctoral de Luis Jordá, sobre el estudio histórico y patrimonial de la minería de los metales en la Sierra de Guadarrama.

**TEXTO** | Luis Jorda Bordehore (rudnikconsultores@hotmail.com), Octavio Puche Riart (octavio.puche@upm.es), Luis Felipe Mazadiego Martínez (luisfelipe.mazadiego@upm.es)

Palabras clave  
**Bocaminas, tomografía eléctrica, Sierra de Guadarrama**

Aún existiendo numerosas publicaciones sobre detección de cavidades por métodos eléctricos, desde nuestro punto de vista hay que ser muy cauteloso. Es cierto que se publican los casos más espectaculares, pero la realidad puede jugar a veces malas pasadas, por presencia de capas muy resistivas que pueden "parecer" firmas de cavidades. Es siempre aconsejable un buen conocimiento geológico de la zona y utilizar combinaciones de varios métodos con sondeos. El objetivo del trabajo es probar el alcance de un método geofísico en zonas donde es conocida la presencia de las galerías.

Se pretende detectar la posición de galerías de mina mediante perfiles geofísicos desarrollados sobre la superficie del terreno, perpendiculares al eje de las mismas.

Es frecuente, tras más de cien años de abandono de una explotación de una galería, que ésta quede recubierta por desprendimientos del emboquille, a veces provocados para evitar el acceso peligroso a las labores de interior. La mejor manera de detectar una galería enterrada no es en el propio emboquille, sino llevar a cabo perfiles perpendiculares, unos metros pasado el colapso, donde esta se encuentra o bien anegada o bien llena de aire, pero no rellena de cascotes. En las figuras 1 y 2 se pueden ver sendos



Figura 1 y 2. Subsidiencias producidas a favor de galerías mineras en Ohio. (Fuente: [http://www.dnr.state.oh.us/geosurvey/geo\\_fact](http://www.dnr.state.oh.us/geosurvey/geo_fact), 2006)

Es siempre aconsejable un buen conocimiento geológico de la zona y utilizar combinaciones de varios métodos con sondeos

hundimientos del terreno a favor de subsidiencias mineras de galerías y cámaras vacías en Ohio, Estados Unidos.

El colapso de galerías, pocillos y cámaras mineras es uno de los riesgos geotécnicos más importantes en proyectos

desarrollados en pueblos y en comarcas mineras, tal y como se muestra el hundimiento acaecido en Gargantilla de Lozoya, Sierra de Guadarrama (figura 3).

## Ventajas de la aplicación de métodos geofísicos

Se pueden detectar galerías mediante sondeos, pero una de las mayores ventajas de la investigación geofísica, frente a las técnicas "intrusivas", es que la información obtenida cubre grandes superficies o volúmenes de terreno a un coste menor. Esta consideración es crucial en terrenos susceptibles de sufrir subsidiencias. Ello es debido simplemente a la ley de probabilidades, pues es muy difícil dar con una pequeña cavidad o el inicio de un socavamiento únicamente con sondeos o calicatas. Mediante las técnicas geofísicas "escaneamos" el terreno en búsqueda de anomalías, y sólo

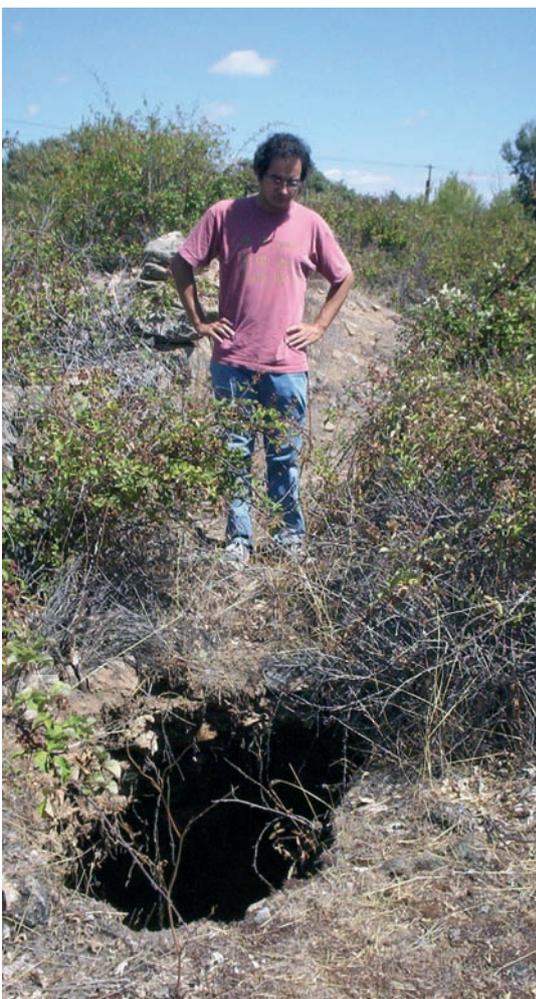


Figura 3. Hundimiento de más de 4 m de profundidad en la mina San José, de Gargantilla de Lozoya (Sierra de Guadarrama, Madrid). Se produjo en 2004, asociado a una chimenea de ventilación del primer nivel, y relativamente cerca de una urbanización de chalets.

cuando el objetivo es relativamente grande frente a la profundidad de investigación los resultados marcan claramente su desarrollo. En la mayoría de los casos se obtienen mapas de anomalías que delimitan las zonas favorables y desfavorables, reduciendo enormemente el coste de las campañas de sondeos y aumentando las posibilidades de detectar adecuadamente las cavidades y minas.

Según Hobson (1992), la probabilidad de encontrar un objetivo de 10 m<sup>3</sup> utilizando

15 muestreos en un terreno de 0,5 hectáreas es del 3%. Esa cifra desciende a un 1,7% con 85 puntos de muestreo en una parcela de 5 hectáreas.

En general, los métodos geofísicos tratan de la identificación de anomalías, donde se producen cambios en las propiedades físicas. Estos cambios pueden estar provocados por variaciones en el suelo o la roca (variaciones litológicas, estructuración o densidad de fracturas), o ligados a las denominadas anomalías extremas (que incluyen cavidades vacías o parcialmente rellenas de aire, agua o suelos) o cambios causados por variaciones temporales del nivel freático (y dentro del cual incluimos plumas de contaminación y las intrusiones salinas marinas). Para saber si un método geofísico es aplicable o no para detectar las variaciones de los parámetros físicos, hay que tener en cuenta diversos factores:

- La profundidad de investigación requerida.
- La resolución lateral y vertical que se necesita para detectar la anomalía. Ésta, tal y como mostraremos más adelante, es recomendable simular antes en gabinete.
- El contraste entre las propiedades físicas de los objetivos y el medio circundante. Es decir, si se va a producir o no una anomalía. Este punto también podemos simular en gabinete o tomar ciertas gráficas empíricas.
- El ratio de la señal y el ruido del método en el sitio que aplicamos (se incluyen las notables limitaciones de muchos métodos en medios urbanos<sup>2</sup>).

En la tabla 1 se comparan las aplicaciones de dos métodos geofísicos muy diferentes como son el georrádar y la tomografía eléctrica.

## Introducción a la tomografía eléctrica

El equipo empleado en las prospecciones que se presentan en este artículo es un resistímetro Syscal Kid Swich de 24 electrodos, de la casa Iris Instruments (Orleáns, Francia). La separación máxima de electrodos, y con ello la profundidad de investigación, esta limitada por la potencia del aparato, y su rango óptimo esta entorno a los 0-12 m de profundidad. En ese rango, en una campaña ordinaria con dispositivo dipolo-dipolo en un perfil de 2 m de espaciado (48 metros de longitud) alcanzaremos una profundidad de investigación de 7-9 metros (según litologías); en el caso de existir una cavidad de 2x2 metros podemos llegar a tener más de 4 puntos de medida "dentro" de la misma. La calidad de la señal geofísica en este caso es excelente<sup>3</sup>.

Ejemplos clásicos de utilización de estas técnicas son el caso de cavidades<sup>4</sup>, rocas saturadas<sup>5</sup>, zonas con diques filonianos o discontinuidades, cambios bruscos laterales de facies, fallas<sup>6</sup>, y en general litologías diferentes con suficiente contraste eléctrico<sup>7</sup>. Las zonas de alteración y los vertidos pueden tener signatures geofísicas características.

El método "eléctrico" consiste en introducir una corriente eléctrica continua en el terreno a través de dos electrodos de corriente. Se mide el voltaje mediante otro par de electrodos, también en superficie. A partir del valor de la corriente inyectada y del voltaje medido se obtiene la resistividad aparente del subsuelo (figura 4). Cada tipo de material presenta un rango de resistividad más o menos característico. Las cavidades vacías (llenas de aire) presentan una resistividad aparente que tiende al infinito. Los terrenos saturados son

<sup>1</sup> Esa era la dimensión de la cavidad y del volumen de hormigón ciclópeo que la rellenó en un trabajo realizado mediante tomografía eléctrica en Navalcarnero. Se trataba de una cavidad para almacenamiento de vinos de más de cien años de antigüedad y que no fue detectada en el estudio geotécnico con varios penetrómetros y sondeo. La parcela tenía solamente 1.600 m<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Los métodos más aplicados recientemente en zonas urbanas, en función del objetivo, son el georrádar y el análisis de las ondas sísmicas superficiales y sísmica pasiva.

<sup>3</sup> En la aplicación de los métodos eléctricos, la principal premisa es la existencia de contraste de resistividades entre los materiales o estratos que se investigan. Si se dan las condiciones teóricas básicas, es posible detectar diferencias de conductividad geo-eléctrica que permiten elaborar cartografías de tipo geológico y columnas estratigráficas. Cuanto mayor sea el contraste de resistividades (o el opuesto de conductividades) de los materiales, mayor será la resolución.

<sup>4</sup> Una cavidad vacía cuya resistividad frente al encajante tiende a infinito se distingue bien del entorno o de cavidades rellenas de limos o arcillas.

<sup>5</sup> El nivel freático es conductivo y supone una caída brusca de la resistividad.

<sup>6</sup> Más que detectar la falla propiamente, se detectan dos materiales diferentes enfrentados.

<sup>7</sup> Típicamente sucesiones arcilla /arena /yeso y calizas y rocas intrusivas infrayacentes.

Cavidades vacías (resistivas)	Ejemplos típicos		Georradar	Tomografía eléctrica
	antrópicos	naturales		
A menos de 10 m	Canteras subterráneas, bodegas, minas "vacías".	Cavidades cársticas carbonatadas o en yesos.	Si, si el medio es eléctricamente resistivo.	Por nuestra experiencia, resulta espectacular cuando el diámetro de la cavidad es semejante a la profundidad de su techo. A medida que la cavidad disminuye es frecuentemente una anomalía difícil de interpretar, más bien una "zona favorable a" presencia de cavidades.
A más de 10 m			Si, pero muy influido por el tipo de antena y de la resistividad del terreno, en algunos casos hasta 30 m aunque no es frecuente que alcance objetivos a más de 15 m. Algunos casos registrados en minas, o coqueiras en zonas graníticas.	No es frecuente detectar propiamente la cavidad salvo que esta sea muy grande.
Cavidades conductivas	Ejemplos típicos		Georrádar	Tomografía eléctrica
	antrópicos	naturales		
A menos de 10 m	Canteras subterráneas, bodegas, minas, inundadas o rellenas de arcilla.	Fracturas rellenas, bolsadas conductivas (arcillas, zonas de humedad).	Si el medio encajante es eléctricamente resistivo.	Habitualmente excelentes resultados, siempre y cuando la cavidad esté rodeada de un medio resistivo.
A más de 10 m			Es posible pero hemos encontrado pocos casos en la bibliografía.	Si el volumen de la cavidad es importante y si es posible desplegar en superficie un dispositivo de adquisición tan largo.

Tabla 1. Clasificación de la aplicabilidad de dos métodos geofísicos de superficie en la detección de cavidades: georradar y la tomografía eléctrica. Conviene tener presente que pueden darse situaciones que influyan favorable o desfavorablemente en la aplicabilidad.

altamente conductores y, por tanto, presentan baja resistividad.

Según la posición de los electrodos la corriente penetra más o menos en el terreno. En la práctica, se extiende una línea de más de 24 electrodos que son seleccionados de cuatro en cuatro por el equipo de campo (resistímetro). De esta manera se obtienen gran número de puntos de resistividades aparentes. Clásicamente se ha empleado el Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), de gran éxito en la detección de transiciones litológicas y detección de niveles freáticos en la vertical de un punto; sin embargo, con los modernos equipos multielectródicos, es un equipo totalmente superado por la tomografía para estudios de índole geotécnica.

Los datos se han filtrado y ordenado mediante el programa PROSYS de la casa IRIS INSTRUMENTS y se han interpretado e invertido mediante RES2DINV de GEOTOMO-software (Malasia).

La tomografía eléctrica es la técnica por la cual se miden la resistividad en numerosos puntos de un perfil y se interpolan e interpretan los datos para hacer un perfil de resistividad que permite hacer un verdadero corte eléctrico del terreno. Si las condiciones son adecuadas, es una herramienta muy potente para llevar a cabo correlaciones entre resistividad y tipo de material en terrenos ocultos.

Se sitúan al mismo tiempo un gran número de electrodos en el terreno siguiendo una alineación. Se conectan a un multicable el cual, a su vez, está unido a un resistímetro y un selector de electrodos. Debido a la gran cantidad de datos que se obtienen al combinar de cuatro en cuatro los puntos conectados, se necesita del apoyo informático en campo (normalmente un ordenador portátil), tal y como se muestra en la figura 5. El desarrollo de programas cada vez más potentes permite tomar unos datos de mayor calidad. Se pueden comprobar los electrodos que están

incorrectamente colocados y, el gran número de combinaciones y repeticiones que se pueden hacer, dan una serie de valores muy fiables. Un corte eléctrico básico puede obtenerse directamente en campo, lo que permite un control de calidad de las medidas obtenidas.

### Fundamentos de la inversión

Una vez obtenidas las medidas en campo, es necesaria una inversión (figura 6). Este procedimiento consiste en realizar iteraciones que acerquen nuestro modelo del terreno al modelo real. El paso clave está en la construcción de sucesivas secciones geo-eléctricas, que se comparan con la obtenida en el campo. El fin del proceso iterativo será en el momento en que simulemos una toma de datos (no sobre el campo sino sobre la sección que hemos creado) y cuyo resultado sea lo más parecido posible a los datos del campo. Es el llamado *error RMS* de tomografía y es un punto crítico del trabajo de interpretación.

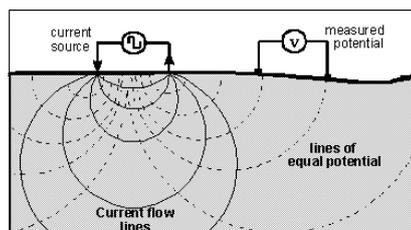


Figura 4. Proceso de medida de un dispositivo tetraelectrónico. A la izquierda, emplazamiento de los electrodos de corriente; a la derecha, electrodos de medida de potencial (en la imagen se muestra un dispositivo dipolo-dipolo). En trazo continuo: líneas de flujo de corriente. En trazo discontinuo: líneas equipotenciales

### Profundidad de investigación e índice DOI (depth of investigation)

La profundidad de investigación que se obtiene varía mucho según la litología pero puede estar en un rango de valores de la tercera a la cuarta parte de la mayor abertura de electrodos que empleamos. Sin embargo, resulta imprescindible en muchas campañas definir con la mayor precisión posible esa profundidad de investigación para cada apertura del dispositivo, así como definir qué partes del perfil proporcionan información veraz y cuál no. No olvidemos que un equipo de estas características siempre mide “algo”. Debemos responder a la pregunta: ¿lo que estamos midiendo tiene realmente relación con el subsuelo y sus variaciones en profundidad, o es un mero artificio introducido por el proceso de medida y tratamiento?

El concepto de “profundidad de investigación” en las prospecciones geoelectricas ya fue avanzado, en el año 1932, por Marcel y Conrad Schlumberger. Posteriormente ha sido ampliamente discutido y se han establecido numerosas formulaciones y revisiones de estas. Por ejemplo, Vejen, en 1938, definió la profundidad de investigación como la profundidad a la cual una capa fina horizontal provoca el máximo de contribución a la señal total medida en superficie. Roy y Amparo (1971) y Roy (1972) utilizan la misma definición anterior en estudios llevados a cabo sobre medios isótropos homogéneos. Roy

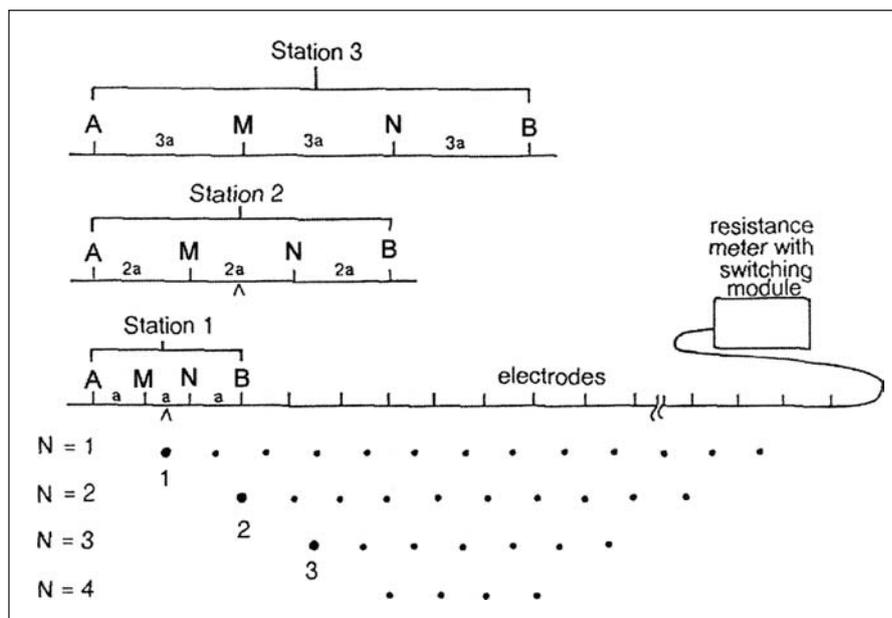


Figura 5. Disposición y secuencia de medidas en campo para tomografía eléctrica. Medición de los diferentes niveles o capas con un dispositivo de selección de electrodos automatizado.

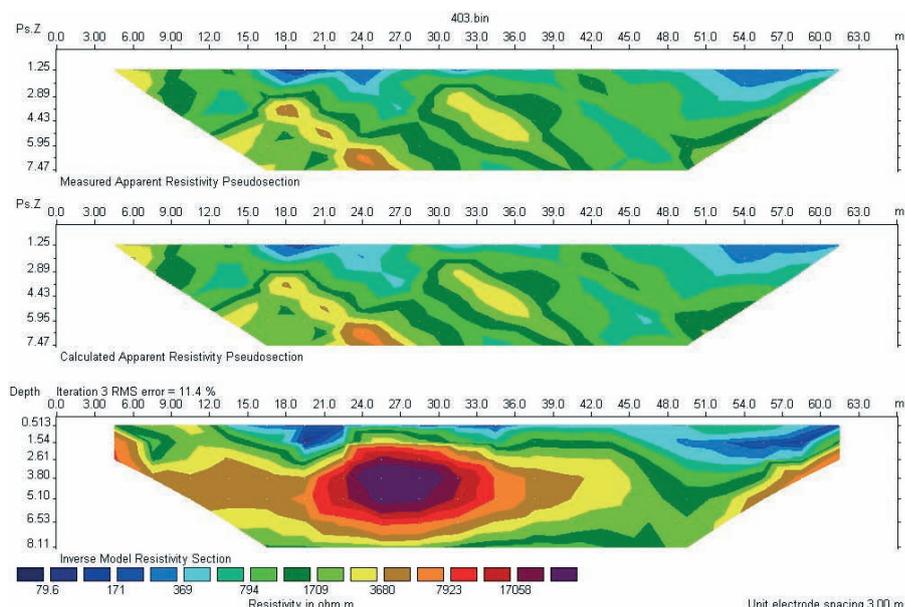


Figura 6. Ejemplo de una iteración en la inversión de una sección de tomografía eléctrica (programa RES2DINV). Arriba: resistividades aparentes medidas en campo sobre las que se ha interpolado para obtener unas zonas de resistividad. En el centro, resistividades calculadas, y en la parte inferior resistividades “verdaderas” al final de una iteración. El modelo de la imagen muestra un suelo, después un nivel de arenas, y en la parte izquierda la aparición de un nivel más competente. La imagen muestra una cavidad artificial en yesos en las minas romanas de Lapis Specularis, próximas a las ruinas de Segóbriga, Cuenca.

representó la contribución de esa capa fina a profundidades variables, a la intensidad de la señal recibida para diferentes tipos de dispositivos: wenner, Schlumberger y dipolo-dipolo. Marescot et al. (2003 y 2004), apuntan que la mayor parte de las aproximaciones tradicionales que calculan esta profundidad de investigación hacen uso del cálculo de la máxima señal obtenida con la profundidad de investigación o la profundidad de investigación media para un terreno homogéneo. Ello incluye a Roy

y Amparo, antes citados, y a Edwards (1977) para el segundo grupo.

Sin embargo, en suelos con heterogeneidades con fuertes contrastes de resistividad estos métodos no son aplicables para calcular la profundidad de investigación (Marescot y Martínez Pagan, 2004). Dentro de este tipo de terrenos incluimos la mayor parte de las aplicaciones geotécnicas de la tomografía eléctrica, tanto en ingeniería civil como en minería: detección de cavidades y

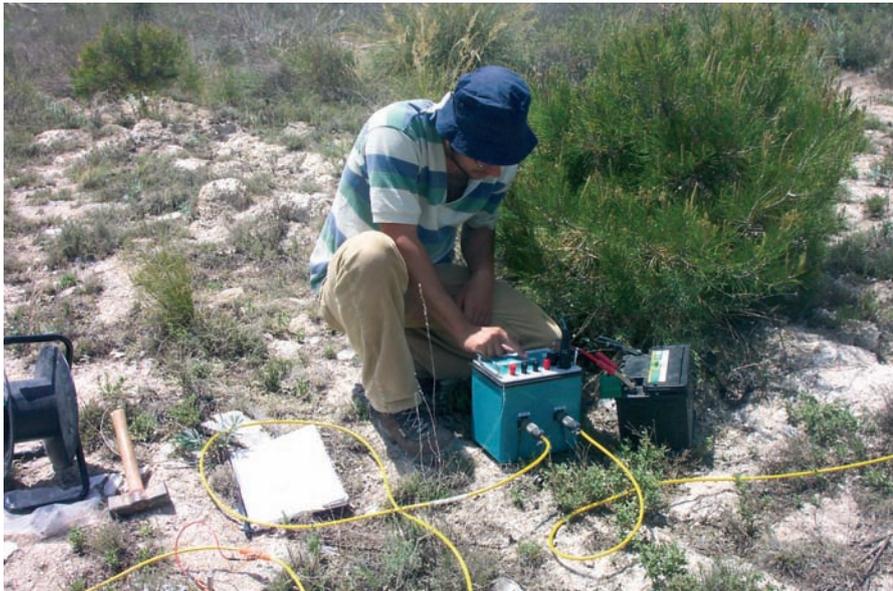


Figura 7. Imagen del equipo de registro empleado en la investigación.

## El método desarrollado y propuesto por Oldenburg y Li (1999) consiste en establecer un parámetro denominado índice DOI (*Depth Of Investigation*)

manifestaciones cársticas diversas, minados antiguos, galerías y vías de agua, sucesiones de fallas, etc. Se tratan todos ellos, de casos con fuertes contrastes y gradientes. Algunas de las aplicaciones clásicas presentan variaciones más suaves o modelos más sencillos como son las de capas horizontales.

El método desarrollado y propuesto por Oldenburg y Li (1999) consiste en establecer un parámetro denominado índice DOI (*Depth Of Investigation*)<sup>8</sup>. Se llevan a cabo dos inversiones sobre el mismo grupo de datos de campo obtenidos, empleando cualquier programa comercial, pero utilizando diferentes valores de resistividad de partida para uno de los términos del algoritmo de inversión. Este término modificado es el del modelo de terreno en las condiciones iniciales de mínimos cuadrados del

algoritmo de 'quasi Newton' definido por Loke (1999). En una de las inversiones, este término se multiplica o divide por 10, generalmente. El valor DOI se establece de forma aproximada como una diferencia entre ambas inversiones. El valor del índice DOI se aproximará a cero en aquellas zonas de la sección geoelectrica en la que las dos inversiones se aproximen más. Por el contrario, un valor de DOI cercano a la unidad (máximo) indicará una separación entre ambas inversiones. Podremos considerar que en esas zonas de DOI elevado la sección muestra artificios y no se corresponde con la realidad, también nos sugerirá la profundidad a partir de la cual la señal eléctrica medida está lejos de representar "algo" del terreno.

Marscot y Pagan (2004) afirman en sus conclusiones que "el mapa DOI previene de

la sobre-interpretación, es decir, interpretar a toda costa todo lo que presenta la pseudosección obtenida por tomografía eléctrica. El mapa DOI también ayuda a explicar la presencia de anomalías erráticas a ciertas profundidades (...)"

En la (figura 7) puede verse el equipo empleado en la prospección: un Syscel Kid Swich de la casa Iris Instrument's.

### Modelización previa. Programa RES2DMOD

Previamente a toda campaña geofísica es recomendable llevar a cabo una modelización. Es decir, se trata de crear modelos numéricos en los que introducimos *grosso modo* la geología que esperamos encontrar y podemos ver *a priori* el tipo de anomalía o las posibles heterogeneidades que se pueden presentar (fallas, cavidades). Este modelo nos permite "jugar" con las variables y optimizar el dispositivo de campo, o en su defecto, descartar un método.

En este caso, simulamos una campaña de adquisición geoelectrica mediante el programa RES2DMOD<sup>9</sup> de modelización de perfiles de resistividad en dos dimensiones (2D) que emplea los métodos de diferencias finitas y elementos finitos. El programa puede desarrollar modelos sintéticos que simulan adquisiciones de campo en modo Wenner ( $\alpha\beta\gamma$ ), dipolo-dipolo, polo-dipolo y Wenner-Schlumberger.

El programa *calcula la sección de resistividad aparente (figura 8 superior)* que obtendríamos en una campaña de análogas características, para un modelo de resistividad del subsuelo que configura el propio usuario (*figura 8 inferior*), con la ayuda de una interfase muy asequible. Resulta pues muy rápido para decidir los dispositivos y ver a grandes rasgos los resultados que pueden aparecer<sup>10</sup>. Es decir,

<sup>8</sup> Depth Of Investigation se traduciría literalmente como Profundidad de Investigación. Así que estaríamos hablando de un "Índice de Profundidad de Investigación".

<sup>9</sup> Se trata de un programa libre, cortesía de M.H. Loke (1999) creador del conocido programa de inversión RES2DINV y uno de los padres de la teoría y práctica de la inversión aplicada a los métodos eléctricos en dos y tres dimensiones. Ambos programas (este último en versión demo) puede descargarse en las páginas de los principales fabricantes de equipos geoelectricos, por ejemplo IRIS y ABEM.

<sup>10</sup> Debemos interpretar estas secciones con precaución, pues la geología real nunca es tan sencilla como el modelo. Es cierto que podemos complicarlo, pero incluso en zonas conocidas hay multitud de variables que hacen que la sección geoelectrica se escape de lo esperado. Existen sin embargo contextos "de libro" como son ciertas fallas, coberteras alteradas sobre sustratos competentes, cavidades en terrenos muy resistivos, etc., en los que los modelos teóricos son asombrosamente semejantes a la realidad. Y el termino "tomos" (sección) adquiere su verdadera acepción.

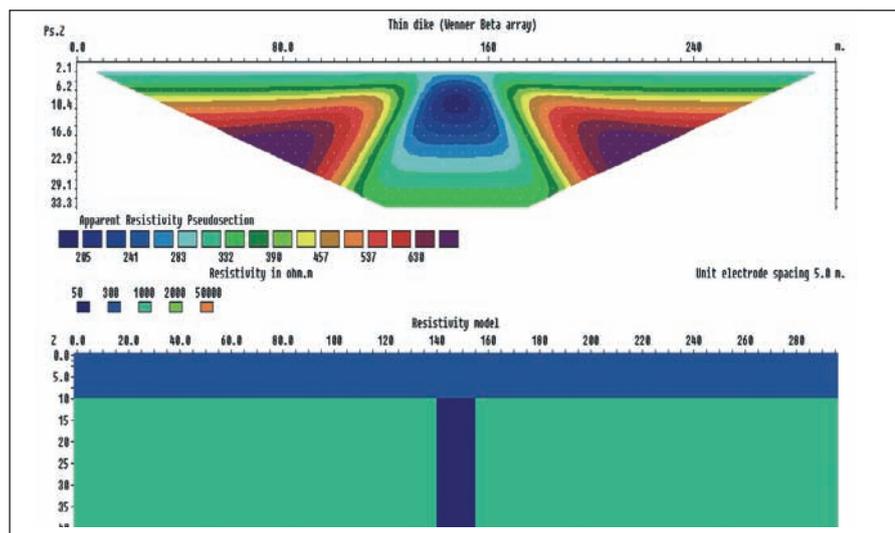


Figura 8. Modelo de falla 0 anomalía vertical conductiva. Modelo sintético con el programa RES2DMOD. En la sección inferior se muestra el modelo geoelectrico del terreno que define el usuario (una falla rellena de material conductor o un dique alterado). Sobre esta sección se muestra un corte de resistividades aparentes generada por el programa; sería pues como simular una adquisición de campo en la superficie del modelo. Como se aprecia, se trata de una sección en resistividades aparentes que deberíamos posteriormente "invertir" mediante RES2DINV y llegar a un modelo lo más parecido a la imagen inferior (Cortesía de H.M. Loke).

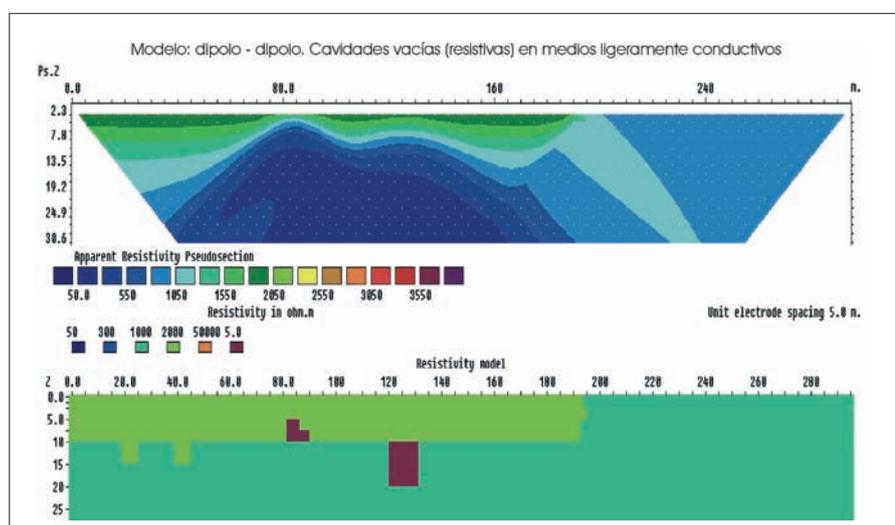


Figura 9. Cavidades conductivas (5 ohm.m) en medio resistivo (RES2DMOD) que pudieran ser cuevas, vías de agua o galerías de mina anegadas por el agua y/o material arcilloso. El encajante es muy resistivo (2.000 ohm.m) que puede representar una caliza, marga yesífera o un gneis parcialmente meteorizado. Se trata de una situación de anomalía muy favorable en el que detectamos perfectamente las anomalías incluso en un perfil en resistividades aparentes como repuntes en la capa superior. Ambas cavidades tienen un diámetro igual a la profundidad de su techo.

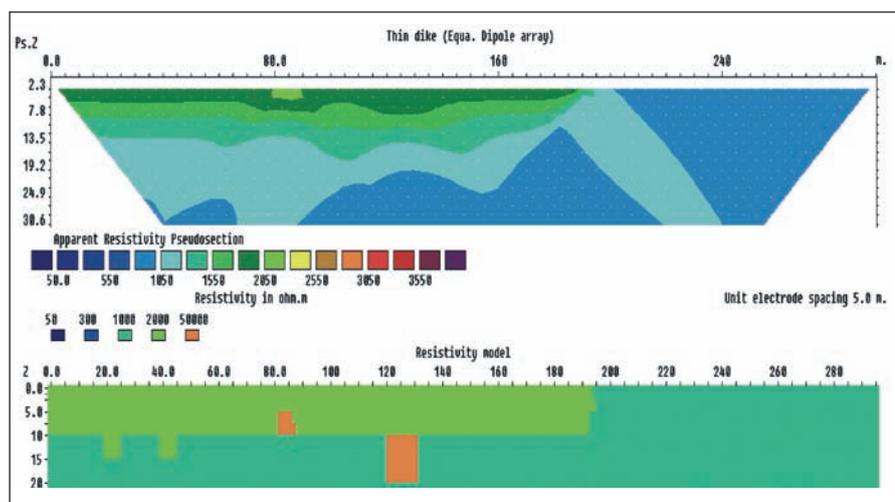


Figura 10. Cavidades vacías en medio resistivo (modo dipolo-dipolo) (RES2DMOD). Resistividad tendiendo al infinito (50.000 ohm.m). Como se aprecia la anomalía en perfiles aparentes es menos nítida, como cabría esperar. Las líneas de corriente tienden a canalizarse en las zonas de menor resistividad por encima y por debajo de la cavidad.

Estas secciones aparentes, archivadas en formato .dat pueden ser tratadas posteriormente por un programa de inversión tal y como RES2DINV

creamos secciones sintéticas, sin necesidad de ir al campo. Estas secciones aparentes, archivadas en formato .dat pueden ser tratadas posteriormente por un programa de inversión tal y como RES2DINV. Con este obtenemos la sección de resistividad real. Después de todo este proceso, la sección obtenida tras la inversión debe de asemejarse al modelo de partida creado por el usuario. Haciendo diversos tanteos, podemos ver qué modo (dipolo-dipolo Wenner, etc.) es el más adecuado y cuáles son los condicionantes del medio encajante y de la anomalía para poder detectarse correctamente.

### Cavidades sintéticas. Resistivas y conductivas

En las figuras 9, 10, 11 y 12, se muestran varios modelos del subsuelo con cavidades, unas con resistividad tendiendo al infinito (valores de 100.000 ohm.m) que corresponden a aquellas vacías, así como otras con bajas resistividades, que simulan rellenas de un material conductor, como puede ser la arcilla o el agua. La disposición de las mismas en la sección modelo no es casual. Pretendemos modelizar situaciones y profundidades "favorables y desfavorables".<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Consideramos una situación claramente favorable cuando el diámetro de la cavidad es mayor o igual que la profundidad a la que se encuentra el techo de la misma.

En la Mina Cabeza Rullueco se persiguió averiguar “hasta donde se podía llegar”. Esta galería estaba oculta, hasta que en los años 1993-1994 las obras de ampliación de la carretera N-1 dejaron al descubierto la boca de esta pequeña explotación

Resultados de perfiles eléctricos e inversión con RES2DINV

Mina Cabeza Rullueco (Robregordo, Madrid)

En la primera mina investigada se persiguió precisamente averiguar “hasta dónde se podía llegar”. Se eligió un objetivo *a priori* muy difícil, y siguiendo las indicaciones de la tabla inicial, se vio que no podía detectarse una galería de mina de 2 metros de altura situada a 8 metros de profundidad. La cavidad se encuentra exactamente al plomo del punto de máxima cota del desmonte. En este caso (figura 13) el dispositivo esta separado 3 m y con 9 niveles de investigación.

Esta galería de mina del siglo XIX, estaba oculta, hasta que hacia los años 1993-1994 las obras de ampliación de la carretera N-1 dejaron al descubierto la boca de esta pequeña explotación de plata en un talud, en el punto kilométrico 86,700 (figura 14). En muchas comarcas mineras, “sorpresas” como esta se producen a menudo.

Minas Gargantilla de Lozoya, Madrid

De los numerosos pozos escombreras y vestigios mineros existentes en

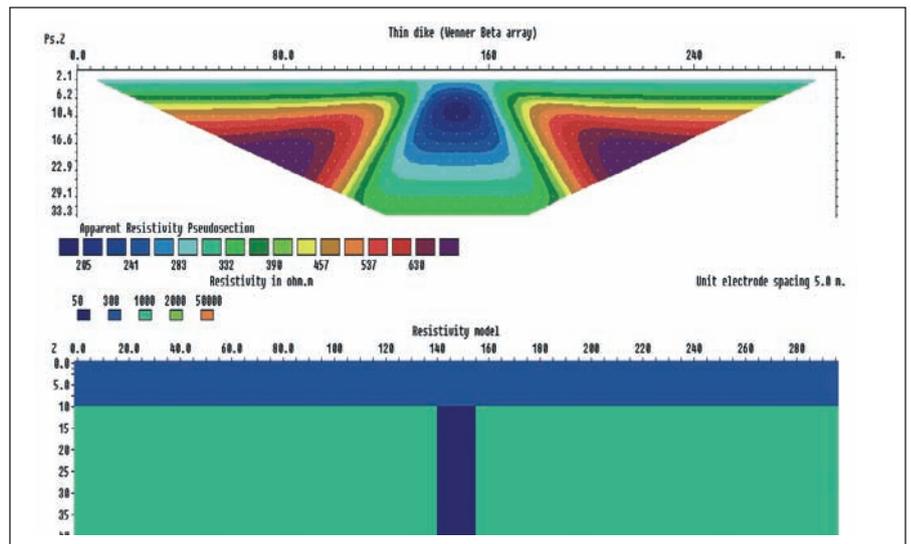


Figura 11. Cavidades vacías en medio resistivo (modo Wenner) (RES2DMOD). La imagen superior es un trabajo real que requirió de una modelización previa. Se trata de cavidades vacías en yesos. La resistividad aparente en tonos marrones marca la zona karstificada.

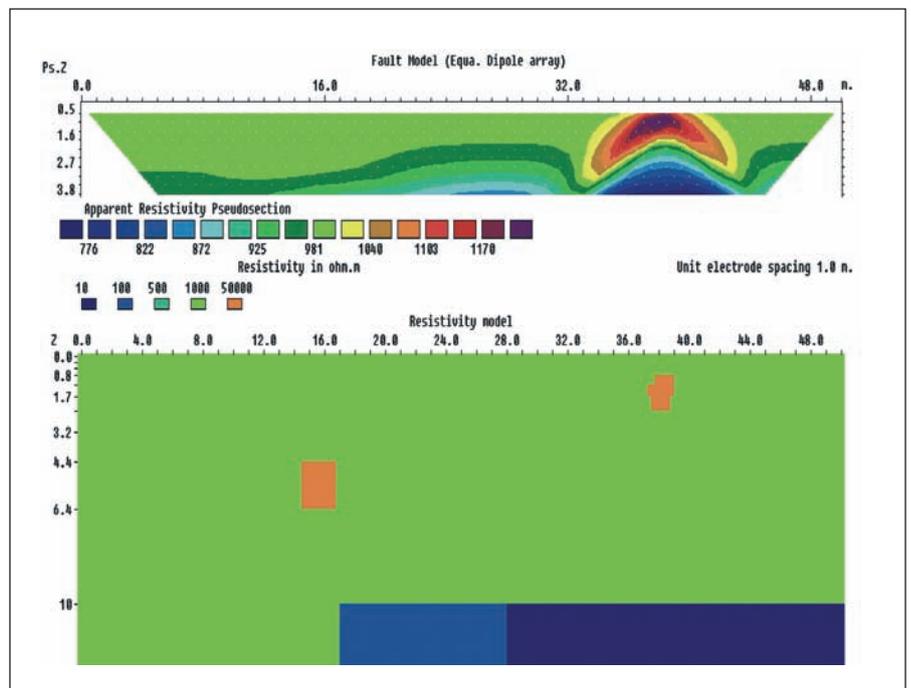


Figura 12. Cavidades vacías en medio resistivo con capa conductiva infrayacente (RES2DMOD). La imagen superior muestra una cavidad somera detectada pero no así la profunda. La selección de espaciado de electrodos y niveles de investigación no ha sido la correcta.

Gargantilla de Lozoya hemos seleccionado la única galería reconocible denominada mina Mirla. Se trata de unas de las zonas con mayor profusión de minas de la Sierra de Madrid y el Valle de Lozoya, donde precisamente se produjo el hundimiento que citamos al comienzo del artículo. La bocamina estudiada se encuentra a escasos metros del río Lozoya junto al desvío a Gargantilla y el puente ferroviario. El objetivo era estudiar la signatura de una galería completamente anegada por el agua. Realizamos el perfil a 4-5 m en la

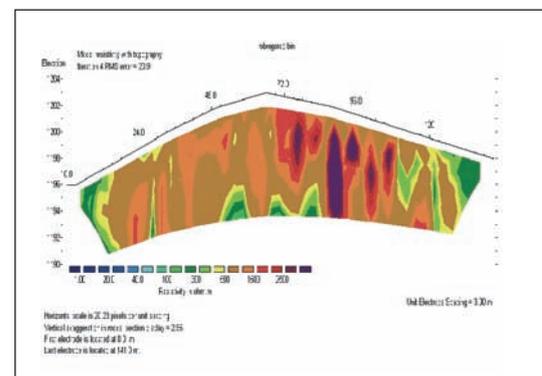


Figura 13. Perfil transversal, modo dipolo-dipolo y 3 m de espaciado (RES2DMOD). Sección geoelectrica de la colina que atraviesa la galería de la mina de Cabeza Rullueco, en Robregordo (Madrid). La galería debería de haber aparecido en el punto x = 66 m.



Figura 14. Talud y bocamina en Robregordo. Detalle del emboquille de la galería en la trinchera de la carretera N-I: Madrid-Burgos

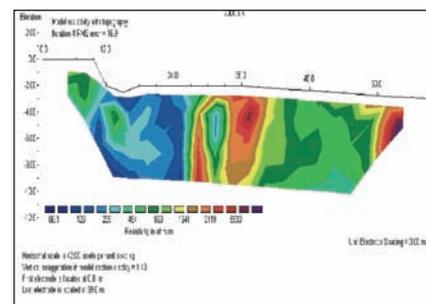


Figura 15. Perfil de tomografía eléctrica en Gargantilla de Lozoya (RES2DMOD). No se detecta exactamente la posición de la galería sino una anomalía asociada a ella, sobre la cota x = 30 m. El cambio de "colores" marca una importante zona de falla con un acuífero asociado.

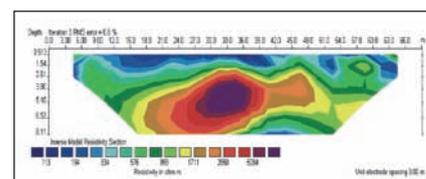


Figura 16. Perfil de tomografía eléctrica en Garganta de Lozoya (RES2DMOD). La imagen muestra perfectamente una galería vacía, marcada por una resistividad elevadísima, mayor de 10.000 ohm.m. Se aprecia, asimismo, en tonos "azules" los terrenos más limosos superficiales. Se trata del ratio perfecto para la detección exacta, encajante resistivo y cavidad vacía, 2 m de diámetro de la galería y a una profundidad de 2,5 m.

## Las minas abandonadas constituyen en general un contexto muy favorable de aplicabilidad de los métodos eléctricos

vertical perpendicular al eje de la galería (figura 15).

### Mina Fernandito de Garganta de los Montes, Madrid

Se trata de una de las minas más grandes e importantes de la Sierra de Madrid. Explotada en busca del cobre desde el siglo XIX, tuvo su época de esplendor en los años 1960. Se realizó un perfil en un camino próximo a la mina (figura 16), que debería de cortar la galería del primer nivel.

### Minas de Cobre de Colmenarejo, Madrid

Las minas de cobre de Colmenarejo fueron explotadas de forma intermitente en el siglo XIX y principios del XX.

Hemos tomado para su estudio una galería de muy difícil acceso pero muy somera, que fue reutilizada como almacén y trinchera defensiva en la Guerra Civil. Se sitúa en los altos de Villanueva del Pardillo. En este caso, por tratarse de un emboquille con cobertera muy somera, se escoge un espaciado de electrodos de 1 m

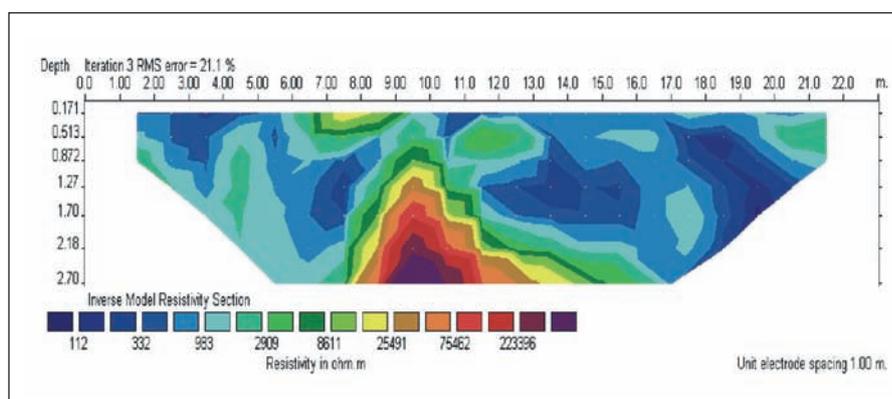


Figura 17. Galería de mina muy somera en Colmenarejo, Madrid (RES2DMOD). Sección geoelectrica con una separación de electrodos de 1,0 m.

(figura 17). La resolución es muy elevada, marcándose incluso una forma ojival de la galería, aunque se producen algunos artificios de interpolación, debido tal vez a un mallado no muy ajustado. La profundidad alcanzada es de 2,70 m.

### Consideraciones finales

Las minas abandonadas constituyen en general un contexto muy favorable de aplicabilidad de los métodos eléctricos. El encajante es muy resistivo habitualmente, por lo que la penetración es muy buena. Por

otro lado, la anomalía es muy extrema: entre valores elevadísimos, tendiendo al infinito en cavidades vacías, a resistividades del orden de 10-50 ohm.m en las que están rellenas. El problema principal radica en el ratio diámetro de cavidad frente a su profundidad, tal y como apuntábamos en el inicio del artículo.

Las minas abandonadas constituyen un riesgo geotécnico y la tomografía eléctrica, en combinación con otras técnicas geofísica y con sondeos convencionales es una herramienta efectiva.

## Bibliografía

- Alonso, R. (1916). Visita policía Minera a Garganta de los Montes. *Estadística Minera de España*. 1916, 299-302.
- Arlandi, M. (2005). Geofísica aplicada a la obra civil. Método geoeléctrico y sísmica de refracción. Casos prácticos. XII Curso de Geotecnia Aplicada. Universidad de Jaén 2005, 64 p.
- Calderón, S. (1910). *Los Minerales de España*. Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas. Madrid, 2 vol.
- Calvo, M. (2003). *Minerales y minas de España*. Museo de Ciencias Naturales de Álava. Vol. I Elementos. Vol. II Sulfuros y sulfosales.
- Doetsch, J. (1962). *Informe preliminar geofísico de la mina Fernandito. Garganta de los Montes (Madrid)*. Informe inédito 25 p. Archivo documentación hoja metalogenética Madrid. IGME.
- Edwards (1977). A modified pseudosection for resistivity and induced-polarisation. *Geophysics*, 42, 1020-1036.
- González del Tánago Chanrai, J. y González del Tánago del Río, J. (2002). *Minerales y minas de Madrid*. Comunidad de Madrid, Consejería Medio Ambiente. Mundi-Prensa, Madrid, 271 p.
- Hobson, D.M. (1992). Site investigation – making the most of your money. En: Forde, M.C. (ed.) Proceedings 2nd International Conference on Construction on Polluted and Marginal Land, 151-158. Engineering Technics Press: Edinburgh.
- Jiménez, R., Jordá, L., Jordá, R. y Prado, P. (2004). Madrid. La minería metálica desde 1417 hasta nuestros días. *Bocamina*, 14, 50-89.
- Jordá, L. (2003). La minería de los metales en la Comunidad de Madrid. *Tierra y Tecnología*, 25, 63-68. Ilustre Colegio Oficial de Geólogos.
- Jordá, L. (2005). Geofísica somera aplicada a informes geotécnicos de pequeña escala: detección de cavidades por tomografía eléctrica. *Ingeopres*, 139, 20-24.
- Jordá, L. (2005). Técnicas geofísicas de reconocimiento del subsuelo: Georrádar y tomografía eléctrica. Casos Prácticos. *Subsuelo y Obra Urbana*. Agosto 2005, 34-43.
- Jordá, L., Puche, O. y Mazadiego, L. F. (2006). *La minería de los metales y la metalurgia en la Comunidad de Madrid (1417-1983)*. Instituto Geológico y Minero de España. 192 p.: il.
- Loke, M.H. (1999). User Manual RES2DMOD ver. 2.2. Rapid 2D resistivity forward modelling using the finite-difference and finite – element methods. 22 p.
- Mari, J.L., Arens, G., Chapellier y Gaudiani, P. (1998). *Geophysique de Gisement et de Génie Civil*. Technip.
- Marescot, L., Loke, M.H., Chapellier, D., Delaloye, R., Lambiel, C. y Reynard, E. (2003). Assessing reliability of 2D resistivity imaging in mountain permafrost studies using the Depth Of Investigation index method. Near Surface, *Geophysics*, 1, 57-67.
- Marescot, L. y Martínez Pagán, P. (2004). Ejemplos de aplicación del índice DOI (Depth Of Investigation) en tomografía eléctrica. *Ingeopres*, 132, 40-45.
- Oldenburg y Li (1999). Estimating depth of investigation in DC resistivity and IP surveys. *Geophysics*, 64, 403-416.
- Pescador Sesmero, S. y Rodríguez Soto, A. (2004): Reconocimiento del terreno mediante tomografía eléctrica por delante de la excavación de túneles. *Ingeopres*, 126, 86-95.
- Puche, O. y Mazadiego, L.F. (2003). Patrimonio Minero-Metalúrgico Madrileño. I Simposio Europeo sobre Minería y Metalurgia antigua en el Mediterráneo Occidental, 26. 5-7 mayo 2000, Serós, Lérida. SEDPGYM- IEI. Pobla de Segur, Lérida.
- Puche, O. (2003). Histoire des Mines dans la Péninsule Ibérique. En: M. Serrano Pinto, editor. *Proceedings of the 26th Inhigeo Symposium 2001*, Universidade de Aveiro, 39-49.
- Reynolds, J.M. (1997). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. Wiley.
- Roy (1972). *Geophysics prospecting*, 20, 329-340.
- Roy y Amparo (1971). Depth of investigation in direct current methods. *Geophysics*, 36, 943-959.
- Sharma, V.S. (1997). *Environmental and engineering geophysics*. Cambridge University Press, 475 p.
- VVAA (2004). *Detection de cavités souterraines par methods geophysiques*. Guide technique. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. París. 170 p.
- Woods, R.D. (1994). Geophysical Characterization of sites. ISSMFE Technical Committee n. 10. India. 141 p.
- Zhou, W., Beck, B.F. y Adams, A.L. (2002). Effective electrode array in mapping karst hazards in electrical resistivity tomography. *Environmental Geology*. 42, 922-928.

# Normas de publicación de la Revista T&T

## 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 600 palabras son una página editada de la revista.
- Todas las ilustraciones (mapas, esquemas, fotos o figuras) y tablas serán referenciados 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 600 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). Detrás 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** y **bibliografía**.
- 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 por un punto del título.

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 con una copia en papel, tanto del texto como de las ilustraciones, a la redacción de la revista *Tierra & Tecnología*, Colegio Oficial de Geólogos; Avda. de la Reina Victoria, 8, 4ºB, 28003 Madrid.

## Separatas y originales

Los autores recibirán 20 separatas y varios ejemplares de la revista completa. Se devolverán los materiales originales.

# Colegio Oficial de Geólogos

*Creando contigo  
la Geología Profesional*

**Colegiación**

**Visado**

**Asesoría**

**Títulos profesionales**

**Formación**

**Bolsa de empleo**

**Tertulias**

**Revista *Tierra y Tecnología***

Es miembro de

Federación Europea de Geólogos

Unión Profesional

Unión Interprofesional de Madrid

Asoc. Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra



icog@icog.es - 915 532 403

BARCELONA BILBAO MADRID OVIEDO ZARAGOZA

**www.icog.es**