



Ilustre Colegio
Oficial
de Geólogos

Tierra y Tecnología

REVISTA DE INFORMACIÓN GEOLÓGICA • Nº 34 • SEGUNDO SEMESTRE 2008

Cena de Navidad 2008 con Soraya Rodríguez

- Los suelos blandos en obras de tierra
- Problemas geotécnicos y medioambientales asociados a macizos rocosos con sulfuros metálicos
- Distinción a Cristina Narbona y entrega de la insignia de plata a los colegiados con 30 años de antigüedad
- La gran fractura de la Cordillera Ibérica
- El ICOG en el CONAMA9

DESARROLLO PROFESIONAL

los mejores profesionales
de la geología a su alcance

UN SERVICIO DE CALIDAD

procesos de selección,
evaluación competencias,
promoción interna,
assesment center

EL MEJOR EQUIPO

expertos en selección,
geólogos profesionales, psicólogos

NUESTRO OBJETIVO

promocionar actividades,
servicios y estudios que faciliten
el acceso al mercado laboral
del colectivo profesional
bajo un marco de
responsabilidad social que apoye
el desarrollo sostenible

Colegio Oficial de Geólogos





**REVISTA DE INFORMACIÓN
GEOLÓGICA**
Nº 34 • SEGUNDO SEMESTRE 2008

Edita:

**Ilustre Colegio Oficial
de Geólogos**

ADMINISTRACIÓN Y REDACCIÓN

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

COMITÉ EDITORIAL

EDITOR PRINCIPAL
J. L. BARRERA MORATE

COLABORADORES

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

CORRESPONSALES

LUIS ALFONSO FERNÁNDEZ PÉREZ (ASTURIAS)

SECRETARÍA

ÁUREO CABALLERO

WWW.ICOG.ES

ICOG@ICOG.ES

WEBMASTER: ENRIQUE PAMPLIEGA

DISEÑO

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

ISSN: 1131-5016

DEPÓSITO LEGAL: M-10.137-1992

'TIERRA Y TECNOLOGÍA' MANTIENE CONTACTOS CON
NUMEROSOS PROFESIONALES DE LAS CIENCIAS DE LA
TIERRA Y DISCIPLINAS CONEXAS PARA LA EVALUACIÓN DE
LOS ARTÍCULOS DE CARÁCTER CIENTÍFICO O INNOVADOR
QUE SE PUBLICAN EN LA REVISTA.

LOS TRABAJOS PUBLICADOS EXPRESAN EXCLUSIVAMENTE
LA OPINIÓN DE LOS AUTORES Y LA REVISTA NO SE HACE
RESPONSABLE DE SU CONTENIDO.

EN LO RELATIVO A LOS DERECHOS DE PUBLICACIÓN, LOS
CONTENIDOS DE LOS ARTÍCULOS PODRÁN REPRODUCIRSE
SIEMPRE QUE SE CITE EXPRESAMENTE LA FUENTE.

FOTO PORTADA: CASACADA DE SVARTIFOSS, ISLANDIA.
AUTORES: MARÍA GARRIDO GIL Y JOAQUÍN SOUTO
SOUBRIER

Sumario

- 2 • EDITORIAL
- 3 • CENA-COLOQUIO DE NAVIDAD CON LA SECRETARIA DE ESTADO
DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL, SORAYA RODRÍGUEZ
- 15 • DISTINCIÓN A CRISTINA NARBONA Y ENTREGA DE LA INSIGNIA
DE PLATA A LOS COLEGIADOS CON 30 AÑOS DE ANTIGÜEDAD
- 25 • DE IQUIQUE A LA CADENA ANDINA: STAIRWAY TO HEAVEN
- 37 • LA TELEDETECCIÓN ESPACIAL: UNA APROXIMACIÓN MULTISENSOR
EN LA DETERMINACIÓN DE CAMBIOS EN ENTORNOS SEMIÁRIDOS
- 48 • LA VUELTA AL MUNDO A TRAVÉS DE OCHO PARAÍSO GEOLÓGICOS
- 60 • LOS SUELOS BLANDOS EN OBRAS DE TIERRA
- 67 • LA GRAN FRACTURA DE LA CORDILLERA IBÉRICA
- 77 • PROBLEMAS GEOTÉCNICOS Y MEDIOAMBIENTALES ASOCIADOS
A MACIZOS ROCOSOS CON SULFUROS METÁLICOS
- 85 • III FORO ENERGÉTICO EN EL CONGRESO DE LOS DIPUTADOS
- 91 • PETROLOGÍA DE LA PIZARRA PARA CUBIERTAS Y SUS FACTORES DE CALIDAD
- 97 • EL ICOG EN EL CONAMA9
- 103 • LA SEGURIDAD DEL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO
- 110 • LA CALIDAD NACIÓ EN EL REINO DE ESPAÑA
- 112 • JORNADAS SOBRE TECNOLOGÍAS DE CAPTURA Y ALMACENAMIENTO
DE CO₂ ORGANIZADAS POR EL ICOG
- 117 • LA BELLEZA DE LA SIMETRÍA: LOS CRISTALES
- 121 • EL CENTRO TECNOLÓGICO DEL GRANITO
- 124 • INGENIERÍA DE VERTEDEROS
- 127 • LIBROS

A vueltas con la geología en la enseñanza secundaria

Decir que hoy la cultura geológica de los ciudadanos es escasa no es alejarse mucho de la verdad. Pues bien, no se asusten. Por los caminos que vamos, en el futuro, esta cultura puede llegar a ser nula. Cada día que pasa, nos levantamos sobresaltados con titulares alarmantes —que no alarmistas— sobre el futuro de la geología en la enseñanza secundaria, ya que va desapareciendo de los libros de texto. Hace poco tiempo, la Plataforma gallega para la defensa de la permanencia de la geología como optativa en bachillerato se movilizó para recoger firmas a favor de que permanezca en el currículo.

También, las vocaciones universitarias para estudiar geología disminuyen progresivamente y el recambio generacional no se produce. Y eso que la demanda de geólogos en el mercado laboral va en aumento. El ICOG fomenta el estudio de la geología en secundaria a través de patrocinios de premios de investigación geológica que fomenten las vocaciones futuras de geólogos. Pero eso, obviamente, no es suficiente. De manera más decidida y constante, la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (AEPCT) está trabajando desde hace años con este mismo objetivo.

Es necesaria una acción de las autoridades académicas para potenciar una disciplina que cada vez está más presente en la vida cotidiana de los ciudadanos. Los riesgos geológicos, los problemas geotécnicos, la gestión del agua, los recursos energéticos o el patrimonio geológico son sólo algunos de los temas que, casi a diario, están en la prensa, y cada vez más. Sin embargo, paradójicamente, los contenidos de geología en los estudios de enseñanza secundaria son cada vez menores. ¿Es una cuestión intencionada? No, por supuesto. Es, simplemente, una cuestión de desconocimiento. Muchos ciudadanos siguen sin saber para qué sirve la geología. Triste, ¿verdad? Pues es así. Y lo peor de todo es que esos ciudadanos llegan a puestos de la Administración Pública en los que son necesarios esos conocimientos para gestionar muchas actuaciones o legislar nuevas normas de actuación. Ocurre luego que, ante una catástrofe natural, se oye la consabida frase de “era imprevisible” como justificación a una actuación tardía y desordenada. Baste recordar la nevada en Madrid del pasado 9 de enero. Las autoridades académicas no son conscientes de la necesidad de brindar formación básica de esta materia para que el alumno pueda proseguir estudios superiores. No se puede

gestionar un territorio donde la interacción humana es cada vez mayor sin un mínimo de cultura geológica.

Resulta paradójico que hoy, cuando se ha conseguido introducir la geología en varios textos legislativos como el Código Técnico de la Edificación, las Leyes del Suelo, de Patrimonio Natural o de Parques Nacionales, la preocupación por la formación básica de los conceptos geológicos esté ausente en la enseñanza secundaria. Cuando se ha conseguido recientemente que la geología sea una profesión regulada en el espacio europeo, resulta que no vamos a tener geólogos que circulen por ese espacio. Sorprendente, ¿no?

Volviendo al temario de secundaria, ya me dirán ustedes qué tiene que ver el cuello de la rana con los volcanes. Pues sepan que es el mismo profesor, geólogo o biólogo el que las imparte en la enseñanza obligatoria. Para eso, que sea un economista el que imparta la geología. Sin duda, está mucho más cerca de realizar valoraciones de los riesgos geológicos y recursos naturales que el biólogo, al que le haremos un gran favor dedicándole a enseñar sólo lo que realmente sabe y le gusta: la biología. Hay pocos profesores licenciados en Geología que imparten clase en la enseñanza obligatoria. Esto tiene como consecuencia que en muchas ocasiones, cuando los profesores son biólogos, los temas geológicos que, lógicamente, les son extraños, los evitan o se imparten de manera escasa. Un caso contrario ocurre cuando el profesor de la asignatura es geólogo. ¿Por qué seguir con este sufrimiento docente? ¿Por qué no dejamos que el biólogo dé su biología y el geólogo su geología? Todo ello, lamentablemente, provoca más rechazo en cuanto a despertar vocaciones geológicas en el alumnado. No es un problema de los biólogos, sino del currículo.

No sólo hay que incorporar más geología al currículo, sino que hay que llevar a cabo una secuenciación correcta de los contenidos geológicos a lo largo de toda la enseñanza. Seguimos con el antiguo concepto decimonónico de las ciencias naturales concebidas como un todo. Eso, en la época de Darwin era así, pero hoy parece que se nos olvida que los conocimientos en biología y geología han avanzado lo suficiente como para constituir disciplinas independientes. En los estudios universitarios, estas dos disciplinas ya se separaron en licenciaturas diferentes en 1954, pero en secundaria aún permanecen juntas. No voy a utilizar la consabida frase de que esta circunstancia es inconcebible en el siglo XXI, pues ya lo era en el siglo XX.

Cena-coloquio de Navidad con la secretaria de Estado de Cooperación Internacional, Soraya Rodríguez

El día 11 de diciembre se celebró la tradicional cena de Navidad del ICOG, a la que asistió como invitada la titular de la Secretaría de Estado de Cooperación Internacional, Soraya Rodríguez Ramos. Al acto, celebrado en el restaurante Pedro Larumbe de Madrid, asistieron 130 personas entre colegiados, familiares e invitados.

TEXTO | José Luis Barrera

FOTOS | Torres & Gómez, S.L.

El día se presentaba un poco ajetreado y, además, lluvioso. A varios miembros de la Junta de Gobierno —presidente, vicepresidente primero, secretario y algún vocal—, nos coincidió el día de la cena con el acto de celebración del Año Internacional del Planeta Tierra que, organizado por el IGME, tuvo lugar en el Ateneo de Madrid a las seis y media de la tarde, y al cual habíamos sido invitados. Pero, a pesar de ello, y corriendo un poco, eso sí, logramos estar a tiempo en el restaurante para recibir a nuestros invitados a la cena.

Con motivo de la asistencia de la secretaria de Estado de Cooperación Internacional, el Colegio había invitado a los embajadores de los países con los que el Colegio o la ONG Geólogos del Mundo tiene, o puede tener en un futuro cercano, alguna relación institucional. Tres confirmaron su asistencia, los de Haití, Nicaragua y Colombia, aunque los dos últimos excusaron en el último momento su asistencia por motivos de enfermedad.

Los colegiados estaban convocados a las ocho y media de la noche pero desde media hora antes comenzaron su aparición. Poco antes de esa hora llegó la embajadora de la República de Haití, Yolette Azor Charles, vestida muy elegante y con una actitud simpática y afable. Fue recibida por Manuel Regueiro y presentada al resto de miembros de la Junta de Gobierno (*figura 1*). Un poco más tarde llegó la secretaria de Estado, Soraya Rodríguez Ramos, acompañada por su jefe de gabinete, David del Campo.



Figura 1. José Luis Barrera saludando a la embajadora de la República de Haití en presencia de Manuel Regueiro.



Figura 2. Luis Suárez recibiendo a la secretaria de Estado, Soraya Rodríguez.



Figura 3. La embajadora de la República de Haití saluda a Soraya Rodríguez en presencia del presidente del Colegio.



Figura 5. Soraya Rodríguez firmando en el Libro de Honor.



Figura 4. La embajadora de la República de Haití firmando en el Libro de Honor.

Sorando, el decano de la Facultad de Ciencias Geológicas de la UCM, Eumenio Ancochea Soto, el jefe de la edición gráfica de la Agencia EFE, Diego Caballo, la subdirectora general de Urbanismo del Ministerio de Vivienda, Ángela de La Cruz Mera, el director ejecutivo de Mantenimiento de Infraestructuras de ADIF, Luis López Ruiz, el presidente del Colegio de Físicos y de la Fundación CONAMA, Gonzalo Echagüe, el director de Construcción de Castellana Autopistas, Rafael Pérez Arenas, el general de División y ex subdirector general de Conducción de Crisis de la Presidencia del Gobierno, Juan Carlos Rodríguez Búrdalo, la directora de la Escuela de Protección Civil (miembro de la Junta de Gobierno del ICOG), Nieves Sánchez Guitián, y el subdirector de I+D Endesa Generación, Juan Carlos Ballesteros.

Salió a recibirla el presidente del Colegio, Luis Suárez (figura 2), que la acompañó hasta el salón donde estaban esperando la Junta de Gobierno y Consejos de las Delegaciones para su presentación. Terminada la ceremonia protocolaria, la comitiva se trasladó al salón donde se servía el cóctel que, poco a poco, se había ido llenando de colegiados. Allí, acompañada por el presidente, Soraya Rodríguez departió con algunos colegiados e invitados a la cena (figura 3).

Pasadas las nueve de la noche, hubo que trasladarse al piso inferior para comenzar la cena. Previamente al comienzo, la embajadora de Haití y la secretaria de Estado firmaron en el Libro de Honor (figuras 4 y 5).

Entre otras personalidades que acudieron a la cena se encontraban el senador Mario Bedera, el rector de la UIMP, Salvador Ordóñez Delgado, el director general del IGME, José Pedro Calvo

En la mesa presidencial (figura 6) se encontraban la secretaria de Estado de Cooperación Internacional, Soraya Rodríguez, la embajadora de la República de Haití, Yolette Azor Charles, el presidente y vicepresidente primero del Colegio, Luis Suárez y José Luis Barrera, respectivamente, la vicepresidenta segunda, Cristina Sapalski, el rector de la UIMP, Salvador Ordóñez Delgado, el director general del IGME, José Pedro Calvo Sorando, y el decano de la Facultad



Figura 6. Mesa presidencial. De izquierda a derecha: Luis Suárez, Soraya Rodríguez, Yolette Azor, José Luis Barrera, Eugenio Ancochea, Cristina Sapalski, José Pedro Calvo y Salvador Ordóñez.



Figura 7. Vista general del comedor.

de Ciencias Geológicas de la UCM, Eugenio Ancochea Soto.

Sentados todos los comensales en sus mesas (figura 7), Barrera, actuando de presentador y moderador, dio comienzo a las intervenciones (figura 8). En primer lugar, dio la palabra al presidente del

Colegio, el cual se dirigió a los asistentes dándoles la bienvenida y agradeciendo especialmente la presencia de la secretaria de Estado, Soraya Rodríguez. Durante siete minutos, Luis Suárez expuso las líneas básicas del Colegio, sus principios de actuación y, sobre todo, la labor que

realiza en su ayuda a la cooperación exterior a través de la ONG Geólogos del Mundo.

Terminado el discurso, Barrera presentó a la invitada de honor a través de sus características personales y su currículum vitae. Destacó de Soraya Rodríguez su perfil de mujer trabajadora y entregada plenamente a la pasión por la política, manifestando que es una persona cercana, disciplinada, rápida y con una gran capacidad de trabajo. Nació en Valladolid, el mismo año que asesinaron al presidente Kennedy. Con 18 años se afilió al PSOE por la admiración que profesaba a Felipe González. Es licenciada en Derecho por la Universidad de Valladolid (1987), con un máster de especialización en Derecho Comunitario. Entre 1988 y 1990 fue secretaria de Movimientos Sociales y Participación Ciudadana en la Ejecutiva Regional del PSOE en Castilla y León. En 1994 llegó a la Secretaría de Organización en la Ejecutiva Provincial en Valladolid. Entre 1999 y 2004 fue europarlamentaria con el cargo de vicepresidenta de la Comisión de Agricultura. Entre 2000 y 2008 fue miembro del Comité Federal del PSOE, siendo elegida diputada por Valladolid en las Elecciones Generales de 2004 y 2008. En el año 2007 fue candidata a la Alcaldía de Valladolid. Era portavoz de la Comisión de Medio Ambiente, Agricultura y Pesca del Congreso de los Diputados cuando fue nombrada, en julio de 2008,



Figura 8. José Luis Barrera durante la presentación.



Figura 9. Andrés Carbó recibiendo la distinción de Colegiado de Honor.



Figura 10. Albert Bentayol recibiendo la distinción de Colegiado de Honor.



Figura 11. Mario Bedera recibiendo la distinción de Geólogo Honorífico.

secretaria de Estado de Cooperación Internacional.

Tras la presentación, Soraya Rodríguez tomó la palabra y se dirigió a todos los presentes sin guiones, apuntes o papeles; haciendo gala de una gran facilidad de palabra e improvisación. Agradeció, en primer lugar, la invitación del Colegio a la cena-coloquio de Navidad y destacó, entre otros aspectos, su labor actual en la Secretaría de Cooperación y la importancia que tiene la ayuda al desarrollo. Admitió que los geólogos son un colectivo profesional muy importante en las labores de cooperación y manifestó su compromiso de contar con ellos en misiones relacionadas con el suministro de agua a poblaciones desfavorecidas de países en vías de desarrollo, o en la prevención de riesgos naturales. Terminado el discurso, y ante la necesidad de ausentarse antes de concluir la cena, se pasó a la entrega de distinciones y de títulos profesionales, que entregó la secretaria de Estado acompañada por el presidente del Colegio.

Entrega de distinciones

Barrera recabó la presencia del secretario del Colegio, Manuel Regueiro, para que diera lectura a la relación de personas distinguidas por el ICOG en el año 2008. La relación de distinguidos y los motivos de su designación son:

- **Colegiados de Honor.** Andrés Carbo Gorosabel, por su contribución e impulso de la profesión de geólogo y de la enseñanza universitaria de la Geología (figura 9).
- **Mención de Honor.** Albert Bentayol Lázaro, por su desinteresada labor en la sección "El geólogo responde" de la página web del ICOG (figura 10).
- **Geólogos Honoríficos.** Mario Bedera Bravo, senador, por su contribución e impulso de las políticas educativas y de profesiones reguladas (figura 11).

También fue distinguida como Geóloga Honorífica la ex ministra de Medio Ambiente, Cristina Narbona, que recogió la distinción en el acto celebrado en el Colegio el 5 de diciembre (véase



Figura 12. Francisco Alonso recibiendo los Títulos Profesionales.



Figura 13. El padre de César Cambeses recibiendo el Título Profesional.



Figura 14. Paula Arizaga, en representación de José Manuel Cantó, recogiendo el Título Profesional.



Figura 15. El padre de Raúl Sanabria recogiendo los Títulos Profesionales de su hijo.

el artículo del acto en este número de la revista).

Entrega de los Títulos Profesionales

Nuevamente Barrera subió al estrado y solicitó la presencia de la presidenta de la Comisión Nacional de Evaluación de Títulos, Cristina Sapalski, que fue nombrando uno a uno a los colegiados que consiguieron su Título Profesional. Los Títulos Profesionales expedidos en 2008 fueron:

- Francisco Alonso Martín, *Geólogo Europeo, Geólogo Perito y Geólogo Profesional* (figura 12).
- César Cambese Torres, *Geólogo Profesional* (figura 13).
- José Manuel Cantó Romera, *Geólogo Europeo* (figura 14).
- Raúl Sanabria, *Geólogo Europeo y Geólogo Profesional* (figura 15).

Terminado el acto de entrega de títulos, comenzó la cena. Tal y como estaba previsto, la secretaria de Estado abandonó la sala antes de finalizar los postres. Para el colectivo de geólogos españoles fue un honor tener como invitada a Soraya Rodríguez y esperamos poder colaborar con su Secretaría en los proyectos de cooperación afectos a los geólogos.

Después de la cena, un cómico amenizó la velada.

Discurso del presidente del Colegio, Luis E. Suárez

Sra. secretaria de Estado de Cooperación Internacional; Sra. embajadora de la República de Haití; autoridades y personalidades; miembros de la Junta de Gobierno, Consejos de Gobierno de las Delegaciones y del Consejo Consultivo; invitados y colegiados.

Buenas noches a todas y a todos.

Como todos los años, los geólogos españoles y nuestros invitados nos reunimos para celebrar la tradicional cena-coloquio con un alto responsable de la Administración. Es un honor contar este año con la presencia de Dña. Soraya Rodríguez, secretaria de Estado de Cooperación Internacional, lo que posibilita 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 siete años, tuve la ocasión de presentar a José Luis Rodríguez Zapatero una propuesta transformadora de los colegios profesionales, que se puede llevar a cabo con un uso eficaz del tiempo político, mediante el promulgado Real Decreto de Cualificaciones Profesionales y la futura introducción en el ordenamiento jurídico español de la Directiva de Servicios de Mercado Interior, la Ley de Servicios Profesionales y la reforma de la Ley de Colegios Profesionales en 2009.

Creo que los colegios profesionales debemos hacer autocritica. Ha llegado el momento de que los colegios abandonemos trasnochados manuales corporativos y demos un giro hacia los ciudadanos para merecer su confianza.

Con este objetivo, el Colegio de Geólogos viene desarrollando una política profesional transformadora del sistema corporativo para garantizar el principio constitucional de igualdad de oportunidades entre los profesionales, cuyo objetivo finalista son los ciudadanos. La Geología es una ciencia y una técnica que los seres humanos hemos desarrollado para ayudar a resolver los problemas de la gea a la humanidad. Por ello, el Colegio de Geólogos y los geólogos españoles concebimos nuestra misión como la geología de los ciudadanos, lema colegial que impulsa nuestra estrategia de actuación y, actualmente, en tiempos de crisis económica, en beneficio de los más desfavorecidos, de los países en vías de desarrollo, de nuestros hermanos de América Latina.

Para impulsar la geología de los ciudadanos, el Colegio de Geólogos ha gestionado el visado telemático para el control y la mejora de los estudios geotécnicos, con el objetivo de garantizar, por medio de listas de chequeo, el cumplimiento del Código Técnico de la Edificación y, por ende, la disminución de los siniestros en los edificios, que hemos reducido a cuatro incidentes de siniestro y cero euros de indemnización en cada uno de los años 2007 y 2008.



Somos de los contados colegios que tenemos certificada la gestión colegial por la ISO 9001:2008 de Gestión de Calidad, para mejorar nuestros servicios a los ciudadanos

Se protege a la ciudadanía articulando un seguro de responsabilidad civil profesional de los estudios geotécnicos visados en el Colegio de Geólogos.

Somos de los contados colegios que tenemos certificada la gestión colegial por la ISO 9001:2008 de Gestión de Calidad, para mejorar nuestros servicios a los ciudadanos.

Servimos a los ciudadanos impulsando el Real Decreto 1393/2007, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales que tipifica que el Gobierno debe establecer las condiciones a las que deberán adecuarse los planes de estudios de graduado en Geología, que, en todo caso, deberán diseñarse de forma que permitan obtener las competencias necesarias para ejercer la profesión regulada de geólogo, que establece el artículo 21 de los Estatutos del ICOG. Y que, a tales efectos, la universidad justificará la adecuación del plan de estudios de graduado en Geología a dichas condiciones.

La profesión de geólogo es una profesión regulada en España de acuerdo con el Real Decreto 1837/2008, de 8 de noviembre, promulgado en el BOE el pasado 20 de noviembre, por el que se incorpora al ordenamiento jurídico español la Directiva Europea de Cualificaciones Profesionales, donde se recoge, en su Anexo VIII, que la profesión de geólogo es una de las 44 profesiones reguladas en España que han superado un ciclo de estudios postsecundarios de una duración mínima de cuatro años.

Han sido tres años de gestiones en los ministerios de Presidencia, Educación y Ciencia y Medio Ambiente, con diputados, y en las más altas instancias, que han dado sus frutos. El ICOG y los colegios de ciencias, entre otros, no defendíamos a nuestros colectivos, teníamos en nuestra mente, como objetivo, a los ciudadanos. Y en esa defensa de los intereses generales de los ciudadanos contamos con el apoyo de muchos políticos y altos cargos de la Administración. Pero entre todos ellos, queremos significar al diputado de la anterior legislatura, hoy senador, Mario Bedera, por su ayuda en esta causa que es la causa de los ciudadanos. Por estas gestiones y la complicidad y sintonía en la reforma de la Ley Orgánica de Universidades y del Espacio Europeo de Enseñanza Superior, el senador Mario Bedera se merece la distinción de Geólogo Honorífico, otorgada por unanimidad de la Asamblea de colegiados.

Nosotros solicitábamos, y lo conseguimos, un concepto amplio de profesión regulada, de acuerdo con el acervo jurídico comunitario y contra un concepto restringido y corporativista, "español", defendido por colectivos decimonónicos, cuyas atribuciones estaban, en ocasiones, establecidas por decretos-leyes franquistas, que actualmente son conceptuados en el ordenamiento jurídico español como leyes del Parlamento democrático.

El Gobierno de España ha sido sensible a nuestros argumentos, los defendidos por los colegios de ciencias y los colegios creados después de la Constitución de 1978, que son los argumentos de los ciudadanos, usuarios y clientes de nuestros servicios profesionales. Se defiende a los ciudadanos con un concepto abierto de profesión regulada, acorde con el marco jurídico comunitario, que permitirá minimizar las decimonónicas reservas de actividad de las que gozan algunas profesiones, y que el mercado profesional se abra a la competencia de las diferentes profesiones; en definitiva, que la competencia sea para el competente.

Este concepto abierto de profesión regulada, aprobado por el Gobierno de España, redundará en el beneficio de los ciudadanos que disfrutarán del impulso de la competencia entre profesiones y, en consecuencia, de unos servicios profesionales de más calidad a menor coste.

Servimos a los ciudadanos instaurando los Títulos Profesionales para la certificación de la capacitación de los colegiados en beneficio de los usuarios, en función de la experiencia profesional y la formación continua. 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.

Servimos a los ciudadanos, a las empresas y a los colegiados mediante el impulso del servicio de "Desarrollo profesional y bolsa de empleo telemática" como instrumento formal para que, hasta el mes julio, hubiera pleno empleo en el colectivo de geólogos y hoy estemos varios puntos por debajo de la tasa de desempleo estatal.

Servimos a los ciudadanos cooperando con el nuevo Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino mediante la elaboración de los informes geotécnicos independientes de las presas hidráulicas de Itoiz, Yesa y Siles,

Pero todo no va a ser profesión. Creemos que la sociedad española es cada día más sensible a la necesidad de que la política pública de cooperación para el desarrollo sea un elemento esencial de la política exterior. Por ello, y más en estos tiempos de crisis económica, tenemos que desarrollar un marco más propicio para que la sociedad despliegue todo su potencial solidario y toda su creatividad. En este contexto de crisis económica, los geólogos podemos, y debemos, contribuir en ese empeño de lograr un mundo más solidario, en donde el deterioro ambiental y los desastres naturales puedan ser combatidos y eliminados.

Nos preocupamos y nos ocupamos por la cooperación internacional como línea estratégica de actuación del Colegio de Geólogos desde hace muchos años, lo que generó el caldo de cultivo para que hace casi una década se creara la ONG Geólogos del Mundo, abierta a todos los ciudadanos. Geólogos del Mundo inició su andadura el 13 de enero de 1999, mediante un convenio de colaboración con el ICOG, por el cual el Colegio otorgaba a la ONG el uso gratuito de su local e infraestructura, así como un 0,7% de sus ingresos, que en 2005 aumentó al 1%, siendo el primer proyecto la organización del "Curso de riesgos geológicos y prevención de desastres", en Ankara (Turquía), patrocinado por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), organización dependiente de la Secretaría de Estado y que apostó decididamente por GM como una ONG de futuro.

Y este impulso creador se apoyaba en el inmenso servicio social que podía prestar la geología en la cooperación al desarrollo, puesto que más de 1.000 millones de seres humanos carecían de agua potable y saneamiento, lo que constituye la primera necesidad de gran parte de las comunidades en vías de desarrollo, necesidad que podían satisfacerse por medio de los conocimientos de los geólogos en la exploración y explotación de las aguas subterráneas. La degradación ambiental y los desastres naturales se manifiestan con mayor virulencia en los países pobres y en desarrollo y los geólogos tenemos el conocimiento para identificar los riesgos naturales y la vulnerabilidad del territorio.

También, como contrapartida, había que tener en cuenta la formación técnica y humana que podían obtener los jóvenes geólogos y técnicos, participando en los proyectos de cooperación

al desarrollo, dadas las dificultades existentes en la logística y diversidad de culturas de estos países.

Desde su creación y durante una década, GM ha logrado consolidar una acción amplia y confortante, no exenta de escollos y dificultades, con relevantes logros en los campos del abastecimiento de aguas subterráneas a poblaciones (36 proyectos), en la prevención de riesgos geológicos y la ordenación territorial (18 proyectos), mixtos de estas dos áreas (8 proyectos) y otros (11 proyectos) que comprenden emergencias, capacitación técnica y profesional... En conjunto, en esta década, GM ha realizado y está gestionando 73 proyectos de cooperación internacional.

En El Salvador se han realizado todos los proyectos de prevención de riesgos geológicos, si exceptuamos los cuatro realizados en Nicaragua; mientras que los proyectos de abastecimiento de agua están distribuidos mayoritariamente en Honduras, Ecuador y África Occidental (Burkina Faso, Malí y Senegal), siendo más reducido su número en El Salvador.

En cuanto a financiadores de GM, la mayoría son instituciones públicas del Estado y de todas las comunidades donde tiene delegaciones la ONG, con algunas importantes fundaciones privadas.

También debemos señalar la presencia de GM en Nicaragua, señor embajador, donde está gestionando un programa muy importante entre 2006 a 2010, denominado "Programa integral para el ordenamiento ambiental de la Laguna de Apoyo (PIXOA)", financiado por la Agencia Catalana para el Desarrollo y por GM.

En Honduras, desde 2004 a 2010, se han realizado y se están realizando nueve proyectos de abastecimiento de aguas financiados por la Agencia Asturiana de Cooperación al Desarrollo, el Ayuntamiento de Oviedo, la Fundación Peretti, el Ayuntamiento de Suguatpeque, Aside y GM. Esta gran aportación al desarrollo de Honduras, así como la colaboración excepcional de varios de sus geólogos a la emergencia desarrollada ante las intensas lluvias ocurridas recientemente, han motivado la imposición de la condecoración máxima que otorga el Gobierno de Honduras a GM en el día de ayer, 10 de diciembre. Dicha condecoración, denominada "Bellota de la Excelencia", ha sido recibida personalmente por el presidente de GM, Ángel Carbayo.

Tengo que expresar la satisfacción por la gestión de la ONG en esta década prodigiosa de cooperación internacional. Por nuestra experiencia en la cooperación al desarrollo, nos hemos puesto a disposición del Gobierno de España en el proyecto de plataforma permanente de cooperación en desastres naturales en Panamá, y en la cooperación, dentro de nuestras posibilidades, en erradicar la pobreza en cumplimiento con los Objetivos de Desarrollo del Milenio 2015. Los 192 Estados miembros de la ONU se propusieron un reto: lograr un mundo mejor para todos en 2015. Nosotros podemos, con humildad, contribuir con nuestro esfuerzo a alcanzar la meta 7c del Objetivo 7 de sostenibilidad del medio ambiente del milenio 2015: reducir a la mitad el porcentaje de personas que carecen de acceso sostenible al agua potable,

aprovechando la implantación de nuestra ONG en América Latina y África Subsahariana y la acción concertada de la Federación Europea de Geólogos ante la Unión Europea para impulsar los Objetivos del Milenio 2015 en África, acuerdo al que ha llegado la Federación, que agrupa a 25 asociaciones europeas de geólogos, en la reunión celebrada en Bruselas el pasado 30 de noviembre.

En relación con la prevención de los riesgos naturales, el ICOG, en colaboración con el Ministerio de Vivienda, acaba de presentar en el 9º Congreso de Medio Ambiente (CONAMA9), la *Guía metodológica de elaboración de cartografías de riesgos naturales*, que está dirigida a proporcionar criterios que permitan una zonificación de los riesgos, en orden a que la evaluación resultante pueda ser convenientemente integrada en la planificación de los usos del suelo.

Tengo que reconocer la sensibilidad del Ministerio de Vivienda en la acción humanitaria, que en mayo de 2006 ha firmado con la ONG Geólogos del Mundo el "Convenio marco de colaboración para actuaciones conjuntas en materia de arquitectura y vivienda". Por ello, debo reconocer y expresar nuestro más sincero agradecimiento a los responsables del Ministerio de Vivienda en la anterior legislatura, y en especial a la primera ministra de Vivienda de la democracia, María Antonia Trujillo, actual presidenta de la Comisión de Medio Ambiente, Agricultura y Pesca del Congreso de los Diputados, distinguida como geóloga honorífica del ICOG por haber puesto a nuestro país en la vanguardia de la protección de los ciudadanos contra las catástrofes naturales al establecer en la Ley del Suelo, aprobada por el Congreso de los Diputados el 18 de mayo de 2007, la obligatoriedad de los mapas de riesgos en la ordenación urbanística, así como por la mutua colaboración en la elaboración y difusión del *Código Técnico de la Edificación*.

La utilización de este tipo de herramientas de análisis del riesgo natural puede ser de gran utilidad en algunas áreas prioritarias para la cooperación española, como América Latina, región que viene siendo azotada por un promedio de 30 catástrofes en los últimos 30 años, y cuya frecuencia parece ir en aumento debido al rápido crecimiento demográfico y al incremento de desarrollo de episodios atmosféricos extremos como consecuencia de los efectos del cambio climático.

En la cooperación internacional se debe enseñar a los países en vías de desarrollo a pescar mejor que a darles peces, por lo que estamos dispuestos a cooperar en la sensibilización y formación de planificadores, responsables municipales y técnicos en América Latina mediante cursos de prevención de riesgos naturales para la ordenación del territorio.

Por último, quiero aprovechar para felicitaros las Pascuas y deseáros un próspero año 2009 a todos los colegiados y a nuestros invitados, así como reiterar el agradecimiento sincero a la Sra. secretaria de Estado de Cooperación Internacional por su presencia en esta cena-coloquio y agradecer su franca voluntad de colaboración con el colectivo de geólogos españoles.

Muchas gracias por su atención.

Discurso de la secretaria de Estado, Soraya Rodríguez¹

Buenas noches. Señor presidente, señora embajadora, colegiados y colegiadas, muchísimas gracias por la amable presentación que acaban de realizar de mi persona y de mi trayectoria vital, y muchísimas gracias a la Junta Directiva del Colegio de Geólogos, que me da la posibilidad de poder compartir esta reunión del Colegio con todos ustedes, en la que tengo la oportunidad de explicar, brevemente, la política de cooperación al desarrollo que realizamos desde el Gobierno de España.

Haré antes una matización: la relación de mi currículum político y profesional ha sido extensísima, pero en Valladolid —está hoy con nosotros Mario Bedera, secretario general de los vallisoletanos— nos votaron más del 27% de los ciudadanos. Nos votaron casi tanto como al PP, pero no conseguimos la Alcaldía.

También quería matizar que es un acto arriesgado invitar a una cena de profesionales, de geólogos, a una persona que ha tenido muy poco contacto con la geología. Soy amante apasionada de los debates pero ya les anuncio que no podré responder a ninguna de las cuestiones que se han citado en la presentación. Lo cierto es que yo he tenido contacto con el Colegio de Geólogos en mi anterior responsabilidad de política medioambiental del Partido Socialista, y como diputada en el Congreso de los Diputados, en la Comisión de Medio Ambiente, en la Comisión de Agricultura y Desarrollo Rural, etc. He visto, efectivamente, el compromiso social del Colegio de Geólogos cuando Luis Suárez (presidente del Colegio de Geólogos) hablaba de la geología de los ciudadanos; yo, al principio, me decía que la geología me sonaba muy lejana... Pero, efectivamente, el Colegio ha demostrado que siempre estaba ahí para poder pedir su opinión, para aportar su trabajo y, por lo tanto, en definitiva, su compromiso social. Y es cierto que una de las primeras llamadas que recibí cuando me nombraron secretaria de Estado de Cooperación fue la de Luis Suárez, solicitándome audiencia. Yo le mencioné que estando en cooperación al desarrollo hablábamos de otro negociado, pero me recordó la ONG Geólogos del Mundo y me insistió para reunirnos cuanto antes. La reunión tuvo lugar con gente de la asociación, me mostraron todo lo que se está trabajando y se ha trabajado en estos últimos diez años, y hemos iniciado de nuevo una relación, en otro ámbito diferente, donde indudablemente la aportación de profesionales de la geología es muy importante.

En la cooperación y en la política de cooperación al desarrollo hacen falta dos elementos: un gran compromiso para trabajar en los países pobres y en los países en desarrollo y una gran



En la cooperación y en la política de cooperación al desarrollo hacen falta dos elementos: un gran compromiso para trabajar en los países pobres y en los países en desarrollo y una gran profesionalidad

profesionalidad, y, desde luego, los profesionales que reúne la asociación Geólogos del Mundo cumplen estas dos características: un gran compromiso y una gran capacitación y cualificación profesional, muy necesaria en muchos de los proyectos en los que trabajamos en los países socios.

Quisiera también decir que lamento tener que abandonar hoy la cena antes de que finalice y no poder quedarme a compartir con todos ustedes en un plan más relajado la tertulia posterior. El motivo es que hay también en estos momentos un acto en el

1. Transcripción literal realizada por Gara Mora.

que tenía comprometida mi asistencia. Se está celebrando un concierto que patrocina, y en el que colabora, la Agencia de Cooperación al Desarrollo de España con el lema “Más cultura, más derechos, menos pobreza”, precisamente en una semana en la que estamos conmemorando, recordando y celebrando el 60º aniversario de la Declaración de los Derechos Humanos. Por lo tanto, también he anunciado que iría, aunque fuera en el último momento, para poder saludar a todos esos artistas que de forma voluntaria están colaborando en ese concierto.

La desigualdad, la injusticia, la miseria y la pobreza son hoy los grandes retos de una sociedad, de un mundo, que puede afrontar —porque tiene mucho más conocimiento de lo que sucede, muchos más recursos y sabiduría— la lucha contra esta gran lacra humana que nos afecta a todos, que es la pobreza y la miseria; en definitiva, el desarrollo humano

Y si me permiten, quisiera unir esta explicación sobre la política de cooperación al desarrollo que realizamos desde el Gobierno de España con este momento en el que vivimos de recuerdo de la Declaración de los Derechos Humanos. Hace 60 años unos políticos muy valientes y arriesgados —entre ellos Eleanor Roosevelt—, en un momento de depresión y destrucción absoluta en Europa y en el mundo, tuvieron el coraje y la valentía de acordar, en un ámbito multilateral, una declaración de derechos para todos los individuos. El primer artículo es precioso: “Todos los seres humanos nacen libres e iguales en dignidad y derechos y, dotados como están de razón y conciencia, deben comportarse fraternalmente los unos con los otros”. Sesenta años después se ha avanzado mucho en el respeto, en la denuncia y en las garantías de los derechos humanos. Pero sigue habiendo millones y millones de personas en el planeta que desde que nacen hasta que mueren no disfrutan ni un segundo de su vida de dignidad ni de derechos. Las amenazas más grandes y más terribles contra los derechos humanos hoy en el siglo XXI son la pobreza y la miseria extremas en las que viven millones de hombres y mujeres en prácticamente la mitad de los países del planeta. La desigualdad, la injusticia, la miseria y la pobreza son hoy los grandes retos de una sociedad, de un mundo, que puede afrontar —porque tiene mucho más

conocimiento de lo que sucede, muchos más recursos y sabiduría— la lucha contra esta gran lacra humana que nos afecta a todos, que es la pobreza y la miseria; en definitiva, el desarrollo humano.

Ése es el objetivo de la política de cooperación al desarrollo: trabajar por el desarrollo de las personas, por la lucha contra la pobreza y la miseria y ser capaces de colocar bases sólidas para que el desarrollo social, económico y humano en los países en desarrollo pueda producirse. Desde esa perspectiva, España es hoy un país comprometido con la política de cooperación al desarrollo. Luis [Suárez] hablaba antes de la década prodigiosa de la ONG Geólogos del Mundo; yo diría que en España hemos vivido cuatro años prodigiosos en el sentido de que hemos dado un salto, no solamente cuantitativo, en la cantidad de medios, de recursos disponibles para la política de cooperación, sino que además hemos dado un salto cualitativo. El que el Ministerio de Exteriores cambiara su nombre —hace cuatro años, en la primera legislatura de José Luis Rodríguez Zapatero— por el nombre Ministerio de Exteriores y Cooperación, es un salto verdaderamente cualitativo en lo que supone la política de cooperación, en primer lugar, porque el desarrollo conforma una parte sustancial de la acción exterior del estado.

Trabajamos por la paz, trabajamos por la seguridad y, en el mundo, por las relaciones estratégicas entre los Estados; y para trabajar por la paz hay que trabajar por la justicia. Por lo tanto, la política, el desarrollo, son la otra cara de la moneda de la acción exterior, de la acción defensiva. La seguridad se garantiza con el desarrollo y con condiciones más justas de convivencia entre países y entre los hombres. Hemos incrementado de forma importante nuestros recursos, porque los recursos no lo son todo en la política de cooperación, pero sin dinero no se hace nada —los que están aquí, que forman parte y que tienen una convivencia más directa con la ONG de Geólogos del Mundo, lo saben—. En este sentido, España había permanecido en un porcentaje muy bajo de su presupuesto de ayuda oficial al desarrollo y, durante años importantes de crecimiento, había mantenido un 0,23% de su Producto Interior Bruto (PIB) de forma invariable y sostenida a lo largo de ocho años. Esto comenzó a cambiar en 2004; hemos dado un salto sustancial.

En 2007, el 0,37% de nuestro PIB se dedicó a la ayuda oficial al desarrollo y estamos trabajando y esforzándonos para que en 2008 consigamos el 0,5% del PIB y lleguemos en 2012 al 0,7%. El presidente del Gobierno ha reiterado en múltiples ocasiones este compromiso y los países de la Unión Europea también se han comprometido en llegar en 2015, cuando finalizan las metas de los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Nosotros hemos dicho que en 2012 queremos llegar a ese objetivo. Ahora, más que nunca, si me permiten, tiene un valor político más importante este compromiso de llegar al 0,7%.

El 0,7% es una cifra importante del PIB para ayudas al desarrollo, pero además es una manifestación de compromiso

y de responsabilidad política, de no renunciar, de no dar un paso atrás en nuestro compromiso con la política de cooperación al desarrollo en un momento de crisis económica global y de crisis real de nuestras economías en los países desarrollados. Es posible llegar al 0,7% del PIB sin ser el país más rico del mundo, sin ser un país que lleva largos años trabajando en cooperación. Se puede conseguir en poco tiempo en una economía importante como la nuestra, pero lo que hace falta para conseguirlo es una gran voluntad política. Porque consideramos que la política de cooperación puede englobar la solidaridad, la caridad, la responsabilidad moral, pero desde luego es una responsabilidad política de primer orden. En este sentido llegaremos al 0,7% del PIB en 2012 y trabajamos para intentarlo.

Vamos a seguir trabajando en las líneas básicas en las que lo hemos estado haciendo durante los cuatro últimos años. Precisamente hoy llegaba a la cena concluyendo y enviando por *e-mail* el borrador del *Plan Director de la Cooperación Española para 2009-2012*. En este plan, que es el que marca la columna vertebral de nuestra política de cooperación para los próximos cuatro años, vamos a seguir trabajando de forma muy importante en América Latina. España es, con diferencia, el país donante, el país de la cooperación en América Latina. Para que se hagan una idea, la Unión Europea es el primer donante de la comunidad internacional, el 60% de la ayuda oficial al desarrollo proviene de la Unión Europea, pero apenas un 10% de este presupuesto se dedica a América Latina, mientras España le dedica el 40% de su ayuda oficial al desarrollo.

Vamos a seguir estando en América Latina, vamos a estar presentes en países como Haití, en países de renta media en Centroamérica, en países donde tenemos que seguir trabajando porque hay grandes bolsas de pobreza, grandes problemas de desigualdad y donde la cooperación española va a estar muy presente, tanto en el apoyo a políticas públicas e infraestructuras básicas, como en el apoyo al refuerzo institucional de políticas sociales, que realmente son el elemento básico para poder dar el salto al desarrollo de estos países.

Estaremos presentes, como se ha citado aquí, con la mayor iniciativa que se ha hecho por parte de la comunidad internacional para conseguir el Objetivo 7 de Desarrollo del Milenio: que en 2015 podamos reducir a la mitad el número de miles de personas que viven sin acceso a agua potable y sin servicios de saneamiento. No es una grandilocuencia política: éste es un objetivo básico, el del agua, el agua es vida, ustedes lo saben muy bien. Sin agua no hay desarrollo. Pero la falta de agua es una necesidad básica para millones y millones de personas en el planeta. Sólo en América Latina, 138 millones de personas hoy no tienen servicios de saneamiento ni depuración, y 58 millones de personas no tienen acceso al agua potable en sus poblaciones.

España ha puesto en marcha un fondo unilateral, esfuerzo única y exclusivamente del Gobierno de España, lo que denominamos

el Fondo del Agua para América Latina: 1.200 millones de euros en cuatro años. Vamos a trabajar con todos los países de América Latina. Vamos a trabajar también con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) para poder ejecutar proyectos importantes y vamos a trabajar con colectivos, como Geólogos del Mundo, que tengan proyectos que se puedan ejecutar en América Latina.

Vamos a seguir estando en América Latina, vamos a estar presentes en países como Haití, en países de renta media en Centroamérica, en países donde tenemos que seguir trabajando porque hay grandes bolsas de pobreza, grandes problemas de desigualdad y donde la cooperación española va a estar muy presente

En la primera conversación que tuve con Luis [Suárez] y con los representantes de la ONG Geólogos del Mundo, me plantearon conseguir el Objetivo 7 con iniciativas como ésta, y yo les dije que es posible. Pero África necesita un fondo del agua, y España no puede hacer un fondo del agua para África. Sin embargo, la Unión Europea sí, y necesitaríamos una iniciativa de igual calado, con mucha mayor envergadura económica, y para ello hay que comenzar a trabajar. Cuando he llegado hoy aquí, Luis [Suárez] me ha dicho que ya se han puesto a trabajar; han tenido la primera reunión de ámbito europeo de Geólogos del Mundo y han planteado la necesidad de que Europa ponga en marcha una iniciativa, un fondo del agua para África. Esto es fundamental, porque si no fracasaremos en ese objetivo, como podemos fracasar en muchos otros si no tomamos el suficiente impulso, si no vencemos los riesgos y las tentaciones que tienen los países en desarrollo de establecer paréntesis hasta que esta crisis global financiera, real, se solucione y volvamos a poder solucionar los problemas que nos aquejan, tales como el subdesarrollo o el cambio climático.

No es posible dar una respuesta global a crisis globales, y todo el mundo coincide en que la crisis financiera, la crisis alimentaria, la crisis climática, son partes de una misma crisis a la que hacemos frente en el siglo XXI. No podemos intentar dar una solución a una crisis global solamente con soluciones parciales. Desde esta perspectiva les decía que los próximos cuatro años seguiremos estando en América Latina, trabajaremos fundamentalmente en estos ámbitos, pero

Por todo esto vamos a dedicar a la seguridad alimentaria, a la agricultura, una atención preferente a lo largo de nuestro trabajo en los próximos años en la cooperación al desarrollo

la cooperación española va a dar un salto importante —que comenzó a dar en los últimos cuatro años— para estar presente en África.

No podemos cumplir ningún Objetivo de Desarrollo del Milenio, empezando por el primero —acabar con el hambre y la miseria extrema en el mundo—, si no actuamos de forma coherente, de forma conjunta, toda la comunidad internacional y los países desarrollados allí donde se encuentran 28 de los 30 países más pobres del mundo: en África. La cooperación española asume el riesgo y el reto de trabajar en África, de estar presente en África Occidental, en África Subsahariana. Asumimos el reto en este nuevo *Plan Director* de trabajar en países con grandes dificultades, en países en conflicto o postconflicto, como por ejemplo la República Democrática del Congo. Es efectivamente un reto trabajar en países donde la estructura del Estado apenas existe y donde la seguridad y la integridad física de los ciudadanos están amenazadas por el propio Estado y no por guerras con otros Estados. Sin embargo, nuestra presencia, nuestro propósito y nuestro compromiso son firmes, vamos a avanzar sustancialmente en nuestra cooperación, en nuestros proyectos, en nuestra presencia, en nuestra estructura. La cooperación española tiene una importante estructura en el exterior, lo saben aquellos que trabajan en América Latina: nuestras oficinas técnicas de cooperación, la gente, los profesionales con los que trabajamos. Aspiramos a tener una estructura similar en África, poder trabajar de la misma forma en que lo estamos haciendo, con la misma capacidad de inversión en proyectos en África para 2015. Vamos a seguir trabajando en servicios básicos: sanidad y educación. Vamos a dar una importancia fundamental a infraestructuras básicas como el agua. Estamos dando una prioridad muy significativa a la prevención de desastres: nosotros actuamos para atajar las consecuencias dramáticas de los desastres naturales, pero inmediatamente nos ponemos a trabajar en un proyecto para su prevención. Aquí todos ustedes, su Colegio, la organización Geólogos del Mundo, son, como he dicho al principio de mi intervención, voluntarios, cooperantes absolutamente cualificados, que necesitamos para poder trabajar en estos proyectos.

Vamos a trabajar en África para poder avanzar en el primer Objetivo de Desarrollo del Milenio: acabar con el hambre en

el mundo. 974 millones de personas, decía ayer la FAO (Organización para la Agricultura y la Alimentación) —su presidente Jacques Diouf—, se mueren de hambre; más de dos mil millones se mueren por causas de desnutrición, sobre todo niños entre 0 y 5 años, a quienes afectan más severamente las causas de una deficiente alimentación. 500 niños se mueren a la hora. A fuerza de repetir estas cifras parece que nos convertimos en seres más insensibles, pero hay que repetirlas. Sobre todo hay que repetir que es una gran indignidad para todos nosotros que esto se produzca hoy. Primero porque lo sabemos, y segundo, porque somos absolutamente conscientes de que tenemos los recursos necesarios, que disponemos de la tecnología necesaria para que nadie hoy en este planeta tuviera que morir de hambre.

Por todo esto vamos a dedicar a la seguridad alimentaria, a la agricultura, una atención preferente a lo largo de nuestro trabajo en los próximos años en la cooperación al desarrollo. Lo vamos a hacer, como hemos hecho hasta ahora, atendiendo a llamamientos de emergencia, pero sobre todo trabajando en las causas estructurales que generan este déficit y falta de acceso de alimentos básicos en el mundo. Para ello vamos a trabajar con la producción agraria, que es una parte del problema, y con los productores agrarios, los hombres y las mujeres agricultores, que son la otra parte sustancial y fundamental del proceso productivo. Las dos terceras partes de los más pobres del mundo viven en el medio rural. Ellos, los que apenas pueden trabajar su tierra, son precisamente los que engrosan las cifras de los mil millones de muertos de hambre, de los dos mil millones de malnutridos. En esa tarea importante nos vamos a encontrar también, a lo largo del camino por el que tenemos que transitar estos cuatro años en numerosas, múltiples y espero que exitosas ocasiones, con la asociación de su Colegio, Geólogos del Mundo.

Finalizo; espero no haber sido excesivamente larga —le he preguntado a Luis [Suárez] cuánto tiempo debía estar—, tratándose de un acto de trabajo en una cena de Navidad, traer a la secretaria de Estado de Cooperación... Espero haber estado dentro de tiempo; me han dicho que ustedes quieren preguntar, yo contestaré a las preguntas mientras cenan, pero, por favor, señor presidente del Colegio, sírvales ya la cena y que puedan beber y comer.

Finalizo mi intervención agradeciendo sinceramente la oportunidad que me ha ofrecido el Colegio de poder compartir con ustedes esta cena, de permitirme compartir brevemente lo que hacemos desde la cooperación española, y estén absolutamente seguros y convencidos, y no les quepa la menor duda, de que estando Luis [Suárez] de presidente, la relación del Colegio, la relación de Geólogos del Mundo con la Secretaría de Estado de Cooperación será larga y espero que fructífera en los próximos cuatro años.

Muchas gracias.

Distinción a Cristina Narbona y entrega de la insignia de plata a los colegiados con 30 años de antigüedad

El pasado 5 de diciembre se celebró en la sede del ICOG, en Madrid, la entrega de la distinción de Colegiada Honorífica a la ex ministra de Medio Ambiente, Cristina Narbona. En el mismo acto, se hizo entrega de las insignias de plata del Colegio a los colegiados con una antigüedad de 30 años.

TEXTO | José Luis Barrera

FOTOS | Torres & Gómez, S.L.



Figura 1. Vista general de los asistentes.



Figura 2. José Luis Barrera durante la presentación.

Cristina Narbona llegó puntual, como es habitual en ella, a la sede del Colegio. Eran las siete y media de la tarde. Allí estaban ya muchos de los colegiados con 30 años de antigüedad colegial que habían sido citados también a la ceremonia de entrega de las insignias de plata del ICOG. Cristina pasó al despacho del presidente y estuvo departiendo con él y con quien escribe los nuevos avatares que tiene en su cargo de embajadora jefa de la Delegación Permanente de España ante la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), con sede en París. Mientras esto ocurría en el despacho presidencial, los colegiados más antiguos, aquellos que comenzaron

el Colegio y negociaron duramente su creación, continuaban llegando junto a familiares y amigos e iban llenando la sala.

Comienza el acto

Pasados unos minutos de las siete y media dio comienzo el acto, con la sala llena de gente, la mayoría colegiados "treintaañeros" acompañados de familiares (figura 1). La presentación corrió a cargo del vicepresidente primero del ICOG, José Luis Barrera (figura 2), que, brevemente, presentó a las autoridades que constituían la mesa presidencial (figura 3) y describió las dos partes en

que se iba a dividir el acto: en primer lugar se entregaría la distinción a Cristina Narbona y, posteriormente, las insignias a los colegiados.

Cristina Narbona recibe la placa de Geóloga Honorífica

En la primera parte, el presidente del ICOG, Luis E. Suárez, expuso las razones fundamentales del acto, destacando, en el caso de Narbona, su perfil y trayectoria profesional y los motivos por los que se la distinguía como Colegiada Honorífica. A continuación, el secretario leyó el acuerdo de la Junta de Gobierno por el que se le concede la distinción.



Figura 3. Mesa presidencial. De izquierda a derecha: el vicepresidente 1º, José Luis Barrera; el presidente de ICOG, Luis Suárez; Cristina Narbona; y el secretario del ICOG, Manuel Regueiro.

El presidente del ICOG hizo entrega a Cristina Narbona de la placa que la distingue como Colegiada Honorífica, entre una cerrada salva de aplausos. Ella manifestó lo a gusto que había estado con los geólogos durante su mandato como ministra de Medio Ambiente

El presidente le hizo entrega de la placa que la distingue como Colegiada Honorífica, entre una cerrada salva de aplausos (figura 4). Narbona, muy agradecida por la distinción, se acercó al atril y comenzó su parlamento. Respondió al presidente manifestando, entre otras cosas, lo a gusto que había estado con los geólogos durante su mandato como ministra de Medio Ambiente, tanto con los que tuvo en el ministerio, como los que habían actuado de asesores y consultores externos. Finalizado su discurso, Narbona se marchó porque tenía que estar en la cadena SER a las nueve de la noche. En aquel momento eran las ocho y veinte y todavía tenía que atravesar todo Madrid hasta la Gran Vía, sede de la cadena de radio. Se despidió con la afabilidad que le caracteriza y nos emplazó a que continuáramos con nuestro buen hacer profesional, deseándonos muchos éxitos.

Para despedir a Cristina, el acto se interrumpió unos breves minutos que los asistentes se lo tomaron a modo de descanso.

Entrega de las insignias de plata

De la sala no se fue nadie, salvo Cristina Narbona. Barrera, continuando con su labor de moderador, reclamó la presencia

del secretario del ICOG, Manuel Regueiro (figura 5), para que fuera nombrando a los colegidos distinguidos, por orden de antigüedad. El total de distinguidos era de 31, pero sólo pudieron acudir 28 (tabla 1); Manuel Tena-Dávila delegó la recogida de su insignia en José Luis Barrera. En total se impusieron 29 insignias, pero debían haber sido 31. Un error en la ficha colegial provocó que un ilustre colegiado como es Vicente

Crespo, presente en la sala, no tuviera preparada su insignia y, por tanto, no pudiera recogerla. Desde aquí queremos expresarle nuestro más afectuoso cariño y pedimos disculpas por dicho error, pero que conste que lleva 30 años de colegiado. Igualmente, Santiago Leguey tenía prevista su asistencia, pero una enfermedad en el último momento impidió su presencia. Antes del comienzo del acto avisó por correo electrónico de su



Figura 4. Luis Suárez haciendo entrega de la placa de Geóloga Honorífica a Cristina Narbona.



Figura 5. Manuel Regueiro durante su intervención.



Figura 6. José Manuel Baltuille durante su intervención.

circunstancia. No quiero olvidarme del colegiado José Ramón Vidal Romaní, de Coruña, que también excusó su presencia por causas personales.

El momento fue histórico porque allí estaban algunos de los artífices de la creación del ICOG que, durante 30 años, han permanecido fieles a un proyecto profesional que hoy es una gran realidad. No creo que, en tiempos pasados, se

hayan reunido para hablar de aquellos inicios colegiales.

También hay que destacar el esfuerzo de asistir al evento por parte de algunos geólogos que viven fuera de Madrid, como Jordi Corominas, José Francisco Albert, José Quereda, Miguel Campos o Rafael Fernández Rodríguez-Arango. Al resto que no pudo asistir, les recordamos igualmente y esperamos que reciban

Tabla 1. Relación de colegiados que recogieron su insignia

Nombre	Nº colegiado
La Moneda, Emilio	7
Ruiz Reig, Pedro	8
Fernández Pompa, Felipe	11
Capote del Villar, Ramón	12
Abril Hurtado, José	23
Arribas Moreno, Antonio	24
Carpio Cuéllar, Vicente	26
Fernández Casals, M ^a José	28
Baltuille Martín, José Manuel	33
Carbó Gorosabel, Andrés	40
Fernández Rodríguez-Arango, Rafael	43
Santos García, José Antonio	49
Matas González, Jerónimo	66
García Acedo, Juan Luis	71
Pineda Velasco, Antonio	112
Barrera Morate, José Luis	123
Manera Bassa, Carlos	131
Lechosa Estrada, Roberto	132
Albert Beltrán, José Francisco	164
Corominas i Dulcet, Jordi	189
Mirete Mayo, Salvador	237
Quereda Rodríguez-Navarro, José M ^a	257
López Olmedo, Fabián	274
Palacio Suárez, Jaime	275
Nestares Menéndez, Eusebio	293
Prieto Alcolea, Carlos	354
Suso Llamas, Jesús M ^a	361
Campos Vilanova, Miguel	363

la insignia en próximas fechas. A todos, los presentes y ausentes, les felicitamos por su fiel compromiso con el colectivo de geólogos españoles.

Con el secretario en el atril, nombrando uno por uno a cada colegiado, y el presidente de pie con la insignia y diploma en la mano, comenzó la entrega de distinciones. En veinte minutos terminó la entrega pero no el acto. Para concluir, tomó la palabra en nombre de todos los distinguidos José Manuel Baltuille (figura 6), que agradeció públicamente el reconocimiento del Colegio para aquellos compañeros que tantos años han apoyado a la institución.

Finalizado el acto, se sirvió un cóctel en el Hotel Rafael Ventas, próximo a la sede del Colegio, al que asistieron gran parte de los colegiados distinguidos junto a sus familiares, amigos y miembros de la Junta de Gobierno.

Discurso del presidente del Colegio de Geólogos, Luis E. Suárez

Embajadora representante permanente de España ante la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos), Cristina Narbona; miembros de la Junta de Gobierno; distinguidos colegiados; amigos y amigas, buenas tardes a todos.

Éste es el primer acto conmemorativo del trigésimo aniversario del Colegio Oficial de Geólogos (ICOG). El ICOG se creó por la Ley 73 del año 79, el 26 de diciembre de 1978; somos el primer colegio postconstitucional, y eso ha dejado una huella indeleble en nuestra identidad profesional. Este colegio, creado 20 días después de la Constitución española, sigue su senda. Mañana se celebra el trigésimo aniversario de la Constitución, y frente a aquel general que decía que había dejado en España todo atado y bien atado, los españoles hemos sintetizado nuestros valores políticos en la Constitución de 1978, como paradigma de libertad y democracia. Han pasado 30 años que se pueden catalogar como los mejores de la historia de España, tanto desde el punto de vista democrático como desde el punto de vista de desarrollo económico. En este periodo hay una sombra permanente que nos acecha, que es la lacra del terrorismo. No nos podemos callar y no nos callamos ante la barbarie terrorista, y no nos resignamos a perder la batalla de la libertad y la dignidad ante los violentos.

Este año estamos en crisis, debido a que económicamente el mundo en general no ha actuado de forma sostenible. Los que hemos impulsado y luchado por un desarrollo medioambientalmente sostenible comprobamos que la crisis económica ha sido desencadenada por un sistema y unas decisiones económicas insostenibles, basadas en la codicia desmedida y en la desglobalización económica. En España tenemos dos crisis: la financiera, importada internacionalmente, y la crisis por un desarrollo inmobiliario insostenible, consecuencia de la construcción del doble de viviendas de lo que realmente necesitaba el país. Han caído dos muros: en el año 1989 cayó el muro de Berlín, el muro que sustentaba al comunismo; este año ha caído el muro de la calle, la calle del muro, *Wall Street*, y con él ha caído un capitalismo salvaje. Por este motivo tenemos que intentar entre todos una tercera vía, basada en los valores democráticos y en la solidaridad.

La Constitución es la ley de leyes de los españoles, y la ley de creación del Colegio y sus Estatutos es la ley fundamental de los geólogos. En estos 30 años, la Constitución española y los Estatutos de los geólogos han representado los valores democráticos de los españoles y de los profesionales de la geología. Debido a este recorrido común de españoles y geólogos, el geólogo español es un profesional que se parece



mucho al español medio. Los españoles tenemos un desarrollo económico importante, España es la octava potencia en PIB (Producto Interior Bruto) del mundo, y somos un paradigma en desarrollo democrático, partiendo de una dictadura que se colapsó hace 33 años. Los geólogos hemos progresado mucho económicamente y tenemos unos índices de paro muy bajos (del 4%). Somos los creadores de la Primera Conferencia Mundial sobre la Geología Profesional; los impulsores de la Federación Mundial de Geólogos; tenemos entre nosotros al presidente de la Federación Europea de Geólogos, Manuel Regueiro y González-Barros, y estamos impulsando el programa Milenio 2015 para abastecimiento de agua en África. Pero entre los ciudadanos y los poderes públicos deben existir entes estructuradores de la sociedad civil —los cuadros de la sociedad— para romper con la España invertebrada que nos decía Francisco Fernández Ordóñez. Por ello, yo tengo que reivindicar los dos lemas oficiosos del Colegio de Geólogos. Teniendo en cuenta el primero de ellos —la geología al servicio de los ciudadanos—, hemos creado nuestro programa geológico para enviar a todos los partidos políticos en las anteriores elecciones. Nuestro otro lema oficioso es que la competencia sea para el competente y, en consecuencia, la próxima Directiva de Servicios y la introducción al derecho interno español de la misma van a ir en este sentido: que la competencia sea para el competente.

Estamos aquí por los dos motivos: para distinguir a Cristina Narbona como Geóloga Honorífica y para distinguir con la insignia de plata a los geólogos fundadores del Colegio Oficial de Geólogos. La primera vez que tuvimos un encuentro formal con

Cristina Narbona fue en 2001, acompañando al actual presidente del Gobierno, Rodríguez Zapatero, en la cena del Colegio en el restaurante Samarkanda. La segunda ocasión fue en 2004 presentando el programa electoral en materia medioambiental y de infraestructuras del Partido Socialista junto al portavoz de Infraestructuras, Pepe Segura. También en 2005 contamos con Cristina en la cena de Navidad. Y el 21 de noviembre del año pasado (2007) tuvimos el honor de que Cristina Narbona inaugurara esta sede. Al respecto me gustaría contar una anécdota: el viernes anterior a la inauguración me llamó el director de gabinete de Cristina Narbona, Juan Manuel de la Torre, para confirmar la fecha en que tendría lugar el acto. Tal es el cariño que Cristina tiene por los geólogos que, con tan sólo tres días de antelación, hizo hueco en una agenda tan apretada como puede tener una ministra para venir a inaugurar esta sede.

Como bien decía José Luis (Barrera Morate, vicepresidente 1º del ICOG) hace tres años, el nombre de Cristina es la forma femenina de Cristo, que significa "la ungida". La unción es la forma de protección divina de los reyes. Cristina Narbona es nuestra ungida, y por eso la hemos nombrado Geóloga Honorífica. Cristina es licenciada en Ciencias Económicas por la Universidad de Roma y doctora en Economía por esta misma universidad. El 1982, fue viceconsejera de Economía de la Junta de Andalucía y, en 1985, entró a trabajar en el Banco Hipotecario, siendo en los años siguientes una de las primeras mujeres alto cargo de la banca pública española. En 1991 fue nombrada directora general de Vivienda y Arquitectura y, en 1993, secretaria de estado de Medio Ambiente, donde trabajó con geólogos como José Ramón González Lastra, director general de Medio Ambiente. Posteriormente, fue diputada por Almería, portavoz de Medio Ambiente del Grupo Socialista, concejal de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Madrid y secretaria federal de Medio Ambiente del Partido Socialista, para llegar, como estaba previsto por los augures, en el año 2004, a ministra de Medio Ambiente. Las personas que la conocen bien destacan de Cristina su tesón, su perseverancia, una cierta vena rebelde, una diplomacia bien asentada. Es una persona discreta, cordial, accesible y sabe escuchar. Cuando es oportuno, es una persona con mano de hierro en guante de terciopelo. Quizá una de las cosas que más destaque de Cristina sea su seguridad, impropia de los políticos en su comunicación hacia los demás, porque es una comunicadora nata. Es posible que le venga por genética, porque sus padres han sido periodistas, y además Cristina nos ha confesado que, de no haberse dedicado a la política, habría querido ser actriz. Es una veterana del cuerpo a cuerpo político. Recuerdo en 2004 una mesa redonda en Valencia con el consejero de Obras Públicas de la Comunidad Valenciana, García Antón, poco después de la derogación del trasvase del Ebro —no del Plan Hidrológico Nacional, que no se derogó—. Se trataba de una mesa redonda en terreno hostil y Cristina defendió su postura

política con gran brillantez, ganando el debate político en aquella mesa.

El Colegio de Geólogos siempre presenta, ha presentado y presentará sus propuestas en clave ciudadana, preguntándose en qué benefician las mismas a los ciudadanos. Así lo hemos hecho en las reuniones con Cristina, siendo ministra de Medio Ambiente, y con su equipo, y he de reconocer que el diálogo en el Ministerio ha sido franco y constructivo, y que muchas de nuestras propuestas, con las matizaciones necesarias, fueron asumidas en beneficio de los ciudadanos. Así recuerdo cómo el Colegio de Geólogos suscribió un convenio de colaboración con el Ministerio de Medio Ambiente para elaborar un informe sobre la seguridad sísmica y la estabilidad de las laderas de la presa de Itoiz. Quiero resaltar públicamente el esfuerzo de Cristina en la demanda de independencia del Colegio y al equipo de geólogos españoles e internacionales que realizaron el informe final. El Colegio defendió la verdad técnica sobre Itoiz, defendió a los ciudadanos de cualquier sombra de inseguridad sobre esta presa, que hoy está plenamente en funcionamiento gracias al trabajo de todos.

Compartimos asimismo todos los temas derivados de la introducción del derecho interno de la Directiva Marco europea, y las ideas de que las obras hidráulicas no son un bien en sí mismo, sino un instrumento para la mejora de los servicios a los ciudadanos. También hemos compartido algunos temas que han quedado en el tintero, como la reforma de las decimonónicas confederaciones hidrográficas o las restricciones a la competencia en la concesión de explotación de aguas subterráneas. Nuestra querida Concha Toquero, subsecretaria de Medio Ambiente, que a última hora no ha podido asistir a este acto, siempre me dice que pretendo cambiar en cuatro años, en una legislatura, lo que está establecido desde el siglo XIX. Yo siempre le he contestado que el poder nunca se otorga, el poder se toma por métodos democráticos.

Sí que hemos avanzado en estos años, Cristina. En las reuniones, en las mesas redondas, en las comidas en tu despacho, en el CONAMA, en las inauguraciones, en las cenas colegiales, en las conferencias... El equipo de Cristina ha sido siempre sensible a los argumentos de los geólogos, fomentando el principio constitucional de igualdad de oportunidades y el apoyo a nuestros razonamientos. Nosotros siempre tratamos de convencer, porque quien convence siempre vence. Tratamos de convencer, incluso de seducir con nuestros argumentos geológicos a los responsables políticos. Con Cristina fue fácil, porque ella es una defensora de la igualdad de oportunidades y de que la competencia sea siempre para el competente. Por eso se merece que los geólogos españoles le otorguemos la distinción de Geóloga Honorífica.

Muchas gracias.

Discurso de Cristina Narbona

Querido presidente; miembros de la Junta; queridos amigos y amigas del Colegio de Geólogos, muchísimas gracias por esta distinción, muy inmerecida. Los que sois geólogos de verdad habréis tenido que estudiar durante muchos años vuestra disciplina y la ejercéis todos los días con el correspondiente esfuerzo. Pero yo acepto esta distinción en nombre del equipo que me ha acompañado a lo largo de los últimos cuatro años en el Ministerio de Medio Ambiente.

Creo que, en efecto, se ha trabajado para ir incorporando cada vez más la geología en un enfoque multidisciplinar de la realidad, un enfoque mucho más rico que el que ha caracterizado la gestión, por ejemplo, del agua, de los suelos o de la edificación en nuestro país. Creo que los geólogos tienen un importantísimo papel que cumplir para que la toma de decisiones, tanto en el sector público como en el sector privado, se haga cada vez con más rigor, cada vez con más prudencia, y cada vez gestionando mejor los riesgos inherentes a la actividad humana. Ésa ha sido la forma en la que he entendido que debía hacer lo posible para tener colaboradores geólogos. Tuve a José Ramón (González Lastra) en mi etapa de secretaria de Estado de Medio Ambiente, y he tenido en esta última etapa a un magnífico presidente de Confederación Hidrográfica, Jorge Marquínez, también geólogo, que ha venido trabajando de forma muy estrecha con el equipo del Ministerio para precisamente controlar mejor los riesgos naturales y la gestión de las cuencas hidrográficas, en particular los riesgos de avenidas; y, por supuesto, es bueno que haya geólogos dentro de la Administración, como es bueno también que haya geólogos que estén trabajando para la empresa privada.

Ahora vivimos, lo decía muy bien el presidente del ICOG, Luis Suárez, en tiempos de crisis, y la crisis es, sin ninguna duda, una oportunidad para hacer las cosas de otra forma. Lo que está sucediendo tiene que ver con un paradigma que ha primado la ganancia a corto plazo, el beneficio para unos pocos y las decisiones poco prudentes y poco responsables, en muchos casos incluso poco éticas, y el riesgo que corremos en este momento es el de no aprender la lección que hemos recibido, el riesgo de querer seguir haciendo las cosas en el futuro igual que las hemos hecho hasta ahora. Es un riesgo que está ahí, sin ninguna duda, no sólo en España, sino en el mundo en general.

Hay una voluntad desde los responsables públicos de evitar los tremendos daños colaterales de la crisis en todo el mundo, en términos de empleo, en términos de dificultades económicas para las capas más vulnerables de la sociedad,



y esto puede llevarnos, espero que no sea así, a inyectar financiación pública, es decir, dinero de todos nosotros, sin tomar las debidas precauciones —por ejemplo, querer acelerar excesivamente la obra pública—. No deberíamos, en ningún caso, incurrir en mayores riesgos evitando lo que son pasos necesarios en el análisis, en la evaluación de los riesgos, en el diagnóstico del punto de partida respecto a algo tan fundamental como es cualquier infraestructura, como es la construcción de todo tipo. No, yo creo que sobre todo hay una oportunidad.

Ahora me corresponde estar como embajadora ante la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos), una de las mejores plataformas internacionales para observar la realidad, desde un enfoque muy plural, multidisciplinar. La OCDE no es sólo un gran laboratorio de análisis económicos, que es quizá como mucha gente la conoce; la OCDE es también la organización que mide la cantidad y la calidad de la ayuda al desarrollo a nivel internacional, la organización que establece si un determinado flujo es o no considerado como ayuda al desarrollo, y la organización que ha venido fijando criterios para mejorar la calidad de la ayuda al desarrollo. Es también la organización que se ocupa de los paraísos fiscales, esos tremendos agujeros negros donde hoy se esconde más de un cuarto de la riqueza mundial, más de un millón de empresas que se han refugiado en esos paraísos fiscales y han retraído unos flujos enormes de recursos que en estos momentos sería básico poder recuperar. La OCDE es un marco de referencia en numerosas cuestiones que tienen que ver con lo que ahora

llamamos la gobernanza, las reglas del juego que en una sociedad democrática deben seguir tanto quienes están en el sector público como en el sector privado. Hoy, cuando se plantean las respuestas a la crisis sobre este diagnóstico de un paradigma equivocado que ha primado las decisiones poco sostenibles en todos los campos, lo que se está anunciando es una nueva regulación, en aspectos que no estaban regulados, y una mejor regulación allí donde ya lo estaban.

Pero mucho más importante que regular o no regular es que las normas se cumplan, que exista una exigencia de responsabilidad tanto en lo público como en lo privado, que exista una rendición de cuentas, una transparencia que permita que los ciudadanos sepan qué es lo que hace cada uno, tanto si es parte del sector empresarial, de iniciativa privada, como si son personas que pertenecen al sector de lo público. La gobernanza es ese conjunto de actitudes que profundizan en la democracia, que permiten que los ciudadanos sean mucho más protagonistas de su destino.

Sin duda, ésta es una crisis que pone de manifiesto lo que significa la globalización. Hoy no podremos atender a la crisis ni podremos superarla sólo en una parte de nuestro planeta. Algunos, hace unos meses, hacían un análisis muy erróneo, en el sentido de que los grandes países emergentes no iban a verse afectados; algo inconcebible cuando hoy los intercambios comerciales, los flujos financieros, la inmigración... conectan todas las partes del mundo. Y en esa empresa de avanzar hacia una globalización más justa y más sostenible es fundamental también el papel de los profesionales, entre otros, de vosotros los geólogos. Como se ha señalado ya, los países en vías de desarrollo y los países emergentes necesitan grandes cantidades de personas con conocimiento técnico, con capacidad profesional para construir sus propias capacidades; capacidades que, en parte, se ven reducidas por los flujos migratorios hacia los países más ricos. No saldremos solos de esta crisis profunda del actual capitalismo. Saldremos de manera conjunta, de manera coordinada y reajustando el poder a nivel internacional, dando más voz y más presencia en la arquitectura internacional a quienes hoy tienen una dimensión demográfica, económica y tecnológica que obliga a que sean tenidos en cuenta. Y los profesionales, en una situación de crisis como la que estamos viviendo, tienen en sus manos una parte de la respuesta, porque es verdad que la crisis ha tenido que ver con falta de regulación, con falta de ética y con falta de prudencia y de rigor.

Lo que los profesionales pueden y deben aportar, si se les permite hacerlo por parte de quienes demandan sus servicios, es precisamente ese conocimiento, ese rigor, esos elementos para que el principio de precaución deje de ser una frase hueca igual que debe dejar de ser una frase hueca la necesidad de un desarrollo más sostenible, porque o el desarrollo es más sostenible o no tendremos desarrollo. En el fondo, un desarrollo más sostenible es un desarrollo más inteligente, con mayores dosis de inteligencia y de capacidad de mirar más allá del corto plazo y, al mismo tiempo, un desarrollo más responsable, donde cada agente social, político y económico cumpla la función que debe cumplir. Algo que puede parecer muy sencillo de enunciar pero que hemos podido ver lo difícil que ha sido de articular. Para articularlo está el papel de los colegios profesionales que en los próximos años, con motivo, entre otras cosas, de esa transposición de la Directiva Europea en materia de Servicios, podrán y deberán colaborar con una articulación diferente en la prestación de su oferta profesional.

Yo creo que se ha ido caminando en España en una dirección correcta en cuanto a la integración de los profesionales en la vida pública y su reconocimiento a nivel nacional, pero hay que seguir avanzando, porque demasiadas personas se han hecho demasiado ricas sin que en su actuación haya habido el suficiente conocimiento, el suficiente rigor, la suficiente prudencia y precaución. Y para esas virtudes de la convivencia es imprescindible la labor de buenos profesionales. Yo, en su momento, tuve la satisfacción de que otro colegio, el Colegio de Arquitectos, hace algunos años, también reconociera en un acto parecido mi sintonía con ellos y mi esfuerzo por integrarlos.

Tengo una enorme pasión por el conocimiento, todos los días aprendo, y ahora estoy en una situación privilegiada para aprender, y mucho, pero es verdad que cualquier disciplina me ha parecido siempre imprescindible para poder transformar la realidad. Sólo podemos transformar la realidad si la conocemos y la entendemos mejor, y por eso quiero en este acto también agradecer a todos vosotros, en particular a aquellos que más han colaborado conmigo a lo largo de estos años, lo que me habéis permitido aprender. Seguiré intentando hacerlo y os deseo a todos muchísimo éxito en vuestro trabajo.

Gracias.

Luis Suárez, presidente del ICOG, haciendo entrega de la distinción a los colegiados



Colegiado número 7, Emilio de la Moneda González.



Colegiado número 8, Pedro Ruiz Reig.



Colegiado número 11, Felipe Fernández Poma.



Colegiado número 12, Ramón Capote del Villar.



Colegiado número 23, José Abril Hurtado.



Colegiado número 24, Antonio Arribas Moreno.



Colegiado número 26, Vicente Carpio Cuéllar.



Colegiada número 28, Mª José Fernández Casals.



Colegiado número 33, José Manuel Baltuille Martín.



Colegiado número 40, Andrés Carbó Gorosabel.



Colegiado número 49, José Antonio Santos García.



Colegiado número 66, Jerónimo Matas González.



Colegiado número 71, Juan Luis García Acedo.



Colegiado número 112, Antonio Pineda Velasco.



Colegiado número 123, José Luis Barrera Morate.



Colegiado número 131, Carlos Manera Bassa.



Colegiado número 132, Roberto Lechosa Estrada.



Colegiado número 164, José Francisco Albert Beltrán.



Colegiado número 189, Jordi Corominas i Dulcet.



Colegiado número 237, Salvador Mirete Mayo.



Colegiado número 257, José Mª Quereda Rodríguez-Navarro.



Colegiado número 274, Fabián Luis López Olmedo.



Colegiado número 275, Jaime Palacio Suárez.



Colegiado número 293, Eusebio Nestares Menéndez (la recoge en nombre de su padre).



Colegiado número 354, Carlos Prieto Alcolea.



Colegiado número 361, Jesús Mª Suso Llamas.



Colegiado número 363, Miguel Campos Vilanova.

De Iquique a la Cadena Andina: Stairway to Heaven

Apuntes geológicos, botánicos y antropológicos de un viaje por la región de Tarapacá, desierto de Atacama, Chile

Esta crónica surge de un corto, aunque notable, viaje realizado por la costa y hacia el interior de Iquique, en la región de Tarapacá (Chile), en agosto de 2008. El viaje a la Cordillera de Los Andes comienza en el litoral, frente a la imponente Cordillera de la Costa, cuyos acantilados se elevan abruptamente alcanzando en sus cumbres más elevadas los 1.000 m de altitud. Continúa por el núcleo más seco del desierto de Atacama y sigue hacia las profundas quebradas preandinas, estrechos valles donde se asientan ancestralmente comunidades rurales al lado de los escasos y esporádicos cursos de agua. El final del recorrido son Los Andes, con sus volcanes y poblados locales.

Texto | Roberto Oyarzun. Geólogo. Facultad de CC Geológicas-UCM. Paloma Cubas. Botánica Facultad de Farmacia-UCM. Fernando Oyarzun. Licenciado en Turismo. Universidad Arturo Prat (Chile)

Fotos* | Paloma Cubas, Fernando Oyarzun, Roberto Oyarzun

* Salvo indicado

Palabras clave

Atacama, Andes, Chile, geología, yacimientos minerales, botánica, culturas precolombinas

La región de Tarapacá está fisiográfica y climáticamente dividida en una serie de franjas norte-sur que, a su vez, se relacionan con importantes cambios de altitud. En la región reconocemos los siguientes elementos fisiográficos (de oeste a este) (figura 1):

1. La Cordillera de la Costa (CC), que tiene un ancho de unos 40 km a la latitud de Iquique (20°14'S) y acaba frente al mar en abruptos acantilados que pueden alcanzar altitudes de hasta cerca de 1.000 m (figura 2). La costa bañada por la corriente fría de Humboldt es rica en nutrientes y, por lo tanto, en peces, que a su vez sustentan importantes colonias de lobos marinos (*Otaria flavescens*), pelícanos (*Pelecanus thagus*) y cormoranes (*Phalacrocorax brasilianus*) (figura 3).
2. La Depresión Occidental (DO) (figura 4), una ligera depresión tipo cuenca endorreica a unos 1.000 m de altitud, en cuyo borde occidental se desarrollaron las principales mineralizaciones de nitratos (salitre de Chile). Es aquí donde encontramos además la llamada Pampa del

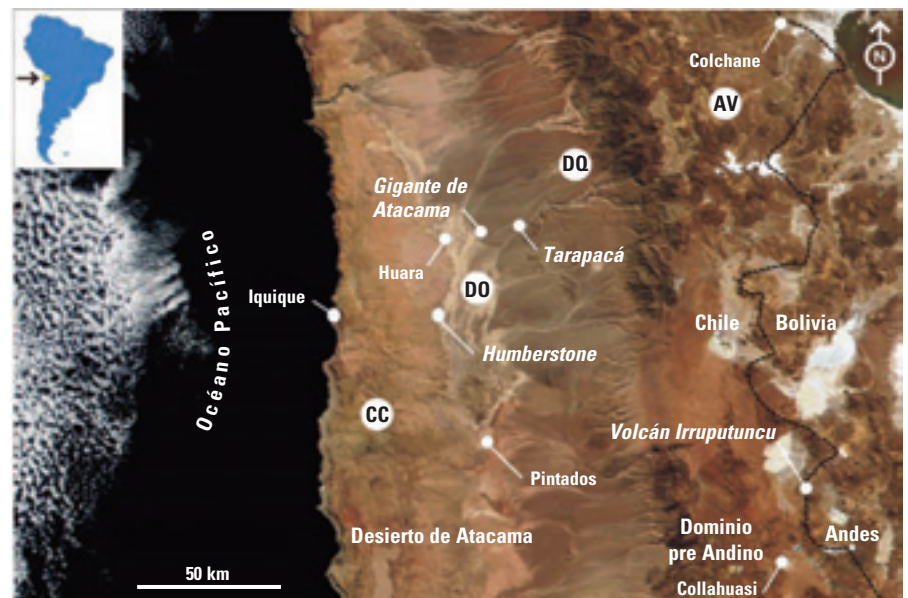


Figura 1. Principales localidades y rasgos fisiográficos mencionados en el trabajo. CC: Cordillera de la Costa; DO: Depresión Occidental; DQ: Dominio de las Quebradas; AV: Altiplano Volcánico (Nasa Visible Earth, 2008). Para ubicación: véase figura superior izquierda.

Tamarugal, donde crecen comunidades de árboles espinosos de tamarugo (*Prosopis tamarugo*), gracias a la presencia de capas freáticas superficiales. La vegetación está muy alterada por la influencia humana y, en su forma actual, corresponde sobre

todo a plantaciones de *P. tamarugo* y *P. alba* (Gajardo, 1994).

3. El Dominio de las Quebradas (DQ), marcado por notables valles flanqueados por un relieve que sube por encima de los 2.000 m y llega hasta unos 3.000 m. Destaca por su importancia

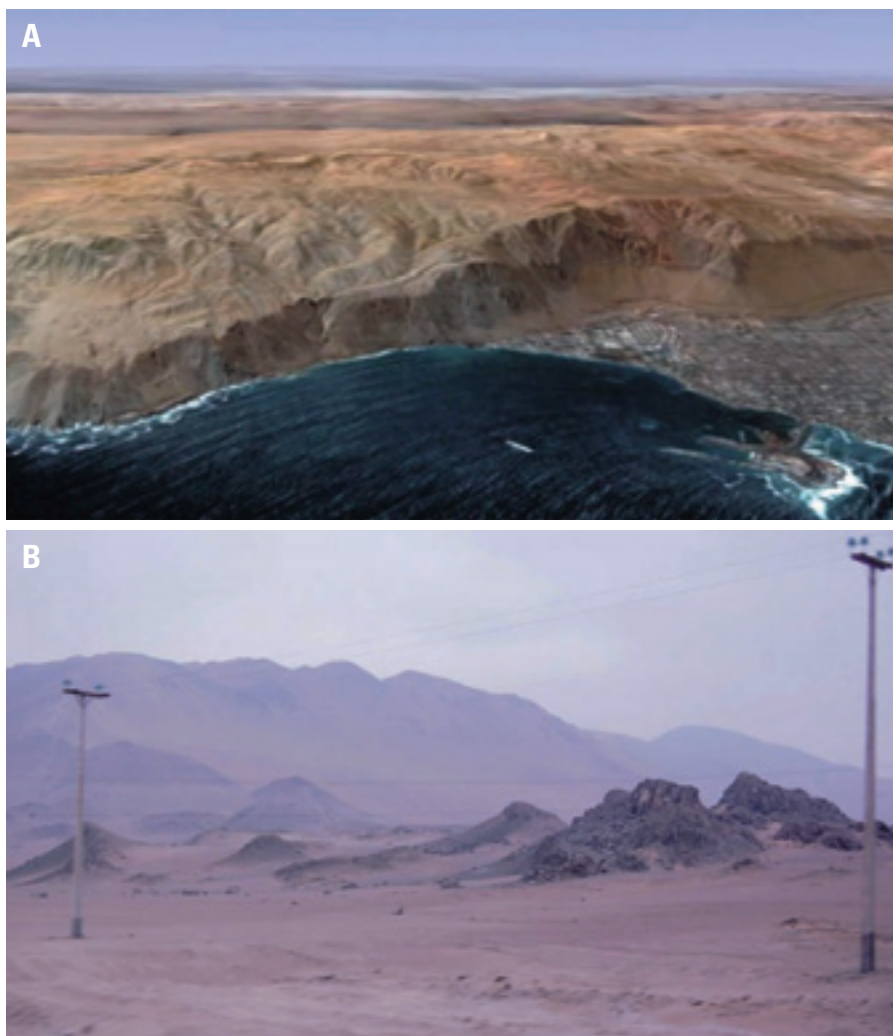


Figura 2. A: Aspecto de la Cordillera de la Costa en Iquique, con cumbres de hasta unos 1.000 m sobre el nivel del mar. Ancho de la imagen: 6,56 km. Imagen: Google Earth oblicua. B: la Cordillera de la Costa al sur de Iquique.

en la zona de estudio la Quebrada de Tarapacá (figura 5). La quebrada presenta sectores con pequeños oasis que permiten la existencia de unos precarios, aunque notables pastizales, y una modesta agricultura que pinta de verde un relieve teñido de colores marrones y ocres. La Quebrada de Tarapacá nace en la alta cordillera y corresponde al curso de agua superficial más importante de este dominio; en su larga trayectoria recibe tributarios habitualmente secos o efímeros (Cade-Idepe, 2004).

4. Por último, tenemos la zona del Altiplano Volcánico (AV), entre unos 3.500 y 4.000 m de altitud, una gran planicie formada principalmente por materiales volcánicos, coronada por grandes volcanes activos que superan los 5.000 m de altitud (figura 6).

La disminución de la presión de oxígeno atmosférico en función de la altitud se traduce en una barrera para el visitante no habituado a esas condiciones

El cambio altitudinal determina también las principales diferencias entre uno y otro clima. El clima del sector litoral (Cordillera de la Costa, CC) está caracterizado por un gran número de días despejados. Los meses de enero, febrero

y marzo presentan temperaturas medias superiores a 24 °C, mientras que las mínimas no descienden de los 16 a 18 °C. Este régimen excepcional sólo se ve perturbado por el fenómeno de la "camanchaca", una niebla costera muy densa que se sitúa entre los 300 y 800 m de altitud y se desplaza hacia el interior movida por vientos del sur y suroeste (Muñoz-Schick *et al.*, 2001) (figura 7). Estas nieblas presentan un potencial hídrico para la obtención de agua potable, lo que ya ha sido experimentado en otras regiones de Chile (Román, 1999).

En la Depresión Occidental (DO) existe un clima desértico que se extiende entre los 800 y 1.500 m. Por encima de esta altitud, y hasta los 2.800 m, las características desérticas se mantienen dentro de una topografía más abrupta. Esta zona corresponde, en la mayor parte de su extensión, al desierto absoluto (figura 8), con grandes zonas en las que las precipitaciones son inexistentes.

Las condiciones climáticas de la precordillera (Dominio de la Quebradas, DQ) se asemejan bastante a las del Altiplano Volcánico (AV), sólo que como las precipitaciones provienen del este, la pluviometría estival es significativamente menor en su borde occidental, no superando por lo general los 200 mm anuales, y desapareciendo casi por completo bajo la cota de los 2.500 m. En cuanto a las temperaturas, los valores límite son también muy parecidos a los del Altiplano Volcánico (AV), fluctuando alrededor del 5 °C como temperatura media anual. La sensación térmica ambiental se encuentra dentro del carácter de las temperaturas de montaña, lo que se suma al enrarecimiento del aire en función de la altitud. Las precipitaciones en el altiplano se caracterizan por una gran variabilidad interanual de modo que a años secos suceden otros de gran pluviometría. Debido a la gran altitud del altiplano las precipitaciones se presentan en forma de aguanieve durante el verano o como nieve en el invierno, existiendo una larga temporada donde la superficie del territorio está nevada. A lo expuesto se debe añadir la disminución de la

presión de oxígeno atmosférico en función de la altitud como una característica climática, la hipoxia hipobárica, llamada comúnmente “puna” en Chile y “soroche” en Bolivia, que se traduce en una barrera para el visitante no habituado a esas condiciones.

Marco geológico

Salvo la esporádica presencia de afloramientos paleozoicos en el fondo de quebradas en el sector preandino (por ejemplo, formación Aroma: Ordovícico-Silúrico), la región de Tarapacá (figura 1) está caracterizada principalmente por unidades del Ciclo Andino que van desde el Jurásico a la actualidad. Si nos desplazamos a lo largo de la carretera internacional de Iquique a Oruro y la Ruta 5N encontramos las siguientes unidades geológicas y fisiográficas (Pinto *et al.*, 2004):

1. La Cordillera de la Costa (CC), con altitudes máximas de unos 1.700 m (por ejemplo, cerro Constancia), está constituida por rocas volcánicas andesítico-basálticas, pertenecientes a la formación La Negra, que en esta zona tiene edades de 170-175 Ma (Jurásico medio) (Oliveros *et al.*, 2006). Estas rocas incluyen grandes tramos masivos, brechas volcánicas e intercalaciones de carácter epiclástico o piroclástico (depósitos de caída), caracterizadas por la neta formación de bancos estratificados (figura 9). Estas rocas han sufrido en mayor o menor grado fenómenos de alteración regional (figura 10), con la típica coloración verdosa y formación masiva de clorita-epidota (propilitización).
2. La Depresión Occidental (DO) y los depósitos de nitrato. Se trata de una ligera depresión tipo cuenca endorreica, a unos 1.000 m de altitud, con depósitos sedimentarios cuaternarios lacustres, aluviales y salinos que incluyen el salar de Pintados. En el borde occidental de esta cuenca se localizan los famosos depósitos de nitrato de Chile (salitre) y las numerosas “oficinas” salitreras (por ejemplo, Santa Laura, Humberstone, Serena, entre muchas otras) desde donde se extrajo



Figura 3. A: Lobo marino (*Otaria flavescens*) en el puerto de Iquique. B: Pelícanos (*Pelecanus thagus*) al sur de Iquique. C: Cormoranes (*Phalacrocorax brasilianus*) al sur de Iquique.



Figura 4. Desierto de Atacama. Al fondo, la Depresión Occidental (sector de colores claros).

este mineral único a escala mundial (figura 11).

Estos depósitos de nitrato natural (NaNO_3) son parte de una faja N-S de unos 700 km con reservas (antes de producción) del orden de unos 250 Mt. El origen de los grandes depósitos de nitrato del desierto de Atacama (Chile) ha sido un tema largamente debatido. A escala global los depósitos de nitrato de Chile constituyen una singularidad, ya que no existen yacimientos equivalentes en ningún otro lugar del planeta. Las hipótesis anteriores para el origen de los nitratos no reconocieron de manera global la importancia del Plateau Volcánico del Altiplano (PVA), unidad geológica del Mioceno al actual, de unos 70.000 km² de extensión. Un trabajo reciente (Oyarzun y Oyarzun, 2007)

A escala global
los depósitos de nitrato
de Chile constituyen
una singularidad,
ya que no existen
yacimientos equivalentes
en ningún otro lugar
del planeta

sugiere que la extrusión de un volumen de 10⁴ km³ de rocas piroclásticas en el PVA (Allmendinger *et al.*, 1997; Babeyko *et al.*, 2002) puede haber generado las condiciones necesarias para inducir la fijación térmica y eléctrica de unas 2.800 Mt de nitrógeno atmosférico en la forma de compuestos del tipo NO_x. Esta cifra excede la cantidad de nitrógeno requerida para formar los depósitos de nitrato del desierto de Atacama. Así, el origen de los depósitos de nitrato podría encontrarse en la combinación de:

- Condiciones hiperáridas (vitales para la estabilización final y preservación de la fase mineral de NaNO_3).
- Vulcanismo masivo (clave para la fijación de grandes cantidades de nitrógeno atmosférico). Las erupciones volcánicas pueden tener muchas más implicaciones ambientales de las que usualmente se les suele conceder, contribuyendo de manera decisiva a los ciclos globales de muchos elementos y compuestos químicos.

3. El Dominio de las Quebradas (DQ). Cuando dejamos la Depresión Occidental rumbo al este, el relieve crece por encima de los 2.000 m y hasta algo más de 3.000 m, con depósitos sedimentarios clásticos continentales pertenecientes a la formación El Diablo (Mioceno medio a superior) (figura 12). Luego, aparecen rocas sedimentarias y volcánicas



Figura 5. Quebrada de Tarapacá en el sector de la localidad de Pachica.

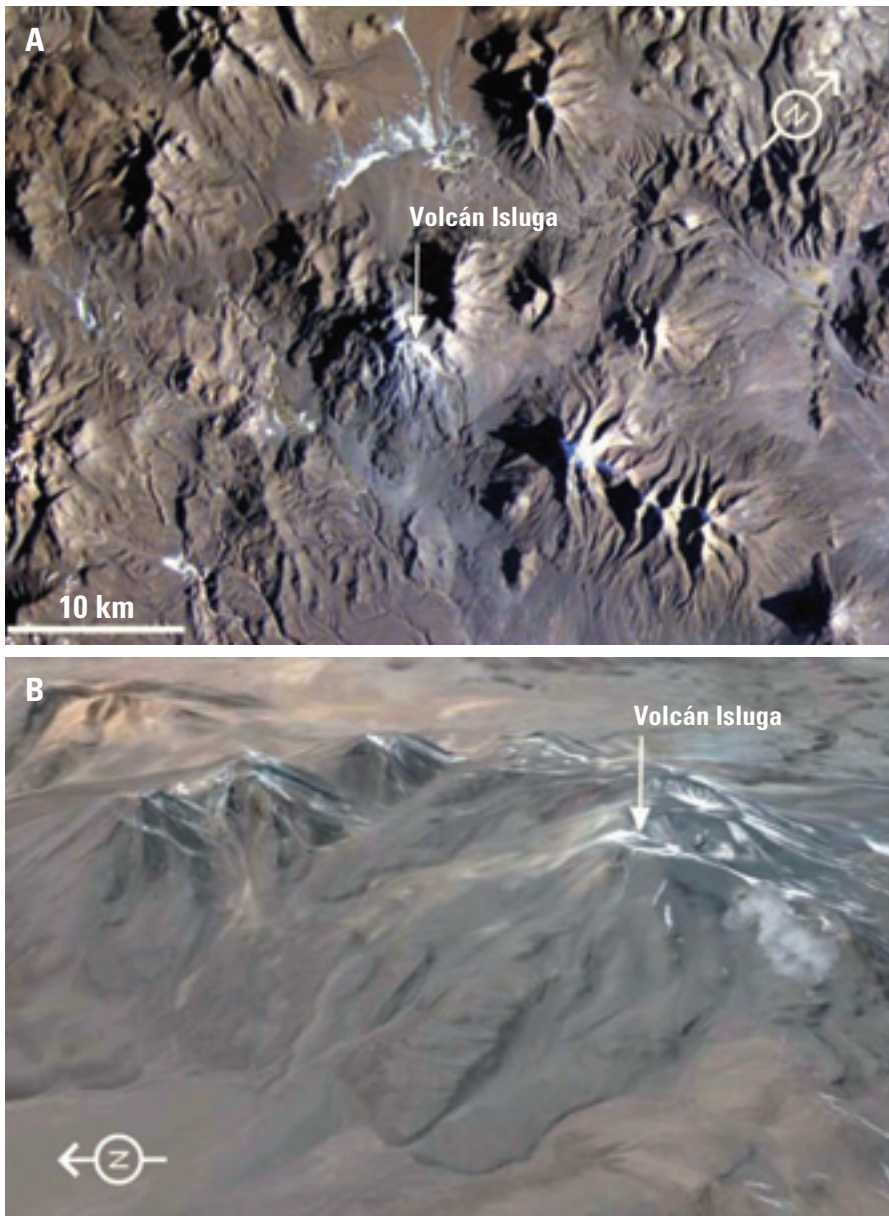


Figura 6. A: El complejo volcánico Isluga, al noroeste de Colchane, con el volcán del mismo nombre (5.500 m) en el centro de la imagen. NASA Space Shuttle image ISS009-E-6849, 2004 (Global Volcanism Project, 2008a). B: El volcán Isluga en imagen oblicua Google Earth.



Figura 7. El fenómeno de las nieblas de la camanchaca cerca de Punta Pataches (Iquique) (Larraín, H., 2008).

pertenecientes a la formación Altos de Pica (Oligoceno superior-Mioceno inferior), que encontramos por encima de los 2.500 m de altitud. Por último, más al este, en el sector preandino, encontramos en el fondo de las quebradas afloramientos de formaciones paleozoicas (formación Aroma) o del Jurásico superior (formación Coscaya).

La formación El Diablo consiste en una potente y conspicua secuencia de sedimentos clásticos continentales, mientras que las otras unidades incorporan importantes facies piroclásticas

En el entorno de la Quebrada de Tarapacá el substrato corresponde a la formación Coscaya (Sinemuriense-Oxfordiense), sobre la cual se dispone en discordancia angular la formación Altos de Pica (Oligoceno superior a Mioceno inferior) (figura 13). A su vez, sobre esta última se disponen las gravas de la formación El Diablo (figura 12). Más al norte, la formación Altos de Pica ha sido subdividida en tres formaciones diferentes: Azapa, Oxaya y El Diablo (L. Pinto; *com. pers.*). De esta manera, la formación El Diablo podría ser considerada también como el miembro superior de la formación Altos de Pica. No obstante, recordemos que la formación El Diablo consiste en una potente y conspicua secuencia de sedimentos clásticos continentales, mientras que la otras unidades incorporan importantes facies piroclásticas. En otras palabras, El Diablo se merece el estatus de formación, pudiendo ser considerada como una clásica molasa, producto, en este caso, del desmantelamiento

de la Cadena Andina, que incorpora, no obstante (como sería de esperar), intercalaciones discretas de rocas piroclásticas, normalmente de ceniza volcánica.

4. Más arriba, hacia el este, aparecen las rocas volcánicas andesíticas del Mioceno medio a superior, los salares preandinos (equivalentes al salar de Atacama) como el de Huasco (*figura 14*) y, por último, el arco volcánico actual (Altiplano Volcánico) sobre los 4.000 m (*figura 15*). El salar Huasco consiste en un cuerpo evaporítico-sedimentario situado a una altitud aproximada de unos 3.800 m. La cuenca de drenaje del salar se extiende a lo largo de una superficie aproximada de 1.500 km², mientras que el propio salar se localiza en el sector sur de dicha cuenca y cubre un área de unos 50 km² (López Julián y Garcés Millas, 2002).

El salar Huasco consiste en un cuerpo evaporítico-sedimentario situado a una altitud aproximada de unos 3.800 m, cuya cuenca de drenaje del salar se extiende a lo largo de una superficie aproximada de 1.500 km²

En este mismo entorno se desarrollaron fenómenos metalogénicos de primera magnitud, con formación de importantes yacimientos del tipo pórfido cuprífero-molibdeno y grandes sistemas filonianos (Dick *et al.*, 1994). Estos yacimientos se enmarcan dentro de la provincia metalogénica de pórfidos cupríferos del Eoceno-Oligoceno. Hablamos del distrito de Collahuasi, que incorpora los yacimientos de Quebrada Blanca,



Figura 8. El núcleo hiperárido del desierto de Atacama.



Figura 9. Afloramientos andesíticos en la costa al sur de Iquique. A: Andesitas brechoideas fuertemente propilitizadas. B: Transición de las facies brechoideas (primer plano) a facies epiclásticas o piroclásticas bien estratificadas.



Figura 10. Fenómenos de alteración. A: Vena de epidota masiva en andesita, los piroxenos están fuertemente alterados a clorita. B: Venillas de jaspe y epidota.

la Grande, Rosario, Ujina y Profunda, todos ellos localizados entre cotas de 4.000 a 4.800 m de altitud (figura 16). A éstos hay que sumar el yacimiento exótico de cobre de Huiniquintipa, emplazado en gravas y que constituye facies distales oxidadas relacionadas espacialmente con el yacimiento de Rosario.

Comunidades vegetales

A pesar de su localización en el desierto de Atacama, la región presenta algunos hábitats bien definidos donde la vida vegetal se desarrolla, en ocasiones, en condiciones de una extrema precariedad. De oeste a este se pueden definir cuatro

hábitats principales. El primero son los oasis de niebla costeros donde la influencia oceánica disminuye la aridez del desierto de Atacama gracias al fenómeno de la "camanchaca" (véase Clima), que configura un clima desértico litoral (Muñoz-Schick *et al.*, 2001). Estos autores reconocen en este ambiente un total de 72 especies de plantas vasculares: dos pteridófitos, una gimnosperma y 69 angiospermas (plantas con flores). Dentro de este último grupo dominan las asteráceas y las solanáceas. A pesar de la hiperaridez de la Depresión Occidental, en sectores de ésta encontramos el ecosistema desértico de la Pampa del Tamarugal. Este ecosistema se desarrolla bajo un clima caracterizado

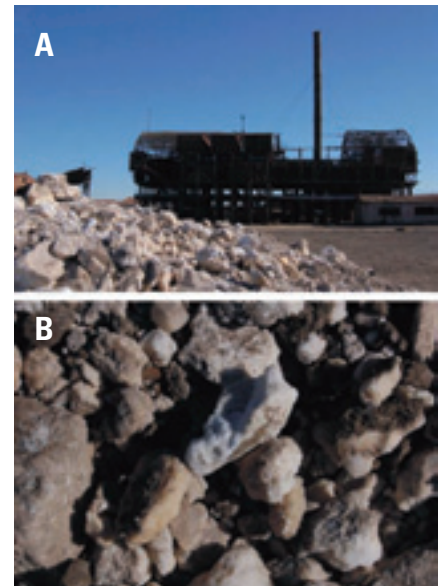


Figura 11. A: Oficina salitrera Santa Laura. B: Nitratos en la misma oficina.

La región presenta algunos hábitats bien definidos donde la vida vegetal se desarrolla, en ocasiones, en condiciones de una extrema precariedad

por elevadas temperaturas diurnas, gran oscilación térmica diaria, carencia casi absoluta de precipitaciones, presencia ocasional de neblinas, baja humedad relativa y alta radiación solar. En determinadas zonas, donde se acumula el agua subterránea, es capaz de sobrevivir el tamarugo (*Prosopis tamarugo*), un árbol autóctono de la familia de las leguminosas que puede alcanzar los 15 m de altura (Habit *et al.*, 1980). Luego, tenemos el matorral desértico de cactáceas (que trataremos a continuación) y, por fin, en el piso superior, en la zona precordillerana (3.200 a 4.000 m), encontramos matorrales bajos en sus laderas. A este último hábitat corresponden los bosques de Queñoa, y en el altiplano (sobre los 3.800 m) se distinguen dos tipos de praderas: la de



Figura 12. Gravas de la formación El Diablo (carretera de Iquique a Oruro).

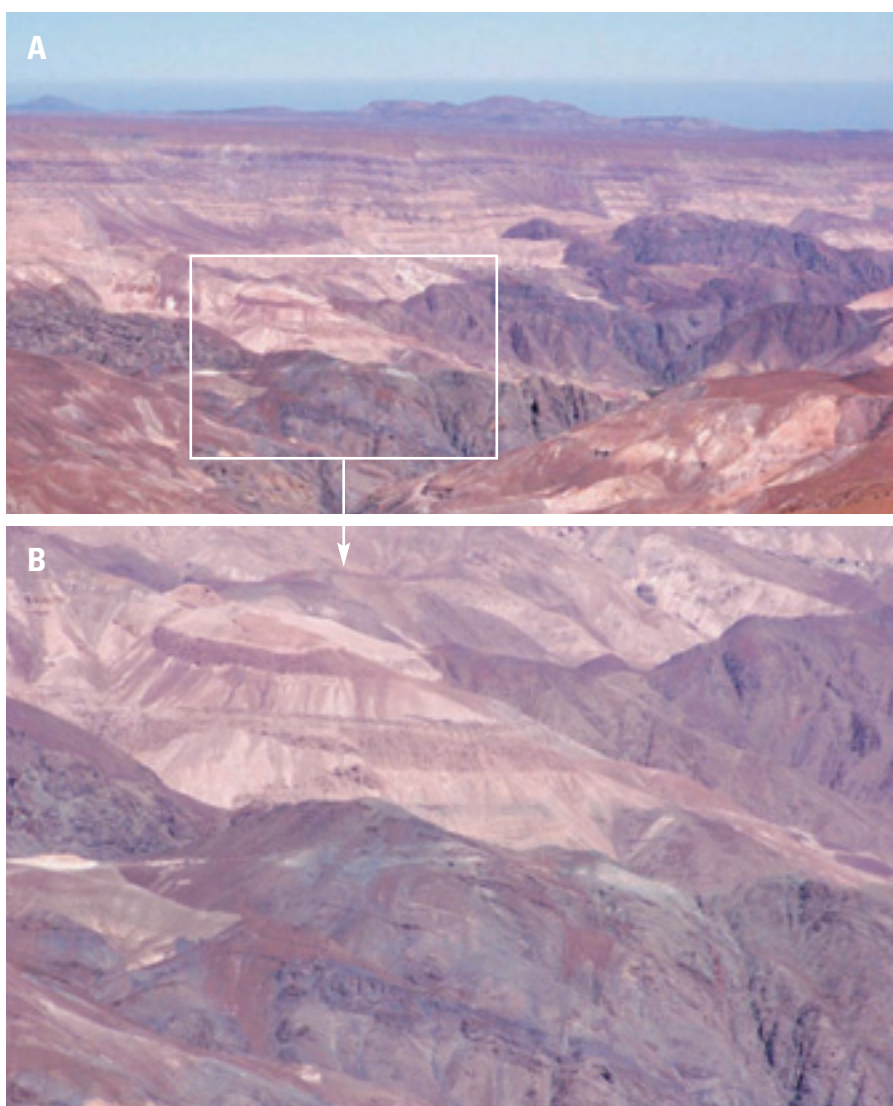


Figura 13. Quebrada de Tarapacá. A: Formación Altos de Pica (colores claros: rocas piroclásticas) en discordancia sobre la formación Coscaya (colores oscuros). B: Detalle de la anterior.

secano y la húmeda, en la que destacan los bofedales.

En las planicies y laderas del Dominio de las Quebradas, entre los 2.000 y 3.000 m, crece una vegetación abierta, cuya cobertura no supera el 10%, dominada por la presencia de cactáceas columnares y arbustos bajos. Son plantas características *Corryocactus brevistylus* (guacalla) (figura 17), *Oreocereus hempelianus* (achacaño) (figura 18), *Haageocereus fascicularis*, *Ambrosia artemisioides* y *Browningia candelaria* (candelabro), esta última muy escasa. Las especies asociadas más frecuentes son *Atriplex imbricata*, *Opuntia sphaerica* y *Notholaena nivea*, que crece entre las rocas (Luebert, 2004). Destacan especialmente en el paisaje las guacallas, a menudo arborescentes, que alcanzan hasta 5 m de altura, con ramas gruesas y articuladas cubiertas por largas espinas (Hoffmann, 1989). La vegetación con cactáceas de las planicies y laderas va desapareciendo al descender hacia el fondo de las quebradas, hasta transformarse en una comunidad boscosa riparia, muy modificada por la actividad humana. A unos 3.000 m de altitud el matorral se hace progresivamente más complejo en cuanto al número de especies, ya que muchas plantas del altiplano descienden hasta esta altura.



Figura 14. Salar Huasco.

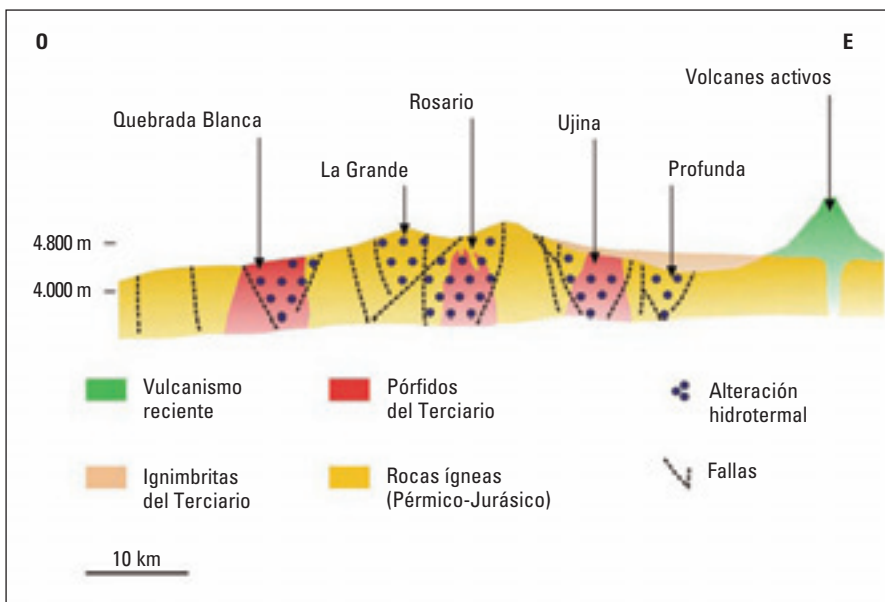


Figura 16. Corte geológico esquemático a lo largo del distrito de Collahuasi. Basado en Dick et al. (1994).

Culturas precolombinas

En la zona de estudio floreció la denominada cultura Pica-Tarapacá (900-1500 d.C.). A este periodo de tiempo se pueden asociar los grandes geoglifos que se encuentran en diversos lugares de la región de Tarapacá, por ejemplo el Gigante de Atacama (figura 19), que se correlacionan con el llamado periodo del Desarrollo Regional (Briones *et al.*, 2005). De acuerdo a Jofré Poblete (2003), las primeras investigaciones arqueológicas en la sierra de Arica (al norte de la zona

de estudio) evidencian una intensa ocupación desde comienzos del 1000 d.C. Este momento de desarrollo regional se conoce como Periodo Intermedio Tardío y comprende desde el 1000 al 1400 d.C. Las sociedades que habitaron la región de Tarapacá durante el Periodo Intermedio Tardío han sido definidas como señoríos, sociedades de prestigio y rango, situación supuestamente compartida por las poblaciones del Norte Grande de Chile y, en general, por las sociedades de los Andes centro-sur. Estos señoríos perseguían el interés básico de las

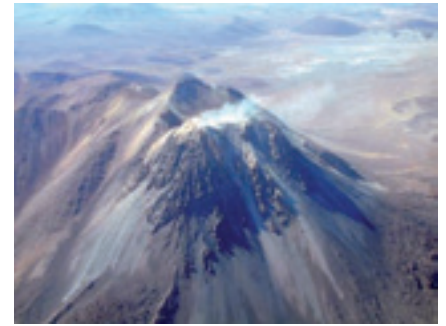


Figura 15. Volcán Irruputuncu (Global Volcanism Project, 2008b).

En la zona floreció la denominada cultura Pica-Tarapacá (900-1500 d.C.). A este periodo de tiempo se pueden asociar los grandes geoglifos que se encuentran en diversos lugares de la región de Tarapacá

poblaciones andinas: la autosuficiencia social y económica.

Uribe (2006) señala que al sur de Arica y sus valles comienza una región arqueológica diferente (Tarapacá) en cuyo paisaje se van configurando ámbitos subregionales que desde antiguo regularon el carácter y tipo de los asentamientos humanos. Entre éstos se pueden mencionar (de este a oeste) los siguientes:

- El altiplano con estepas de pastos duros y bofedales, y las cuencas y salares interiores óptimos para la caza y el pastoreo (por ejemplo, Coposa y Huayco).
- El plano inclinado que desciende hacia la Depresión Occidental, con quebradas alternadas por el desierto absoluto.
- Estas quebradas interrumpen su curso en un tercer ámbito, correspondiente



Figura 17. Corryocactus brevistylus (guacalla) en la carretera de Iquique a Oruro (3.000 m). A: Aspecto general de la planta. B: Detalle de una rama. C y D: Las características flores amarillas de esta cactácea.

a la depresión conocida como la Pampa del Tamarugal (en la Depresión Occidental).

- Esta última está limitada hacia el oeste por la Cordillera de la Costa, con un fuerte acantilado y estrechas plataformas o playas, casi sin recursos de agua corriente. Esto condiciona un litoral muy desértico, pero altamente rico en recursos marinos de recolecta, pesca y caza, mantenidas por aguadas y la densa niebla costera (camanchaca).

Los pueblos andinos actuales: la población aymara

Una de las características que identifica a los habitantes de los municipios rurales de la región cordillerana es la pertenencia de la mayoría de su gente a la cultura indígena aymara (figura 20). Ésta es una de las diversas culturas precolombinas existentes en Sudamérica, que se concentra en Chile, en la región de Tarapacá. Durante los últimos 150 años, el pueblo aymara se ha visto sometido a importantes cambios que han

desestabilizado en parte su modo de vida. Esto ha forzado de alguna manera su incorporación a la sociedad chilena, lo que ha sido destructivo para su identidad cultural. La situación de pobreza y marginalidad urbana, junto con la discriminación, han determinado que muchos aymaras hayan preferido renunciar a su condición indígena para aspirar a una mayor integración en la sociedad. En 1993, los aymaras se organizaron para defender sus derechos; se promulga la Ley Indígena y se crea la Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (CONADI), como una institución pública descentralizada encargada de “promover, coordinar y ejecutar la acción del Estado a favor del desarrollo integral de las personas y comunidades indígenas, especialmente en lo económico, social y cultural, y de impulsar su participación en la vida nacional”. Se estableció entonces un Área de Desarrollo Indígena en la provincia de Iquique, la ADI “Jiwasa Oraje”, que contempla territorios de cinco municipios rurales en los que viven aproximadamente 3.756 habitantes

indígenas. Sin embargo, a nivel sectorial no se ha aplicado una política educacional intercultural bilingüe que incluya la lengua aymara en la formación del niño, perdiéndose así gran parte de la memoria histórica de este pueblo. Las políticas públicas se han orientado a llevar beneficios y programas destinados a favorecer el modelo urbano y el asentamiento de unidades poblacionales.

Epílogo

La región de Tarapacá ofrece múltiples oportunidades para el visitante interesado en *algo más que sol y playa*. Poníamos como subtítulo de este cuaderno de viaje: *De Iquique a los Andes: Stairway to Heaven*. Esto es exactamente lo que encontraremos en nuestro viaje a la Cadena Andina si iniciamos el recorrido en Iquique: *una escalera al cielo*. Podemos añadir que pocas regiones en el mundo, en tan pocos kilómetros, ofrecen los impresionantes contrastes fisiográficos, ecológicos y antropológicos que presenta la región de Tarapacá.



Figura 18. *Oreocereus hempelianus* (achacaño) en la carretera de Iquique a Oruro (3.000 m). A: Aspecto general de la planta. B: Detalle de la flor roja de esta cactácea.



Figura 19. El Gigante de Atacama: geoglifo del Cerro Unitas. Figura de más de 80 m de altura.

Bajo un punto de vista geológico, la región nos ofrece la oportunidad de *recorrer* 170 millones de años de evolución geológica andina en pocas horas y kilómetros, desde los imponentes afloramientos andesíticos de la Cordillera de la Costa hasta el vulcanismo reciente de la Cadena Andina, pasando por singularidades geológicas a nivel mundial como los depósitos de nitrato o los potentes depósitos de gravas que nos muestran el producto final del desmantelamiento de una cadena de montañas. En este sentido, no puede faltar una visita a las salitreras de Humberstone y Santa Laura, que poseen el estatus de Patrimonio de la Humanidad.

El visitante interesado, además, en los aspectos biológicos de un entorno tan notable y hostil como el desierto de Atacama, apreciará sin duda las importantes colonias de aves y leones marinos de la costa y, por supuesto, las comunidades de plantas que crecen en el Dominio de las Quebradas. Destacamos entre estas últimas las cactáceas, que para el visitante europeo siempre resultan extraordinariamente atractivas por su ausencia en el viejo mundo.

Quienes disfruten de la arqueología, encontrarán en la región de Tarapacá auténticos tesoros de categoría mundial. Destacan entre estos últimos los grandes geoglifos, como la figura del Gigante del Desierto.

Por último, la zona es de fácil acceso, hay vuelos directos diarios de Santiago a Iquique, y dentro de la región la red de carreteras (asfaltadas o pistas) permite un acceso fácil al visitante. Recomendamos en particular la ruta internacional de Iquique a Oruro, casi completamente asfaltada. La única precaución a tener en cuenta es la altura, ya que en pocas horas se pasa literalmente de 0 a 4.000 m. Lugares de obligada visita son el Cerro Unitas y Pintados (geoglifos), Humberstone-Santa Laura (salitreras) o Tarapacá e Isluga (poblados del interior). La región es espectacular, reserve al menos una semana para su primera visita.



Figura 20. La localidad de Isluga (al noroeste de Colchane), sector de la iglesia.

Nota

Si se desea complementar esta lectura con material audiovisual, cargue YouTube con las palabras “Estudiar Geología: los nitratos de Atacama” (Parte 1 y 2) y “Aves en el norte de Chile: pelícanos y cormoranes”.

Agradecimientos

A Luisa Pinto, profesora del Departamento de Geología de la Universidad de Chile (Santiago), quien tuvo la paciencia de intercambiar varios correos electrónicos con uno de los autores (RO) sobre la geología de la Quebrada de Tarapacá. Luisa, nuevamente, muchas gracias.

Bibliografía

- Allmendinger, R. W.; Jordan, T. E.; Kay, S. e Isacks, B. L. (1997). The evolution of the Altiplano-Puna plateau of the central Andes, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 25, 139-174.
- Babeyko, A. Y.; Sobolev, S. V.; Trumbull, R. B.; Oncken, O. y Lavier, L. L. (2002). Numerical models of crustal scale convection and partial melting beneath the Altiplano-Puna plateau, *Earth and Planetary Science Letters*, 199, 373–388.
- Briones, L.; Núñez, L. y Standen, V. (2005). Geoglifos y tráfico prehispánico de caravanas de llamas en el Desierto de Atacama (Norte de Chile), *Chungará*, 37, 195-223.
- Cade-Idepe (2004). *Cuenca Quebrada de Tarapacá*, Gobierno de Chile, Dirección General de Aguas. http://www.sinia.cl/1292/articles-31018_Tarapaca.pdf
- Dick, L. A.; Chávez, W. X.; Gonzales, A. y Bisso, C. (1994). Geologic setting and mineralogy of the Cu-Ag-(As) Rosario vein system, *SEG Newsletter*, Collahuasi District, Chile, 19, 6-11.
- Gajardo, R. (1994). *La vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica*, Editorial Universitaria, Santiago, 165 pp.
- Global Volcanism Project (2008a). *Isluga: Photo*, Smithsonian Institution, Washington. <http://www.volcano.si.edu/world/volcano.cfm?vnum=1505-03=&volpage=photos&photo=112048>
- Global Volcanism Project (2008b). *Irruputuncu: Summary*, Smithsonian Institution, Washington. <http://www.volcano.si.edu/world/volcano.cfm?vnum=1505-04=&volpage=photo>
- Habit, M.; Contreras, D. y González, R. H. (1980). *Prosopis tamarugo: arbusto forrajero para zonas áridas*, Estudio FAO: Producción y Protección Vegetal, 25. <http://www.fao.org/docrep/006/AD318S/AD318S00.htm>
- Hoffmann, A. E. (1989). *Cactáceas en la flora silvestre de Chile*, Ediciones Fundación Claudio Gay, Santiago, 272 pp.
- Jofré Poblete, D. (2003). *Una propuesta de acercamiento al patrimonio arqueológico de la comunidad de Belén (región de Tarapacá, Chile)*, *Chungará*, 35, 327-335.
- Larraín, H. (2008). *Oasis de niebla de Alto Patache. Eco-antropología*. <http://eco-antropologia.blogspot.com/2008/02/oasis-de-niebla-de-alto-patache.html>
- López Julián, P. y Garcés Millas, I. (2002). Evolución química de las salmueras del salar de Huasco (Chile) en condiciones experimentales controladas, *Revista de la Real Academia de Ciencias, Zaragoza*, 57, 201-209.
- Luebert, F. (2004). Apuntes sobre la vegetación de bosque y matorral del desierto precordillerano de Tarapacá (Chile), *Chloris Chilensis*, 7, 1. <http://www.chlorischile.cl>
- Muñoz-Schick, M.; Pinto, R.; Mesa, A. y Moreira Muñoz, A. (2001). Oasis de neblina en los cerros costeros del sur de Iquique, región de Tarapacá, Chile, durante el evento El Niño 1997-1998, *Revista Chilena de Historia Natural*, 74, 389-405.
- Nasa Visible Earth (2008). *Lake Titicaca (Peru and Bolivia) and Salar de Uyuni (Bolivia)*. http://visibleearth.nasa.gov/view_rec.php?id=2088
- Oliveros, V.; Féraud, G.; Aguirre, L.; Fornari, M. y Morata, D. (2006). The Early Andean Magmatic province (EAMP): $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating on Mesozoic volcanic and plutonic rocks from the Coastal Cordillera, northern Chile, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 157, 311-330.
- Oyarzun, J. y Oyarzun, R. (2007). Massive volcanism in the Altiplano-Puna Volcanic Plateau and formation of the huge Atacama Desert Nitrate Deposits: A case for thermal and electric fixation of atmospheric nitrogen, *International Geology Review*, 49, 962-968.
- Pinto, L.; Hérail, G. y Charrier, R. (2004). Sedimentación sintectónica asociada a las estructuras neógenas en la Precordillera de la zona de Moquella, Tarapacá (19°15'S, norte de Chile), *Revista Geológica de Chile*, 31, 19-44.
- Román, R. (1999). Obtención de agua potable por métodos no tradicionales, *Ciencia al Día Internacional*, 2. <http://www.ciencia.cl/CienciaAlDia/volumen2/numero2/articulos/articulo2.html>
- Uribe, M. (2006). Acerca de la complejidad, desigualdad social y el Complejo Cultural Pica-Tarapacá en los Andes centro-sur (1000-1450 d.C.), *Estudios Atacameños*, 31, 91-114.

La teledetección espacial: una aproximación multisensor en la determinación de cambios en entornos semiáridos

La utilización de la teledetección espacial para el estudio de la superficie terrestre no ocupa un lugar acorde con sus logros y perspectivas en la mayor parte de centros de investigación y universidades interesados en estudios territoriales, lo que se refleja en planes de estudio donde esta disciplina se presenta de forma marginal. Esto contrasta con la profusa utilización que de estas técnicas han hecho y hacen los servicios de defensa nacionales.

TEXTO I José Gumuzzio, Dpto. de Geología y Geoquímica, UAM. José A. Rodríguez Esteban, Dpto. de Geografía, UAM. Thomas Schmid y Magaly Koch, Dpto. de Medio Ambiente, CIEMAT. M. Koch, Center of Remote Sensing, Boston University

Palabras clave

Historia de la teledetección, cambios espacio-temporales, desertificación, degradación de humedales, Comunidad de Madrid, Tablas de Daimiel, hiperspectral, endmembers

¿Por qué todavía se utiliza poco la teledetección? Las explicaciones son, lógicamente, diversas, y llevan, por una parte, a considerar el peso de la tradición frente a la innovación (o quizá habría que hablar de su no siempre fácil engarce), pasan por las políticas que dificultan la consulta de datos espaciales, practicadas de manera sistemática por las Administraciones¹, y alcanzan a razonamientos del tipo: la observación directa sigue siendo imprescindible y para las perspectivas de conjunto están las más precisas imágenes tomadas desde los aviones. Para el sector castrense, las ventajas han sido siempre evidentes, tanto por la necesidad de observar las actividades militares de otros países, como por la imposibilidad de hacerlo ante la protección que sobre el espacio aéreo establece la Convención de Chicago de 1944.

Los inicios y evolución: condicionantes de los programas militares y campos de acción de los civiles

Los primeros lanzamientos fuera de la atmósfera portando cámaras fotográficas se realizaron en 1947, en Estados Unidos,



Figura 1. Un C-119 recupera en el aire la cápsula de reentrada conteniendo fotografías del satélite espía KH-1 del programa Corona. Air & Space Power Journal.

donde los técnicos militares modificaron las V-2 capturadas a los alemanes para "fotografiar las nubes" desde una altura de 110-165 km. Las primeras fotografías obtenidas de Nuevo México (EE UU) hicieron pensar que, ciertamente, nunca se podrían obtener imágenes útiles para observar la superficie terrestre.

Tras el inicio de la era espacial con el lanzamiento del Sputnik en 1957, se produce un hecho muy significativo que daría un gran valor militar a la observación de la Tierra desde el espacio: pese a que estos artefactos sobrevolaban una y otra vez distintos Estados, no se produjo ninguna reacción legal sobre

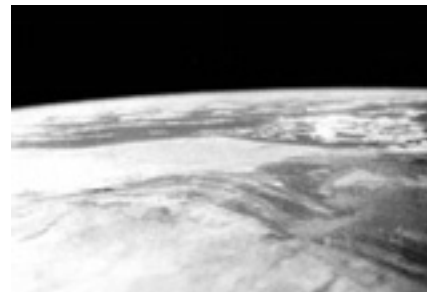


Figura 2. La cordillera del Atlas africano fotografiado desde el espacio por John Glenn desde el Friendship 7 en 1962. NASA: Earth from Space.

la violación de su espacio aéreo por parte de ninguna nación, lo que de alguna manera vino a asimilar, en este aspecto, el Derecho espacial al Derecho del mar, donde se reconoce el paso inocente o de tránsito. Ciertamente, la hegemonía política de EE UU y la URSS, principales Estados con capacidad espacial en esos momentos, las presiones ejercidas por la comunidad científica internacional a lo largo de la celebración del Año Geofísico Internacional (de julio de 1957 a diciembre de 1958), y la sensación generalizada de que estos logros inauguraban una nueva era ayudaron decididamente en su desarrollo inicial.

1. Algunos hitos en el cambio de tendencia fueron: la desclasificación de materiales firmada por la Administración Clinton en febrero de 1995, la eliminación de la fuente de error intencionada en las transmisiones de los satélites GPS en 2001, también por la Administración Clinton, en alguna medida la conciencia creada en EE UU por los movimientos a favor de la "socialización del píxel" y, de forma muy significativa, la aparición de Google Earth, en 2005.



Figura 3. Primera cámara fotográfica llevada al espacio por Jhon Glenn portando una película convencional y una ultravioleta muy sensible. Smithsonian National Air and Space Museum.

Estos hechos agrandaron el interés militar por desarrollar técnicas espaciales de observación de la superficie terrestre, mientras que la escasa resolución de las pruebas realizadas enfocó todos los esfuerzos civiles al estudio de las nubes en particular y de la meteorología en general (TIROS-1, en 1960, y Nimbus-1, en 1964). Los programas militares se desarrollaron muy rápidamente tras los primeros lanzamientos y, muy pronto, se obtuvieron imágenes de una gran precisión. El primer programa de espionaje espacial mediante imágenes se aprobó en 1958, bajo el Gobierno de Eisenhower, con el nombre secreto de Corona, siendo su objetivo el seguimiento de la producción y emplazamiento de los misiles soviéticos. Pero en esos primeros momentos de la carrera espacial no existían sensores electromagnéticos que posibilitasen la transmisión de las imágenes a tierra, por lo que necesariamente los satélites tenían que portar cámaras fotográficas basadas en películas impresionables y eyectar los rollos sujetos a un paracaídas para que aviones especialmente modificados los pudiesen recoger cuando alcáncese la altura adecuada (figura 1). Se comprende

que los primeros intentos, realizados ya en 1959, fracasasen. Un nuevo acontecimiento aceleraría su utilidad; el derribo en agosto de 1960 del avión de espionaje U-2, pilotado por Gary Powers, acabando por un tiempo con la posibilidad de utilizar aviones para estas misiones: el programa de espionaje espacial redobló sus esfuerzos y, en algo menos de cuatro meses, tras decenas de intentos fallidos, se obtuvieron las primeras fotografías espaciales eyectadas desde un satélite Corona, lográndose capturar un primer paracaídas con 9 kilos de película fotográfica; se le denominaría Keyhole 1 (nombre que tomaría el primer Google Earth). Las imágenes obtenidas de esta forma abarcaban una cobertura mayor que los 24 vuelos anteriores de los aviones espías U-2 y sirvieron para desmentir una de las argumentaciones utilizadas por John F. Kennedy para llegar a la Casa Blanca: el *missile gap* o desproporción entre el arsenal de misiles soviéticos y el americano.

El primer programa de espionaje espacial mediante imágenes se aprobó en 1958, bajo el Gobierno de Eisenhower, con el nombre secreto de Corona

La óptica de las cámaras se llevaría entonces al límite de la refracción de luz hasta alcanzar, mediados los años sesenta, precisiones inferiores, en parámetros actuales, a los dos metros. En 1972 se canceló el proyecto Corona y, en 1995, como se ha señalado, se desclasificó bajo la Administración Clinton. Las imágenes obtenidas en todos

esos años, principalmente de la antigua URSS y países vecinos, actualmente accesibles desde Internet², se han revelado como una fuente de información fundamental para la arqueología de naciones con una gran riqueza histórica, como Siria, ya que permiten observar las estructuras de los restos arqueológicos en los años anteriores al desarrollo de las infraestructuras y los núcleos de población, con las que se han borrado muchas de sus huellas. A la antigua URSS, más adelantada en tecnología espacial en aquellos momentos, no le hubiese supuesto un gran reto destruir los satélites espía estadounidenses. No obstante, parecía más adecuado desarrollar programas propios de espionaje espacial, posibilitando así un mutuo seguimiento del desarrollo armamentístico: pieza clave para que la guerra fría no acabase en conflicto bélico.

La teledetección civil corrió distinta suerte. Con la excepción de los meteorológicos, los programas de observación terrestre se irían retrasando una y otra vez, en parte por los temores a poner en peligro la seguridad nacional, lo que, como veremos, dio lugar a que en estos programas se buscasen otros objetivos bajo otros métodos de observación. Tanto retraso motivó, en 1965, un informe de la Academia Nacional de Ciencias, que llevaría por título: *Spacecraft in Geographical Research* (National Academy of Sciences-National, 1965), haciendo hincapié en los beneficios que se obtendrían con estas técnicas, bajo una adecuada —se señala explícitamente—, colaboración científica internacional para las investigaciones en muy distintos campos geográficos.

Es muy significativo el hecho señalado por Fernand Verger et al. (2003) de que la idea de un programa de observación civil de la Tierra, iniciado en 1962, comenzó realmente a tomar forma en la NASA tras las fotografías tomadas con cámaras rudimentarias por los primeros astronautas. Los físicos que examinaron

2. La Comunidad de Madrid ha incorporado en su nuevo visor cartográfico "Planea" una estupenda imagen de 1972 del satélite Corona con dos extensas bandas de su trayecto centradas sobre la capital (<http://www.madrid.org/cartografia>).

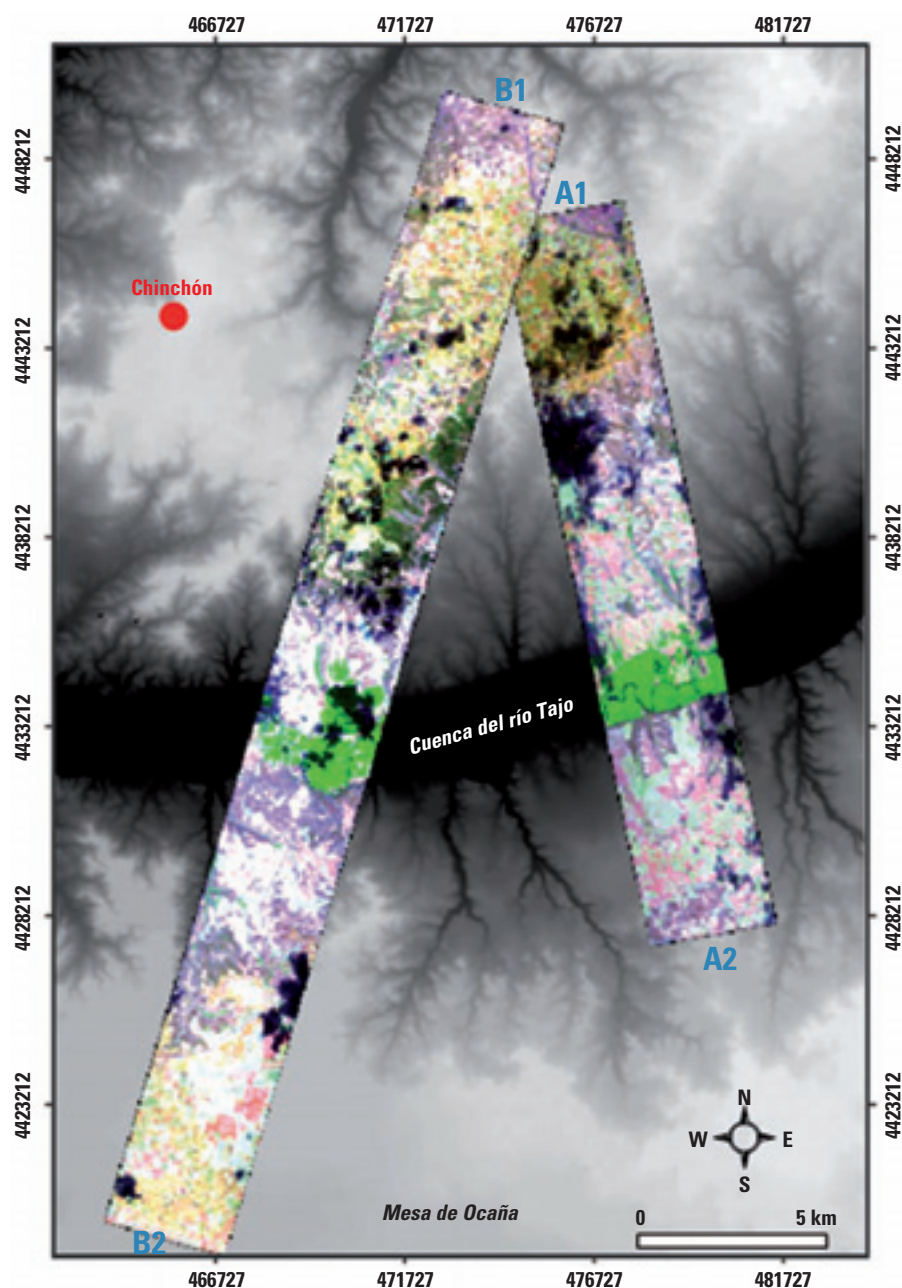


Figura 4. Líneas de vuelo de HyMap en la zona SE de la Comunidad de Madrid.

dichas imágenes intuyeron las posibilidades que ofrecían para obtener patrones de distribución de los objetos geográficos en función de su comportamiento espectral: ya no se trataba de ver cosas concretas, sino de clasificar conjuntos.

Richard W. Underwood (en Nelly, 1988), conocedor de primera mano de la industria aeroespacial estadounidense, ha descrito cómo los deseos de los astronautas por ver la Tierra desde el

espacio fueron batiendo las negativas de los técnicos: primero, para que las naves llevaran ventanillas de observación, pese al peligro estructural que representaban, y luego, para que les permitiesen llevar cámaras, con inconvenientes y los peligros que ocasionan en peso y generación de gases tóxicos. John Glenn sería el primero en realizar tomas desde la ventanilla de la nave Gemini tras su primer vuelo orbital (figura 2). Todo se hizo de una forma un tanto improvisada, adquiriendo poco antes del despegue,

en una tienda local, una Minolta Asco Autaset, de 35 mm, que fue modificada de forma rudimentaria con un mando invertido para que pudiese ser disparada con guantes y en posiciones imposibles (figura 3)³.

De esta forma, y como se ha indicado, los programas civiles de observación se centrarán, al contrario que los militares, en la obtención, basándose en el desigual comportamiento de la reflectividad de los objetos en las distintas bandas del espectro, de los patrones de comportamiento que permiten caracterizar la cambiante superficie terrestre. En lugar de películas y lentes de aumento, se requerían sensores electromagnéticos que discriminaran el espectro: se abrió así paso al programa Landsat iniciado en 1967 y lanzado como la primera generación de Landsat, en 1972. Pamela E. Mack (1990) puso de manifiesto todos los inconvenientes que tuvo que atravesar dicho programa hasta materializar el primer lanzamiento, diez años después de haber sido iniciado. Primero fueron las presiones de los militares (contrarrestadas en parte por el interés manifestado por los científicos que tuvieron acceso a las imágenes del proyecto Corona), que consiguieron imponer una resolución mínima que sería en los primeros Landsat de 60 metros por píxel; vendría luego la delineación de las características técnicas de los sensores, y, más tarde, las necesidades de los potenciales usuarios, entre los que destacaron las presiones ejercidas por el United States Department of Agriculture y el U.S. Geological Survey. El resultado fue un primer Landsat con un sensor multiespectral, entre otros instrumentos.

Con el paso del tiempo, esta elección se revelaría como un gran acierto, pues la discriminación digital se unía a la capacidad de hacer tomas continuas sobre la superficie terrestre, sumándose a las posibilidades de observación multiescala en el contexto en una cobertura casi global; se abre de esta forma la posibilidad de comparar digitalmente

3. Rodríguez Esteban (2007a: 286) y Rodríguez Esteban (2007b: 37-40). Sobre la evolución posterior de cámaras fotográficas en el espacio véase Chuvieco (2002: 96-102).

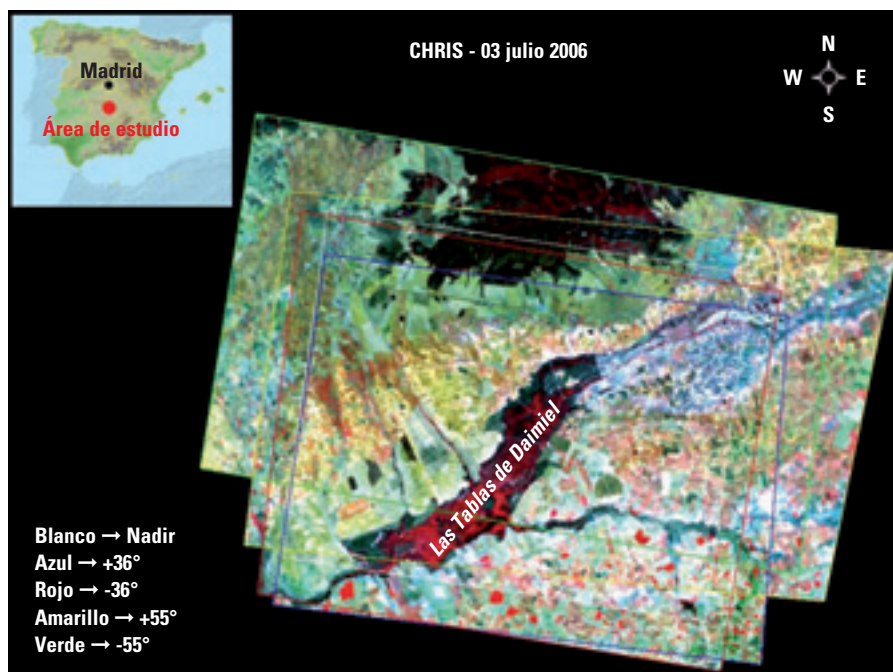


Figura 5. Área de estudio de Las Tablas de Daimiel (cinco escenas multiangulares de Proba-1/CHRIS, de fecha 3 de julio de 2006, composición de falso color de cada imagen de las bandas a longitudes de onda de 0,834, 0,664 y 0,563 mm en los canales rojo, verde y azul).

el comportamiento de la superficie terrestre en distintos momentos, lo que, en el caso de las plantas, es de especial relevancia al permitir reconocer y cuantificar su variaciones en relación a su fenología.

Luego vendrían, al unísono con el aumento de las capacidades de cálculo, importantes avances en la clasificación digital de las imágenes, basados fundamentalmente en el comportamiento geométrico y estadístico del espectro, a lo que se unió el uso de texturas y datos externos. Un nuevo salto en la finura del análisis y en la obtención de patrones en la clasificación se daría mediante la utilización de sensores hiperespectrales, basada en este caso en los métodos desarrollados por la química analítica (Mather, 2004: 259). Poco después, y para lo que aquí interesa señalar, llegaría la capacidad multiangular de la toma, permitiendo así discernir con mayor precisión las distorsiones producidas por la atmósfera sobre las imágenes.

La teledetección espacial en el estudio de ecosistemas semiáridos

La degradación de los ecosistemas semiáridos en países mediterráneos es un problema muy extendido y en crecimiento.

A los efectos de un clima con régimen irregular de precipitaciones y escasez de recursos hídricos se une la progresiva disminución de la cubierta con vegetación natural bajo la presión creciente de las cambiantes actividades agrícolas, provocando procesos de erosión, salinización y degradación física. Todo ello ha provocado un daño importante en muchos ecosistemas hasta hacerlos sumamente vulnerables. Los suelos y los humedales de estas regiones se han mostrado muy sensibles a la degradación y son importantes indicadores en el estudio de la desertificación.

La degradación del suelo implica una progresiva pérdida en su capacidad para desarrollar funciones medioambientales reguladoras y, lo que es igualmente importante, para producir bienes agrícolas. Los humedales, por su parte, son sistemas muy importantes a nivel mundial por su valor ecológico y, al mismo tiempo, representan sistemas complejos y vulnerables tanto a la actuación del hombre como a las variaciones climáticas.

La teledetección espacial está demostrando unas especiales cualidades en el estudio de los procesos implicados

La degradación del suelo implica una progresiva pérdida en su capacidad para desarrollar funciones medioambientales reguladoras y, lo que es igualmente importante, para producir bienes agrícolas

en la desertificación en suelos (Koch, 2000; Lacaze *et al.*, 1996 y Schmid *et al.*, 2000), al posibilitar identificar y cuantificar los indicadores de degradación, permitiendo su seguimiento temporal en extensas zonas y con un nivel de detalle imposible de obtener con otras técnicas (Schmid *et al.*, 2004 y 2005a).

La región sureste de la Comunidad de Madrid y las Tablas de Daimiel han sido, respectivamente, los lugares elegidos para el estudio de la degradación de los suelos y de los humedales:

1. La zona sureste de la Comunidad de Madrid, atravesada por el valle del río Tajo (*figura 4*), es una zona afectada por un clima semiárido con temperatura media anual de 13,8 °C y un valor de precipitación anual de 454 mm. Se caracteriza por un relieve ondulado que pasa a escarpado en las laderas del río Tajo, 520 m en los llanos y 780 m entre el páramo calizo de Chichón, al norte, y la Mesa de Ocaña, al sur. La litología está compuesta por materiales terciarios y cuaternarios, básicamente margas y yesos dominantes en el paisaje ondulado de las vertientes del río, y caliza y arcillas en las zonas más elevadas y llanas. Los suelos muestran diversas evidencias de degradación asociada a procesos erosivos y a la actividad agrícola: se trata de Regosol,

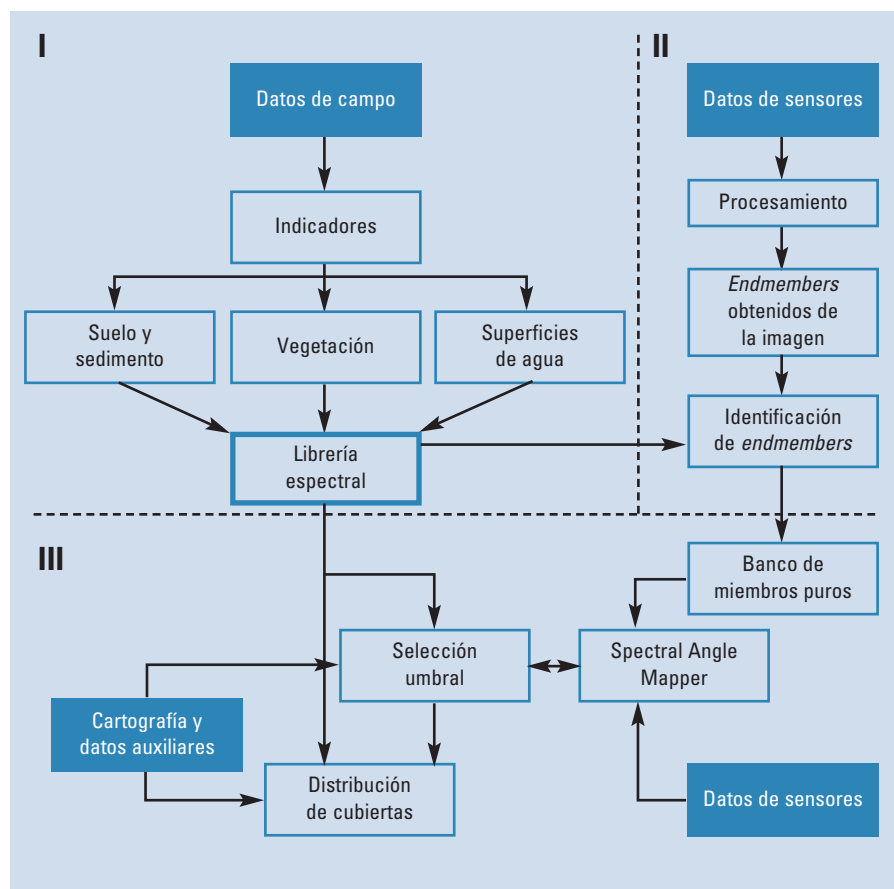


Figura 6. Metodología integrada implementada para determinar estados de degradación en suelos.

Cambisol, Luvisol y Calcisol. La vegetación, en general poco densa, está constituida, en las laderas de las vertientes del río, fundamentalmente por matorral calcícola y gipsícola;

mientras que el uso agrícola (viñedo y vid), con frecuentes suelos en barbecho, domina en las superficies más elevadas y llanas, situadas por encima de las laderas.

2. El Parque Nacional de las Tablas de Daimiel (figura 5) es un ecosistema mediterráneo protegido⁴ que ha sufrido importantes cambios a través de los tiempos hasta llegar a su práctica destrucción por la sobreexplotación de los recursos hídricos, combinada con los cambios climáticos y los cambios en el uso del suelo⁵. Es una zona sometida a una fuerte presión humana y con unos recursos hídricos muy escasos⁶ (de los que depende la sostenibilidad del sistema) que condicionan el funcionamiento del humedal.

El humedal, en condiciones naturales, está alimentado por aguas de inundación procedentes de los ríos Cigüela y Guadiana, en una depresión de la cuenca formada por roca caliza. Esto da lugar a un amplio humedal ribereño que, en condiciones normales, es inundado por aguas subterráneas procedentes de la descarga del acuífero. El área de inundación es de 1.750 ha con aguas permanentes, estacionales y superficiales, procedentes de áreas sometidas a inundaciones regulares. La lámina superficial de agua soporta la vegetación, la cual hace de la zona un excelente hábitat para la fauna asociada con un medio ambiente

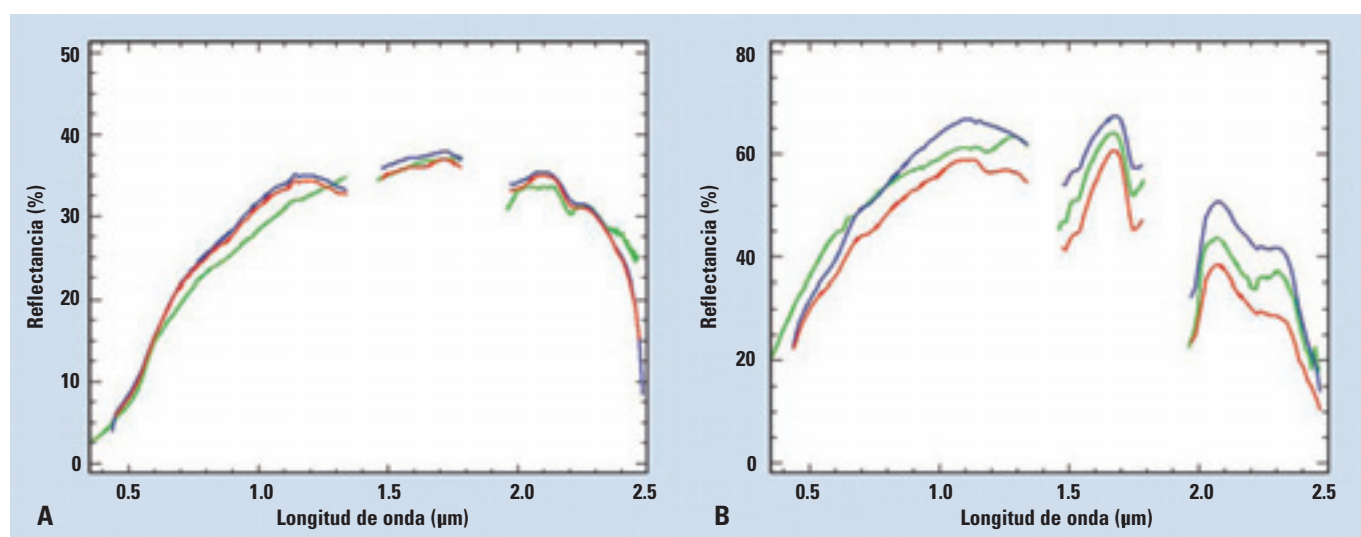


Figura 7. Curvas espectrales obtenidas con espectrometría de campo (verde), las derivadas de miembros puros de la imagen (rojo) y áreas de control (azul) para A: Cambisol calcárico y B: Regosol gipsílico.

4. Convenio RAMSAR, ZEPa (Directiva 79/409/CEE), Reserva de la Biosfera (UNESCO-MAB).

5. Véanse Fornés *et al.*, 2000; Berzas *et al.*, 2000; Amezaga y Santamaría, 2000 y Álvarez-Cobelas *et al.*, 2001.

6. Véanse Álvarez-Cobelas *et al.*, 2001; Berzas *et al.*, 2000; Cirujano *et al.*, 1996; Conan *et al.*, 2003 y Sánchez-Carrillo *et al.*, 2004.

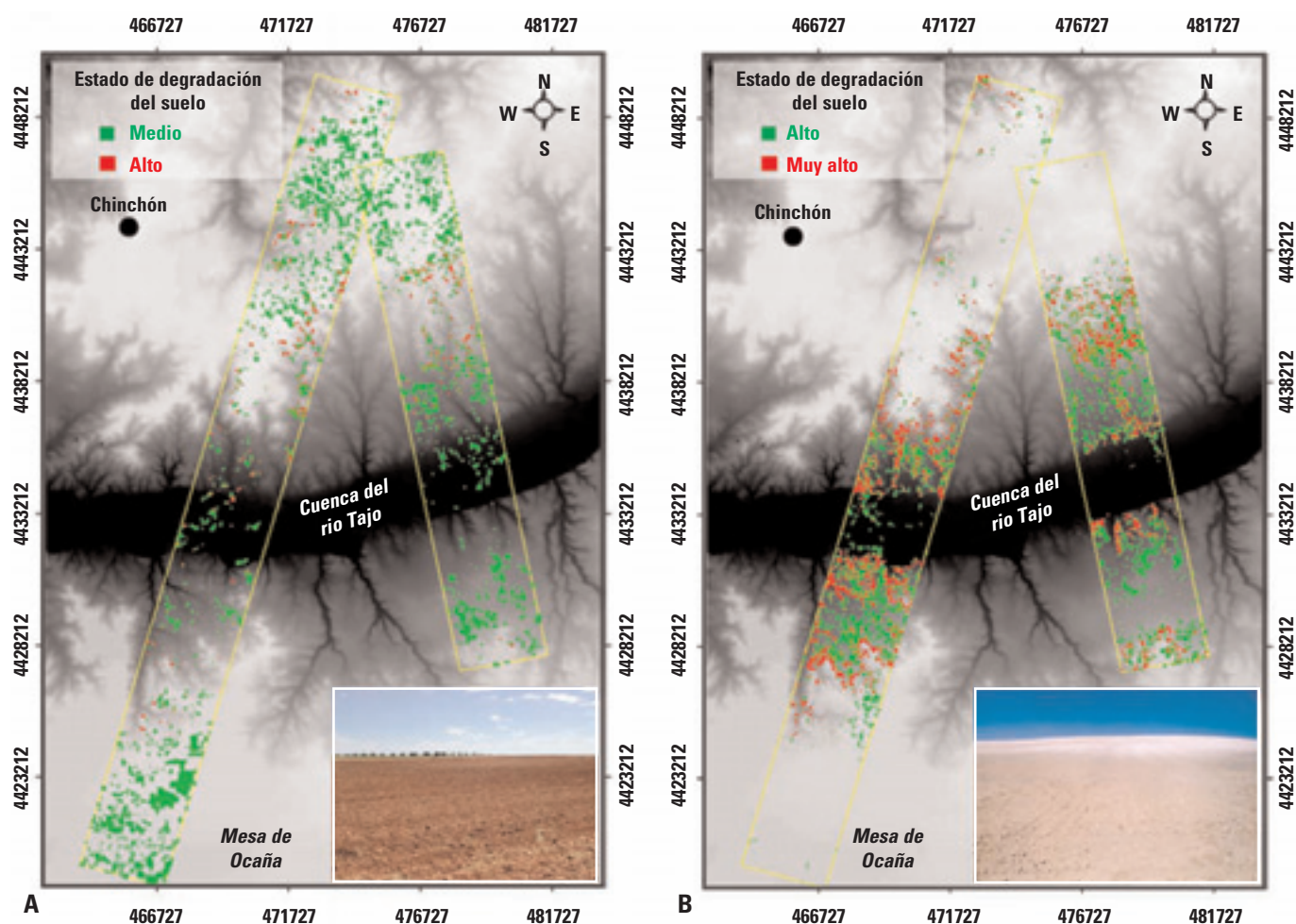


Figura 8. Distribución espacial de A: Cambisol calcárico y B: Regosol gipsífero.

palustre y acuático⁷. Una importante característica de este entorno es el pequeño volumen de agua con el que se inundan grandes áreas a una profundidad de menos de un metro. Actualmente, el humedal está prácticamente seco debido fundamentalmente a la sobreexplotación de los recursos hídricos por la irrigación agrícola. Hasta ahora, no han tenido éxito los esfuerzos realizados para recuperar el área. Esto hace que la situación sea dramática debido a los procesos de degradación en marcha, tales como desecación, salinización, eutrofización y contaminación de la lámina de agua y sedimentos, presencia de nitrófilos y especies invasivas, así como pérdida de superficie de humedal y especies endémicas de vegetación⁸.

Metodología seguida

La metodología propuesta, con ciertas variaciones en uno y otro caso, se basa en la utilización de imágenes obtenidas por sensores con muy diversas características y en diferentes escalas, complementando y extendiendo la información que ofrecen. Pero estos datos no serán suficientes si no se obtienen bajo condiciones controladas y contrastadas en diversos trabajos de campo. En este sentido, la metodología utilizada se concreta en tres fases (figura 6):

- El análisis de muestras del suelo, de la vegetación y de las manchas de agua, con el objetivo de obtener librerías espectrales con los espectros de campo (ASD FieldSpec Pro). Una

librería espectral es una base de datos con el comportamiento espectral preciso de las distintas muestras, esto es, de cómo cada elemento seleccionado emite energía en un rango determinado del espectro electromagnético (entre 0,4 y 2,5 micrómetros o VNIR-SWIR). En los datos obtenidos se identifican y etiquetan los denominados miembros puros (*endmembers*), esto es, aquellos elementos con una definición clara e inequívoca en su comportamiento espectral y, por tanto, con una curva espectral precisa.

- Obtención de miembros puros de las imágenes obtenidas mediante sensores hiperespectrales (que a diferencia de los multispectrales, adquieren varias decenas de bandas por imagen) con

7. Véase Carrasco Redondo, 2006.

8. Véanse Sánchez-Carrillo y Álvarez-Cobelas, 2001 y Álvarez-Cobelas *et al.*, 2001.

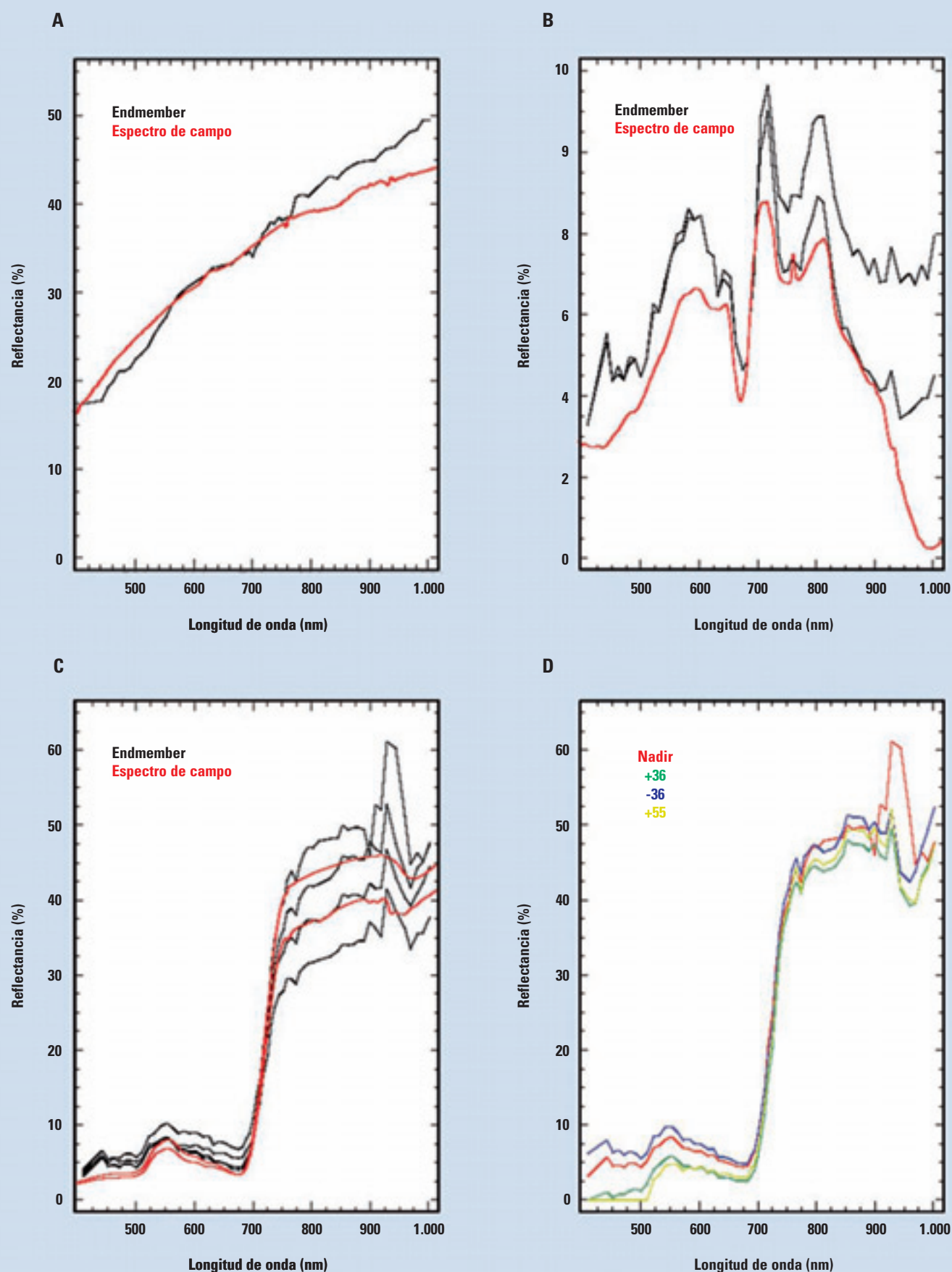


Figura 9. Identificación de miembros puros de A: sedimentos lacustres, B: agua turbida inferior a 50 cm de profundidad, C: Phragmites australis y D: curvas espectrales de Phragmites australis obtenidas para diferentes ángulos con el sensor Proba-1/CHRIS.

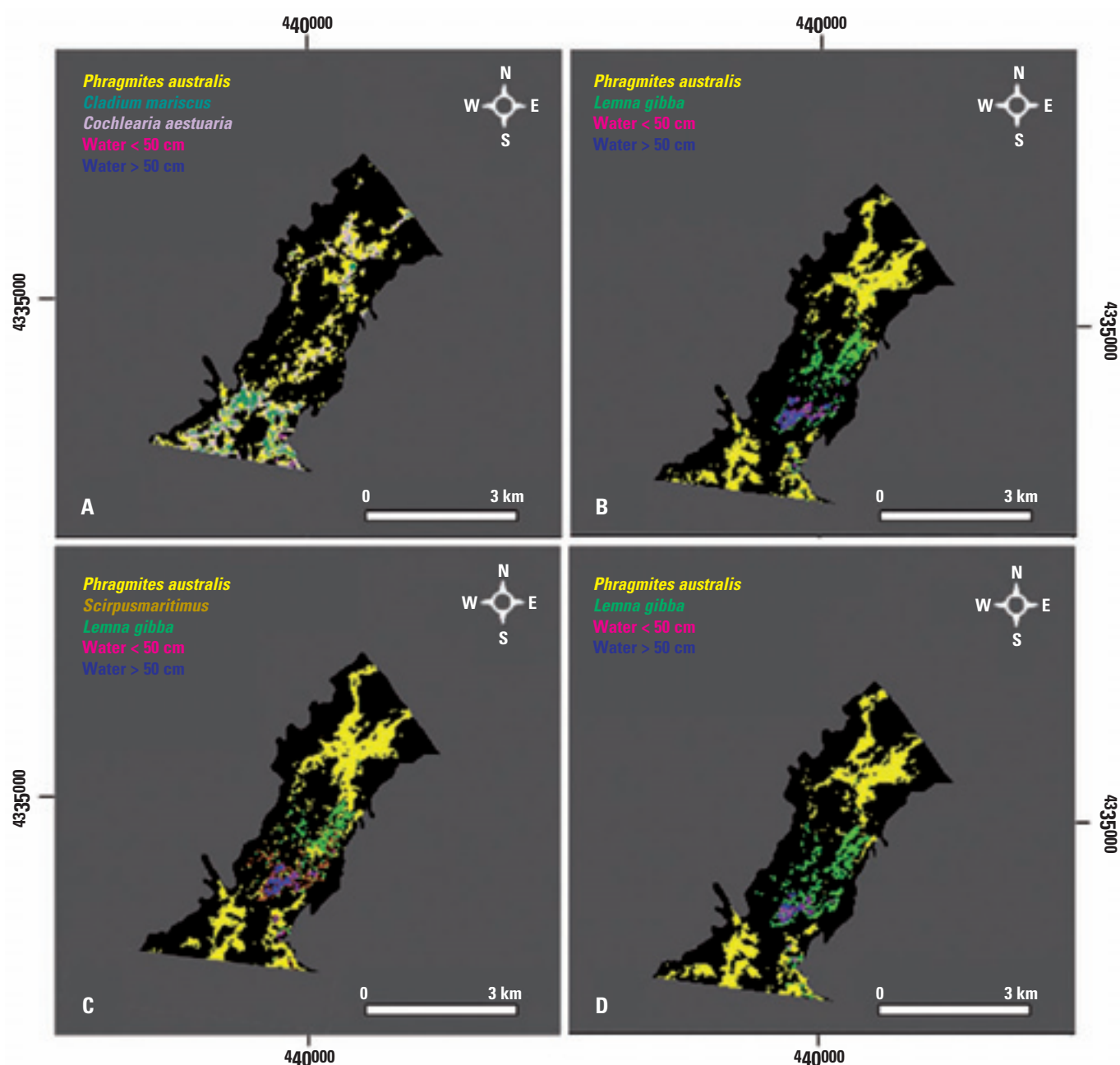


Figura 10. Clasificación usando SAM con datos de Proba-1 CHRIS en nadir para A: julio de 2006, B: julio de 2007, C: agosto de 2007 y D: en un ángulo de 36° positivo para julio de 2007.

el sensor aerotransportado australiano "HyMap" (128 bandas de 0,44 a 2,5 μm)⁹ y el experimental de la Agencia Espacial Europea "Proba-1/CHRIS" (en modo 1 son 62 bandas de 0,411 a 0,997 μm)¹⁰. Una vez obtenidos los miembros puros de las imágenes, con apoyo en los datos de campo u otros

auxiliares, se procede a la identificación de su distribución por toda la zona de estudio mediante el empleo de un clasificador denominado Spectral Angle Mapper (SAM), con lo que se obtienen mapas de coberturas específicas. El SAM compara cada píxel en la imagen con cada espectro de

referencia y asigna un valor ponderado entre semejanza bajo y alto. Los espectros de referencia pueden ser tomados directamente a partir de la imagen o a partir de firmas medidas en el campo o en el laboratorio (Kruse *et al.*, 1993). En este caso, los espectros de referencia fueron obtenidos a partir de

9. Los datos hiperespectrales de HyMap fueron obtenidos el 12 de julio de 2003 en una campaña de vuelo realizada por la German Aerospace Centre DLR en el programa HyEuropa. Para la adquisición de los datos se realizaron dos líneas de vuelo A1A2-B1B2 (figura 4) a una altitud de 3.000 m con una longitud de 25 km y ancho de 2,2 km cada línea, determinando un tamaño de píxel de 5 m.

10. Los datos fueron adquiridos en modo 1, en condiciones de cielo despejado, el 3 de julio de 2006, y el 20 de julio y 15 de agosto de 2007 mediante el programa de la Agencia Espacial Europea (ESA), el cual proporcionó datos para una Categoría -1 LBR Project. Este sensor adquiere datos a cinco diferentes ángulos de visión nominales (+55°, +36°, 0°, -36° y -55°) y en modo 1 posee ancho de banda entre 8-20 nm y un tamaño de píxel de 34 m.

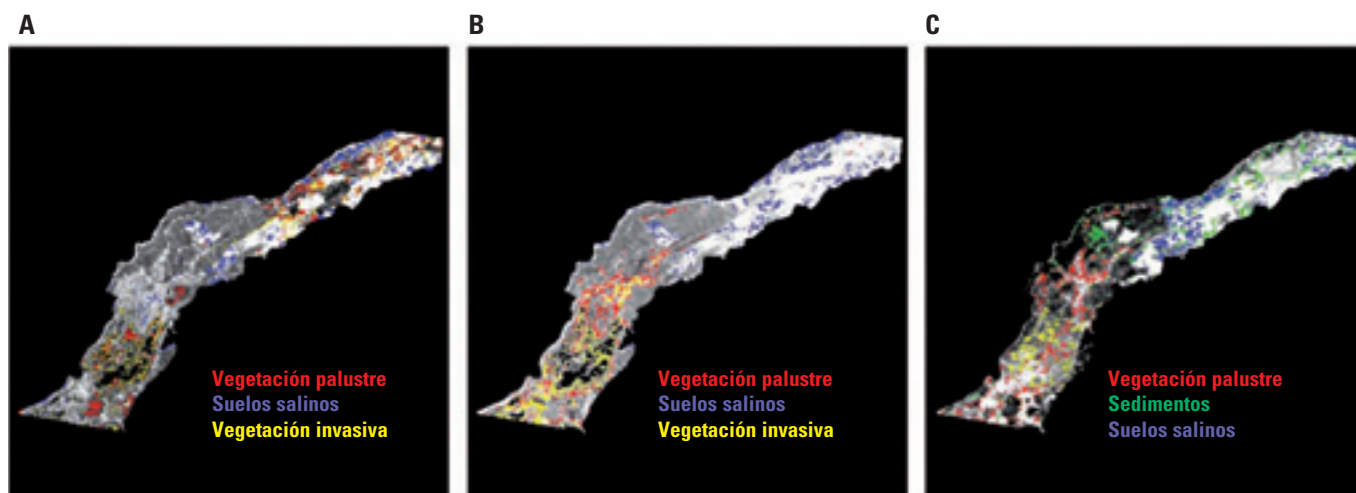


Figura 11. Clasificación supervisada aplicando SAM con A: ETM+ 22 de abril de 2002, B: ASTER 2 de junio de 2002 y C: CHRIS-Nadir 3 de julio de 2006.

datos hiperespectrales y multispectrales y aplicados a los correspondientes datos.

- En la última fase se utilizan los miembros puros representativos de procesos característicos de los estados de degradación para ser utilizados en imágenes tomadas con otros sensores multispectrales (Landsat ETM+ y ASTER)¹¹, cuya cobertura temporal y espacial es más fácil de obtener.

Desertificación en suelos: sureste de la Comunidad de Madrid

Estudios previos realizados en los suelos semiáridos de los Monegros (Koch *et al.*, 2005) y en el sur de la Comunidad de Madrid (Schmid *et al.*, 2005b) muestran la pertinencia de este procedimiento para conocer la distribución de los componentes superficiales de los suelos con diversos estados de degradación. Para establecer los estados de degradación asociados a los diferentes tipos de suelos considerados se han empleado parámetros relativos a los materiales subyacentes, uso de suelo, clases de erosión, propiedades del suelo (materia orgánica, espesor efectivo, salinidad) y usos y pendientes. Una clase de pendiente de <16% y 16% se consideró como una primera aproximación dirigida a diferenciar las dos clases de degradación del suelo para cada tipo de suelo.

Para establecer los estados de degradación asociados a los diferentes tipos de suelos se han empleado parámetros relativos a los materiales subyacentes, uso de suelo, clases de erosión, propiedades del suelo y usos y pendientes

En parcelas bien seleccionadas, representativas, correspondientes a suelos con diferentes estados de degradación, se han realizado medidas para la obtención de curvas espectrales de cubiertas significativas asociadas a cada estado de degradación (figura 7) y analizado los rasgos espectrales característicos con la ayuda de los datos complementarios de campo y laboratorio. Estas curvas han sido comparadas con las extraídas de la imagen del sensor HyMap.

Las curvas espectrales se corresponden con las obtenidas en espectrometría de campo (verde), el miembro puro derivado

de los datos de la imagen (rojo) y la obtenida en la imagen del área de investigación (azul). La imagen del área de investigación es el valor medio de un rectángulo que comprende 16 píxeles seleccionados dentro de los datos HyMap correspondientes al área en el que se adquirieron los espectros de campo. En todos los casos, las curvas espectrales correspondientes muestran una gran semejanza para cada tipo de suelo. Por otro lado, la curva espectral de campo en cada caso se asocia con datos de los suelos (físicos, químicos y mineralógicos). Las características de absorción espectral son observadas para los diferentes tipos de suelo entre 0,35 y 2,5 μm , sin incluir a las regiones afectadas por absorción en la atmósfera (1,34 a 1,47 μm , 1,78 a 1,97 μm y >2,46 μm). El Cambisol calcáreo (figura 7a) muestra rasgos de absorción de arcilla a 2,2 μm y calcita a 2,34 μm . Los análisis prueban que la muestra tiene una textura de marga arcillosa arenosa y un color marrón intenso. La mineralogía del suelo indica la presencia común de minerales de calcita, feldespato y arcilla tales como la esmectita, illita y caolinita. El Regosol gipsico (figura 7b) tiene evidentes valores de absorción de yeso a 1.484, 1.530 y 1.746 μm . A 2,2 μm , tanto el yeso como el mineral de arcilla presentan rasgos de absorción. La mineralogía indica una presencia muy abundante de yeso. El color

11. Los datos de ETM+ y ASTER fueron obtenidos en 2002, los días 22 de abril y 2 de junio, respectivamente.

del suelo está entre blanco y gris claro, presentando una textura de marga arcillosa arenosa.

Para las líneas de vuelo A y B se presentan las distribuciones de los diferentes tipos de suelo y sus correspondientes estadios de degradación asociados, obtenidos con el SAM (figura 8).

El área total ocupada por el Cambisol calcárico (figura 8a) es de 568,3 ha con 97,0% y 3,0% del área con una pendiente de <16% y $\geq 16\%$, respectivamente.

El Regosol gipsífero (figura 8b) se extiende en un área de 458 ha, donde el 73,6% se encuentra sobre pendientes <16% y el 26,4% está sobre pendientes $\geq 16\%$.

El Cambisol calcárico se encuentra principalmente en las áreas de llanuras con influencia agrícola y está tipificado como en un estadio de degradación medio-alto. Este suelo también se identifica dentro de áreas escarpadas entre la llanura y la cuenca del río Tajo. Este rasgo es previsible, dado que el material subyacente está formado por margas con un elevado contenido en carbonato cálcico. El Regosol gipsífero se encuentra en áreas escarpadas y está estrechamente asociado con el material subyacente de margas y yeso. Este material se meteoriza con facilidad y es sensible a la erosión. Por esta razón, este suelo ha sido considerado en un estadio de degradación de alto a muy alto.

Degradación de los humedales: el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel

En el caso de los humedales, los miembros puros derivados de imágenes a partir de los datos hiperespectrales multiángulo de Proba-1/CHRIS determinan una serie de componentes superficiales que están asociados a las condiciones

La determinación de la vegetación como puede ser la *Phragmites australis* y la *Lemna gibba* es importante, dado que ambas representan indicadores de la degradación

y calidad del humedal. Por otro lado, los espectros de campo (Schmid *et al.*, 2008) fueron utilizados para identificar estos miembros puros derivados de imágenes (figura 9).

Los miembros puros para los sedimentos lacustres (figura 9a) están relacionados con los biocarbonatos de *Chara spp.*, con un contenido superior al 60% de CaCO_3 , 8,2% de material orgánico y una conductividad eléctrica de $1,7 \text{ dS m}^{-1}$. Las aguas turbidas a menos de 50 cm (figura 9b) muestran la presencia de clorofila y de fluorescencia a 672 y 705 nm, respectivamente. La vegetación palustre determinada en 2007, tal como *Phragmites australis* (figura 9c), se encuentra en un vigor máximo durante este periodo de tiempo y plantea una amenaza para las especies autóctonas tales como *Cladium mariscus*. Los miembros puros *Phragmites australis* para diferentes ángulos (figura 9d) son comparables y se encuentran dentro de áreas de aguas someras o donde el nivel freático del agua está cercano a la superficie del suelo.

La distribución espacial de las especies vegetales palustres e invasivas, así como la extensión de la lámina de agua somera, están representadas por diferentes fechas

en las que las condiciones varían de prácticamente secas a la presencia de aguas someras (figura 10).

El tipo de cobertura vegetal, como puede ser la *Phragmites australis*, fue determinada en su mayor extensión en 298 ha para agosto de 2007. La mayor extensión de *Lemna gibba* se alcanzó en julio de 2007 con una extensión de 48 y 65 ha para el nadir y ángulo a 36° , respectivamente. Dado que la *Lemna gibba* es una planta acuática, no estaba presente en julio de 2006 debido a la carencia de la lámina de agua. En lugar de esta especie aparecía una vegetación invasiva de *Cochlearia aestuaria* que ocupaba 83 ha. El agua a mayor y menor profundidad de 50 cm alcanzaba su máxima extensión en julio de 2007 con 10 y 11 ha, respectivamente. Esto coincide con el agua que fue recibida mediante un trasvase en fechas previas a la adquisición de los datos por el sensor. La *Scirpus maritimus* que fue determinada en agosto de 2007 cubría un área de 38 ha. *Cladium mariscus* sólo se determina para julio de 2006, con una extensión de 47 ha. La determinación de la vegetación como puede ser la *Phragmites australis* y la *Lemna gibba* es importante, dado que ambas representan indicadores de la degradación y afectan a otra vegetación como es la *Cladium mariscus*. Por otro lado, la lámina de agua y la calidad relacionada es un aspecto importante que puede ser determinado con este sensor. Los resultados muestran que las condiciones cambiantes ocurren en periodos relativamente cortos de tiempo.

Los resultados obtenidos utilizando una clasificación supervisada con el SAM (figura 11) y aplicando un ángulo máximo de 0,1 radianes muestran la distribución de las principales características del humedal que incluyen la vegetación palustre, sedimentos, suelos y vegetación invasiva.



Análisis y obtención de librerías con muestras del suelo, de la vegetación y de las manchas de agua en las Tablas de Daimiel.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Agencia Espacial Europea los datos aportados al proyecto Category-1 LBR Project (3782): en particular al Sr. Peter Fletscher y a la Dra. Bianca Hörsch, quienes han estado involucrados en su gestión y adquisición. Gracias especialmente al Dr. Luis Guanter y al Dr. Luis Gómez,

de la Universidad de Valencia, por las correcciones atmosféricas de los datos Proba1/CHRIS. Nuestro sincero agradecimiento al Sr. Carlos Ruiz de la Hermosa, director del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel, por el apoyo prestado, así como al equipo que nos acompañó en el trabajo de campo (figura 12).

Bibliografía

- Álvarez-Cobelas, M.; Cirujano, S. y Sánchez-Carrillo, S. (2001). Hydrological and botanical man-made changes in the Spanish wetland of las Tablas de Daimiel, *Biological Conservation*, 97, 89-98.
- Amezaga, J. M. y Santamaría, L. (2000). Wetland Connectedness and Policy Fragmentation: Steps towards a Sustainable European Wetland Policy, *Physics and Chemistry of the Earth* (B), 25, 635-640.
- Berzas, J. J.; García, L. F.; Rodríguez, R. C. y Martín-Álvarez, P. J. (2000). Evolution of the water quality of a managed natural wetland: Tablas de Daimiel National Park (Spain), *Water Research*, 34, 3161-3170.
- Carrasco Redondo, M. (2006). *Visitor's Guide to Las Tablas de Daimiel National Park*, Environment Ministry of Spain, 211 pp.
- Cirujano, S.; Casado, C.; Bernués, M.; Camargo, J. A. (1996). Ecological study of Las Tablas de Daimiel National Park (Ciudad Real, Central Spain): differences in water physico-chemistry and vegetation between 1974 and 1989, *Biological Conservation* 75, 211-215.
- Conan, C.; Marsily de, G.; Bouraoui, F. y Bidoglio, G. (2003). A long-term hydrological modelling of the upper Guadiana river basin (Spain), *Physics and Chemistry of the Earth*, 28(4-5): 193-200.
- Chuvieco Salinero, E. (2002). *Teledetección ambiental. Observación de la Tierra desde el espacio*, Barcelona, Ariel Ciencia, 586 pp.
- Fornés, J.; Rodríguez, J. A.; Hernández, N. y Llamas, M. R. (2000). Possible Solutions to Avoid Conflicts Between Water Resources Development and Wetland Conservation in the "La Mancha Húmeda", Biosphere Reserve (Spain), *Physics and Chemistry of the Earth* (B), 25, 623-627.
- Koch, M.; Schmid, T.; Gumuzzio, J. y Mather, P. (2005). Use of imaging spectroscopy to assess the impact of land use changes in semi-arid karstic landscape: Los Monegros, Spain, *4rd EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy. Imaging Spectroscopy, New Quality in Environmental Studies*, Eds. Bogdan Zagajewski, Marcin Sobczak. Wydawnictwa Przemyslowe WEMA Sp. z o.o., Warsaw, Poland, 147-155.
- Koch, M. (2000). Geological controls of land degradation as detected by remote sensing: A case study in Los Monegros, NE Spain, *International Journal of Remote Sensing*, 21(3), 457-473.
- Kruse, F. A.; Lefkoff, A. B.; Boardman, J. B.; Heidebrecht, K. B.; Shapiro, A. T.; Barloon, P. J. y Goetz, A. F. H. (1993). The Spectral Imaging Processing System (SIPS) – Interactive Visualization and Analysis of Imaging Spectrometer Data, *Remote Sensing of Environment*, 44, 145-163.
- Lacaze, B.; Caselles, V.; Coll, C.; Hill, J.; Hoff, C.; De Jong, S.; Mehl, W.; Negendank, J. F. W.; Riezebos, H.; Rubio, E.; Sommer, S.; Teixeira Filho, J. y Valor, E. (1996). *Integrated Approaches To Desertification Mapping And Monitoring In The Mediterranean Basin*, Final report of the DeMon-1 project. Joint Research Centre, European Commission. EUR 16448EN, 165 pp.
- Mack, Pamela E. (1990). *Viewing the earth: the social construction of the Landsat satellite system*, Cambridge, MIT Press, XII, 270 pp.
- Mather, Paul M. (2004). *Computer Processing of Remotely-Sensed Images. An Introduction*, Wiley, 324 pp.
- National Academy of Sciences-National (1965). *Spacecraft in Geographic Research*, National Academy of Sciences-National Research Council Washington DC ad hoc Committee on Geography.
- Nelly, K. W. (1988). *El planeta Tierra*, Barcelona, Folio.
- Rodríguez Esteban, J. A. (2007a). El espacio exterior: su utilización y sus aportaciones, en Lamela, A. (dir.), *Estrategias para la Tierra y el Espacio*, Madrid, Espasa, II, 271-334.
- Rodríguez Esteban, J. A. (2007b). La Tierra vista desde el Espacio, *Boletín de la Sociedad Geográfica Española*, número especial 50 años de la exploración espacial, 36-47.
- Sánchez-Carrillo, S. y Álvarez-Cobelas, M. (2001). Nutrient dynamics and eutrophication patterns in semi-arid wetland: the effects of fluctuating hydrology, *Water, air, and soil pollution*, 131, 97-118.
- Sánchez-Carrillo, S. G.; Angeler, D.; Sánchez-Andrés, R.; Álvarez-Cobelas, M. y Garatuza-Payán, J. (2004). Miguel Álvarez-Cobelas, Jaime Garatuza-Payan a Evapotranspiration in semi-arid wetlands: relationships between inundation and the macrophyte-cover: open-water ratio, *Advances in Water Resources* 27, 643-655.
- Schmid, T.; Koch, M. y Gumuzzio, J. (2000). Spectral and textural classification of multi-source imagery to identify soil degradation stages in semi-arid environments, en Manfred, O.; Guido, D'Urso y Zilioli, E. (eds.), *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology II*, Proceedings of SPIE, 4171, 376-383.
- Schmid, T.; Koch, M. y Gumuzzio, J. (2005a). Multisensor Approach to determine Changes of Wetlands Characteristics in Semiarid Environments (Central Spain), *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43(11), IEEE Geoscience and Remote Sensing Society, New York, EE UU, 2516-2525.
- Schmid, T.; Koch, M. y Gumuzzio, J. (2005b). Field and imaging spectroscopy to determine soil degradation stages in semi-arid terrestrial ecosystems, *4rd EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy. Imaging Spectroscopy. New Quality in Environmental Studies*, Eds. Bogdan Zagajewski, Marcin Sobczak. Wydawnictwa Przemyslowe WEMA Sp. z o.o., Varsovia, Polonia, 175-183.
- Schmid, T.; Koch, M.; Gumuzzio, J. y Mather, P. M. (2004). A spectral library for a semi-arid wetland and its application to studies of wetland degradation using hyperspectral and multispectral data, *Int. J. Remote Sensing*, 25(13), Remote Sensing Photogrammetry Society, Taylor and Francis, Londres, 2485-2496.
- Schmid, T.; Domínguez, J. A.; Solana, J.; Gumuzzio, J. y Koch, M. (2008). Applying multi-angle hyperspectral data to detect human-induced changes causing wetland degradation in semi-arid areas (National Park Las Tablas de Daimiel, Spain), *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS, Proceedings, IEEE*.
- Verger F. et al. (2003). *The Cambridge Encyclopedia of Space: mission, application and exploration*, Cambridge University Press, 418 pp.

La vuelta al mundo a través de **ocho paraísos geológicos**

“Uno de los objetivos de viajar es evitar a toda costa el destino final”

TEXTO Y FOTOS | María Garrido Gil y Joaquín Souto Soubrier

Es difícil encontrar una cita más adecuada para el espíritu del viajero, y especialmente afortunada para Millman, que retrasa la llegada a cada destino empleando para ello los transportes menos eficientes. La misma esencia es la que tienen los destinos geológicos, afortunadamente no sometidos a las mismas reglas de mercado que los destinos turísticos más convencionales. No obstante, en ocasiones se produce la coexistencia de ambos tipos de destino y, entonces, es preciso dilatar el viaje tratando de percibir la verdadera esencia del lugar visitado. Esta paradoja se produce en muchas islas volcánicas, no precisamos ir muy lejos (por ejemplo, Canarias o Madeira) para encontrar esa duplicidad entre lo convencional y lo exótico. La armonización muchas veces se debe a los habitantes que han convivido con la naturaleza, la han asimilado y respetado, entendiendo que el destino de su isla y su futuro iban de la mano.

Por tanto, el destino geológico requiere sólo una medida diferente del tiempo y una mirada más pausada. Habitualmente, hay menos hitos señalados con una flecha y la visita nos obligará a diluirmos en el paisaje; como mucho, deberíamos ser un elemento de escala en una imagen que debería ser idéntica a los ojos del ser humano dentro de muchas generaciones.

Los ocho sitios podían haber sido muchos más o simplemente haber esperado unos (tal vez millones de) años en uno solo de ellos. Hemos escogido lugares donde el viajero percibe también el espíritu de los naturalistas del siglo XIX; en ellos es fácil sentir las diferentes velocidades



de la naturaleza: lagos y glaciares, ríos de lava y fumarolas se superponen en armonía.

De cada uno de ellos hemos tratado de plasmar en imágenes algo de la belleza insólita que acompaña a la ausencia de otras muchas cosas, entre ellas el propio ser humano, o, más correctamente, las infraestructuras que acompañan a nuestro desarrollo, en su entorno. Nuestra capacidad para entender y aprovechar estos fenómenos, junto con el respeto a la naturaleza, suman oportunidades para un porvenir sostenible de la humanidad.

El comienzo en el fin del mundo. Islandia. La última frontera de Europa

Hay sitios que son inaccesibles incluso en los mundos futuros. Cuando Bernard Max, el protagonista de la utopía de Huxley (que tal vez pudiera haber sido Bobby Fischer), es apartado del *mundo*

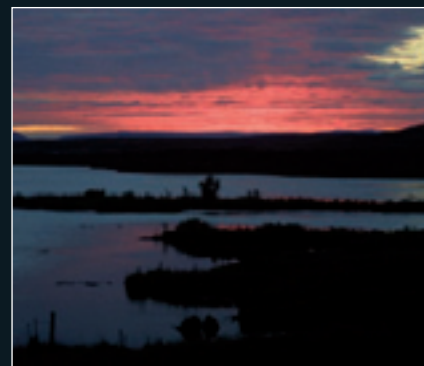




Figura 1. Landmannalaugar, la puerta del interior de Islandia. El Brennisteinsalda, una montaña de riolita con campos de lava a sus pies.

feliz, el lugar elegido para retirar al inadaptado es Islandia; en la novela es una cita recurrente que evoca, en un mundo aparentemente dominado tecnológicamente y plagado de reglas, el más remoto destierro. La predicción ha podido resultar acertada y hoy en día entre las esquinas de la globalización, donde el reloj camina un poco más despacio, encontramos la tierra aislada o la tierra de hielo.

Al margen de Europa, sin llegar a ser América, hay un barco a la deriva donde un día los vikingos hicieron una pausa en su búsqueda de nuevas conquistas. Pese a que la tierra de hielo dista de ser amistosa, albergó a la nobleza sin dejar de ser un destierro temporal, si es que algún lugar no lo es, en el tránsito a la tierra *Prometida*. Por otra parte, Islandia nunca dejó de ser una estación intermedia en el periplo vikingo o la promesa de un viaje iniciático, como el caso del profesor Lindenbrock en su redescubrimiento

de la ruta hacia el centro de la Tierra. Islandia, sin dudarlo, evoca muchas de las razones por las que los seres humanos nos acercamos a la geología: volcanes activos soterrados bajo masas glaciares (Vatnajökull), nuevas islas (Surtsey) y fallas que delimitan y desplazan las grandes placas (Thingvellir).

Hoy en día, han pasado los tiempos de la aventura romántica de Verne y los 300.000 habitantes (que resultarían en una exigua densidad de apenas tres habitantes por kilómetro cuadrado) se concentran fundamentalmente en el área de Reykjavik, y, tal vez, no son muy diferentes ni más infelices que el resto de los nórdicos. Las granjas y colegios se abren en verano a los viajeros y turistas, el intercambio equilibra el carácter y la economía de nueve meses de aislamiento en un clima inhóspito. No obstante, al carácter nórdico se suma la faceta isleña y, por último, una naturaleza indomable. Todos estos factores convierten a Islandia

en un buen destino para detenerse a apreciar una naturaleza intemporal.

De Landmannalaugar a Thormorsk

Está claro que la mejor manera de conocer un sitio es a pie. Sin embargo, hay muchos sitios donde caminar se convierte en un reto. Por el contrario, la aproximación geológica nos permite ese raro placer, los parques nacionales americanos, Nueva Zelanda o algunos sitios de nuestra geografía son mucho más interesantes sin el acompañamiento del motor. Concretamente, en Islandia encontramos una de las consideradas mejores caminatas del planeta: Landmannalaugar-Thormorsk.

Este *trekking* puede hacerse en 4 o 5 días, siguiendo las etapas perfectamente marcadas por refugios y puntos de acampada, y permite hacerse una idea muy precisa de la belleza interior de la isla.

Landmannalaugar sorprende por la variedad de un paisaje casi sin vegetación donde se combina la nieve, la roca casi desnuda y los fenómenos geológicos de todo tipo, periglacialismo,

campos termales..., todo deja una impronta indeleble en un paisaje que funciona según un ritmo más geológico que biológico. La caminata hacia el sur nos permite aproximarnos a los grandes

glaciares y lagos. Prácticamente cada hora el paisaje cambia a nuestro alrededor, difícilmente recordaremos los nombres pero la belleza del paisaje dejará su impronta en nosotros.



Figura 2. Landmannalaugar. Los campos de riolita. Apenas es piedra desnuda con algunos líquenes.



Figura 3. El lago Alfvatn. Segunda etapa del trekk.



Figura 4. Landamannaluagar. Campos de lava.



Figura 5. Túneles en la nieve creados por el deshielo en verano.



Figuras 6-7. Glaciares con la caprichosa forma de los sedimentos.



Figuras 8-9-10. Una naturaleza efímera puebla de vida la meseta interior. En Islandia curiosamente hay un significativo número de insectos y en algunas zonas (por ejemplo, Myvatn) las condiciones volcánicas han favorecido su proliferación.



Figura 11. Una morrena de uno de los glaciares de Myrkdalsjokull excava un arco perfecto en el hielo.



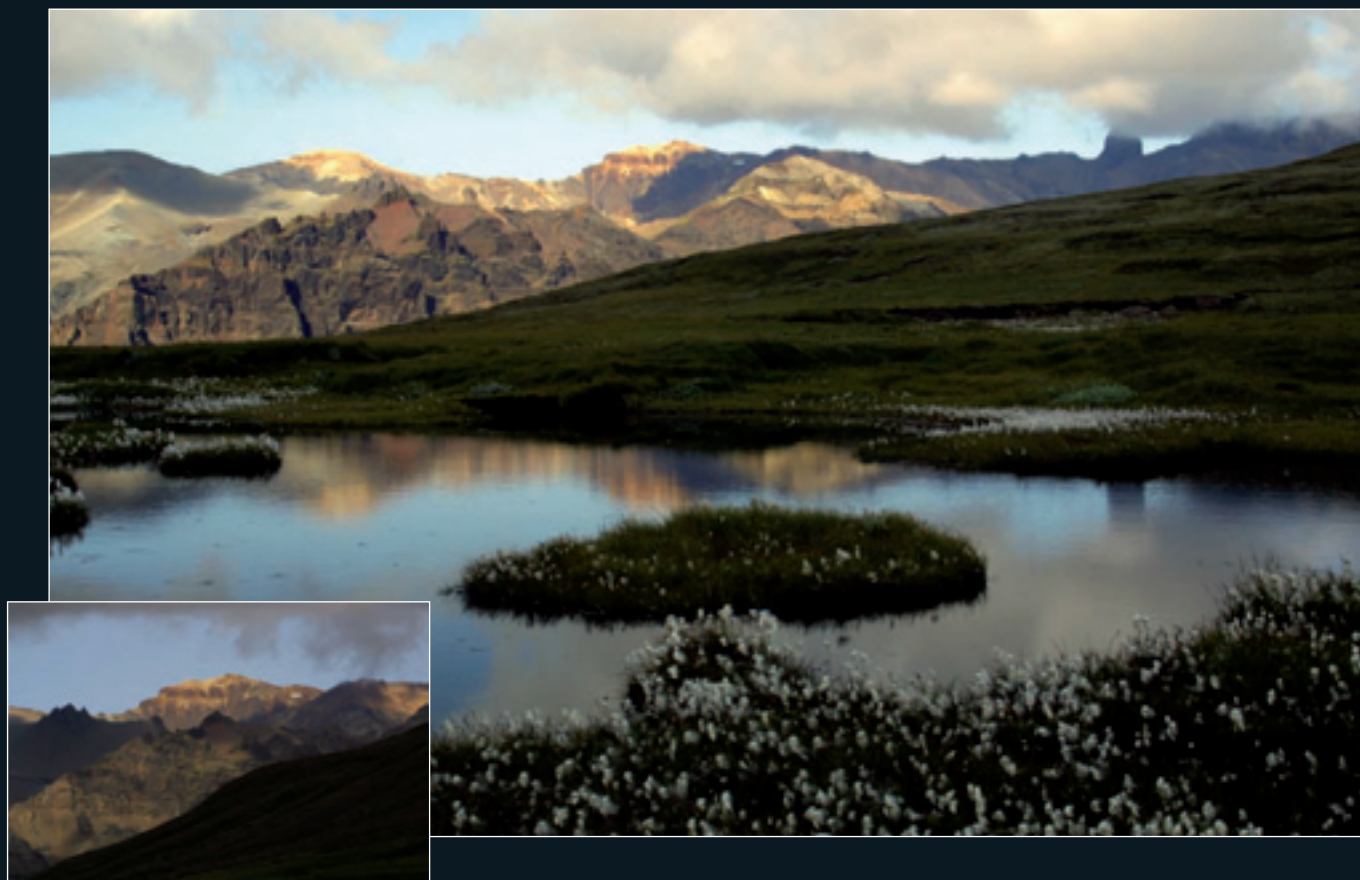
Figuras 12-13. Uno de los grandes atractivos son las cascadas que salvan los numerosos escarpes. En la figura, la cascada de Skogarfoss.



Figura 14. La costa de Dyrholaey.



Figuras 15-16. Svartifoss: la cascada negra con su anfiteatro de columnas de basalto (Parque Nacional de Skafatell).



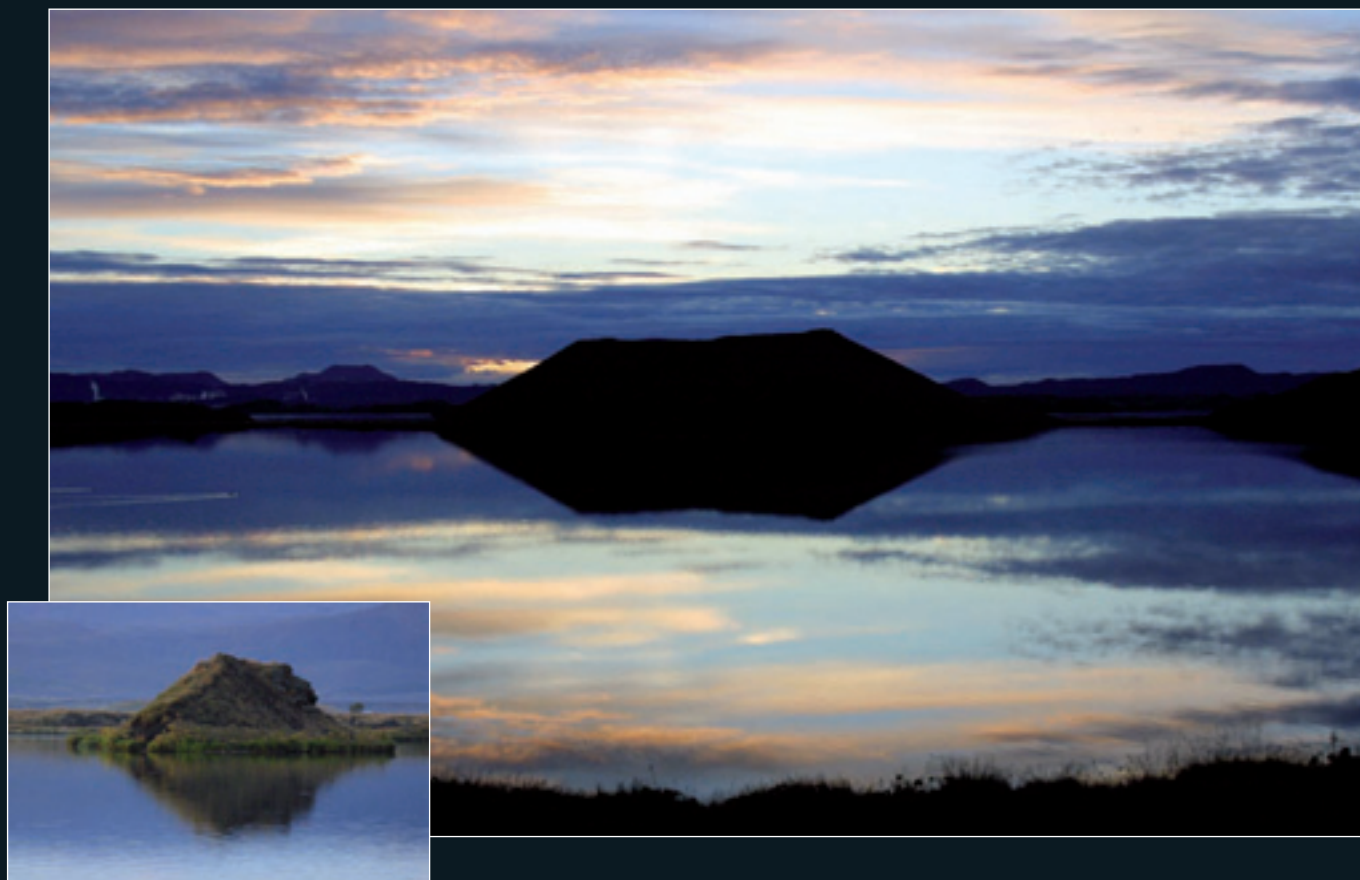
Figuras 17-18. Vistas de la parte alta del Parque Nacional de Skafatell.



Figura 19. Disyunción columnar en basaltos en la costa. En Islandia se pueden encontrar algunos de los ejemplos más espectaculares.



Figuras 20-21. Jökulsárlón: un bello lago glaciar muy accesible desde la carretera perimetral "ring road".



Figuras 22-23. Lago Myvatn (pseudocráteres y lagos). También es un buen sitio para la observación de aves.



Figura 24. Los fiordos orientales.



Figuras 25-26-27-28. Granja tradicional.



Figuras 29-30. Geyser en la zona del Strokkur y la cascada de Dettifoss (según algunos datos, la cascada más poderosa de Europa).



Figura 31. El geyser Strokkur.

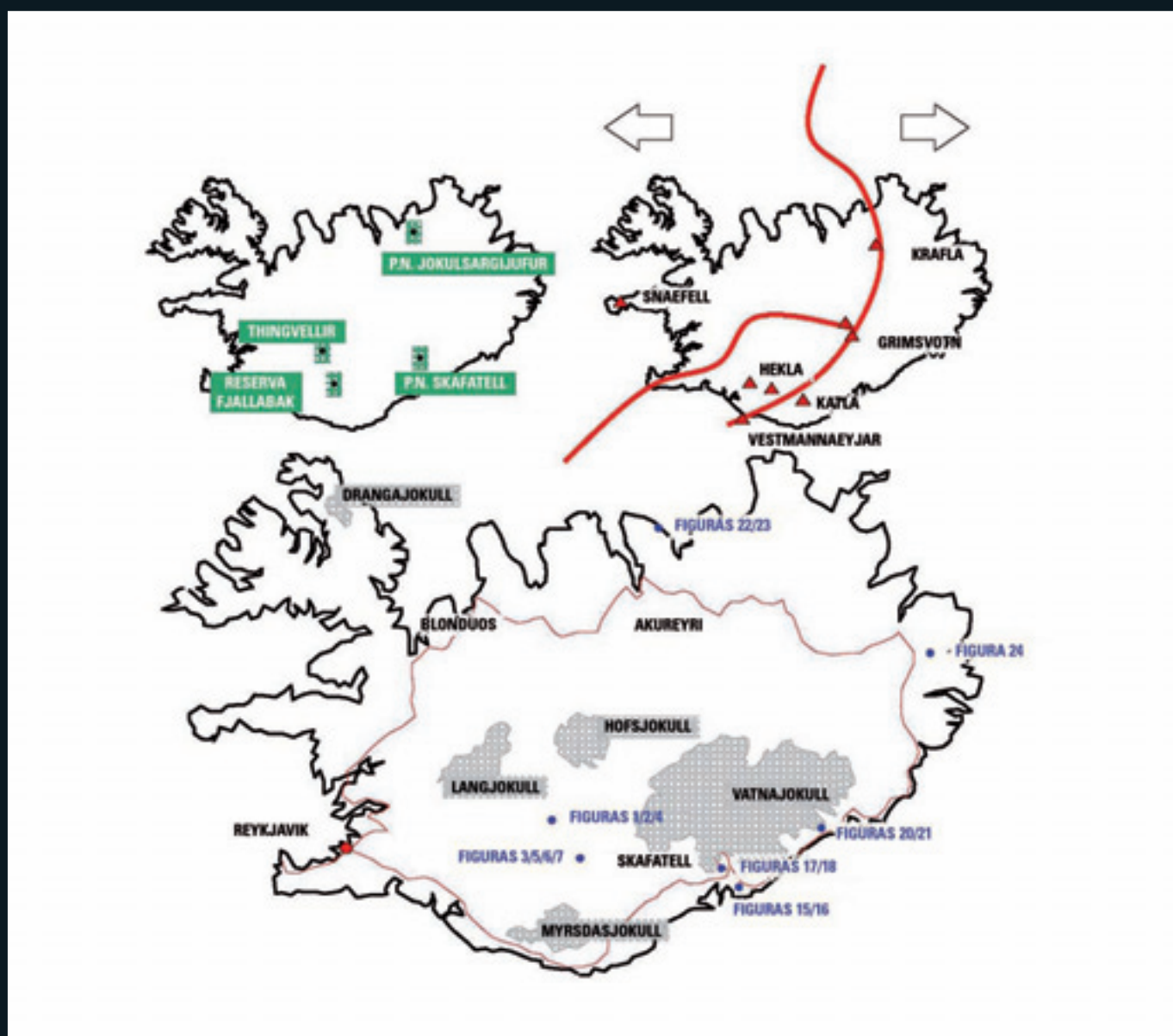


Figura 32. Situación aproximada de las fotos. Áreas de interés.

Los suelos blandos en obras de tierra

Problemática y tratamientos potenciales. El ejemplo irlandés

En este artículo repasamos las implicaciones de la presencia de suelos blandos en terrenos afectados por obras de tierra y los posibles tratamientos aplicables cuando aquéllas no resultan admisibles. Asimismo, enumeramos las principales labores de prospección adecuadas para su caracterización y los posibles instrumentos de seguimiento que existen para evaluar la respuesta de los suelos frente a los nuevos estados de carga. Para ello, hemos escogido el ejemplo irlandés, con el cual hemos adquirido mucha experiencia en los últimos cuatro años, en obras de carretera, debido a la frecuencia con la que se presentan allí terrenos muy compresibles y de baja capacidad portante.

Texto | Javier Nieto Calduch. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Mónica Martínez Corbella. Geóloga Rafael Portilla Hermosilla. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director de la División de Ingeniería del Terreno de Eptisa

Palabras clave
Suelos blandos, Irlanda, tratamiento, consolidación, instrumentación

Una de las características más relevantes de la geología irlandesa es la práctica ausencia de substrato terciario y secundario (sólo están datadas así las arcillas del lago Neagh, terciarias, y algunas formaciones costeras, triásicas y jurásicas, todas en Irlanda del Norte), y que el cuaternario está compuesto fundamentalmente por un recubrimiento de depósitos glaciales, del Pleistoceno medio-alto. Éstos son relativamente homogéneos por lo que respecta a sus propiedades geotécnicas (arcillas arenosas firmes con gravas, normalmente) y no suelen superar los 30 m de potencia.

Bajo ellos se encuentra directamente el substrato rocoso paleozoico, en el que predominan rocas carbonatadas del Carbonífero, en la zona central de la isla, y detríticas del Devónico, al suroeste. En la costa este son frecuentes también cuarcitas del Silúrico e intrusiones graníticas devónicas como las que conforman las montañas Wicklow, al sur de Dublín. Esta simplificación puede deducirse de la *figura 1*: tonos azules y verdosos para las calizas carboníferas, marrones y rojos para las detríticas e intrusivas devónicas, respectivamente, y, finalmente, tonos morados para las silúricas, predominantes al este.

Los depósitos cuaternarios que no son de origen glacial, mixtos o aluviales granulares, son, precisamente, los que, situados en

zonas de mal drenaje, dan lugar a los suelos blandos tratados en este artículo. Éstos comprenden tanto turba como arcillas y limos no orgánicos, siendo los últimos de origen aluvial, normalmente (cabe pensar que un material es orgánico cuando el contenido de humedad supera el 100-125%. En turberas, hemos visto bastantes muestras con humedades y límites líquidos por

encima del 300%). En ambos casos, cuando se someten a un incremento de carga, se producen asientos que resultan inadmisibles, bien por su magnitud, bien por el tiempo necesario para que se completen. Por ello, lo deseable es evitar construir sobre ellos, diseñando corredores que no atraviesen este tipo de depósitos, como los del ejemplo de la *figura 2*. Cuando

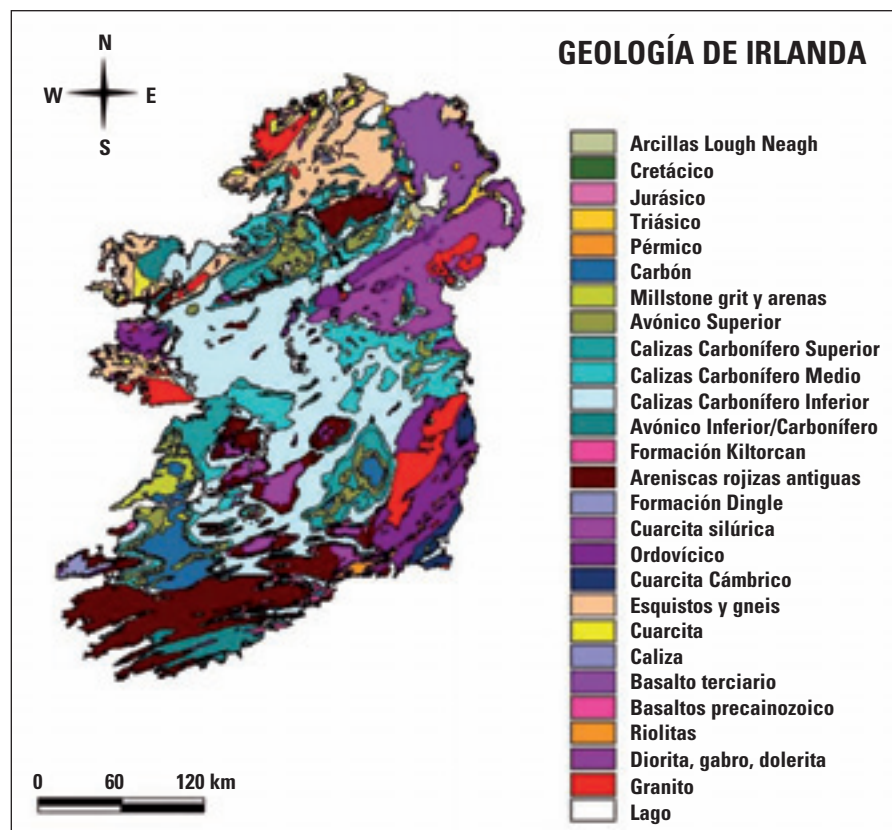


Figura 1. Mapa geológico de Irlanda.

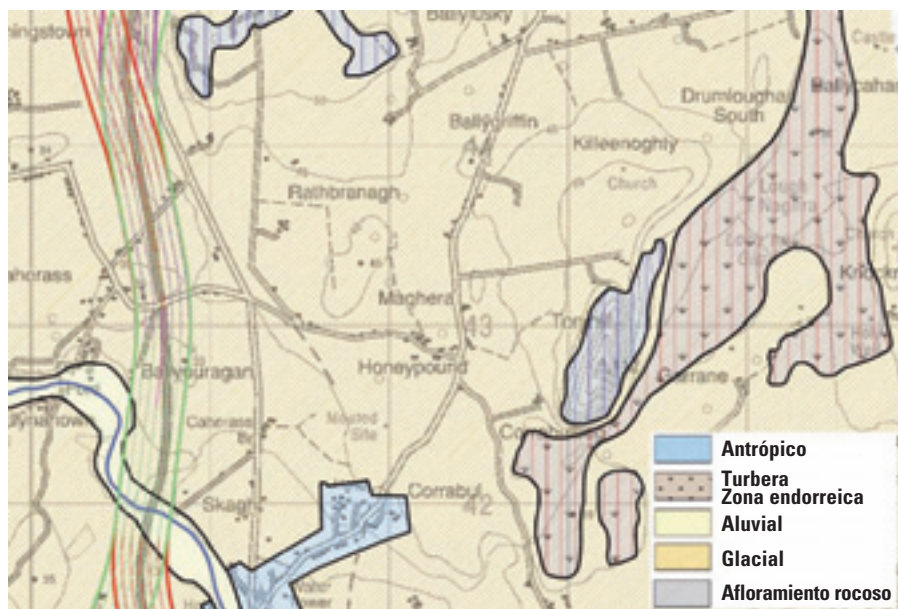


Figura 2. Ejemplo de la presencia de suelos blandos. Turberas y depósitos lagunares (cartografía geológica básica para la selección de un corredor).



Figura 3. Excavación para la sustitución de limo aluvial gris blando.

esto no es posible, la aceptabilidad de la deformación y de la medida correctora depende de varios factores: la naturaleza del terreno, la disponibilidad de materiales de sustitución, el tipo de obra afectada, el tiempo disponible para que entre en servicio y el riesgo remanente que se acepte tras el tratamiento. Así, por ejemplo, es posible que un asiento de más de 1 m bajo un terraplén sea aceptable, aunque tarde en completarse, siempre y cuando se tenga suficiente certeza sobre el plazo necesario para que se produzca y éste encaje dentro del programa de obra.

Sin embargo, en la misma obra de tierra, a sólo unos metros de distancia, puede hacer falta recurrir a una medida mucho más dura debido, por ejemplo, a la presencia de una estructura que limite los asientos admisibles.

Respecto a la certidumbre del proceso y el riesgo residual aceptable, los pliegos de prescripciones técnicas habituales en Irlanda prohíben, por ejemplo, la sobrecarga o el drenaje de suelos orgánicos como forma de tratamiento. Esto tiene que ver con los procesos de consolidación secundaria (deformación sin que haya variación de las presiones efectivas) que están normalmente ligados al contenido de materia orgánica y son muy difíciles de evaluar con precisión. Esta prescripción se relaja en el caso de las concesiones, en las que el mantenimiento de la carretera

corresponde a la empresa encargada de la explotación. Teniendo en cuenta estos parámetros generales, que definen el ámbito de partida, y los particulares de cada proyecto, se elige el tratamiento más adecuado entre los potencialmente disponibles, y es frecuente que el diseño completo requiera combinar varios.

Posibles tratamientos

Las medidas de mejora que pueden contemplarse potencialmente son múltiples. De todas las posibles, las más adecuadas, según cada caso, son las siguientes.

Excavación y sustitución

Siempre y cuando se disponga de material de reemplazo a precio razonable, éste es el tratamiento más probable en zonas de suelo blando someras (no más de 5 m de profundidad, como norma general, ya que es el alcance máximo de las máquinas convencionales, como la de la figura 3).

Compactación dinámica

Se basa en el empleo de un martillo pesado (del orden de 10 a 20 toneladas) para compactar el suelo impactando con él desde gran altura (entre 10 y 20 m), en puntos localizados en una malla con 3 m a 10 m de espaciamiento. Antes de ello, y éste es un aspecto común a muchos de los

tratamientos, se debe extender una capa granular de reparto sobre el área afectada. Se trata de un procedimiento adecuado para terrenos granulares o poco plásticos; la mejora obtenida en capas arcillosas saturadas o arcillo-limosas gruesas es muy pequeña, incluso aunque se instalen drenes para acelerar el proceso de consolidación. De hecho, como orden de magnitud, no es un tratamiento adecuado para suelos con un límite líquido mayor que 35 o un índice de plasticidad mayor que 10, y tampoco para suelos orgánicos. Estas limitaciones descartan su uso dentro de la casuística irlandesa habitual (ocurre lo mismo con la vibrocompactación).

Precarga o mechas drenantes

Consiste en la colocación de una sobrecarga sobre el suelo blando de manera que se acorta el tiempo en el que se producen los asientos relativos a la carga real de diseño. Normalmente se construye primero el relleno estructural y después se coloca encima un relleno extra, con menos exigencias de compactación. La efectividad de la sobrecarga se mejora si se emplean drenes verticales hincados a través de las capas blandas que se pretende tratar, para acelerar la consolidación primaria (disipación de la sobrepresión de agua intersticial). Estas mechas drenantes, drenes de arena en otros tiempos, se instalan en mallas de 1 m a 2 m de espaciamiento,

normalmente, y están constituidas en la actualidad por materiales sintéticos: un núcleo drenante de polietileno-poliéster recubierto por un geotextil de filtro.

Como se aprecia en la *figura 4*, se suministran en rollos que se ensartan en un mandril, en el extremo de una pluma. Una vez ejecutada la plataforma granular de trabajo, el dren se hincan en el suelo blando mediante golpeo, o incluso por el propio peso del mandril, hasta que el incremento de resistencia indica que se ha atravesado la capa blanda. La mecha se corta entonces a unos 30 cm sobre la plataforma, de manera que ese extremo quede luego embebido por una capa granular drenante que servirá de conexión entre los drenes, para evacuar el agua fuera de los límites de ocupación del relleno. Dicha capa granular puede sustituirse también por una manta drenante sintética.

Las limitaciones teóricas en el empleo de esta técnica son el contenido de materia orgánica (la efectividad se cuestiona para contenidos superiores al 10%), el tiempo disponible dentro del plan de obra y la capacidad portante del terreno: existe un compromiso entre la resistencia del suelo y la altura admisible del relleno que se pretende construir. Debido a ello, es muy probable que sea necesario, por un lado, un refuerzo del relleno en su base (lámina de geosintético de alta resistencia colocada encima de la capa drenante) y, por otro, una construcción por etapas, con tiempos de espera que permitan que el suelo gane la suficiente resistencia como para soportar más carga. A este respecto, se estima que el aumento de la resistencia del terreno, evaluada en condiciones sin drenaje, es del

La aceptabilidad de la deformación y de la medida correctora depende de varios factores: la naturaleza del terreno, la disponibilidad de materiales de sustitución, el tipo de obra afectada, el tiempo disponible para que entre en servicio y el riesgo remanente que se acepte tras el tratamiento

orden de un 20-30% del incremento que se va produciendo en las presiones efectivas.

Columnas de grava

La técnica más aplicada comúnmente para suelos cohesivos blandos se conoce como de *vía húmeda*. Consiste en introducir una carcasa tubular en el terreno, mediante vibración, hasta el fondo de la capa blanda. Durante la introducción no se aporta material normalmente y se emplea agua a presión para sujetar el agujero temporalmente y ayudar a evacuar el residuo producido.



Figura 4. Instalación de mechas drenantes.

Es durante la extracción del tubo cuando se rellena con grava, apisonada con un émbolo central. El requerimiento principal de este tipo de tratamiento es que se cuente con suficiente confinamiento lateral del terreno para que la columna de grava no se desparrame. El límite inferior de resistencia al corte sin drenaje que se considera aceptable para poder aplicar esta técnica es del orden de 15 kPa. Cuando la resistencia es menor, existe la posibilidad de encapsular la grava en un geotextil para solventar esa carencia, empleándose entonces también columnas de arena.

Pilotes

El tratamiento se basa en ejecutar una malla de pilotes bajo el relleno. Normalmente son prefabricados y se hincan hasta alcanzar materiales con suficiente capacidad



Figura 5. Preparación de un relleno pilotado en la aproximación a una estructura (hormigonado de los encepados en cabeza).

portante. Los pilotes deben tener una placa o encepado en la cabeza que permita la apropiada distribución del peso del relleno (véase *figura 5*). Para ello, es necesaria también la construcción de una plataforma de reparto (*LTP*, del inglés *Load Transfer Platform*), consistente normalmente en una capa granular con láminas de geosintético de refuerzo intercaladas (véase *figura 6*).

Esta medida puede llegar a ser la única viable, cuando el saneo no es posible, en los rellenos de aproximación y estribos de estructuras, en los que el asiento admisible es casi nulo.

La longitud de los pilotes depende lógicamente del espesor de la capa blanda y debe contarse con que sea necesario perforar 2 ó 3 m extra para alcanzar el rechazo. Los diámetros oscilan entre 200 mm y 400 mm y, como puede suponerse, a mayor diámetro, es posible emplear un mayor espaciamiento de la malla, por lo que el diseño final responde también a la idoneidad en los precios.

Estabilización con cemento/cal (soil mixing)

Consiste en la mejora del suelo mediante la adición en seco de un aglutinante que, al reaccionar químicamente con él, mejora sus propiedades resistentes y de deformación.

En los años sesenta comenzó a extenderse su uso, empleando cal viva. El cemento se introdujo poco después y, en los años noventa, comenzaron aplicarse otros materiales como la escoria de altos hornos, las cenizas volantes, el yeso o la bentonita que, combinados con los primeros, dan lugar a un producto más reactivo. Debe destacarse también que la mezcla de cal y cemento se emplea con frecuencia, debido a que la reacción inicial de la cal con el agua genera calor, útil para la reacción del cemento. La técnica tiene dos modalidades básicas:

- Mezcla profunda en columnas.
- Mezcla en masa hasta 4 o 5 m de profundidad (empleada en suelos orgánicos).

En la *tabla 1* se resumen las aplicaciones más habituales de los distintos tipos de

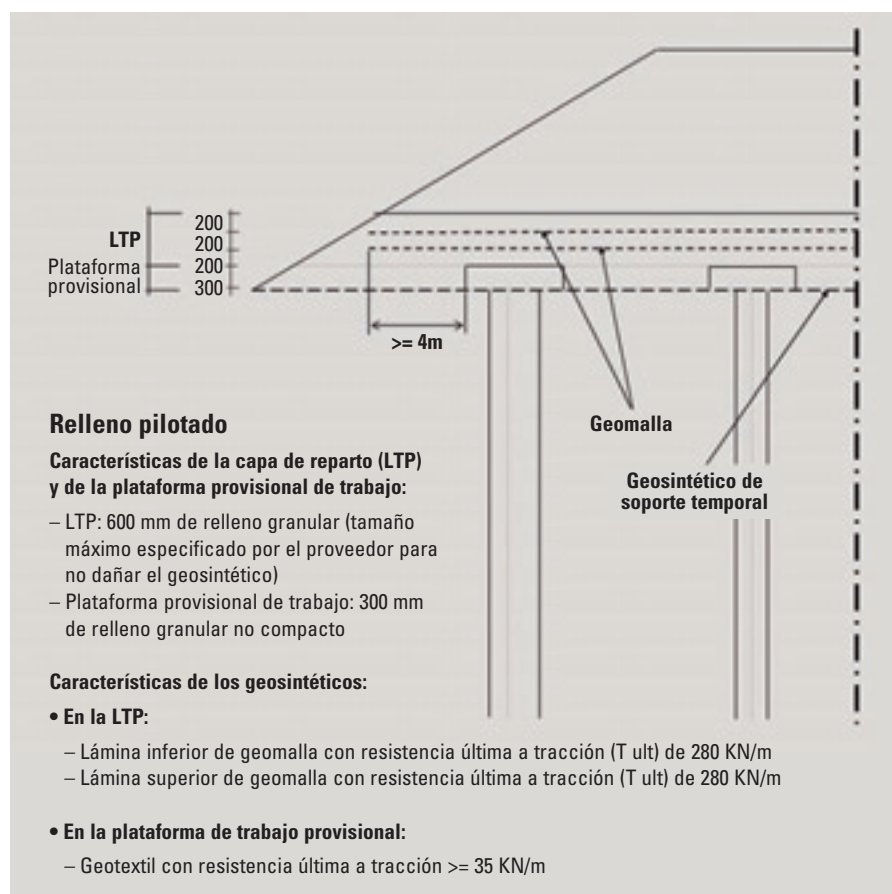


Figura 6. Ejemplo del diseño de un relleno pilotado y la plataforma de reparto de carga (LTP).

aditivos, en función de la naturaleza del suelo.

De todas formas, para cada proyecto se debe definir una mezcla concreta, en función de las características del suelo. Los parámetros principales que deben tenerse en cuenta son: la humedad natural, los límites de Atterberg, la densidad, el contenido de materia orgánica, sulfatos y sales, el pH y la resistencia al corte.

En la experiencias en las que hemos participado hasta ahora, en Irlanda, esta técnica ha resultado ser menos competitiva que el saneo (profundidad de trabajo similar a la de la estabilización en masa) o la construcción por fases con ayuda de drenes verticales.

Relleno ligero

Al contrario que en todas las técnicas anteriores, con este tratamiento no se pretende mejorar el terreno, sino reducir la carga impuesta sobre él. En cualquier caso, esta reducción no suele ser suficiente

Tabla 1. Tipos de aditivos en el soil mixing

Arcilla	Cal o cemento/cal
Arcilla orgánica	Cemento/cal o cemento/escoria
Turba	Cemento o cemento/escoria
Con sulfatos	Cemento o cemento/escoria
Limo	Cemento o cemento/cal
Arena	Cemento

por lo que es habitual combinarla con alguna de aquéllas. Los materiales empleados más habitualmente para aligerar un relleno son la arcilla expandida (material cerámico resultante de introducir arcilla pura en un horno rotatorio) y los bloques de poliestireno expandido (conocido como EPS, del inglés *expanded polystyrene*, y de apariencia similar a la del corcho blanco empleado en embalajes).

La arcilla expandida, puesta en obra, tiene una densidad máxima a largo plazo de 600 a 800 kg/m³, es decir, del orden de una tercera parte que la de un material natural. En las

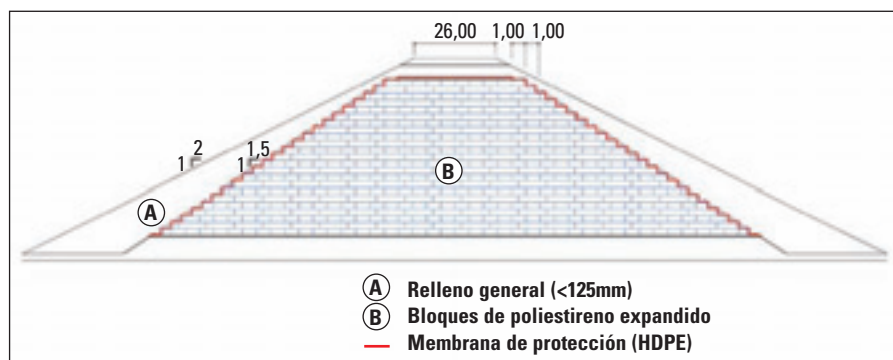


Figura 7. Sección esquemática de un terraplén con bloques de poliestireno.

misma condiciones, la densidad recomendada de diseño del EPS es de 40 kg/m^3 , es decir, unas 50 veces menos que un material natural. De todas formas, como puede observarse en la *figura 7*, los bloques de poliestireno, de hasta $2\text{-}3 \text{ m}^3$, deben colocarse sobre una base granular, protegerse con espaldones y cubrirse también con material convencional, por lo que el peso final medio del relleno acaba siendo del orden de una sexta parte, que si se empleara sólo terreno natural.

Metodología para un estudio concreto

Lo ideal cuando se interviene en el diseño de una obra de tierra sobre terreno blando es poder participar en todo el proceso, desde la caracterización del suelo hasta la definición de las medidas de instrumentación y su seguimiento, necesarios para verificar si el comportamiento real responde a las previsiones.

Caracterización del terreno

De acuerdo con nuestra experiencia hasta la fecha, las investigaciones de campo y ensayos de laboratorio que parece más adecuado llevar a cabo son las siguientes:

- Penetrómetros dinámicos, en una malla aproximada de $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ o $10 \text{ m} \times 20 \text{ m}$, con el objeto de tener una idea inicial de la resistencia del depósito de suelo blando pero, sobre todo, para determinar con suficiente precisión su extensión en planta y en profundidad (en la *figura 8* se muestra un posible perfil típico resultante —no se han representado en él los penetrómetros—).
- Sondeos con realización de ensayos SPT y toma de muestras inalteradas, a partir de las cuales se puedan obtener los siguientes

Lo ideal cuando se interviene en el diseño de una obra de tierra sobre terreno blando es poder participar en todo el proceso, desde la caracterización del suelo hasta la definición de las medidas de instrumentación y su seguimiento, necesarios para verificar si el comportamiento real responde a las previsiones

parámetros en el laboratorio: límites de Atterberg, humedad y densidad naturales, contenido de materia orgánica, resistencia al corte sin drenaje y, efectuando ensayos edométricos, índice de poros, coeficiente

de compresibilidad y coeficiente de consolidación (parámetro que mide la velocidad con la que se produce la disipación de la sobrepresión intersticial). Debe tenerse presente que, debido a la baja capacidad portante, muchas veces no es viable el acceso con máquinas de sondeos.

- Sondeos hincados tipo “window sample”. Se trata de sondeos que resultan un buen complemento, o incluso un sustituto, de los sondeos convencionales. Alcanzan profundidades de hasta $6\text{-}8 \text{ m}$ en función de la firmeza del terreno y pueden operarse, bien manualmente, bien con la misma máquina que los penetrómetros dinámicos (en vez de hincar el cono macizo, se hincan un tubo hueco de acero que permite tomar muestras cada metro). Si se dispone de suficiente presupuesto, lo ideal es realizar este tipo de investigación al “tres bolillo” con los penetrómetros dinámicos.
- Ensayos de molinete (*vane test*) para la medida in situ de la resistencia al corte sin drenaje. Al igual que los *window sample*, pueden operarse manualmente, con una sonda específica para tal efecto, o aprovechando la perforación de los sondeos.

También existe la posibilidad de llevar a cabo penetraciones estáticas con medida de la presión intersticial (ensayo CPTU), y ejecutando ensayos de disipación de ésta. Este tipo de prospección permite estimar el coeficiente de consolidación, así como la resistencia al corte sin drenaje y los parámetros de deformación, en función de la profundidad. Sin embargo, si se opta por ella, debe tenerse la precaución de, por un lado, confirmar que se obtendrá suficiente precisión en las medidas (por ejemplo, no tiene sentido interpretar una gráfica de la resistencia al corte sin drenaje que no tenga una precisión mínima de 10 kPa). Por otro lado, si no se

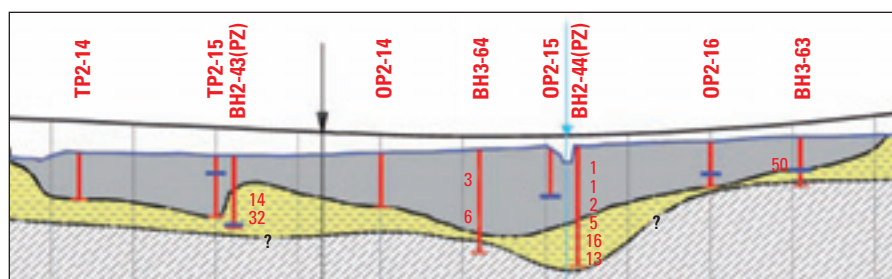


Figura 8. Perfil longitudinal típico de una carretera en Irlanda, sobre suelo blando (turba sobre depósitos glaciales cohesivos sobre roca).

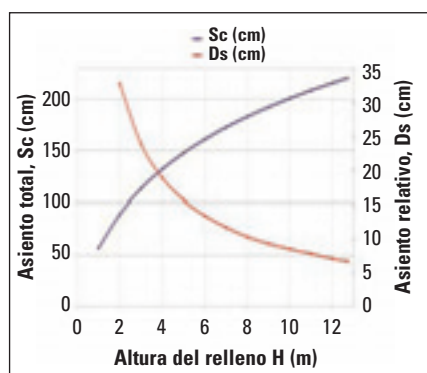


Figura 9. Evolución del asiento bajo un relleno en función de la altura de éste (valor absoluto, Sc, e incremento relativo para cada fase de relleno, Ds).

corrige la sobrepresión de agua intersticial que la propia penetración provoca en el terreno, se pueden malinterpretar los ensayos de disipación, obteniendo parámetros de consolidación del lado de la inseguridad.

Desarrollo del diseño

Con las investigaciones antedichas, se obtienen los parámetros necesarios para seguir tres líneas de diseño:

- **Estudio de la deformación absoluta:** se trata de saber cuál es el asiento total previsto para cada altura de relleno (véase figura 9) para saber a qué porcentaje del mismo corresponde la magnitud admisible y, por lo tanto, qué grado de consolidación se

debe alcanzar antes de la siguiente fase de obra. Por ejemplo, si en un relleno de carretera se estima que el asiento admisible después de construirse el firme es de 5 cm, y se calcula que el asiento total será de 100 cm, deberá producirse un 95% de ellos con anterioridad.

- **Estudio de la deformación en el tiempo:** siguiendo con el ejemplo anterior, se trata de averiguar cuánto tiempo hace falta para que se produzcan esos 95 cm de asiento. Para ello, se emplea el coeficiente de consolidación y , en concreto, el coeficiente de consolidación horizontal (C_{h1}), que es el que rige, predominantemente, cuánto tarda en evacuarse el agua fuera de los límites de influencia del relleno, de manera que se recupere la presión intersticial inicial bajo él. En los ensayos edométricos se obtiene el coeficiente de consolidación vertical. Normalmente, se admite, en España, que el coeficiente de consolidación horizontal real es mayor que el vertical de laboratorio, tanto por una cuestión de factor de escala (la superficie sobre la que se aplica la carga en el ensayo no es mayor que la longitud de la probeta, mientras que, en la realidad, la ocupación del relleno sí es mucho mayor que la profundidad del suelo compresible), como porque es frecuente que existan intercalaciones más permeables, dentro del depósito estudiado, que facilitan el drenaje. La experiencia en

Irlanda muestra que allí esto no es necesariamente así, y que conviene considerar un C_{h1} de diseño no mucho mayor que el C_v de laboratorio. Probablemente se deba a la gran homogeneidad, en profundidad, tanto de la turba como de los limos aluviales grises, que son los tipos de materiales blandos más frecuentes allí. Elegido el C_{h1} de cálculo, se estima la duración del asiento y se confronta con el tiempo disponible dentro del plan de obra. Cuando el plazo necesario no es admisible, que es lo normal, se estudia algún tipo de medida entre las descritas anteriormente. Lo razonable es hacer una primera estimación de qué malla de drenes verticales o columnas de grava sería necesaria (el modelo se basa en la disminución del camino que tiene que recorrer el agua en la disipación de presiones y es relativamente sencillo), y en función del resultado estudiar si es necesaria alguna medida complementaria (sobrecarga, pilotes, etc.). Por último, debe considerarse también el fenómeno de la *consolidación secundaria*, asociado al reajuste de partículas que se produce cuando empieza a equilibrarse la presión intersticial. Como se ha mencionado al principio, esta consolidación es muy difícil de evaluar con precisión. Da lugar a un asiento complementario al

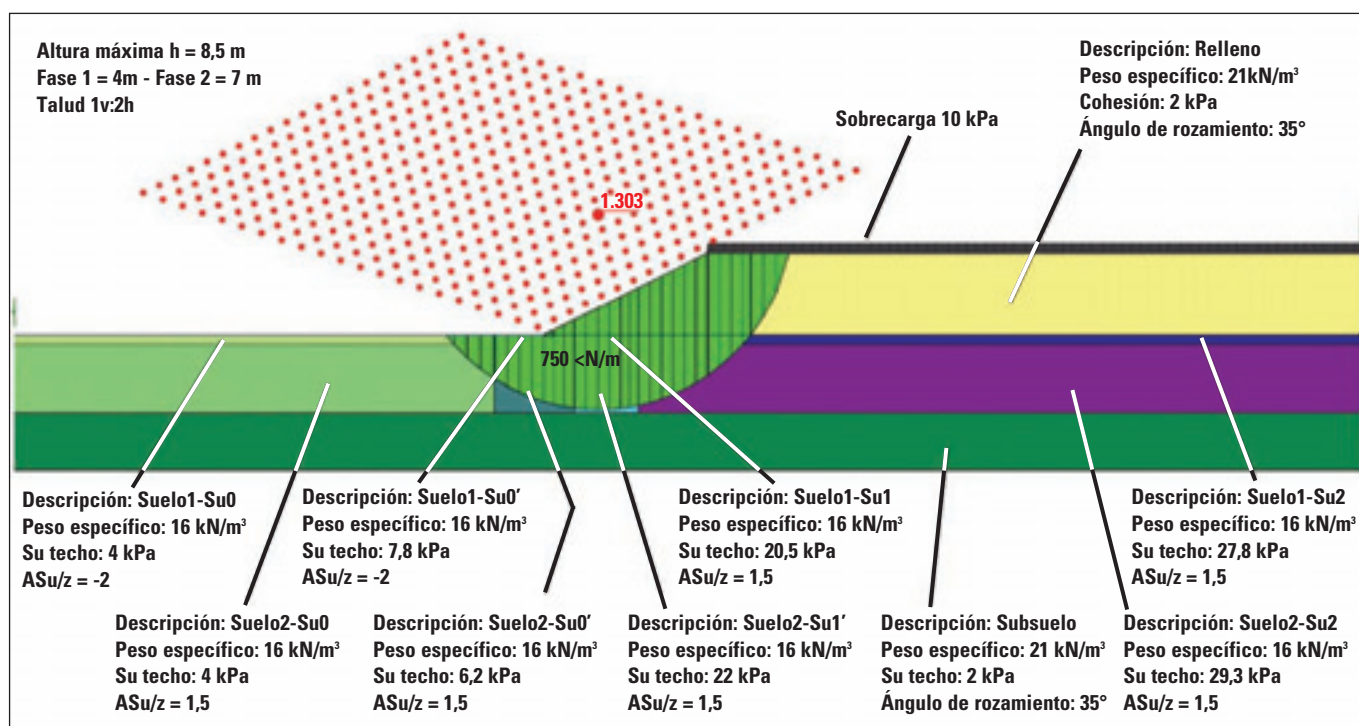


Figura 10. Cálculos de estabilidad por fases en función de la mejora del terreno con el incremento de las presiones efectivas.

de la primaria que es más acusado cuanto más orgánico y permeable es el material, dentro del rango de los materiales cohesivos (no es un fenómeno que se dé en materiales granulares). Se trata de un fenómeno muy dilatado en el tiempo que suele dar lugar a movimientos aceptables para la obra de tierra, incluso en condiciones de servicio. No obstante, conviene tener presente que el asiento global final pueda ser del orden de un 10-15% más que el calculado exclusivamente con la consolidación primaria. En función de esto, debe decidirse, en cada caso, si conviene anticipar éste en mayor medida con alguno de los tratamientos anteriores.

- **Estudio de la estabilidad:** paralelamente a las dos líneas de cálculo anteriores, hay que evaluar si la carga que se va a transmitir al terreno, debido al peso de la obra de tierra, es admisible a efectos de estabilidad. Idealmente querríamos construir todo el relleno lo antes posible, para acortar el periodo de asiento pero, si no se pilota el relleno ni se mejora drásticamente el cimiento, lo habitual es que eso no sea viable y haya que estimar qué carga parcial es aceptable en función de la resistencia del suelo. Como ya hemos comentado, ésta irá aumentando en función del incremento de las presiones efectivas. Por lo tanto, el procedimiento consiste, en primer lugar, en calcular la altura de relleno admisible para la resistencia inicial. Seguidamente, se debe iterar enfrentando las siguientes fases de relleno deseadas con el tiempo necesario para que se produzca la mejora correspondiente del suelo. En la *figura 10* se muestran el cálculo de estabilidad, frente al deslizamiento rotacional, de un relleno de 8,5 m de altura que se construyó en tres fases, deteniendo la ejecución a los 4 m y a los 7 m, hasta que se produjo el grado de consolidación necesario para que el terreno pudiese soportar el siguiente escalón de carga.

Seguimiento

El control de la disipación de las presiones intersticiales, y de los asientos que se producen, es fundamental en este tipo de diseños, sobre todo si se opta por la construcción por fases. Además, conviene verificar in situ que no hay riesgo

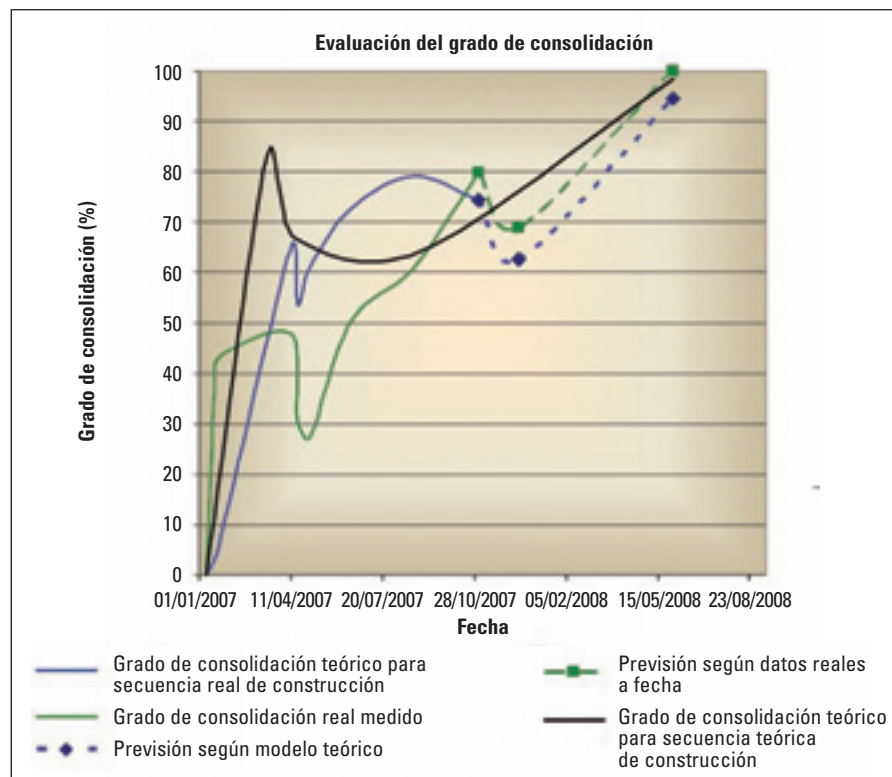


Figura 11. Ejemplo de comparación de la consolidación prevista con la real (la línea negra corresponde a la evolución teórica de la consolidación y de la previsión de ejecución del relleno. La línea azul muestra la evolución que hubiese predicho el diseño para la secuencia real que tuvo la construcción. La línea verde corresponde a los datos reales registrados finalmente).

de inestabilidades. Para ello es recomendable disponer la siguiente instrumentación:

- Hitos topográficos cada 20 m-50 m, para medir el asiento total, en todas las fases de relleno.
- Secciones transversales de control cada 100 m-200 m en las que se instalen los siguientes dispositivos: inclinómetros en los pies del relleno, uno o dos sondeos con piezómetros a profundidades correspondientes a 1/3 y 2/3 del espesor de suelo blando, y una línea continua de asientos, para contrastar con los hitos, y que mida la deformación del cimiento exclusivamente (no la del relleno).

Esta instrumentación debe ir acompañada de un adecuado plan de seguimiento. Por un lado, se debe controlar cuál es la evolución real de la obra de tierra (altura construida frente al tiempo empleado en la ejecución, teniendo presentes los tiempos reales de espera, si se trata de una construcción por fases).

Por otro, se debe definir claramente la frecuencia de las lecturas, la información que debe obtenerse y las pautas a seguir

en función de ésta: aumento de la frecuencia de lectura, la variación de las hipótesis de partida, el aplazamiento de la siguiente fase de relleno, etc. En definitiva, éste es el último paso del proceso, el que permite evaluar la respuesta real del terreno y construir una gráfica como la de la *figura 11*, que permita decidir en qué momento se dan las condiciones para dar por finalizada la obra de tierra y pasar a la siguiente actividad (extendido de las capas de firme, construcción de la vía, etc.)

Bibliografía

- British Standards-BS 1377-9 (1990). *Methods of test for soils for civil engineering purposes. Part 9: In-situ tests.*
- British Standards-BS 8006 (1995). *Section 8. Design of embankments with reinforced soil foundations on poor ground.*
- Ciria Report 504 (1999). *Engineering in glacial tills.*
- Jiménez Salas, J. A. y De Justo Alpañés, J. L. (1975). *Geotecnia y cimientos I: Propiedades de los suelos y las rocas.*

La gran fractura de la Cordillera Ibérica

Una gran fractura se desarrolla desde la Depresión del Duero hasta las Cordilleras Costeras Catalanas y divide la Cordillera Ibérica en dos grandes unidades (Norte y Sur) muy diferentes entre sí, no justificando la clásica diferenciación en ramas Castellana y Aragonesa para la misma. La fractura es paralela al Pirineo y, probablemente, sinistral. Por su especial localización y por su importancia, se encuentra implicada la geología de todo el cuadrante noreste peninsular, pudiéndose plantear un nuevo enfoque en su estudio.

TEXTO | Antonio Pineda, Geólogo (apineda@eptisa.es). Javier San Román, Geólogo (jsanroman@chebro.es)

Palabras clave

Cordillera Ibérica, Gallocanta, Zaragoza, fractura, cuadrante noreste peninsular

En el presente artículo se argumenta la existencia de un importante accidente o zona de fractura de zócalo, entre la parte centro-oriental de la Depresión del Duero y la suroccidental de las Cadenas Costeras Catalanas. Este accidente, oblicuo-transversal al conjunto de la Cordillera Ibérica, explica de forma lógica las diversas particularidades de la misma, así como sus enlaces con las cadenas vecinas.

Las primeras ideas sobre el tema surgieron a partir de los datos obtenidos en el proyecto *Establecimiento de las normas de explotación de la U. H. Gallocanta y la delimitación de perímetros de protección de la laguna*, realizado por la Confederación Hidrográfica del Ebro (Ministerio de Medio Ambiente), en el año 1999. Este proyecto conllevó la realización de una cartografía geológica a escala 1/25.000 de la laguna de Gallocanta y sus alrededores, por los autores de este artículo.

A la hora de decidir la estructura del presente artículo, se ha considerado importante que, entre otras cosas, refleje lo más fielmente posible la sucesión producida de acontecimientos y razonamientos por su valor didáctico. Es un buen ejemplo de cómo, durante una cartografía geológica cualquiera, puede aparecer un hecho relativamente anómalo en el contexto estudiado. Y de cómo el geólogo, a partir de la identificación de la anomalía, y en vez de optar por "dar el carpetazo" al asunto, puede (y debe) preguntarse el porqué de la misma. Transcendiendo esta reflexión a entornos

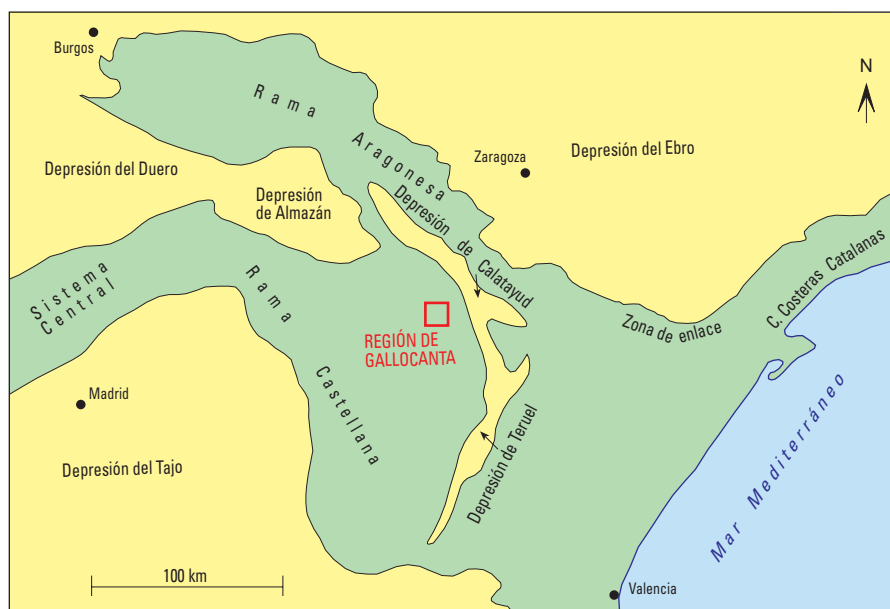


Figura 1. Unidades tradicionalmente admitidas para la Cordillera Ibérica y sus relaciones con las cadenas vecinas, incluyendo la localización de la región de Gallocanta.

de mayor escala, es posible que acabe teniendo implicaciones regionales de envergadura, como es el caso de la que nos ocupa.

La Cordillera Ibérica

Como es sabido, la Cordillera Ibérica es una cadena montañosa alpina, de zócalo y cobertera, orientada noroeste-sureste y generada sobre la parte oriental del Macizo Hespérico; separa, a grandes rasgos, las depresiones terciarias del Duero y Tajo, al oeste, de la del Ebro, al este.

Desde hace tiempo, la Cordillera Ibérica se ha dividido en dos ramas subparalelas: la Rama Castellana, occidental, y la Rama

Aragonesa, oriental. Esta división clásica es clara en la transversal central de la cordillera, entre Madrid y Zaragoza, allí donde todavía la prolongación oriental de la Depresión del Duero (Cuenca de Almazán) separa ambas ramas, pero se difumina hacia el sureste, donde hay, básicamente, un único y ancho núcleo montañoso, hendido en su parte central por estrechas cuencas terciarias de dirección NO-SE y NE-SO (depresiones de Calatayud y Teruel) que forman parte del sistema de fosas orientales de la península (Julivert *et al.*, 1972).

Además, la Cordillera Ibérica presenta enlaces orográficos y estructurales con las cadenas alpinas próximas de rumbo NE-SO:

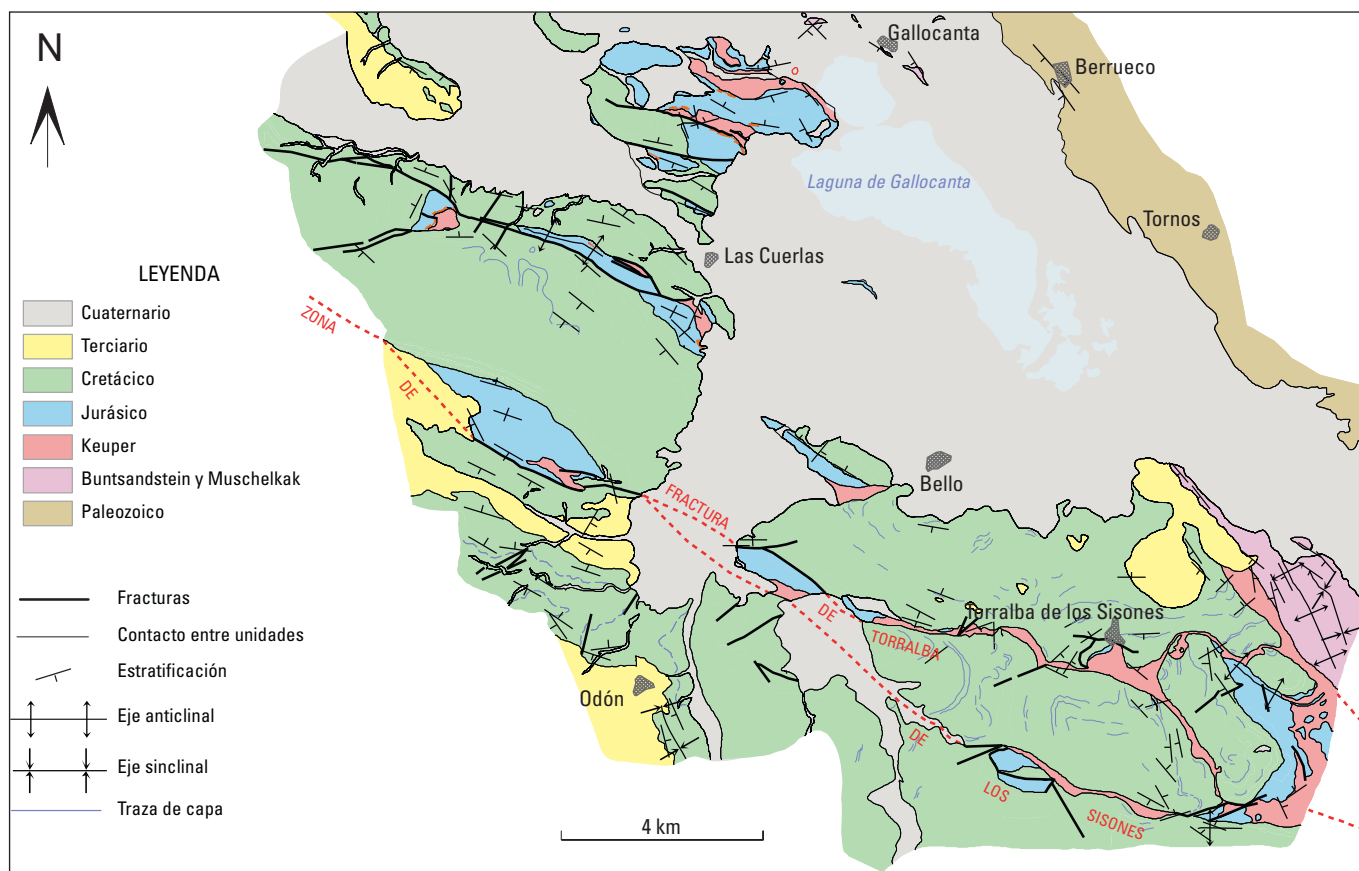


Figura 2. Mapa geológico del sur de la región de Gallocanta, mostrando la localización de la Zona de Fractura de Torralba de los Sisonés (ZFTS).

- Con el Sistema Central, al oeste. Precisamente, la terminación nororiental del Sistema Central coincide con el nacimiento y posterior desarrollo hacia el sureste de la Rama Castellana.
- Con las Cordilleras Costeras Catalanas, mediante una zona de enlace E-O, en una parte oriental concreta de la Rama Aragonesa.

En los últimos trabajos (Guimerà, 2004), se tiende a dividir la cordillera Ibérica también en dos ramas subparalelas pero con matices. Éstas son la Rama Castellano-Valenciana (equivalente a la Castellana anteriormente citada), desde el Sistema Central hasta el golfo de Valencia, y la Rama Aragonesa hasta las estructuras de enlace E-O con las Cordilleras Costeras Catalanas (figura 1). Entre ambas ramas, el sinclinal de Almazán sería una estructura plegada, de mesozoico, que se supone es una prolongación suroriental de la depresión del mismo nombre, y sobre la que se desarrolla, más al sureste aún, la depresión terciaria de Teruel.

En los últimos trabajos, se tiende a dividir la Cordillera Ibérica en dos ramas subparalelas: Castellano-Valenciana y Aragonesa

La región de Gallocanta

La región de Gallocanta se localiza junto a la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica (figura 1), en el denominado sinclinal de Almazán, sobre formaciones mesozoicas con retazos terciarios, y junto al borde oeste de los afloramientos paleozoicos más occidentales de dicha rama (sierras de Ateca-Pardos- Santa Cruz).

El sistema lacustre de Gallocanta (lagunas de Gallocanta, Zaida y otras

menores, más o menos temporales) está comprendido dentro de un área endorreica de 25 x 12 km de extensión, alargada según la dirección NO-SE y cubierta por depósitos cuaternarios, sobre el límite provincial Zaragoza-Teruel.

Los mencionados afloramientos paleozoicos y su tegumento triásico (Buntsandstein y Muschelkalk, éste débilmente plegado) constituyen un conjunto rígido, separado del resto de la cobertera jurásico-cretácico-paleógena, por una banda de Keuper de unos 500 m de anchura media, generalmente oculta por los depósitos cuaternarios. En el conjunto de la zona, el Keuper ha actuado como nivel plástico de despegue y disarmonía tectónicos.

Al oeste de la banda de Keuper, es decir, en el conjunto de la zona plegada y fracturada de cobertera, se observa un hecho notable, una variación generalizada y paulatina de las direcciones predominantes de

las estructuras. Así, en la parte norte (áreas de Cubel, etc.), las estructuras (pliegues y fallas inversas vergentes al NE) son de dirección típicamente “ibérica” (NO-SE) y subparalelas al bloque paleozoico-triásico, mientras que hacia el sur (área de Las Cuerlas, etc.) son ONO-ESE y oblicuas, por tanto, al mencionado bloque (*figura 2*).

La Zona de Fractura de Torralba de los Sisonos (ZFTS)

Las mencionadas estructuras ONO-ESE conforman una banda de unos 10 km de anchura en la que la deformación aumenta hacia el sur hasta culminar junto a Torralba de los Sisonos, donde aparecen dos fallas principales, subparalelas, de dirección ONO-ESE (*figura 2*), la más septentrional de las cuales pone en contacto series del Cretácico superior, al norte, con materiales del Cretácico medio-inferior y Jurásico, al sur. Ambas fallas convergen hacia el ESE y hacia el ONO, y están jalonadas por inyecciones de Keuper. Estas inyecciones forman bandas de 100-300 m de anchura más frecuente a lo largo de los 10 km más orientales de las mismas, conectando finalmente con la banda de Keuper, que limita el bloque paleozoico-triásico.

En la parte oriental hay también una inyección de Keuper según una fractura NO-SE que, interconectando las bandas ONO-ESE, individualiza un bloque jurásico-cretácico de extensión kilométrica, probablemente rotado. Por lo demás, en toda esta zona deformada, los afloramientos de materiales rígidos (jurásico y cretácico superior, calizo-dolomíticos) se presentan a manera de “amígdalas” cartográficas kilométricas entre los materiales incompetentes (Keuper inyectado y cretácico inferior areno-arcilloso, de facies Utrillas).

Toda esta zona fracturada y deformada, con dirección ONO-ESE, será denominada en este artículo Zona de Fractura de Torralba de los Sisonos (ZFTS), por ser ésta la población más cercana a la misma. La indicada disposición “amigdalas”, y también la probablemente rotada de los

conjuntos rígidos, así como otros datos cartográficos, sugieren que la ZFTS puede tratarse, al menos en parte, de una falla en dirección, aunque de los datos cartográficos mencionados se deducen también movimientos de bloque meridional elevado respecto al septentrional.

Así pues, el sinclinal de Almazán se presenta atravesado oblicuamente por una importante zona de fractura, anómala por su dirección y, en cierto modo, inesperada. Hay que indicar, no obstante, que esta zona de fractura ya aparece cartografiada —aunque con menos detalle del expuesto anteriormente— en la hoja 1/50.000 (MAGNA) nº 491 (Calamocha) (Hernández-Samaniego y Olivé Davó, 1980) y en la 1/200.000 nº 40 Daroca (Ferreiro y Ruiz Fernández de la Lopa, 1987), pero sin otorgarle una importancia especial. Sin embargo, su importancia deriva no sólo de su mera presencia y características sino, sobre todo, de considerar dónde se localiza y qué zonas estructuralmente notables de la Cordillera Ibérica conectan sus prolongaciones, así como a lo largo de cuánta distancia.

Estas zonas se reflejan en la *figura 3*, y se describen o discuten a continuación; primeramente las localizadas hacia el este y, después, las del oeste. En la mencionada figura también se representa la ZFTS.

Las prolongaciones de la ZFTS hacia el este

Hacia el este, estas zonas son las siguientes.

La terminación meridional de la sierra paleozoica de Ateca-Pardos-Santa Cruz, entre Caminreal y Calamocha

La prolongación inmediata de la ZFTS hacia el ESE queda recubierta por depósitos cuaternarios pero coincide, entre Caminreal y Calamocha, en el límite de las provincias de Zaragoza y Teruel, con la terminación meridional de los afloramientos paleozoicos de las sierras de Ateca-Pardos- Santa Cruz (1, en *figura 3*). Esta sierra forma parte de la banda paleozoica occidental de la Rama Aragonesa,

desarrollada a lo largo de más de 100 km, desde Torrubia de Soria hasta este punto.

Al sur de estos afloramientos paleozoicos se localiza la fosa del Jiloca, de relleno pliocuaternario poco potente (Cortés Gracia y Casas Sainz, 2000) depositado sobre un sustrato mesozoico (generalmente cretácico y jurásico). En esta zona también se verifica la “unión” entre las fosas del Jiloca y de Calatayud. Probablemente todo esto, así como la gran extensión de los depósitos cuaternarios, han hecho prestar poca o ninguna atención a cuál puede ser la causa de la terminación meridional de esa banda paleozoica tan importante, lo que supone, en definitiva, un abatimiento brusco y notable del zócalo.

En opinión de los autores de este artículo, y atendiendo a todo lo anterior, es lógico y razonable suponer que esta banda paleozoica esté limitada por el sur del mesozoico mediante una fractura importante, y que ésta deba ser de dirección ONO-ESE, si se acepta que puede ser la prolongación de la descrita en Torralba de los Sisonos. Esta fractura habría sido de actuación anterior a las que han generado las mencionadas fosas.

Los datos hidrogeológicos sugieren la existencia de una fractura importante. Así, en el entorno de Fuentes Claras es donde se produce la principal descarga de agua subterránea del río Jiloca, lo que indica que su flujo, a través de los acuíferos mesozoicos, se interrumpe bruscamente, provocándose su rebose. Considerando que el agua surge a 18 °C y un gradiente geotérmico normal, el agua debe ascender desde unos 300 m de profundidad.

La terminación meridional de la sierra paleozoica de Montalbán

Prolongando la dirección ESE más lejos se llega al área de Montalbán (Teruel), donde otra banda paleozoica, en este caso la oriental de la Rama Aragonesa, de prácticamente 145 km de longitud, desde Borobia (Soria), finaliza cortada por estructuras de mesozoico y paleógeno, de dirección este-oeste y cabalgantes hacia el norte (2, en *figura 3*).



Figura 3. La Zona de Fractura de Torralba de los Sisonos (ZFTS) y sus probables prolongaciones (zonas estructuralmente notables, numeradas y explicadas en el texto), sobre el mapa geológico de España (original, a escala 1/1.000.000; ITGE, 1995).

Las estructuras cabalgantes de Montalbán han sido estudiadas en varios trabajos. Forman parte de la franja Portalrubio-Beceite, que se tratará en el apartado siguiente. En cambio, se ha prestado menor atención a la finalización meridional de la banda paleozoica, lo que, al igual que en la zona de Caminreal-Calamocha, supone un notable abatimiento del zócalo hacia el sur, y hace invocar la presencia de una fractura de primera magnitud. Recientemente, Guimerà (2004) supone la existencia de una falla aproximadamente este-oeste que, funcionando durante el Mesozoico, habría favorecido el mayor espesor de mesozoico al sur. Esta falla habría rejugado como cabalgamiento posteriormente, durante la deformación alpina.

Si se consideran la propia existencia de esta fractura y que ésta puede ser prolongación de la deducida en Caminreal-Calamocha, así como la descrita en Torralba de los Sisonos, resulta algo muy lógico pero insospechado o no considerado hasta el momento: *las dos bandas paleozoicas de la Rama*

Aragonesa quedan interrumpidas hacia el sur por una misma zona de fractura o importante accidente de zócalo, de dirección ONO-ESE y oblicuo-transversal, por tanto, a la dirección "ibérica" NO-SE de la cordillera.

Además, es notable que la estructura anticlinal paleozoica de Montalbán tenga su prolongación geométrica hacia el sureste (en el Maestrazgo), una vez atravesada la mencionada franja cabalgante este-oeste, en una estructura sinclinal laxa NO-SE de unos 60 km de longitud y 30 de anchura, en terrenos cretácicos. Este hecho anómalo, apreciable en cualquier mapa a gran escala de la región o de la península, obliga a considerar que la zona de fractura ONO-ESE haya podido jugar como falla en dirección. Más adelante se volverá a plantear y discutir este tema.

El borde, cabalgante hacia el norte, de la franja Portalrubio-Beceite

Como se ha indicado antes, esta franja (3, en figura 3) comienza en Portalrubio, 30 km al oeste de Montalbán, y se

prolonga hacia el este, hasta el entronque con las Cordilleras Costeras Catalanas o, más precisamente, con la cordillera Prelitoral de las mismas, materializando la considerada clásicamente "zona de enlace" entre éstas y la Cordillera Ibérica. La franja supone una zona deformada y acortada, de unos 5-15 km de anchura y 100 km de longitud, vergente al norte.

En su parte más occidental, entre Portalrubio y Montalbán, la franja cabalga sobre el Terciario del río Martín, que constituye el extremo suroriental de la Depresión de Calatayud. Entre Montalbán y Calanda interrumpe las alineaciones ibéricas de paleozoico y mesozoico de la Rama Aragonesa, y desde Calanda hacia el este cabalga sobre el Terciario de la Depresión del Ebro. En conjunto, la franja debe reflejar la actuación de una falla inversa o cabalgamiento, de zócalo, que eleva el bloque mesozoico del Maestrazgo sobre las unidades citadas.

Si se tiene en cuenta lo argumentado sobre el área de Montalbán en el apartado anterior, no parece difícil asumir que la zona de fractura que limita por

el sur las bandas paleozoicas de la Rama Aragonesa sea la misma que la que genera la franja Portalrubio-Beceite y que, por tanto, deba prolongarse hasta las Cordilleras Costeras Catalanas.

Hay que indicar, no obstante, que algunos autores suponen la “zona de enlace” como desarrollada sobre el área de interferencia entre las estructuras NO-SE ibéricas (de las que algunas corresponderían a antiguos cabalgamientos hercínicos, posteriormente rejugados como fallas distensivas y después como cabalgamientos alpinos con claro funcionamiento dextral: Tena y Casas, 1996) y las NE-SO catalanas (sinistrales), lo que habría originado un acortamiento aproximadamente norte-sur para la misma, con desplazamiento de los cabalgamientos variable entre 1 y 10 km (Guimerà, 1983). A este respecto hay que indicar que, si bien al este de Montalbán parece haber una cierta interferencia o gradación entre las estructuras NO-SE y las E-O de la cobertera mesozoica, es más notorio el carácter sobreimpuesto de las estructuras E-O de la franja sobre las direcciones NO-SE “ibéricas”, siendo su mejor exponente lo descrito en el apartado anterior para la propia banda paleozoica.

El entronque con las Cordilleras Costeras Catalanas

La franja cabalgante Portalrubio-Beceite gira y adopta las direcciones NE-SO, con vergencia al noroeste, en la zona de entronque con las Cordilleras Costeras Catalanas (4, en *figura 3*). Las virgaciones de los cabalgamientos este-oeste de la franja, en relación con las fallas de zócalo NE-SO, sinistro-convergentes, propias de estas cordilleras, señalan la simultaneidad en el juego de ambas estructuras, según Guimerà (1983, 1988).

A nivel de zócalo es difícil decidir si el cabalgamiento vergente al norte que origina la mencionada franja gira también para constituir el borde cabalgante de la Cordillera Prelitoral sobre la Cuenca del Ebro o si, por el contrario, choca oblicuamente con el mismo. La existencia

de fallas extensivas (rejuego de las compresivas) en estas cordilleras, que se prolongan hacia el suroeste y constituyen el borde oriental del surco o golfo de Valencia, dificulta el problema.

Las prolongaciones de la ZFTS hacia el oeste

La prolongación geométrica de la ZFTS jalona sucesivamente las siguientes zonas importantes desde el punto de vista estructural (*figura 3*):

El segmento norte de la Rama Castellana y su borde con la Depresión de Almazán

El rasgo más notable, apreciable en los mapas de gran escala, es que la prolongación geométrica hacia el ONO de la ZFTS coincide con el borde noreste de la Rama Castellana respecto de la Depresión de Almazán (5, en *figura 3*).

Además, conviene indicar ahora que en la Rama Castellana pueden distinguirse un segmento norte, en el que predominan las direcciones estructurales ONO-ESE, y otro sur, con direcciones más típicamente “ibéricas” (NO-SE). El límite entre ambos y el cambio de direcciones se produce, precisamente, donde la prolongación de la ZFTS comienza a contactar con dicha Rama, lo que indicaría que dicho segmento norte podría estar fuertemente influido por esta zona de fractura.

Los estudios de subsuelo de la Depresión de Almazán y sus bordes avalan las posibilidades indicadas, es decir, que la zona de fractura no esté localizada sólo en el borde de la depresión sino que abarque también (mediante un sistema de fracturas paralelas) una ancha zona a ambos lados del mismo. Dichos estudios indican que la depresión es asimétrica, con espesores máximos de relleno terciario de hasta 3.500 m, que decrecen rápidamente hacia el suroeste y más suavemente hacia el noreste, interpretando la existencia de monoclinales de dirección ONO-ESE y labio hundido norte, en el borde sur, entre Arcos de Jalón y Berlanga de Duero (Maestro González *et al.*, 2000). En otros trabajos se interpreta la existencia de

fallas, a veces inversas y con vergencia norte, en las cercanías de dicho borde (Rey Moral *et al.*, 1998; ITGE, 1990).

En detalle, al oeste de Torralba de los Sisones y según las cartografías disponibles hasta el momento, la zona de fractura ONO-ESE o no está bien identificada aún o puede aparecer dispersa y/o desflecada en superficie. En las hojas MAGNA números 490 (Odón) y 464 (Used) (Portero y Del Olmo, 1980; Del Olmo y Portero, 1981), que cubren la parte más cercana a la región de Gallocanta, se observa un dispositivo de fallas (probablemente, en dirección y, a veces, en relevo sinistral) y estructuras ONO-ESE, en el Cretácico superior, hasta Fuentelsaz. Este dispositivo podría reflejar el paso profundo de la falla de zócalo.

Más al ONO, en la hoja número 463 (Milmarcos) (Adell *et al.*, 1978), la traza podría ser sensiblemente coincidente con el borde del Terciario de Almazán ya que existen fracturas ONO/O-ESE/E que limitan un área predominantemente cretácica, al norte (muy recubierta por terciario), de otra, jurásica, al sur. El mencionado borde es aún más nítido desde Somaén, en el curso del Jalón, hasta Barahona: en este sector, la Rama Castellana presenta estructuras dominantes NE-SO que, reflejando el entronque con el Sistema Central, quedan abruptamente cortadas por dicho borde. En Barahona aparecen, además, fallas ONO-ESE limitando un conjunto predominantemente jurásico, al sur, de otro cretácico, al norte, parcialmente cubierto por terciario.

En cuanto a los límites de la Depresión de Almazán, es destacable la dirección oblicua de las estructuras ONO-ESE del segmento norte de la Rama Castellana respecto de la dirección “ibérica” NO-SE de la Rama Aragonesa, a la que interrumpe. Esta sobreimposición de estructuras (idéntica a la citada para la región de Montalbán —Cuenca del río Martín—), justifica satisfactoriamente la terminación oriental de la Depresión de Almazán en su conjunto, *implicando, además, que el sinclinal de Almazán no es la prolongación estructural de la misma hacia el sur.*

El sector de Berlanga de Duero-Burgo de Osma

En este sector de la provincia de Soria (6, en *figura 3*) es donde se encuentra el enlace entre las depresiones del Duero y Almazán, materializado no sólo por la escasa anchura del Terciario (unos 25 km) sino, sobre todo, por la presencia de varias estructuras aflorantes del sustrato mesozoico (cretácico, concretamente), de dimensiones kilométricas y ocupando un área de unos 30 x 15 km, ligeramente alargada en sentido este-oeste. Estos afloramientos, localizados en los alrededores de Burgo de Osma y, pues, en el centro del Terciario, representan estructuras (pliegues y fallas) de direcciones E-O o ENE-OSO (véase hoja MAGNA número 377: Ruiz Fernández de la Lopa, 1989).

Más al sur, junto a Berlanga de Duero, la parte más noroccidental de la Rama Castellana, al norte del Sistema Central, se presenta afectada por tres fallas principales ONO-ESE, en una anchura de unos 10 km, y entre ellas y con menor espaciado, un sistema de fallas menores NNO-SSE (véase hoja MAGNA número 405: Lendínez y Muñoz del Real, 1988). De dichas fallas ONO-ESE, la más notable y septentrional es prolongación directa de la que constituye el borde descrito entre Somaén y Barahona (véase el apartado anterior) y, a la vez, el límite sur de afloramientos predominantemente cretácicos (entre ellos, los de Burgo de Osma), mientras que las otras jalonan límites entre terrenos jurásicos y triásicos.

En este sector, la asociación de las direcciones de fracturas y pliegues descrita podría sugerir que las fallas principales ONO-ESE han funcionado como fallas en dirección.

La región oriental de la Depresión del Duero

Al ONO de Berlanga de Duero-Burgo de Osma, es decir, en la región oriental de la Depresión del Duero, es importante resaltar cómo las estructuras y rasgos geomorfológicos de dirección ONO-ESE dominan sobre cualquier otro y han contribuido a contorneo los límites de la misma. Así, la prolongación hacia

el ONO de la falla principal descrita en el apartado anterior es sensiblemente paralela al trazado del río Duero (7, en *figura 3*), hasta el meridiano de Roa (Burgos), distante unos 80 km de Berlanga. A su vez, el borde oriental de la Depresión del Duero y las estructuras cercanas de la Cordillera Ibérica presentan también idéntica dirección hasta dicho meridiano.

La terminación nororiental de la sierra de Honrubia-Pradales

La sierra de Honrubia-Pradales es una estructura localizada al norte del Sistema Central, paralela y similar al mismo que, en su extremo noreste y coincidiendo con su terminación, aparece afectada por fracturas subperpendiculares u oblicuas a su dirección (8, en *figura 3*). Así, entre Honrubia de la Cuesta y Valdevarnes, una fractura ONO-ESE separa los afloramientos hercínicos (al suroeste) de los cretácicos (al noreste). A su vez, más al noreste, estos últimos aparecen limitados del Terciario del Duero por una fractura E-O. Estas fracturas deben representar desgarres dextrales o fallas normales dexas, según Nozal y Rubio (1996).

La ZFTS es un jalón más de una alineación de fracturas o estructuras importantes ONO-ESE, desarrollada a lo largo de unos 350 km

Las mencionadas fracturas corresponden a la prolongación geométrica de las descritas en el área de Berlanga de Duero y, por tanto, podrían ser las mismas.

Primeras consideraciones sobre la ZFTS y sus prolongaciones

Según todo lo anteriormente expuesto, la ZFTS es un jalón más (aunque sea muy notable, ya que ha constituido el punto

de partida de lo que aquí se expone) de una alineación de fracturas o estructuras importantes ONO-ESE, desarrollada a lo largo de unos 350 km, entre las proximidades de Aranda de Duero (Burgos) y Tortosa (Tarragona).

Por su gran longitud, así como por la singularidad de las zonas que recorre, esta alineación debe responder a la actuación de una importante zona de fractura de zócalo, ya que:

- Constituye el límite nororiental, abrupto, de la sierra de Honrubia-Pradales y el borde meridional de la Depresión de Almazán.
- Atraviesa oblicuo-transversalmente la Cordillera Ibérica, limitando hacia el sur las dos bandas paleozoicas de la Rama Aragonesa y la depresión terciaria entre ambas (Cuenca de Calatayud).
- Conformar la franja plegada de Portalrubio-Beceite, cabalgante hacia el norte, sobre la Depresión del Ebro.
- Enlaza, finalmente, con la terminación suroccidental de las Cordilleras Costeras Catalanas.

Esta gran zona de fractura (sobre cuya existencia se aportan o deducen argumentos adicionales más adelante) tiene una dirección ONO-ESE y es, por tanto, oblicua respecto de las directrices NO-SE, características de la Cordillera Ibérica en su conjunto.

Viallard (1989), en un trabajo sobre despegues de cobertera y crustales de la Cordillera Ibérica, presenta, en un pequeño esquema de ésta, una alineación de fallas de buzamiento fuerte o no precisado, y de fallas inversas y cabalgamientos de zócalo, de dirección y localización relativamente próximas a las de la descrita en este artículo, pero sin concederle una importancia especial ni extraer ninguna de las consecuencias que se argumentan más adelante. La alineación marcada por este autor separa el Sistema Central de la Rama Castellana, sigue el borde meridional de ésta, continúa luego por el sur de la franja cabalgante de Portalrubio-Beceite y corta después, oblicuamente, las Cadenas Costeras Catalanas, finalizando en el

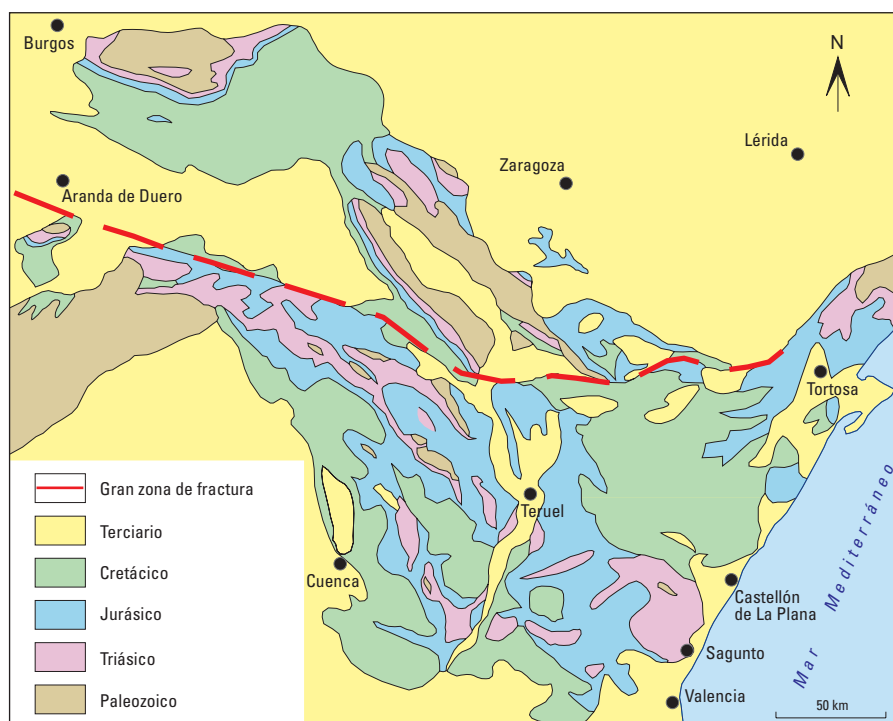


Figura 4. Localización de la gran zona de fractura y división de la Cordillera Ibérica en dos grandes unidades: Cordillera Ibérica Norte y Cordillera Ibérica Sur. La delimitación de los distintos sistemas se presenta de forma esquemática.

más patentes si las áreas de afloramiento de los grandes sistemas (Paleozoico, Triásico, Jurásico, Cretácico) se simplifican y delimitan por envolventes (figura 4). Estas dos grandes unidades, de dirección NO-SE, podrían ser denominadas Cordillera Ibérica Norte y Cordillera Ibérica Sur, respectivamente.

La Cordillera Ibérica Norte es más estrecha (al menos, al nivel alcanzado por la erosión actual) y está caracterizada por presentar frecuentes e importantes afloramientos del zócalo paleozoico (sierras de la Demanda, del Moncayo-Tabuena, de Ateca-Santa Cruz, de Calatayud-Montalbán y afloramiento de Puig Moreno, cerca de Alcañiz). La Cordillera Ibérica Sur es una estructura geológica bastante más ancha que la anterior, pero con menos y menores asomos paleozoicos, y una cobertera mesozoica más extensa y potente, sobre todo en el este (Maestrazgo).

Otra diferencia entre la Cordillera Ibérica Norte y la Sur es la relativa a los relieves actualmente observables de ambas y al contraste que muestran entre sí (figura 5). La Cordillera Ibérica Sur aparece como un área más notable y uniformemente elevada, en cierto modo "abombada", aunque hendida por las fosas de Alfambra-Teruel-Ademuz y del Jiloca. Por el contrario, la Cordillera Ibérica Norte (salvo Demanda-Cameros) se presenta menos elevada y, probablemente, más degradada por la erosión.

norte del delta del Ebro. Como puede deducirse, la alineación de Viallard no siempre sigue estructuras notables y, por tanto, no tiene nada que ver con la descrita en este artículo.

Nuestra gran zona de fractura presenta (o pueden deducirse para ella) movimientos de bloque meridional generalmente elevado y cabalgante al norte; movimientos que, al menos en algún caso (Montalbán), se ha supuesto que representan rejugos de fallas distensivas anteriores. Además, se insinúan movimientos en dirección en las áreas de Torralba, Montalbán, Berlanga de Duero y Honrubia. La posibilidad de movimientos en dirección para el conjunto de la zona de fractura será analizada más adelante.

Pero lo verdaderamente notable de esta gran zona de fractura es que tiene una importancia más que regional, no sólo por su gran longitud, sino porque, como se verá a continuación, divide la Cordillera Ibérica en dos partes muy diferentes (Norte y Sur) y contribuye a explicar las terminaciones y los bordes de las cuencas terciarias vecinas a ambas.

Dos grandes unidades (Norte y Sur) para la Cordillera Ibérica

En efecto, la imagen que presentan la Cordillera Ibérica y áreas limítrofes en cualquier mapa geológico de la península a gran escala es muy diferente a la "clásica" de dos ramas y zona de enlace (figura 1), si se tiene en cuenta la existencia de esta gran zona de fractura.

Con esta nueva visión, la Cordillera Ibérica aparece dividida en dos grandes unidades, Norte y Sur, muy diferentes entre sí. Todas estas diferencias son aún

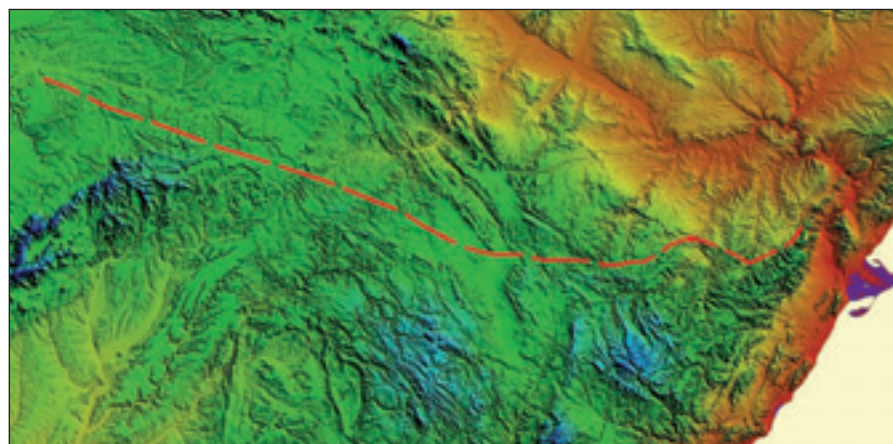


Figura 5. Localización de la gran zona de fractura en el Mapa digital de relieve, de García Moral (2005). Nótese que las mayores elevaciones se localizan al sur de la misma.

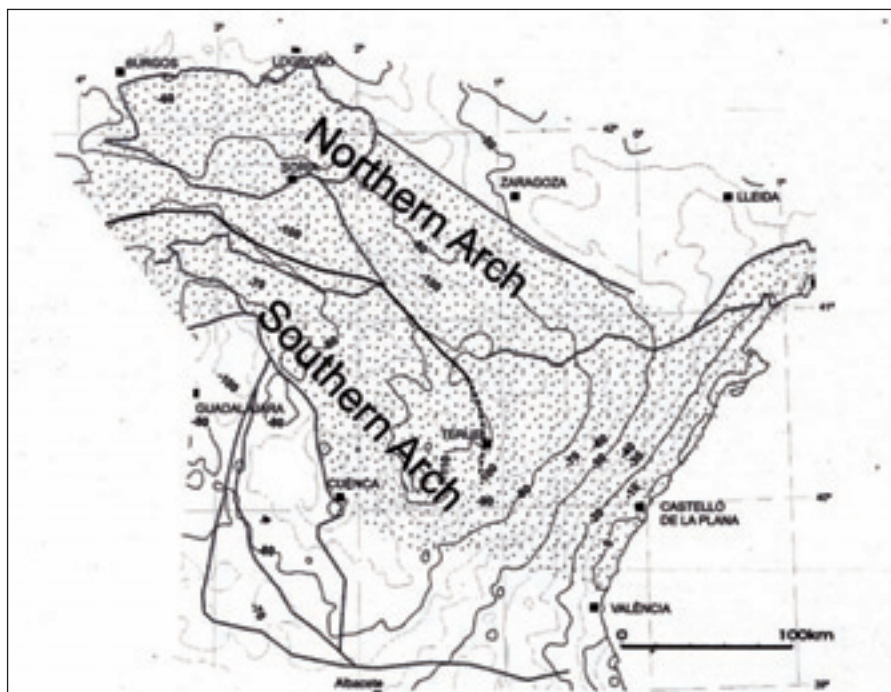


Figura 6. Mapa de anomalías de Bouguer (valores expresados en mGal) de la Cordillera Ibérica y áreas limítrofes, según Mezcua et al. (1996).

Para la Cordillera Ibérica Norte, la Zona Axial sería la definida por las dos bandas paleozoicas de la Rama Aragonesa, no habiendo una estructura megasinclinal comparable a la de la Cordillera Ibérica Sur, al menos al nivel de la erosión actual (figura 7).

En la figura 7 se aprecia que no existe correspondencia entre las megaestructuras NO-SE de la Cordillera Ibérica Norte con las de la Cordillera Ibérica Sur, a ambos lados de la gran zona de fractura. Como ejemplo más notable de esta falta de correspondencia se destaca, una vez más, que una parte de la Zona Axial de la Cordillera Ibérica Norte (la banda paleozoica oriental) tiene su prolongación geométrica en la zona megasinclinal de la Cordillera Ibérica Sur, como ya fue indicado al considerar el área de Montalbán.

La falta de correspondencia estructural entre ambos lados de la gran zona de fractura no sólo fundamenta aún más la propia existencia de ésta y hace más patente la indicada división Norte-Sur para la Cordillera Ibérica, sino que, además, sugiere la posible existencia de movimientos en dirección a su favor, es decir, que haya podido funcionar, en gran medida, como falla transcurrente. Pero... ¿con qué sentido de desplazamiento?

Probable funcionamiento sinistral

Una primera aproximación al problema pasa por relacionar entre sí las

Finalmente, la mencionada división Norte-Sur se aprecia también en el *Mapa de anomalías de Bouguer* para la zona y sus alrededores (Mezcua et al., 1996), sobre el que se han marcado dos grandes arcos (norte y sur) de corteza engrosada que alcanza su máximo (más de 43 km) al oeste de Teruel, lo que se atribuye a que el zócalo está involucrado en el acortamiento alpino (Guimerà et al., 2000). Estos arcos son coincidentes, respectivamente, con las mencionadas unidades Norte y Sur de la Cordillera Ibérica, siendo destacable que el límite entre ambos (marcado por un cambio de dirección de las líneas de isoanomalías y, en parte, subrayado por estos autores) (figura 6) coincide con la gran zona de fractura definida en este artículo.

Por otro lado, tanto en la Cordillera Ibérica Norte como en la Sur pueden delimitarse grandes megaestructuras NO-SE, cuya comparación a ambos lados de la gran zona de fractura resulta especialmente interesante.

Falta de correspondencia estructural entre ambos lados de la gran zona de fractura

En general, para la Cordillera Ibérica Sur lo que podría ser denominado como Zona

Axial (es decir, el área donde afloran el zócalo paleozoico y los terrenos triásicos de tegumento) constituye dos alineaciones principales, a grandes rasgos NO-SE (una que va desde Atienza hasta Sagunto, y otra que se sitúa inmediatamente al suroeste de la anterior), mientras que la estructura megasinclinal más notable, paralela a ambas, es la que cruza el Maestrazgo desde el sur de Montalbán hasta la región costera de Castellón (figura 7, véase también figura 4 para situación de las localidades citadas).

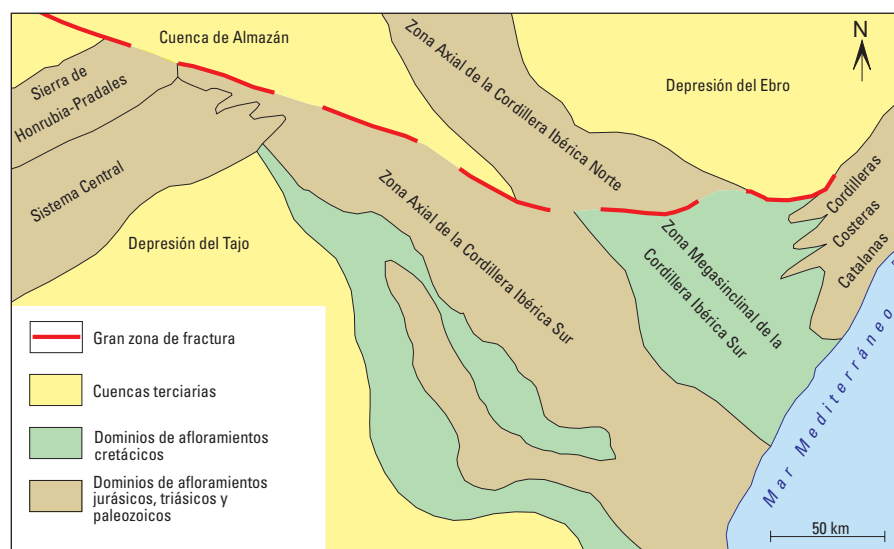


Figura 7. Falta de correspondencia, a ambos lados de la gran zona de fractura, entre las megaestructuras NO-SE de la Cordillera Ibérica Norte y las de la Cordillera Ibérica Sur.

megaestructuras a ambos lados del gran accidente. A este respecto, pueden considerarse dos hipótesis o posibilidades principales, que implican desplazamiento dextral o sinistral, respectivamente.

La primera hipótesis habría de suponer que las megaestructuras hayan sido las mismas en origen, y se encuentren después rotas y desplazadas por el juego de la fractura. En este caso y, por ejemplo, para que las zonas axiales norte y sur hayan sido originalmente zonas axiales únicas (y sus diferentes estilos estructurales no parecen indicarlo), habría que invocar un desplazamiento lateral, dextral, del orden de 80-100 km (lo cual parece, a todas luces, excesivo). Además, esta hipótesis implicaría una edad demasiado reciente para la zona de fractura, habida cuenta de la edad de la deformación (Paleógeno), admitida para las estructuras ibéricas NO-SE. Por todos estos motivos, la hipótesis del desplazamiento dextral parece, pues, totalmente descartable.

La segunda posibilidad es suponer que las megaestructuras son originalmente independientes entre sí, y que su generación habría sido favorecida, dirigida y/o acentuada por el juego transcurrente de la zona de fractura, que sería, así, aproximadamente simultáneo a dicha generación. En este caso, el mencionado juego habría sido probablemente sinistral (ya que es éste el sentido de desplazamiento más consecuente con las direcciones de compresión NE-SO o NNE-SSO, admitidas para la Cordillera Ibérica), pero no necesariamente de gran magnitud. Esta segunda hipótesis podría ser, por tanto, la opción más probable.

En relación con ella, la tendencia de algunas estructuras N-S (tales como, por ejemplo, las de Aliaga) o NO-SE, a incurvarse hacia las direcciones NO-SE o E-O, respectivamente, podría ser contemplada como grandes pliegues de arrastre generados por el sentido sinistral del desplazamiento, en combinación con las compresiones oblicuas dirigidas sobre el mismo.

En este contexto deformativo, la gran zona de fractura podría representar una gran

La gran zona de fractura no sólo divide la Cordillera Ibérica en dos unidades (Norte y Sur) muy diferentes.

También las áreas limítrofes a cada una de estas unidades son distintas

falla transpresiva sinistral, de zócalo, con bloque elevado meridional.

Implicaciones para el noreste peninsular

La gran zona de fractura no sólo divide la Cordillera Ibérica en dos unidades (Norte y Sur) muy diferentes. También las áreas limítrofes a cada una de estas unidades son distintas, según se consideren las existentes a uno u otro de los lados del gran accidente:

- El dominio al norte de la gran zona de fractura es el que contiene, en exclusiva, las depresiones del Ebro y de Almazán, separadas entre sí por la Cordillera Ibérica Norte.

- El dominio al sur es el que contiene la Cordillera Ibérica Sur, que es la que presenta las conexiones con el Sistema Central y con las Cordilleras Costeras Catalanas, además de servir de límite amplio entre la Depresión del Tajo y el Mediterráneo (figuras 4 y 7).

Por tanto, este gran accidente divide no sólo la Cordillera Ibérica sino, incluso, todo el cuadrante noreste de la península en dos partes con distintas características geológicas.

En este amplio contexto, es necesario resaltar el paralelismo que presenta esta gran zona de fractura respecto de las estructuras del Pirineo (figura 8), que guardan relación con la apertura del golfo de Vizcaya (y la consecuente rotación antihoraria de la península) mediante el juego transcurrente, sinistral, de la falla norpirenaica (véase Barnolas y Pujalte, 2004). Este paralelismo, y el probable mismo juego sinistral para la gran zona de fractura identificada en este artículo, obligaría a plantear relaciones genéticas comunes a ambas, lo que sería de interés en el estudio de todo el cuadrante noreste de la península.

Un nombre para esta gran zona de fractura

¿Cómo se podría denominar a esta importante zona de fractura? Aunque

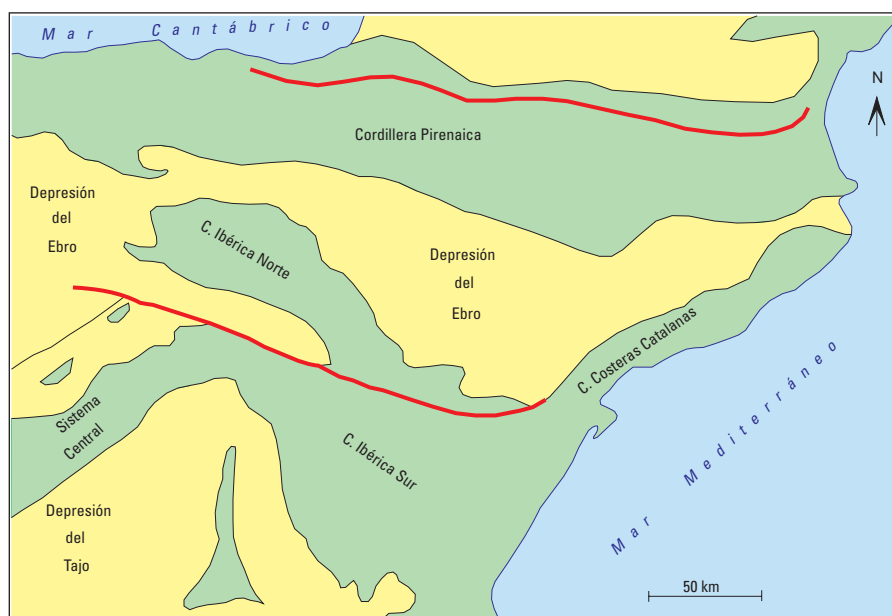


Figura 8. Esquema geológico del cuadrante noreste de la península Ibérica, mostrando el paralelismo existente entre la gran zona de fractura y las estructuras pirenaicas.

la idea haya “nacido” en Torralba de los Sisonos, no es precisamente en esta localidad donde adquiere su mayor esplendor, por lo que no sería aconsejable aludir a esta población. Tampoco parecen adecuadas otras denominaciones locales, habida cuenta de la importancia geológica equivalente en la mayor parte de ellas. Por el contrario, parece más apropiado un apelativo que aluda a su gran longitud (¿falla Aranda-Tortosa?) y, sobre todo, a que puede proporcionar una nueva visión de la Cordillera Ibérica e, incluso, de todo el cuadrante noreste de la península.

Falla trans-celtibérica podría ser un buen nombre, si bien el término Cadenas Celtibéricas, empleado para la Cordillera Ibérica en el pasado, se encuentra hoy en día muy en desuso.

Probablemente, la denominación más adecuada pueda ser falla trans-ibérica, aunque el término “ibérico” no sea exclusivo de esta cordillera y tenga una acepción geológico-geográfica notablemente más amplia (Macizo Ibérico o Hespérico, península Ibérica...), pues no hay que descartar que este gran accidente tenga, en realidad, una longitud mayor que la hasta ahora descrita.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Confederación Hidrográfica del Ebro, por permitir la utilización y publicación de determinados datos cartográficos del proyecto *Establecimiento de las normas de explotación de la U. H. Gallocanta y la delimitación de perímetros de protección de la laguna* (1999), y a Eptisa, Servicios de Ingeniería, S.A., las facilidades otorgadas para la realización de este artículo.

Bibliografía

- Adell, F.; Bascones, L.; Martínez, F. y Tena-Dávila, M. (1978). *Mapa geológico y memoria explicativa de la hoja número 463 (Milmarcos)*, Proyecto MAGNA (IGME).
- Barnolas, A. y Pujalte, V. (2004). La cordillera Pirenaica, *Libro de Geología de España*, SGE-IGME, Madrid, 233-237.
- Confederación Hidrográfica del Ebro (1999). *Establecimiento de las normas de explotación de la U. H. Gallocanta y la delimitación de perímetros de protección de la laguna* (inédito).
- Cortés Gracia, A. L. y Casas Sainz, A. M. (2000). Una nueva hipótesis para el sistema de fosas interiores de la cordillera Ibérica, *Geotemas*, 1(2), 59-62.
- Ferreiro Padín, E. y Ruiz Fernández de la Lopa, V. (1987). *Mapa geológico y memoria explicativa de la hoja número 40 (Daroca) del Mapa geológico a escala 1/200.000* (IGME).
- García Moral, R. (2005). *Modelo digital de sombras, coloreado según altitud y elaborado a partir de los datos radar SRTM (Shuttle Radar Topography Mision) de la Nasa* (inédito).
- Guimerà, J. (1983). Evolution de la deformation alpine dans le NE de la Chaîne Ibérique et dans la Chaîne Côtière Catalane, *C. R. Acad. Sc.*, París, 297, 425-430.
- Guimerà, J. (1988). *Estudi estructural de l'enllaç entre la Serralada Ibérica i la Serralada Costanera Catalana*, tesis de la Universidad de Barcelona, 600 pp.
- Guimerà, J.; Salas, R.; Mas, R.; Martín-Closas, C.; Meléndez, A. y Alonso, A. (2000). The Iberian Chain: tertiary inversión of a mesozoic intraplate basin, *Geotemas*, 1(1), 67-69.
- Guimerà (coord.) (2004). Cadenas con cobertera: las cadenas ibérica y costera catalana, *Libro de Geología de España*, SGE-IGME, Madrid, 602-612.
- Hernández Samaniego, A. y Olivé Davó, A. (1980). *Mapa geológico y memoria explicativa de la hoja número 491 (Calamocha)*, Proyecto MAGNA (IGME).
- ITGE (1990). *Documentos sobre la geología del subsuelo de España* (inédito).
- ITGE (1995). *Mapa geológico de la península Ibérica, Baleares y Canarias, a escala 1/1.000.000*.
- Julivert, M.; Fontboté, J. M.; Ribeiro, A. y Conde, L. (1972). *Mapa tectónico de la península Ibérica y Baleares*, contribución al *Mapa tectónico de Europa*, de la Comisión Nacional de Geología de España y de la Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos de Portugal, Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria, IGME.
- Lendínez, A. y Muñoz del Real, J. L. (1988). *Mapa geológico y memoria explicativa de la hoja número 405 (Berlanga de Duero)*, Proyecto MAGNA (IGME).
- Maestro González, A.; Casas Sainz, A. M. y Cortés Gracia, A. L. (2000). Evolución tectosedimentaria de la cuenca de Almazán durante el Paleógeno, *Geotemas*, 1(2), 239-241.
- Mezcua, J.; Gil, A. y Benarroch, R. (1996). *Estudio gravimétrico de la península Ibérica y Baleares*, Ministerio de Fomento, Instituto Geográfico Nacional, 7 pp.
- Nozal, F. y Rubio, F. (1996). *Mapa geológico y memoria explicativa de la hoja número 375 (Fuentelcásped)*, Proyecto MAGNA (IGME).
- Olmo, P. del y Portero, J. M. (1981). *Mapa geológico y memoria explicativa de la hoja número 464 (Used)*, Proyecto MAGNA (IGME).
- Portero, J. M. y Olmo, P. del (1980). *Mapa geológico y memoria explicativa de la hoja número 490 (Odón)*, Proyecto MAGNA (IGME).
- Rey Moral, C.; Tejero López, R. y Gómez Ortiz, D. (1998). Estudio de la estructura de la cuenca de Almazán a partir de datos geofísicos, *Geogaceta*, 24, 259-262.
- Ruiz Fernández de la Lopa, V. (1989). *Mapa geológico y memoria explicativa de la hoja número 377 (Burgo de Osma)*, Proyecto MAGNA (IGME).
- Tena, S. y Casas, A. (1996). Estructura y cinemática de la falla de Alpeñes (Cordillera Ibérica), *Geogaceta*, 20 (4), 789-791.
- Viallard, P. (1989). Décollement de couverture et décollement médio-crustal dans une chaîne intraplate: variations verticales du style tectonique des Ibérides (Espagne), *Bull. Soc. Géol. France* (8), V, 5, 913-918.

Problemas geotécnicos y medioambientales asociados a macizos rocosos con sulfuros metálicos

Los macizos rocosos con sulfuros son rocas que provocan daños geotécnicos y medioambientales si no se toman las medidas adecuadas para evitarlos. Aunque este proceso es muy conocido en las minas de carbón, no ocurre lo mismo en la construcción de viviendas e infraestructuras. Este artículo expone cómo se produce este fenómeno natural y las pautas a seguir para poder ejecutar una obra de manera que no se impacte sobre el medio ambiente y sobre la salud humana.

TEXTO | Virginia Ormaetxea. Eurogeóloga. Máster en Ingeniería Geológica. Harrilur Geotecnia, S.L.

Palabras clave

Rocas ácido-sulfatadas, oxidación de la pirita, drenaje ácido, potencial agresivo

Los macizos rocosos con sulfuros metálicos (en inglés denominadas *Acid Sulfate Rocks*, rocas ácido-sulfatadas, véase *figura 1*) son rocas que contienen un elevado porcentaje de sulfuros metálicos que, expuestos al oxígeno (por ejemplo por drenaje y excavación de estos materiales) pueden generar ácido sulfúrico (drenaje ácido), que provoca una acidificación de la roca o agua.

El drenaje ácido es un proceso de oxidación de la pirita que se produce allí donde los sulfuros están expuestos al aire y al agua, tanto en excavaciones subterráneas como a cielo abierto, según la siguiente fórmula:

pirita + agua + oxígeno → hidróxido de hierro y ácido sulfúrico

Esta fórmula es una simplificación de una serie de reacciones químicas que se dan en la naturaleza, según se expone en la *figura 2*.

Este drenaje ácido (a menudo denominado “drenaje ácido de las minas” debido a que es un fenómeno muy conocido en minas de carbón) se produce cuando los sulfuros, en especial la pirita y marcasita (sulfuro de hierro, FeS_2) reaccionan con el oxígeno del aire y el agua para dar lugar a ácido sulfúrico e hidróxidos de hierro.

Aunque el proceso de oxidación de la pirita se conoce desde hace mucho tiempo



Figura 1. Aspecto de una roca ácido-sulfatada.

en minería, no ocurre lo mismo en la planificación territorial y su influencia en el medio ambiente, ya que este proceso contamina el suelo y el agua. Así, en la mayoría de los casos, al construir una edificación o una infraestructura en una zona donde existen rocas ácido-sulfatadas, con los depósitos de excedentes se contamina el medio ambiente por desconocimiento. Cuando se produce la reacción, el ácido sulfúrico contamina el agua y el lodo rojizo del hidróxido de hierro ataca los arroyos y embalses (*figura 3*). Las aguas ácidas matan la vida acuática y atacan a las estructuras hechas por el hombre tales

como las pilas de los puentes de hormigón, muros de contención (*figura 4*), desagües de hormigón, tuberías de servicio o de alcantarillas y entubados de pozos.

Una vez que ha empezado el proceso, la tasa de producción de ácido se incrementa progresivamente con el tiempo a medida que el número de bacterias *Thiobacillus ferrooxidans* (TF) aumenta, debido a que, en la naturaleza, la reacción tiene lugar rápidamente en presencia de esta bacteria. Este tipo de bacteria obtiene su energía del proceso de oxidación del sulfuro y sirve para acelerar

cientos de veces la reacción que tendría sin su presencia. Esta reacción también produce grandes cantidades de calor y causa problemas cuando la roca que contiene la pirita reactiva se almacena.

La alteración natural del macizo rocoso expone sólo una pequeña cantidad de sulfuro de hierro reactivo cada vez y, por tanto, la reacción anterior no suele ser un problema hasta que grandes excavaciones artificiales exponen rápidamente a la atmósfera importantes volúmenes de material rico en sulfuros. Entonces, la reacción avanza rápidamente y se pueden formar grandes volúmenes de ácido.

Problemas medioambientales

Si se permite que el proceso de oxidación de la pirita continúe de manera incontrolada, aparecerán condiciones de bajo pH. El agua que circula por un relleno con problemas de drenaje ácido puede lixiviar contaminantes potenciales que afectarán al agua de escorrentía como ríos, arroyos y aguas subterráneas. Históricamente, se han reconocido estos problemas en la industria minera y hay algunas minas viejas en el mundo donde el drenaje ácido ha causado impactos importantes en el medio ambiente.

En un suelo excesivamente ácido se observan los siguientes efectos: algunas plantas no crecen bien; la actividad de muchos organismos se reduce; elementos como el aluminio y manganeso se convierten en solubles y son tóxicos para las plantas; y algunos nutrientes esenciales como el fósforo y el molibdeno se convierten en insolubles con lo que las plantas no logran asimilarlo (*figura 5*). Una situación como ésta lleva asociado un riesgo para la salud humana, ya que estos elementos están involucrados frecuentemente con problemas de toxicidad ambiental. A lo largo de la historia se ha conocido la influencia que ha tenido la geología en las enfermedades humanas. Por otro lado, el conocimiento de ciertas enfermedades específicas en los animales también ha sido determinado con antelación. Esta disciplina se conoce como geomedicina o geología médica (en inglés, *geomedicine o medical geology*),

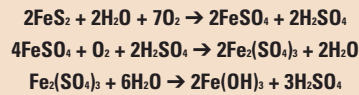


Figura 2. Fórmulas desarrolladas de la oxidación de la pirita.



Figura 3. Descargas de drenaje ácido a un río.

y se define como la ciencia que relaciona los factores ambientales ordinarios sobre la distribución geográfica de los problemas de salud en el hombre y los animales.

En los últimos años, el proceso de oxidación de la pirita ha sido ampliamente estudiado en la industria por los daños medioambientales y de salud que ha provocado. En esta línea, países como Australia y Japón están teniendo graves problemas medioambientales que afectan incluso al agua de consumo, surgidos principalmente del desarrollo urbano y la construcción de obras públicas, ya que una vez que se establece en un lugar el proceso de formación de ácido, resulta difícil y caro de controlar. Además, los problemas no sólo han surgido del desarrollo urbanístico, ya que la realización de pozos de bombeo en las rocas con abundante pirita, utilizado normalmente para regar los cultivos, ha provocado los mayores envenenamientos por arsénico conocidos del mundo.

Problemas geotécnicos

Desde el punto de vista geotécnico, nos encontramos con una problemática específica, debida a la oxidación de los sulfuros metálicos en las rocas ácido-sulfatadas, que afecta indudablemente a todas las construcciones e infraestructuras que se ejecutan en este



Figura 4. Ataque al hormigón en un muro de contención.

medio. Dependiendo de la naturaleza de la obra, el problema que se presenta es diferente, por lo que no se darán los mismos efectos en los taludes o en los rellenos dentro de obras lineales, o bien, en cada una de las diferentes partes de las que consta el proceso constructivo de edificaciones.

Obra lineal

En el caso de taludes expuestos al aire en las obras lineales, normalmente no se suelen generar muchos problemas ya que la meteorización se va dando sólo en la superficie del talud (área reducida en contacto con los agentes atmosféricos, véase *figura 6*), el cual se va degradando poco a poco, con lo que la cantidad de ácido vertido no suele ser muy alto. Sí se suelen observar, de todas formas, degradaciones en el hormigón armado y coloraciones ocreas.

Desgraciadamente, los mayores problemas se dan en los rellenos, no sólo por el daño medioambiental asociado, a menudo no detectable hasta pasado un tiempo, sino por la corrosión que genera en todas las estructuras colindantes (cimentaciones, muros, etc.) y por el hinchamiento y posterior deslizamiento de las masas vertidas (*figura 7*).

Éste es un fenómeno ampliamente recogido en la naturaleza, ya que los

primeros estudios de este fenómeno se han dado en las escombreras de las minas. Al reducir el tamaño de bloque de la roca y el aumento de la superficie expuesta a la alteración por las condiciones atmosféricas (oxígeno y agua), aparecen fenómenos dispersos de calentamiento en la roca (temperaturas altas, humo, olor a huevos podridos, etc.), además de corrosión en el hormigón, que afectan a elementos de la propia obra lineal, junto con la contaminación de las aguas subterráneas que termina afectando a la vida vegetal y acuática de la zona.

Edificación

La oxidación de los sulfuros puede producir en edificación tres fenómenos muy peligrosos:

- Grandes deformaciones y presiones que afectan a los distintos elementos.
- Pérdida de las características resistentes del macizo rocoso debido a una degradación del mismo.
- Degradación del hormigón armado.

La oxidación de los sulfuros cesa cuando éstos se encuentran totalmente sumergidos, pero cuando hay fluctuaciones del nivel freático o ciclos de humedad-sequedad, se dispara la producción del proceso de oxidación. Si le sumamos también que se va añadiendo

agua (por ejemplo por una fuga), se produce un daño estructural debido a levantamientos del terreno, ya que la formación de ácido produce un hinchamiento del macizo rocoso (*figura 8*). Además, este proceso de oxidación termina meteorizando la roca y, así, pierde ésta sus propiedades resistentes.

En cuanto a los efectos en el hormigón armado (cimentaciones, muros de contención, muro de sótano, etc.), por un lado, se va degradando el cemento del hormigón debido a un ataque por sulfatos y, por otro, el ácido sulfúrico ataca a las armaduras de acero cuando el ácido llega hasta ellas.

En edificación, los rellenos suelen normalmente ser los causantes mayoritarios y que primero se detectan dentro de los fenómenos de oxidación, ya que se expone la roca totalmente a los agentes atmosféricos, desarrollándose la reacción con rapidez. Una vez iniciada esta reacción, se suelen dar además hinchamientos de la roca, que provocan levantamientos de vigas, solera y tabiquería (*figura 9*).

Influencia e identificación de los macizos rocosos con sulfuros

Es necesario considerar la gestión del suelo durante las fases de planificación (antes de que se limpie, drene o construya

el terreno), pues las rocas ácido-sulfatadas pueden afectar al uso y desarrollo del mismo.

Las rocas ácido-sulfatadas tienen influencia en:

- Trabajos de ingeniería y planificación territorial, incluyendo el tipo de hormigón y acero que se utilice, el diseño de carreteras, edificios, presas y sistemas de drenaje.
- Agricultura, con regadíos intensivos con aguas que proceden de estas rocas.
- Calidad medioambiental: incluyendo la calidad del suelo, la calidad de las aguas subterráneas y los hábitat acuáticos.

En trabajos de ingeniería y planificación territorial, el control del drenaje ácido debe ser el objetivo principal en el diseño y construcción de rellenos en materiales susceptibles de provocar este proceso de oxidación. Es importante asegurarse de que no se producen efectos indeseables en los ríos y arroyos cercanos. La formación de ácido es un proceso natural que se puede observar en taludes de carreteras como manchas rojizas en la superficie de la excavación y en canales de drenaje abiertos. La excavación puede acelerar el proceso porque expone la roca al oxígeno atmosférico. Las aguas subterráneas, ríos y arroyos pueden verse afectados



Figura 5. Efectos del drenaje ácido sobre la flora.



Figura 6. Efectos del drenaje ácido sobre un talud.



Figura 7. Ataque al hormigón, visualizándose el árido.

de manera adversa por el drenaje ácido junto con el incremento asociado en la solubilidad y lixiviado de algunos metales.

El impacto potencial sobre el medio ambiente de las rocas ácido-sulfatadas depende de varios factores:

- Exposición a condiciones oxidantes. Estas rocas no pueden generar descargas ácidas a no ser que estén expuestas al oxígeno y al agua.
- La naturaleza y extensión de las características sulfúricas de la roca. Estas características pueden variar ampliamente y afectar tanto a la cantidad como a las concentraciones de algunas descargas ácidas y proporción de generación ácida.
- Capacidad de autoneutralización. Las descargas ácidas pueden ser neutralizadas mientras están ocurriendo, dependiendo del contenido y naturaleza del material presente en la roca.
- Capacidad de almacenamiento del entorno receptor. Las descargas ácidas pueden ser neutralizadas por la presencia de materiales inhibidores en el entorno receptor o por los efectos del almacenamiento de algunos entornos hidráulicos.

Estos factores determinarán el riesgo medioambiental causado por las rocas con piritas (rocas ácido-sulfatadas). Dependiendo de las circunstancias, las descargas ácidas pueden ser poco perjudiciales en un entorno pero peligrosas en otros.



Figura 8. Efectos del drenaje ácido en edificación.

El riesgo de impacto medioambiental adverso es mayor según haya mayor concentración de sulfuros metálicos.

La información geológica y la inspección visual pueden ayudar a la identificación de las rocas ácido-sulfatadas (presencia de sulfuros). Los minerales de sulfuros en roca normalmente presentan una apariencia metálica brillante o mate, según su grado de alteración. En alteración, estos minerales pueden aparecer oxidados o sin lustre.

Los primeros criterios para conocer si estamos en una zona de riesgo de esta problemática son, obviamente, las investigaciones en campo para rocas

y aguas. Los indicadores que se usan para identificar las rocas ácido-sulfatadas son entre otros (tabla 1): presencia de cristales de piritas visibles a visu (figura 10); depósitos ocreos o aguas rojizas (fuentes de hierro, figura 11); presencia de jarosita (mineral de depósito de color amarillo verdoso claro que precipita como rellenos en las diaclasas, figura 12); corrosión de hormigón y acero de las estructuras (figura 4); dominación de plantas asociadas a aguas ácidas (*Melaleuca ericafolia*, figura 13). Si se detecta alguno de estos indicadores, se deben realizar análisis más exhaustivos para confirmar la existencia de rocas ácido-sulfatadas que pueden provocar problemas medioambientales.



Figura 9. Efectos del drenaje ácido sobre la tabiquería.

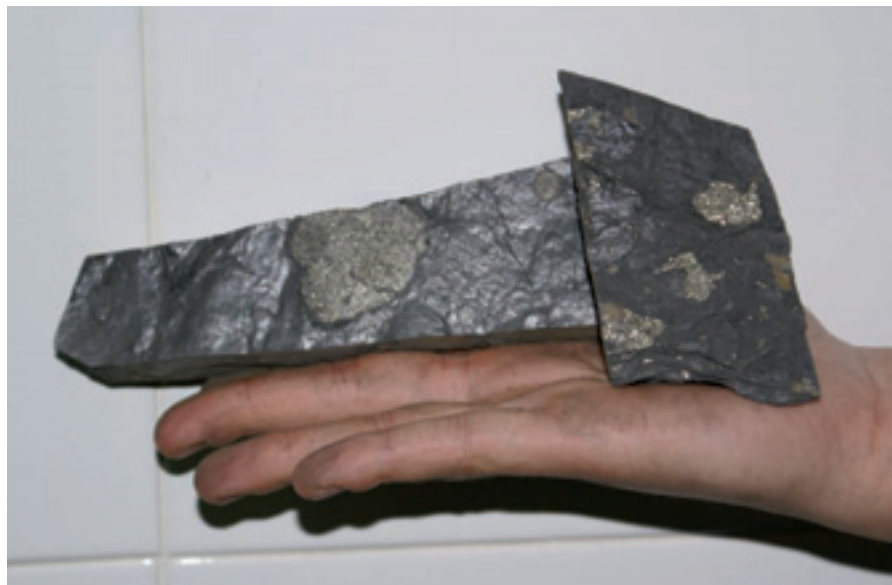


Figura 10. Aspecto de la pirita.

Criterios para conocer el potencial agresivo de las rocas ácido-sulfatadas

En la actual normativa española, la agresividad química del terreno se analiza mediante el grado de acidez Baumann Gully y el contenido en sulfatos detectados en suelos con abundancia de finos y determinados componentes químicos del agua, tales como pH, CO_2 , amonio, magnesio, sulfatos y residuo seco. En función de los valores que se obtengan de cada uno de los parámetros, se clasifica el suelo o el agua en una categoría agresiva.

El problema de estos macizos rocosos es que no contienen sulfatos en su composición química, sino sulfuros, por lo que no se puede medir el potencial agresivo con los métodos propuestos en la actualidad.

Además, las aguas freáticas que circulan por un macizo rocoso con pirita en su estado natural, raramente presentan valores en sus componentes químicos que puedan estimar el ambiente agresivo, ya que los valores de pH suelen ser de 7.0 y el contenido en sulfatos dan valores entre 150 a 450 mg/l y un residuo seco también alto, en rocas con un elevado potencial agresivo. Sólo una vez empezado el proceso de oxidación, y cuando ya es costoso y difícil de mitigar, es cuando se detectan pH ácidos en las zonas donde hay un potencial agresivo considerable, llegando a registrarse valores de pH

de 2.5-3.0. Por esta razón, para poder estimar con fiabilidad el potencial de oxidación de dichas rocas (potencial agresivo de las rocas ácido-sulfatadas), existen en la actualidad dos procedimientos generales: los ensayos estáticos y los ensayos cinéticos, desarrollados principalmente en Estados Unidos y Australia:

- *Ensayos estáticos.* Predicen la calidad del drenaje comparando en una muestra su máximo potencial de producción de ácido con su máximo potencial de neutralización.
- *Ensayos cinéticos.* Se distinguen de los anteriores en que se imita las reacciones de oxidación naturales que ocurren en la naturaleza y dan información del índice de oxidación de los minerales sulfatados y la generación de ácido, así como una indicación de la calidad de las aguas de drenaje.

El método más sencillo se basa en un ensayo estático midiendo en una muestra el contenido en sulfuros que contiene dicha roca, por ejemplo, con ensayos químicos

de contenido en sulfuros solubles en ácido, junto con una medición del contenido en carbonato cálcico (ya que la caliza es un agente inhibidor o neutralizador de la oxidación de la pirita), pero estos parámetros en sí no indican si la roca es susceptible de generar ácido sulfúrico.

Para ello se propone (modificado de las normativas australiana y estadounidense) que se evalúe la capacidad de una roca de generar drenaje ácido y, en función de ello, considerar si hay riesgo medioambiental de contaminación, además de problemas geotécnicos. Así, la fórmula propuesta para conocer si hay agresividad a los elementos constructivos o bien posibilidad de producir daños medioambientales es: $\text{NAPP} = \text{ANC} / \text{MPA}$ (tabla 2). Siendo NAPP (*Net Acid Production Potential*) la posibilidad de producirse la reacción de oxidación de la pirita (drenaje ácido), es decir, que se va a desarrollar la reacción $\text{pirita} + \text{oxígeno} + \text{agua} = \text{ácido sulfúrico} + \text{hidróxido de hierro}$. Por otro lado, ANC (*Acid Neutralising Capacity*) es la cantidad del elemento que

Tabla 1. Indicadores de campo para reconocer las rocas ácido-sulfatadas

Presencia de cristales de pirita	Figura 10
Depósitos ocreos o de aguas rojizas	Figura 11
Presencia de jarosita	Figura 12
Corrosión del hormigón y armaduras	Figura 4
Plantas asociadas a aguas ácidas	Figura 13

Tabla 2. Fórmula del potencial agresivo

NAPP=ANC/MPA		
Definición		Ensayo
ANC	% carbonato	UNE 103200/93
MPA	% sulfuros solubles al ácido	UNE EN 1744-1-99
NAPP	<i>Net Acid Production Potencial</i> Potencial neto de producción de ácido	
ANC	<i>Acid Neutralising Capacity</i> Capacidad de neutralización del ácido	
MPA	<i>Maximum Potencial Acidity</i> Máximo potencial agresivo	



Figura 12. Jarosita.

de caliza con alto porcentaje en carbonato y los anclajes deberán ser de fibra de vidrio.

Por otro lado, la mejor solución para evitar el drenaje ácido es no utilizar la roca con pirita como material de relleno. En el caso de que se utilice para rellenos, caben dos opciones: la primera opción, si es un relleno ya ejecutado, se puede introducir agua con cal hidratada, caliza, hidróxido sódico o sustancias tensoactivas (jabones) dentro del relleno, recubriéndolo después con una capa de suelo sellante (arcilla) de, al menos, 1,50 m de espesor. También suele ser un buen recurso sellar todo el relleno con tierra vegetal, ya que la presencia de materia orgánica inhibe la oxidación de la pirita (figura 14).

En la segunda opción, cuando se utiliza la roca con pirita como material de relleno con el fin de evitar que un porcentaje importante del material excavado vaya a vertedero sin tener ningún control sobre su vertido, se mezclará la roca con caliza y se ejecutará el relleno en tongadas de 1,00 m de espesor, colocando entre tongadas capas de suelo sellante (arcilla) de 0,25 m de espesor. En función del potencial agresivo que presenten las rocas ácido-sulfatadas que hay que verter, se deberá mezclar en cantidades de tres partes de roca carbonatada por cada parte de roca ácido-sulfatada (en casos de agresividad débil), hasta cinco partes de roca carbonatada (en casos de agresividad fuerte). Además, se tendrán que colocar cunetas de drenaje para que el ácido sulfúrico que pueda generarse se recoja debidamente.

Convendrá, por otro lado, arreglar todas las fugas de agua que haya en los alrededores, para que el proceso de oxidación sea lento e influya lo menos posible en el medio ambiente y en la obra que se esté ejecutando. Igualmente, es fundamental



Figura 11. Aguas rojizas o ferruginosas.

pueda neutralizar la reacción, por ejemplo el carbonato (en %, y medido según UNE 103200/93) y MPA (*Maximum Potential Acidity*) es la cantidad de sulfuros metálicos multiplicado por 31,25 (en %, que se puede medir con el ensayo de contenido en sulfuros solubles en ácido, según UNE EN 1744-1-99).

Los valores para predecir el potencial agresivo son: si NAPP es menor que 20% dará alta agresividad, si NAPP se sitúa entre 20-60% es potencialmente agresivo y cuando NAPP es mayor que 60% no se desarrolla la reacción. Estos valores podrán perfectamente equipararse a la normativa española, clasificándose su agresividad

según los siguientes valores: se considerará ambiente agresivo Q_c para valores NAPP menores a 20%, ambiente agresivo Q_b para valores NAPP cercanos a 20%, ambiente agresivo Q_a para valores NAPP cercanos a 60%, siendo no agresivo para valores NAPP mayores de 60% (tabla 3).

Soluciones para evitar el drenaje ácido

En el caso de que nos encontremos con una roca ácida, los primero que deberemos indicar es la utilización de hormigón sulforresistente en todos los elementos hormigonados, pero será preferible en el caso de taludes, donde los elementos de contención se hagan por medio de escolleras

que las excavaciones en este tipo de macizos rocoso estén expuestas el menor tiempo posible al aire y la lluvia, utilizando sistemas de impermeabilización para evitar que el agua de la lluvia inicie el proceso.

Problemática geotécnica y medioambiental en Euskadi

En el País Vasco, los sulfuros de hierro normalmente se encuentran en lutitas negras. En la cuenca vasco-cantábrica, estas lutitas negras con piritas se encuentran en materiales del Cretácico inferior (*figura 15*), en las formaciones Purbeck-Weald (base del Cretácico inferior) y formación Valmaseda (complejo supraurgoniano), principalmente. Es en la formación Weald donde se han dado los mayores problemas geotécnicos en los últimos años (véase *figura 16*, donde se muestra el mapa geológico de la zona más afectada por este proceso).

El complejo Purbeck-Weald fue definido en el sector periasturiano de la cuenca cantábrica, y constituye el periodo de tiempo entre el Kimmeridgiense y el Barremiense. Hacia el comienzo del Malm, las condiciones de sedimentación marina dominantes en el norte de España cesaron notablemente. Posteriormente, y hasta casi finales del Barremiense, se acumularon sucesiones sedimentarias continentales, intermedias y marino-restringidas, constituidas en su mayoría por materiales terrígenos, con frecuencia groseros.

Los afloramientos principales del complejo Purbeck-Weald, dentro del Arco Vasco, se sitúan en el núcleo de los anticlinales de Bilbao (áreas de Ganekogorta, Areatza y Zeanuri), Ventoso (áreas de los montes Ventoso y Betaio) y Aitzgorri, así como en Aramaio, Aretxabaleta y Eskoriatza. El complejo Purbeck-Weald está compuesto por la serie Purbeck y la serie Weald, las cuales se diferencian por las características y el periodo de tiempo al que pertenecen; sin embargo, el límite entre las dos series es muy difícil de definir.

Las rocas ácido-sulfatadas en Euskadi se definen geológicamente como una alternancia irregular de lutitas negras y areniscas. Lo más representativo de la sucesión es la alternancia de estratos

Tabla 3. Clasificación de agresividad para rocas ácido-sulfatadas

Valor NAPP	Clasificación agresiva	
>60‰	No agresivo	
40-60‰	Agresividad débil	Qa
20-40‰	Agresividad media	Qb
<20‰	Agresividad fuerte	Qc



Figura 13. Planta *Melaleuca euricafolia*, en una charca de aguas ácidas.



Figura 14. Sellado de una escombrera de rocas ácido-sulfatadas.

argilíticos y areniscosos, en bancos de potencia decimétrica, a veces de forma de secuencias negativas. En los niveles de grano más fino, que suelen tener abundante pirita, materia orgánica y cemento carbonatado, aparecen lumaquelas de gasterópodos (*Glauconia*) y bivalvos, de aguas salobres o marinas restringidas. Son frecuentes, a diversas alturas de la serie, los niveles calizos o dolomíticos representados por micritas oscuras (piríticas, azoicas, parcial o totalmente dolomitizadas), y por micritas y esparitas

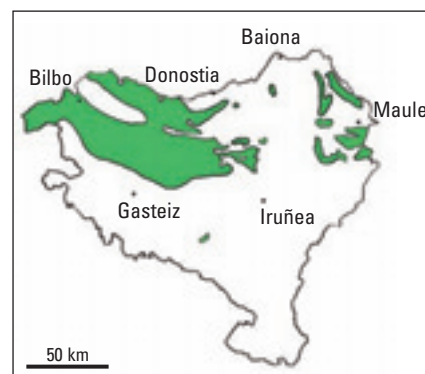


Figura 15. Afloramientos del Cretácico inferior en Euskadi (modificado de Núñez Betelu).

finamente laminadas. Además, en el área de Aramaio pueden encontrarse cristales idiomorfos de yeso y cuarzo en las calizas y dolomías, así como niveles intercalados.

En Euskadi, como consecuencia del desarrollo urbanístico, se ha empezado a construir sobre las rocas ácido-sulfatadas a medida que han ido creciendo los núcleos urbanos. Así, en zonas de pastos, hoy en día, se están construyendo autopistas, líneas de ferrocarril y viviendas, apareciendo las primeras contaminaciones

Mapa geológico País Vasco E/1:100.000.EVE



Figura 16. Mapa geológico del Alto Deba de Gipuzkoa (EVE).



Figura 17. Foto aérea (2007) de Aretxabaleta (www.euskadi.net).



Figura 18. Lixiviación de un relleno de rocas ácido-sulfatadas.

medioambientales, sin que hasta la fecha se hayan tomado medidas para evitar el drenaje ácido (figura 17).

Debido a la orografía abrupta y a la presión urbanística, se construyen viviendas en laderas, rellenando las zonas bajas con la excavación de las zonas más altas. Además de los levantamientos surgidos en las viviendas y el ataque al hormigón, se lleva detectando contaminaciones aguas abajo en los últimos tiempos, constatándose que los árboles autóctonos no crecen bien e incluso se han secado en las proximidades de una construcción con problemas de drenaje ácido, sin que se observen los mismos efectos en los árboles contiguos, fuera de la influencia del drenaje ácido (figura 5).

Del mismo modo, cualquier construcción de una infraestructura lineal lleva aparejado un gran movimiento de tierras, excavando grandes taludes (exposición directa a los agentes atmosféricos), y creando grandes depósitos que se utilizan como base de relleno en las obras lineales (atacando las estructuras de hormigón) o excedentes rellenando valles (lixiviando los contaminantes a la red hidrográfica, figura 18).

Tenemos que empezar a tomar medidas ante este fenómeno no sólo en Euskadi, sino en todas las zonas de iguales características para evitar catástrofes debidas a los vertederos, con el excedente de las infraestructuras que se están ejecutando actualmente. No podemos dejar a la naturaleza que encuentre la solución a este fenómeno natural, ya que podría ser tarde para la agricultura y para nuestros ríos y embalses.

Bibliografía

- Australian Seafood Industry Council (2000). An introduction to acid sulfate soils, *Natural Heritage Trust*, Australia.
- Ente Vasco de la Energía (1995). *Mapa geológico del País Vasco [Euskal Herriko mapa geologikoa]*, escala 1:100.000.
- Environment Protection Authority (1999). Acid Sulfate Soil and Rock, *EPA Information Bulletin*, 655, Sydney.
- Ministerio de Fomento (2008). Capítulo II: Principios generales y método de los estados límite, *Instrucción de Hormigón Estructural*, 22.
- Núñez Betelu, K. (1998). *Euskal Herriko Geología [Euskal Herriko Geografia]*.
- Ormaetxea, V. (2007). Acid sulfide rock: problematic aspects in the Basque Country (Spain), *11th Congress of the International Society for Rock Mechanics*, Lisboa, 3-5.
- Suárez, L. y Regueiro, M. (1997). Riesgos causados por materiales geológicos, *Guía ciudadana de los riesgos geológicos*, Madrid, Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, 23-29.
- USA Environmental Protection Agency (1994). Acid mine drainage prediction, *EPA Information Bulletin*, 530-R-94-036, Washington.

III Foro Energético en el Congreso de los Diputados

La necesidad de una Estrategia Energética Sostenible

Los días 13 y 14 de noviembre se celebró, en la Sala de Columnas del Congreso de los Diputados, el III Foro de la Energía del Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas, en colaboración con la Asociación de Ex Parlamentarios y Ex Senadores de las Cortes Generales, bajo el título “La necesidad de una Estrategia Energética Sostenible”. Esta edición contó con el patrocinio de CNE, Iberdrola, Endesa, Repsol, Foro Nuclear y Unión Fenosa.

Texto | Luzma Piqueres Cañas. Información e Imagen

Fotos | Información e Imagen

Palabras clave

Energía, gas natural, carbón, energía nuclear, petróleo

Inauguró el seminario el presidente de la Comisión de Industria, Turismo y Comercio del Congreso de los Diputados, Antonio Cuevas Delgado, acompañado del presidente del Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas, Pedro Martínez Arévalo, y del ex parlamentario Carlos Robles Piquer, en representación del presidente de la Asociación de Ex Diputados y Ex Senadores de las Cortes Generales, León Buil, que excusó su presencia por motivos de salud.

Carlos Robles Piquer presentó las jornadas en su tercera edición y agradeció a los ingenieros de Minas su apoyo para hacer posible la continuidad de este Foro. Los miembros de la mesa inaugural coincidieron en las evidentes dificultades para llegar a un consenso en materia de estrategia energética y en la complejidad de hacerlo conciliando necesidades energéticas y medio ambiente.

Pedro Martínez Arévalo (*figura 1*) inició su intervención haciendo un repaso de las ediciones de 2006 y 2007, señalando que la tercera edición se estructura con base en las dos anteriores, completando la reflexión sobre la problemática energética. Para el presidente del Consejo, el objetivo reside en presentar la opinión de los ingenieros de Minas sobre la conveniencia de contar con una estrategia energética sólida, consensuada y duradera para el sector español, y que esa aportación técnica suponga una base sólida para la toma de decisiones políticas de carácter estatal. Este objetivo quedaba,

Martínez Arévalo: “Con la crisis financiera claramente instalada, no podemos obviar que el desafío energético es aún más real que la propia crisis”

sin duda, perfectamente cubierto por las interesantísimas seis ponencias que analizaron las posibilidades y limitaciones de las fuentes primarias de energía, desde las generadas con combustibles fósiles a las renovables, teniendo presente la seguridad del suministro, los costes y los precios energéticos y culminando con una ponencia de síntesis y propuesta de reflexiones orientada al planteamiento de una nueva estrategia energética sostenible.

Asimismo, destacó que la globalización y la crisis son factores acuciantes a la hora de abordar el desafío energético, y consideró que la magnitud del desafío es tan importante como la de la propia crisis. El decano presidente instó a tomar posiciones dentro de la UE en cuanto a directrices energéticas desde el planteamiento de consensuar una política de Estado, porque la sociedad reclama su derecho a poder disponer de energía con seguridad de suministro y a precios adecuados para poder competir en los mercados, pero



Figura 1. El presidente del Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas, Pedro Martínez Arévalo, durante su intervención inaugural.

al mismo tiempo exige la preservación del medio ambiente y la prevención de un cambio climático que no resulta tolerable.

Para Martínez Arévalo, “el desafío energético implica encontrar fórmulas que armonicen y compatibilicen todas estas necesidades (...) en un mundo globalizado y marcado por una feroz competencia entre países con distinto grado de desarrollo, que gravitan sobre unos recursos energéticos cada vez más caros”.

El presidente de la Comisión de Industria, Turismo y Comercio del Congreso de los Diputados, Antonio Cuevas Delgado, puso de manifiesto la importancia del encuentro y el elevado nivel de sus ponentes y solicitó sus contenidos y conclusiones para ser



Figura 2. Panorama de la sala: 1: José Luis Barrera; 2: Rafael Varela.

conocidos y reflexionados dentro de la Comisión. Cuevas hizo hincapié en la oportunidad del Seminario en un momento en el que la necesidad de consensuar una política energética se vuelve prioritaria dada la coyuntura económica que atravesamos.

Antonio Cuevas: “Nos enfrentamos a un problema global que no se puede solucionar con medidas únicamente de carácter nacional”

Cuevas centró su intervención en la necesidad de una estrategia energética que aminore las graves consecuencias del cambio climático y abogó por enmarcarla en una política global. Para el presidente de la Comisión de Industria, “España en materia energética tiene que establecer un equilibrio entre una política que promueva la competitividad de nuestro sector productivo y asegure el suministro de energía y una política de protección del medio ambiente”. Mostró su confianza en que las reflexiones de estos días contribuyan a que nuestro país cuente en el futuro con un sistema energético que garantice el suministro, mejore la competitividad y mantenga la sostenibilidad medioambiental en un contexto de cambio climático. Finalizó su intervención reiterando que sería importante hacer llegar

a la Comisión de Industria, Turismo y Comercio las conclusiones del Seminario que, sin duda, serán muy útiles para los grupos parlamentarios.

Con la sala llena de asistentes (figura 2) comenzaron las conferencias.

Vulnerabilidad y seguridad

La conferencia de apertura corrió a cargo de un ponente especialmente relevante, el consejero de la CNE, José Sierra. Ameno, didáctico y extraordinariamente claro, Sierra abrió la sesión poniendo marco y contexto a la amplia y compleja temática recogida en el programa, con una conferencia titulada “Vulnerabilidad y seguridad del suministro energético”. El ilustre ponente, experto en regulación energética, doctor ingeniero de Minas y consejero de la Comisión Nacional de la Energía, fue presentado por el ex parlamentario Carlos Robles Piquer.

Sierra inició su disertación admitiendo ante el público que “en los momentos actuales, de tantas incertidumbres en los ámbitos financiero, económico y empresarial, pronunciarse sobre temas estratégicos, como seguridad y vulnerabilidad, puede parecer una osadía fuera de lugar”. Y advirtiendo de que los conceptos a los que hacía referencia su intervención son “indeterminados, de carácter más relativo que absoluto, inherentes a cada mercado y, en particular, a sus condiciones específicas (...) y a las de su entorno, tales como su situación geográfica y acceso a suministradores y a redes de gas o de electricidad”.

Destacó también que aunque el estado de la seguridad o de la vulnerabilidad sean difíciles de valorar cuantitativamente, sí se pueden identificar actuaciones que van a favor o en contra de la seguridad, y que precisamente de eso iba a tratar su ponencia. Entre otras cosas, Sierra apuntó que consideraba que “el mercado es el mejor mecanismo” para, mediante la competencia, reducir costes y mejorar los servicios prestados; incluso, los mercados ayudan decisivamente a garantizar la seguridad a corto y a medio plazo, como lo prueba, por ejemplo, el alto nivel de diversificación de nuestras importaciones energéticas.

Seguridad estratégica, responsabilidad del Estado

Sin embargo, en su opinión, la seguridad estratégica a largo plazo escapa a las fuerzas del mercado y debe ser responsabilidad del Estado y fruto de un pacto de Estado. Para José Sierra, “es el Estado quien debe fijar una serie de objetivos a largo plazo, como la participación de cada fuente y tecnología en el *mix* energético o las infraestructuras básicas de gas y de electricidad, estableciendo el marco regulatorio y, en su caso, de incentivación económica, en el que deben actuar los mercados”. Para el ponente, esto no es incompatible con la economía de mercado, porque se trata de estrategia “con ciertos elementos de planificación” y “los planteamientos de seguridad deben ser integrales, abarcando, al mismo tiempo, todas las fuentes y tecnologías”.

Según Sierra, “hoy es imposible pronunciarse sobre cómo se verán afectadas la demanda energética, las inversiones y los precios”. Posiblemente se relajen temporalmente, pero aumenten las incertidumbres sobre las inversiones. En cualquier caso parece que las tendencias actuales se mantendrán en lo fundamental y se haría un flaco servicio a la seguridad energética si la situación actual llevara a aplazar el abordar algunos de los problemas que se han planteado, señalaba el conferenciante.

Sierra finalizaba con una frase de Tony Blair: “Si no tomamos decisiones difíciles sobre política energética, la crisis de la seguridad energética podría ser mucho peor que la actual crisis financiera”.



Figura 3. Juan Carlos Ballesteros durante su intervención.

El carbón sostenible, una energía para el futuro

Juan Carlos Ballesteros Aparicio (figura 3), doctor ingeniero de Minas, es subdirector de I+D de Endesa Generación y fue presentado por Carmen Solano Carreras, ex diputada y miembro de la Junta Directiva de la Asociación de Ex Parlamentarios.

En veinte años las centrales de carbón serán de emisión casi cero

La intervención versó sobre la utilización del carbón como fuente energética, su importancia incuestionable y cómo la aplicación de tecnologías limpias al carbón puede hacer, sin duda, que éste sea y se mantenga como una firme opción en la cesta energética nacional. Ballesteros realizó un repaso a la situación actual de reservas, afirmando que triplican a las del petróleo y duplican a las del gas. El ponente explicó con detalle la sistemática de la captura, transporte y almacenamiento del CO₂ y la normativa que la rodea.

Destacó que es posible integrar sistemas CAC completos a partir de las tecnologías existentes en la actualidad y que en menos de diez años será posible reducir el coste de captura de CO₂ en un 30%. Para Ballesteros el carbón es insustituible a la hora de producir energía eléctrica, al menos en las próximas décadas, y en un horizonte de veinte años las centrales de carbón serán de emisión casi cero. Para este conferenciante la ecuación a resolver urgentemente es la de conciliar el cambio climático con la necesidad del suministro energético.



Figura 4. Intervención de Enrique Locutura.

¿Es posible el resurgimiento de la industria nuclear española?

Antonio González Jiménez, ingeniero de Minas y director técnico del Foro de la Industria Nuclear Española, fue presentado por Reyes Montseny Masip. González iniciaba su intervención haciendo un repaso a las que consideró las ventajas evidentes de la energía nuclear y señalando que “un resurgimiento nuclear era necesario en España”, porque aportaría garantía de suministro, independencia energética, ayudaría en la lucha contra el cambio climático y sería fundamental para mantener la competitividad de nuestra economía.

“La nuclear será fundamental para mantener la competitividad de nuestra economía”

González reiteró que es necesario mantener a largo plazo el parque nuclear existente y abordar un nuevo programa nuclear en España. El ponente pasó revista a la situación tanto a nivel europeo como internacional y afirmó que en muchos países de nuestro entorno se agilizan nuevos planteamientos como señal de la apuesta por la generación nuclear y de cómo los últimos barómetros de opinión pública europea denotan que a mayor y mejor información, mayor apoyo a este sistema de generar energía. A continuación, comentó los proyectos de nuevas plantas a nivel internacional.

Centrado en la situación de nuestro país, afirmó que es necesario mantener las

instalaciones existentes y abordar un nuevo programa nuclear. El ponente subrayó que la energía nuclear es la mayor fuente de electricidad disponible que no emite CO₂ y que se basa en capacidades tecnológicas y ayuda a la garantía de suministro. El ponente consideró que existe una solución técnica para abordar la gestión de los residuos, que en el futuro pueden ser una fuente importante de energía y que España, dado que es un país sin recursos energéticos propios, necesita un *mix* energético equilibrado en el que todas las fuentes se complementen. Por ello, afirmó que es importante mantener abierta esta tecnología, dando continuidad a lo existente y planteando de manera abierta las posibilidades futuras. González señaló que las características de la energía nuclear en lo relativo a aspectos medioambientales, económicos y sociales hacen necesario considerarla como parte de la solución para afrontar el cambio climático.

El papel de las energías renovables

La intervención de José Luis del Valle Doblado, director general de Estrategia y Desarrollo de Iberdrola y vicepresidente de Energy East y de Scottish Power, sobre las energías renovables y su papel en la estrategia energética sostenible cerraría la primera jornada del Seminario.

El moderador de esta ponencia fue el ex parlamentario vasco Eduardo Vallejo de Olejua, que presentó a Del Valle haciendo mención de la decisiva influencia de éste en la estrategia seguida por Iberdrola en su expansión internacional. El conferenciante agradeció las palabras de Vallejo de Olejua, precisando que además lo hacía doblemente dado el origen vasco de la empresa Iberdrola.

Del Valle, que inició su intervención hablando de la sostenibilidad del modelo energético actual, pasó a continuación a disertar sobre el papel de las energías renovables en dicho marco, señalando que, en este contexto, las energías renovables presentan unas perspectivas de crecimiento muy favorables, como evidencia el que la Agencia Internacional de la Energía estime que entre 2006 y 2030 la producción eléctrica renovable se habrá duplicado y que antes de 2015 la de origen eólico se habrá convertido en la segunda fuente de generación eléctrica después del carbón.

“La consolidación del liderazgo de España en renovables tendrá importantes beneficios para la economía en el entorno actual de crisis, pero exigirá una reforma del marco regulatorio encaminada a dotarle de una mayor estabilidad y visibilidad”

El ponente consideró que el desarrollo de las energías renovables también abre un abanico de oportunidades para España, como la reducción de la dependencia energética del exterior con una contribución positiva al déficit exterior; la reducción de las emisiones de CO₂; el desarrollo de una industria en auge y con un futuro asegurado; la creación de empleo y semillero de I+D y la mejora de la cohesión territorial.

Del Valle hizo un amplísimo e interesante repaso de la política energética y las energías renovables en Europa y en España. Para el ponente, no hay duda de que las energías renovables están experimentando un fuerte crecimiento mundial, algo que va a acelerarse en el futuro. Las perspectivas de desarrollo son especialmente positivas para la energía eólica y España juega un papel de liderazgo mundial en este sector. Nuestro país debe seguir

apostando por las renovables para mantener el posicionamiento conseguido en este sector económico en auge.

“España —dijo—, que ha sido pionera en el campo de las energías renovables, con una política que consolide y amplifique ese liderazgo podría convertirse en una efectiva herramienta de lucha contra los efectos de la crisis económica.” Según él, el sector energético debe evolucionar hacia un modelo más sostenible en el que las energías renovables jugarán un papel cada vez más relevante. Resulta evidente para el ponente que la política energética de la Unión Europea apuesta claramente por la sostenibilidad y que España es hoy un referente mundial en energía renovable.

Finalizó señalando que “la consolidación del liderazgo de España en renovables tendrá importantes beneficios para la economía en el entorno actual de crisis, pero exigirá una reforma del marco regulatorio encaminada a dotarle de una mayor estabilidad y visibilidad”.

El futuro del petróleo y del gas natural

La jornada del 14 se abrió con la intervención de Enrique Locutura Rupérez, sobre “El futuro del petróleo y del gas natural”. Fue presentado por el ex parlamentario Carlos Dávila Sánchez.

Enrique Locutura Rupérez (*figura 4*), ingeniero de Minas y director general de GNL Repsol YPF, iniciaba su intervención con una afirmación: “Sin energía no hay crecimiento. El petróleo y el gas natural contribuyen con cerca del 60% de las necesidades de la energía del mundo. Todas las previsiones de los expertos y organismos internacionales indican que dentro

de veinte años continuarán contribuyendo con más del 50% de las necesidades de energía”.

Para Locutura, “el petróleo y el gas natural por su abundancia, accesibilidad y precio, han contribuido de forma decisiva al desarrollo económico y social de la humanidad en los últimos cien años. Si el petróleo es visto como un problema es porque dependemos y vamos a continuar dependiendo de él. No podemos vivir sin energía; no podemos vivir sin petróleo o gas natural”.

Señaló que la pasada primavera, un conocido banco de inversión pronosticaba que el crudo, que entonces rondaba los 100 dólares/barril, superaría los 200 dólares/barril antes de que terminara 2008, sentenciando que “pronosticar a qué nivel estará el crudo en los próximos años es apostar a equivocarse”.

Locutura afirmó estar convencido de la superación de la crisis y que “el mundo volverá a una senda de crecimiento y mayor prosperidad para el conjunto de sus habitantes, lo que traerá consigo una todavía mayor globalización y mayor crecimiento de los países emergentes”. En ese escenario se vivirá el crecimiento de la demanda del petróleo y del gas natural, crecimientos que vendrán empujados por el sector transporte en el caso del petróleo, y en el caso del gas natural, por el crecimiento de la generación eléctrica con ciclos combinados y por sus ventajas medioambientales.

Según Locutura, dada la estructura de la industria, se plantean grandes problemas para acometer y financiar las inversiones que aseguren el crecimiento de la producción. Esta industria necesita que el talento joven vuelva a incorporarse al mismo. El ponente hizo una llamada sobre la necesidad de “recursos humanos, acerca de la necesidad de geólogos, geofísicos, matemáticos e ingenieros que desarrollen nuevas tecnologías para la industria energética”.

En referencia a los precios, expresó que “una vez que se reanime la actividad económica, volverá el escenario estructural de precios altos y volátiles”. Y en referencia a la dependencia española del petróleo y del gas natural, afirmó que “terminará cuando aparezca una nueva fuente de energía que los sustituya mejorando sus prestaciones y compitiendo económicamente con éstos”.



Figura 5. Mesa redonda de los participantes políticos. De izquierda a derecha, Antonio Erías, Grupo Parlamentario Popular, Pepa Bueno, periodista de RTVE, y Pilar Unzu, Grupo Parlamentario Socialista.

Costes y precios de la energía

Eloy Álvarez Pelegry, ingeniero de Minas y director corporativo de Calidad, Medio Ambiente e I+D de Unión Fenosa, fue presentado por el ex parlamentario Carlos Bencomo Mendoza.

Eloy Álvarez inició su intervención apuntando que la energía requiere un punto de partida sobre el que empezar a reflexionar, que debería ser un análisis sobre el contexto general de los mercados de energías primarias, por el gran peso de éstas en el *mix* energético mundial, algo que debería orientar cualquier tipo de análisis sobre el asunto. En función de esta premisa, empezó su ponencia por el análisis de costes y precios del petróleo —una fuente de energía cuya importancia supuso el 48% del total de energía primaria consumida en España en 2007, 71 Mtep—, y que afecta desde el precio del gas al transporte a escala mundial. Abordó después el carbón y el gas, intentando que las referencias a los costes y precios “no se conviertan en un corsé que impida examinar estas energías con cierta fluidez”. Incorporó a la reflexión un nuevo elemento que ha irrumpido en la escena energética y que, sin duda, la determina: el CO₂, haciendo ver que la importancia de su oferta y demanda, unido a la influencia de su precio a la hora de generar electricidad, lo convierten en un elemento de coste muy importante a tener en cuenta. El ponente afirmó que en el futuro dicha importancia irá, previsiblemente, en aumento y jugará, como ya lo está haciendo hoy, un papel de arbitraje entre las energías fósiles.

Trató la electricidad como elemento transformador de energías primarias en energía final por un lado, y como vector o elemento portador de energía hacia los consumidores finales, por otro. Y se refirió a la generación eléctrica, como sector al que se le ha asignado menos derechos de emisión (aproximadamente el 50% como valor medio anual durante el periodo 2008-2012, respecto a las cifras del año 2005) y el único al que, previsiblemente, se le obligará a adquirir, desde el primer año del periodo “post Kioto”, el 100% de los derechos de emisión. Examinó así el sector eléctrico en su interrelación básica con la energía primaria y el CO₂.

Señaló que hay un conjunto de aspectos institucionales que en 2009 afectarán al

mercado del CO₂, siendo el más significativo la reunión de la Conferencia de las Partes nº 15 del acuerdo marco de las Naciones Unidas para el cambio climático y la Conferencia de Miembros Firmantes del Protocolo de Kioto (CMP) en 2009 en Copenhague, que podría ser el colofón del plan de acción trazado en Bali.

“La importancia del CO₂ en la escena energética irá en aumento y jugará, como ya lo está haciendo hoy, un papel de arbitraje entre las energías fósiles”

Destacó que la industria energética ha asumido la mitigación del cambio climático “como uno de sus objetivos básicos”, pero que para lograr abordar con éxito esta tarea debe actuarse desde diferentes frentes. El ponente considera necesario, entre otras medidas, que aquellos países con grandes emisiones de CO₂ o con una gran dependencia energética del carbón (como es el caso de China o India) participen en los acuerdos “post Kioto”, el desarrollo y la transferencia de tecnología, así como una I+D pública y privada en todas las áreas, incluyendo las relativas al uso final de la energía. También considera necesario establecer un precio global del carbono, así como el traslado de los costes reales de la energía a los consumidores finales, de modo que éstos tengan incentivos para realizar acciones de ahorro y eficiencia energética.

No quiso cerrar el análisis del coste del CO₂ sin hacer una breve referencia al principal coste que del mismo se deriva para el consumidor final: el coste de la energía eléctrica. En los últimos años, desde que entraron en vigor los PNA en Europa (2005), el coste de generación del mercado español se ha venido situando en la envolvente de costes de los mercados de nuestro entorno. Por tanto, podemos concluir que los costes de generación eléctrica en España, en estos últimos años, están en línea con los de los países europeos de nuestro entorno.

Con referencia al gas, a modo de resumen, afirmó que Oriente Medio y África aumentarán su producción de gas natural, con un papel importante de la capacidad de licuefacción de Qatar; previsiblemente los precios del gas seguirán ligados a los precios del crudo, con mayor peso del largo plazo pero con una relevancia creciente del precio “spot” del GNL. Posiblemente, aumentará la volatilidad y la interrelación de los mercados; las previsiones apuntan a que el aumento de la demanda de gas continuará, en gran medida, impulsado por la generación eléctrica con base en ciclos combinados de gas y a posibles tensiones en los mercados, con presión por el lado de los costes.

Conclusiones

José Luis Díaz Fernández, doctor ingeniero de Minas, ex presidente de Empetrol, Campsa, CLH y Repsol Petróleo y, en la actualidad, presidente de la Asociación Española para la Economía Energética, fue el encargado del resumen y conclusiones del Seminario, siendo presentado por la ex parlamentaria Carmen Calleja de Pablo.

Díaz Fernández realizó un breve resumen de las ponencias expuestas a lo largo de las dos jornadas del Seminario y a continuación expresó en cinco puntos las conclusiones alcanzadas. Recomendando la lectura íntegra de las mismas, así como de las ponencias e intervenciones, hacemos a continuación una síntesis periodística de las mismas.

La primera conclusión recoge que no parece que pueda producirse un colapso de la economía mundial por insuficiente oferta de energía, aunque debe tenerse en cuenta la vulnerabilidad de las importaciones de petróleo y gas natural por parte de los países industrializados. Podría suceder que los países con grandes reservas no puedan aumentar la producción al ritmo que crece la demanda, lo que originaría tensiones en los precios de los hidrocarburos. Por el contrario, la abundancia y diversificación de las reservas de carbón y de uranio da seguridad a los abastecimientos de estas materias primas. Es necesario moderar el consumo, lograr mayor eficiencia energética y contar con todas las energías sin exclusiones.

La segunda conclusión establece que las emisiones de CO₂ seguirán aumentando, porque los países en desarrollo no están dispuestos al extracoste de evitarlas al

considerar que su desarrollo debe sustentarse en energía lo más barata posible, como hicieron antes los países de la OCDE responsables de los niveles actuales de concentración de CO₂. El extracoste por tonelada evitada de CO₂ puede cifrarse en el caso de secuestro, transporte y almacenamiento entre 20 y 30 euros. El mayor coste de energía implicaría la deslocalización industrial hacia países menos exigentes en medio ambiente, pero las emisiones de CO₂ de la UE representan sólo el 14% de las mundiales. Por tanto, el esfuerzo se traduciría en mejoras muy modestas. Europa podría llegar a no ser competitiva en una economía global, teniendo la energía más cara.

La tercera conclusión es que no parece acertada la política de la UE de promocionar los biocarburantes de primera generación. Sería preferible primar la I+D+i en los biocarburantes de segunda generación a partir de materias primas no alimentarias, en lugar de estimular el consumo de biocarburantes de primera generación.

La cuarta conclusión considera que el sector energético europeo, salvo Francia, ha evolucionado hacia la liberalización. En petróleo y derivados, la facilidad y bajo coste de transporte y almacenamiento aconsejan una intervención pública limitada a garantizar la competencia. En gas natural se debe garantizar una red que permita el acceso a todos los mercados de todos los agentes y garantizar las vías de acceso para las importaciones a través de gasoductos internacionales o de plantas de regasificación. La intervención pública debe limitarse a asegurar que las vías de acceso de transporte y distribución son las adecuadas y que los precios sin impuestos son comparables a los de países de nuestro entorno con situación similar de dependencia del exterior.

“Para implementar un desarrollo energético adaptado a las necesidades del país, es necesario un pacto de Estado entre las fuerzas políticas mayoritarias, que garantice la continuidad por contar con los apoyos necesarios con independencia del partido político que gobierne”

En electricidad, es cuestionable que la organización de la generación eléctrica bajo el principio de la libre competencia garantice el *mix* óptimo. En España, entre 2008 y 2016, se incrementaría en 93.000 Gwh la producción en régimen especial y a partir de gas natural, mientras que la demanda lo haría en 80.500 Gwh. Por tanto, disminuiría la generación a partir de otras fuentes de energía, especialmente el carbón. Las energías en régimen especial, más caras que las convencionales, aportarían el 36%. El extracoste de estas energías, que ascendió a unos 2.000 millones de euros en 2007, superaría ampliamente los 3.000 millones en 2009. Parece razonable que el Estado defina el *mix* adecuado a largo plazo correspondiendo a la iniciativa privada la materialización de las inversiones. Esta definición debería tener en

cuenta las características del coste, seguridad e impacto medioambiental de cada una de las energías primarias. El abandono del carbón o renunciar a la energía nuclear son decisiones que los expertos no califican como prudentes.

La quinta y última conclusión es que para implementar un desarrollo energético adaptado a las necesidades del país se hace necesario un pacto de Estado entre las fuerzas políticas mayoritarias que garantice la continuidad por contar con los apoyos necesarios con independencia del partido político que gobierne.

La visión de los políticos, PSOE y PP

La visión política vino dada por una mesa redonda, moderada por Pepa Bueno, periodista de RTVE (*figura 5*). Los políticos que intervinieron mostraron sus posturas y programas ante el cambio climático y la relación con la generación de energía. Pilar Unzu de Eulate, del Grupo Parlamentario Socialista y portavoz del mismo en la Comisión de Industria, Turismo y Comercio, mostró el planteamiento de su formación ante la temática, haciendo especial hincapié en la necesidad de promocionar y hacer crecer, en la cesta energética nacional, las energías alternativas, las renovables o verdes, así como su escasa sintonía con la apuesta nuclear. Pilar Unzu aludió tangencialmente a la eficiencia energética y todo el abanico de medidas que la promueven desde el Gobierno. En un encendido debate, Antonio Erías Rey, del Grupo Parlamentario Popular y también portavoz en la Comisión de Industria, Comercio y Turismo, respondió a la portavoz socialista, mostrando una postura más cercana a la posibilidad de generación nuclear. Ambos políticos mostraron su interés por conocer las conclusiones del Seminario y hacer partícipes de ellas a los miembros de la Comisión de Industria.

La clausura corrió a cargo del presidente de la Comisión de Industria, Turismo y Comercio del Senado, José Antonio Alonso García (*figura 6*), quien habló de la necesidad de conciliar desarrollo energético y cambio climático en una estrategia coherente y sólida.

El éxito de la convocatoria augura un IV Foro de los Ingenieros de Minas en el Congreso de los Diputados para 2009.



Figura 6. Mesa de clausura. De izquierda a derecha, Pedro Martínez Arévalo, José Antonio Alonso y Carlos Robles Piquer.

Petrología de la pizarra para cubiertas y sus factores de calidad

España es, en la actualidad, el principal productor mundial de pizarra para cubiertas, a pesar de que en los últimos años el peso total en las exportaciones españolas ha ido disminuyendo, debido principalmente a la competencia de países como China, India y Brasil. Sin embargo, la calidad de la pizarra proveniente de estos países y la fabricación es inferior a las de las pizarras de la península Ibérica.

TEXTO I V. Cárdenas Van den Eynde. Geólogo. Universidad de Santiago de Compostela, Facultad de Biología, Dpto. de Edafología. E-mail: victor@valdeorras.com. A. Rubio Ordóñez. Geólogo. Universidad de Oviedo, Dpto. de Geología

FOTOS I V. Cárdenas y A. Rubio

Palabras clave

Microscopio petrográfico, pizarra para cubiertas, calidad, UNE 12326

La pizarra en España se ha venido empleando como material de construcción desde hace siglos, utilizándose en construcciones locales, aunque hoy el volumen de exportación ha decrecido (*figura 1*). Sin embargo, no fue hasta la década de los años sesenta (*figura 2*) cuando se produjo una mecanización del sector que incrementó enormemente la cantidad y calidad del producto, introduciéndose la pizarra española en los mercados de Reino Unido, Francia y Alemania, países con una larga tradición de arquitectura en pizarra. Las labores de arranque se realizaban con cartuchos de pólvora negra, lo cual fracturaba el bloque de pizarra. La introducción del hilo de diamante (*figura 3*) en la década de los ochenta supuso un gran avance, ya que permitía sacar grandes bloques intactos, mejorando el rendimiento en cantera.

Previamente al hilo de diamante se probaron otros sistemas alternativos a la extracción con pólvora, como las sierra de disco en cantera y las sierras de espada, pero estos métodos, a pesar de suponer un adelanto tecnológico, no pudieron competir con las prestaciones y el rendimiento del corte con hilo de diamante. La introducción de estos sistemas de corte permitió también observar las estructuras sedimentarias por primera vez, al ofrecer superficies planas perpendiculares a la foliación. Antes, el empleo de explosivo no permitía observar una superficie limpia, por lo que muchos rasgos de la estructura se perdían para los técnicos. En esta época se empezó a utilizar

de manera regular el sondeo continuo como método de investigación.

Las mejoras en los procesos de extracción y elaboración (*figura 4*) que se han venido incorporando al sector en los últimos años han incrementado de manera considerable el rendimiento de los yacimientos menos productivos. También se ha incorporado el marcado CE según la norma UNE 12326, lo que ha supuesto un valor añadido para la pizarra.

Características generales de la pizarra para cubiertas

Una pizarra para cubiertas es una roca capaz de exfoliar en placas de tamaño aceptable con espesores comprendidos entre 3 y 10 mm, ofreciendo superficies planas y homogéneas. La pizarra proviene del metamorfismo de arcillas, correspondiéndose este metamorfismo a la facies de los esquistos verdes, con unas condiciones de presión y temperatura que oscilan entre 300-400 °C y 2-3 kbar,

respectivamente. El paso de la diagénesis al metamorfismo está marcado por valores del Índice de Kubler (cristalinidad de la illita) inferiores a 42. En la península Ibérica se pueden definir 12 distritos pizarreros, diez en España y dos en Portugal (*figura 5*), cada uno con unas características propias (*tabla 1*), aunque muy dispares en lo que se refiere a tamaño. Los distritos pizarreros de mayor tamaño se localizan en el noroeste de la península Ibérica, siendo Valdeorras (Orense) el que mayor número de canteras tiene (alrededor de 90), seguido por La Cabrera-La Baña (50 canteras). Otros distritos pizarreros sólo tienen una cantera, como es el caso de Villar del Rey (Badajoz), Arouca o Valongo. Desde un punto de vista estratigráfico, los niveles pizarrosos del Ordovícico son los más productivos (*figura 6*), en especial la Formación Pizarras de Lueca y la Formación Rozadaís. Como dato curioso, en el distrito de Arouca, Portugal, existe un yacimiento paleontológico de trilobites (*figura 7*) excepcional, donde se han encontrado numerosas especies y ejemplares de hasta 86 centímetros.

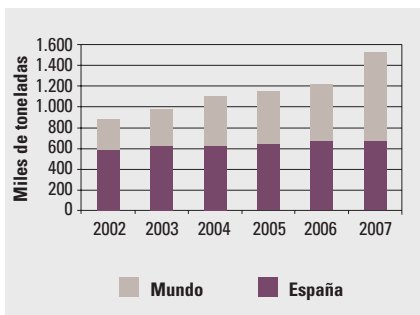


Figura 1. Exportaciones de pizarras para el periodo 2002-2007. Fuente: WTO.



Figura 2. Carga de pizarra en Valdeorras con destino a Madrid a principios de los sesenta.

Tabla 1

Distrito	Minerales principales	Minerales accesorios
1 Monte Rande	Mica (40-45); cuarzo (25-28); cloritas (20-22); feldespatos (5-10).	Rutilo, turmalina, opacos, sulfuros de hierro.
2 Terra Chá	Mica (40-50); clinocloro (15-25); cuarzo (10-20); feldespatos (15-25); carbonatos (0-10).	Pirita, turmalina, zircón.
3 El Caurel	Cloritas (30-40); mica (30-40); cuarzo (15-25) Feldespatos (0-10); cloritoide (3-15).	Sulfuros de hierro, rutilo, turmalina, opacos.
4 Los Oscos	Cloritas (35-40); mica (30-35); cuarzo (15-20); feldespatos (0-10).	Rutilo (leucoxeno), smithtita, opacos.
5 Valdeorras*	Mica (30-50); clorita (15-35); cuarzo (20-30); feldespatos (0-10).	Cloritoide, rutilo (leucoxeno), turmalina.
Valdeorras**	Mica (35-45); clorita (20-40); cuarzo (25-35); feldespatos (0-15).	Zircón, opacos, sulfuros de hierro, carbonatos.
6 Alto Bierzo	Mica (35-45); clorita (35-43); cuarzo (20-25); feldespatos (0-10).	Rutilo, turmalina, monacita, zircón, opacos, sulfuros de hierro, carbonatos.
7 La Cabrera	Mica (35-45); clorita (20-40); cuarzo (25-35); feldespatos (0-10).	Rutilo, turmalina, monacita, zircón, opacos, sulfuros de hierro, carbonatos.
8 Aliste	Clorita (30-45); mica (35-40); cuarzo (5-20); feldespatos (0-5); cloritoide (0-10).	Rutilo, turmalina, zircón, opacos, sulfuros de hierro.
9 Bernardos	Clorita (35-40); cuarzo (25-35); biotita (20-30).	Rutilo, zircón, sulfuros de hierro.
10 Villar del Rey	Mica (35-40); cuarzo (25-30); clorita (25-30); feldespatos (0-5); cloritoide (8).	Rutilo, turmalina, zircón, opacos, sulfuros de hierro.
11 Valongo	Mica (40-45); clorita (20-25); cuarzo (15-20); feldespatos (10-20); cloritoide (16).	Rutilo, turmalina, zircón, opacos, sulfuros de hierro.
12 Arouca	Mica (35-40); clorita (20-25); cuarzo (10-15); feldespatos (10-20); cloritoide (18).	Rutilo, turmalina, zircón, opacos, sulfuros de hierro.



Figura 3. Corte con hilo de diamante en niveles de Morneau, distrito de Valdeorras.

posible encontrar cuarzo secundario como relleno en antiguas cavidades y acumulaciones de cuarzo con extinción en *damero*, un tipo de extinción que indica recristalización en bajas condiciones de presión y temperatura.

- La clorita está presente como variedad clinocloro, aunque no es raro encontrar chamosita. Los blastos tienen forma arriñonada, con intercalaciones de moscovita sigmoidales provenientes de la alteración de la clorita a moscovita (figura 10). En algunas pizarras sólo quedan restos de la clorita, habiéndose convertido toda en moscovita. Es fácil encontrar los blastos de mayor tamaño con extinción ondulante y pleocroismo a tonos verdes, sobre todo en las pizarras verdes del Cámbrico del distrito de Terra Chá. Al igual que el cuarzo, el tamaño está comprendido entre 20 y 500 μm .

Actualmente está en marcha un proyecto para construir un geoparque en dicha zona.

La pizarra al microscopio

La primera impresión que se tiene al examinar este tipo de pizarras al microscopio es de ver una roca homogénea de grano muy fino, con una foliación muy marcada, y en la que, en ocasiones, se puede distinguir la estratificación. Al principio puede parecer que no se va a sacar mucha más información, pero un examen cuidadoso con los aumentos adecuados (200-400 x) deja al descubierto una gran cantidad de nuevos elementos y estructuras.

La pizarra para cubiertas está compuesta por tres componentes principales (cuarzo, cloritas y otras micas) en proporciones y tamaños variables, y una serie de minerales secundarios y accesorios, como cloritoide, feldespatos, carbonatos y sulfuros de hierro (figura 8):

- El cuarzo es el mineral detrítico más común (figura 9); frecuentemente presenta

extinción ondulante y desarrollo de colas de presión. Suele tener tamaños comprendidos entre 20 y 500 μm , y es más abundante en las formaciones superiores del Ordovícico. También es



Figura 4. Cantera de pizarra para cubiertas en la zona de San Pedro de Trones (León).



Figura 5. Distritos pizarrosos de la península Ibérica y su relación con las zonas del Macizo Varisco Ibérico.

- Otras micas, fundamentalmente micas blancas, forman la matriz de la pizarra, en niveles de 2-20 μm de espesor y gran continuidad lateral (figura 11). La norma UNE 12326 para pizarras contempla el cálculo de un Índice de Apilamiento de Micas (IAM) que tiene en cuenta el espesor medio de las micas y su densidad, utilizando 400 aumentos. Este IAM puede parecer engorroso de calcular en un principio, pero lo cierto es que se observa una relación directa entre sus valores y la resistencia a la flexión de una pizarra. El cálculo de este índice es muy recomendable, ya que describe de la mejor manera posible, hoy en día, la matriz micácea. Es frecuente encontrar moscovita diagenética acicular de hasta 300 μm de longitud orientada paralelamente a la pizarrosidad. En las pizarras de Bernardos (Segovia) se encuentra abundante biotita (figura 12).
- El cloritoide, en algunas pizarras, llega a suponer un 10%. Es fácil de reconocer; presenta hábito tabular, muchas veces rotado con respecto a la foliación, de color verde pálido (figura 13). En el distrito del Caurel (Lugo) puede llegar a los 3 mm

de longitud; se puede distinguir claramente en muestra de mano en forma de moteado uniforme en la superficie de la pizarra. La presencia de cloritoide disminuye la fisibilidad de la pizarra, al ser un mineral acicular que atraviesa perpendicularmente los planos de foliación, uniéndolos.

- Feldespatos, sobre todo albita. Es complicado distinguirlos del cuarzo al microscopio; son de origen detrítico

y pueden llegar al 10% en algunas pizarras.

- Los sulfuros y óxidos de hierro, pirita sobre todo, son opacos y frecuentemente presentan colas de presión o recristalizaciones de cuarzo y cloritas, de mayor desarrollo en la dirección de la foliación. Se pueden encontrar desde cubos de pirita de arista centimétrica a framboides formados por pequeños cubos. Estos minerales son perjudiciales para

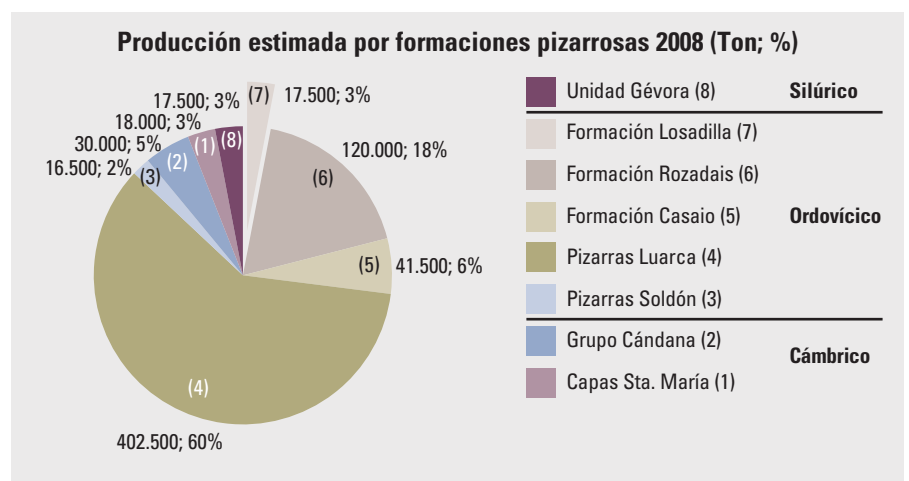


Figura 6. Producción estimada por formaciones geológicas pizarrosas a lo largo de 2008. Fuente: Elaboración propia.



Figura 7. Trilobites provenientes de la cantera de pizarra del distrito de Arouca; longitud aproximada, 28 cm. Formación Pizarras de Valongo.

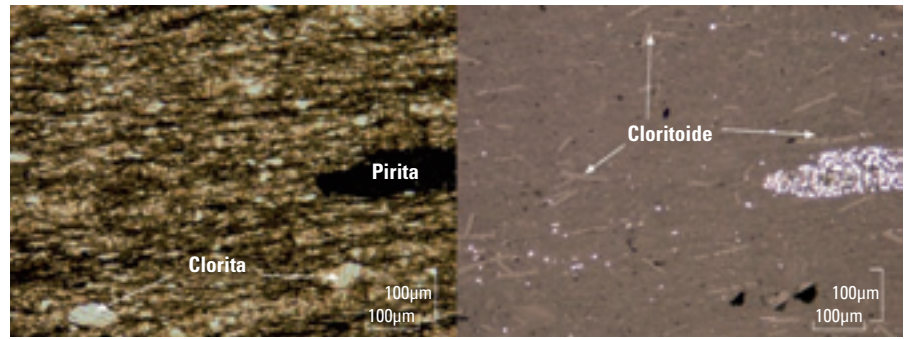


Figura 8. Fotomicrografía de aspecto general de una pizarra para cubiertas con luz transmitida (dcha.) y con luz reflejada (izda.). Destacan los numerosos blastos de cloritoide. Formación Pizarras de Valongo, distrito Arouca. Ancho de la imagen, 7 mm.

la pizarra debido a su posible oxidación.

- Los carbonatos se encuentran rellenando huecos y formando parte de las colas de presión. Al igual que los sulfuros de hierro, se les considera perjudiciales, ya que pueden alterar al yeso al entrar en contacto con el SO_2 de un ambiente urbano. En algunas pizarras se pueden encontrar también fragmentos de caliza. Como minerales accesorios (inferiores al 1% de

abundancia) se pueden ver rutilo, leucoxeno, turmalina, allanita, etc. (figuras 14 y 15).

Factores de calidad en pizarras para cubiertas

Los factores que controlan la calidad de la pizarra se pueden englobar en dos grupos: factores petrográficos y mineralógicos y factores tectónicos.

Factores petrográficos y mineralógicos

Controlan la textura de la roca y su aptitud a la hienda (fisibilidad). Son aquellos que tienen que ver con la composición intrínseca de la roca y su estructura primaria, que a su vez está íntimamente asociada con el ambiente deposicional de la roca original y su composición mineralógica.

- **Composición mineralógica:** como se ha indicado anteriormente, las proporciones ideales en una pizarra para cubierta oscilan entre 20-45% para el cuarzo, 40-65% para otras micas y 20-40% para las cloritas. Puntualmente, el feldespato y el cloritoide pueden llegar al 10%.
- **Tamaño de grano y homogeneidad textural:** el tamaño de grano de las pizarras de techar es muy fino, por lo general suele estar por debajo de los 75 μm , distinguiéndose entre pizarras de grano fino (<30 μm), grano medio (30-50 μm) y grano grueso (>50 μm). En general, las pizarras de grano fino exfolian mejor, pero la homogeneidad del tamaño de grano es un factor determinante, ya que cuanto haya mas dispersión en el tamaño de los granos, peor respuesta a la hienda tendrá la pizarra.
- **Intercalaciones arenosas:** son niveles o capas areniscas intercaladas en los niveles de pizarra explotables que, en algunos casos, forman bancos de cuarcita de potencia métrica. El efecto que tienen sobre la pizarra es la disminución de la fisibilidad. Su aparición en un yacimiento puede llegar a hacerlo inexplorable, dependiendo de la cantidad, espesor y espaciado con los que se dispongan (figura 16).

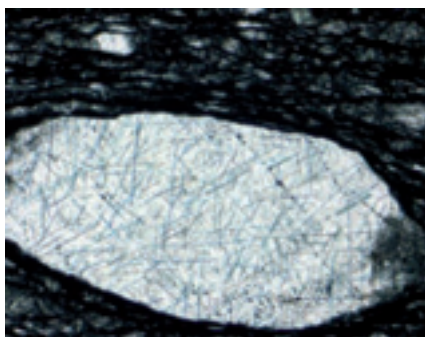


Figura 9. Microfotografía con luz transmitida polarizada, nicoles paralelos, de un clasto de cuarzo con inclusiones de rutilo. Formación Rozadaís, distrito La Baña-La Cabrera. Ancho de la imagen, 7 mm.

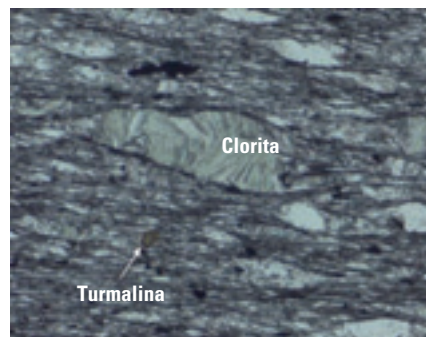


Figura 10. Microfotografía con luz transmitida polarizada, nicoles paralelos, de un blasto de clorita, color verde. Debajo de él se puede ver un fragmento de turmalina. Formación Pizarras de Luarca, distrito Valdeorras. Ancho de la imagen, 7 mm.



Figura 11. Microfotografía con luz transmitida polarizada, nicoles cruzados, de un cristal de moscovita diagenética. Formación Pizarras de Luarca, distrito Monte Rande. Ancho de la imagen, 7 mm.

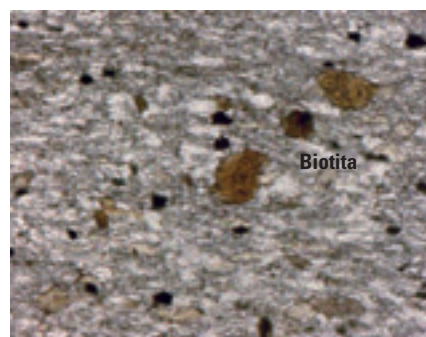


Figura 12. Microfotografía con luz transmitida polarizada, nicoles paralelos. Cristales de biotita en pizarra de Bernardos. Capas Santa María, distrito Bernardos. Ancho de la imagen, 7 mm.

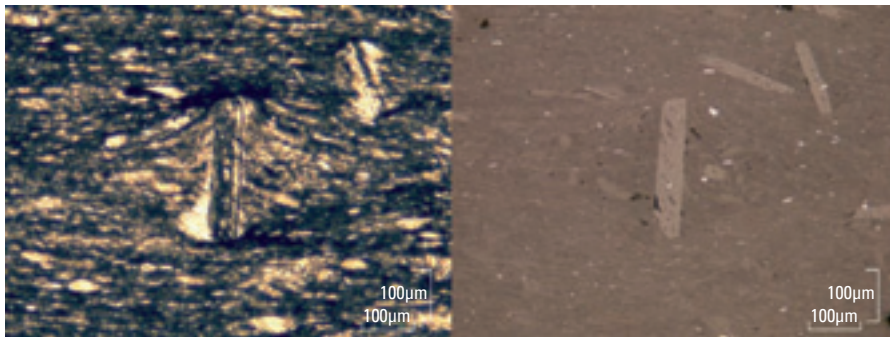


Figura 13. Microfotografías con luz transmitida polarizada (izda.) y luz reflejada (dcha.) de varios cloritoides, nicoles cruzados. Formación Pizarras de Luarca, distrito El Caurel. Ancho de la imagen, 7 mm.

Factores tectónicos

Son debidos a la acción de los esfuerzos tectónicos regionales. Para poder explotar pizarras para cubiertas se necesitan afloramientos que hayan sido muy poco o nada fracturados o deformados.

- **Pizarrosidad:** es un tipo particular de foliación lepidoblástica desarrollado sobre rocas de grano muy fino, en este caso, sobre las arcillas que dieron lugar a la pizarra, a favor de la cual se produce el exfoliado de las placas de pizarra, y que corresponde a la primera fase de deformación. Los planos que genera se conocen como S_1 , mientras que la estratificación sedimentaria se conoce como S_0 . Es la estructura más importante de la pizarra y la que permite el proceso

de hienda; es necesario que sea continua y penetrativa.

- **Lineación de intersección S_1/S_0 :** la intersección de estas dos familias de planos en el espacio genera una familia de líneas visibles (figura 17) sobre los planos de exfoliación (S_1). En pizarras masivas, sin laminaciones arenosas, esta lineación puede ser muy tenue o incluso no llegar a observarse. La lineación genera una anisotropía estructural en el bloque de pizarra que ha de ser tenida en cuenta a la hora de serrar el mismo. Generalmente se sierra éste de tal manera que la lineación coincida con la altura o lado mayor de la placa de pizarra, lo que otorga a ésta mayor resistencia mecánica. También controla el brillo de las pizarras, las placas que han sido serradas con distintas orientaciones

en la lineación no reflejan la luz de manera uniforme, rompiendo el aspecto uniforme de la cubierta.

- **Pliegues tipo kink o kink-bands:** se forman debido a una compresión que actúa sobre la roca formando un cierto ángulo con los planos S_1 , que se pliegan y adoptan un aspecto escalonado (figura 18). Este tipo de pliegues inutiliza la pizarra para su explotación, ya que producen desde ondulaciones de las placas hasta trituración de la roca, dependiendo de su grado de desarrollo en los flancos.
- **Crenulación,** debida a la segunda fase de deformación local, o la tercera fase hercínica. La crenulación es un tipo de foliación no continua (se presenta en dominios) que provoca pequeñas ondulaciones sobre las superficies S_1 que dificultan el exfoliado de la placa e incluso llegan a romperla, impidiendo el aprovechamiento de las canteras que se ven afectadas por ésta. Debido al aspecto que llega a presentar en la placa de pizarra, se conoce como "panilla" entre los mineros (figura 19).
- **Fracturas o diaclasas** en la roca, que aparecen como líneas de rotura muy finas que pueden estar rellenas o no por cuarzo u otros minerales, son muy difíciles de ver sin las condiciones de iluminación adecuadas durante el proceso de fabricación. La pizarra con este defecto

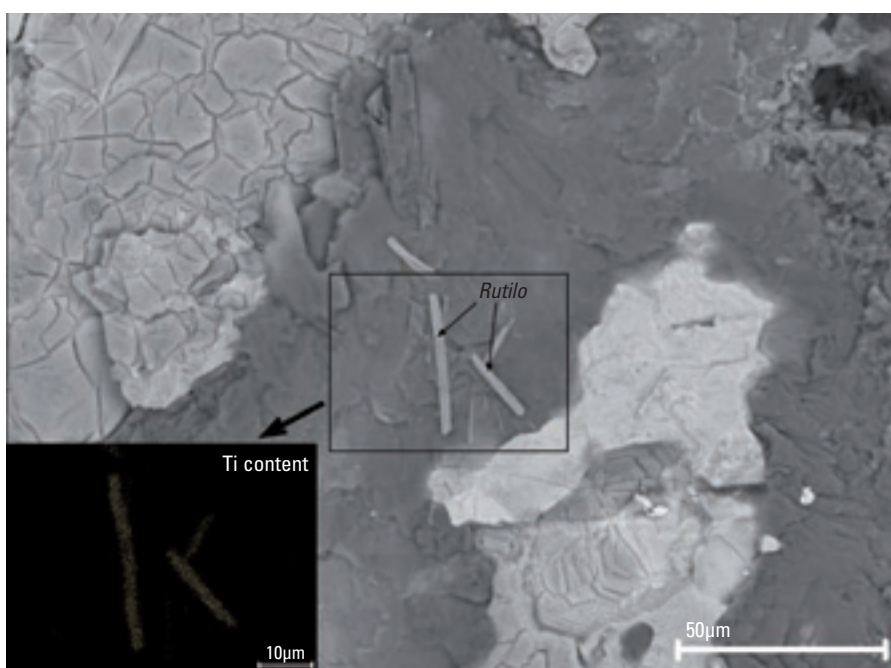


Figura 14. Imagen SEM de cristales de rutilo. Formación Pizarras de Luarca, distrito Valdeorras. Ancho de la imagen, 1 cm.



Figura 15. Concentrado de minerales pesados. Formación Pizarras de Luarca, distrito Valdeorras.



Figura 16. Relación entre la estratificación (S_0) y la foliación (S_1). Fotografía tomada en una nave de elaboración de pizarra, distrito Valdeorras.

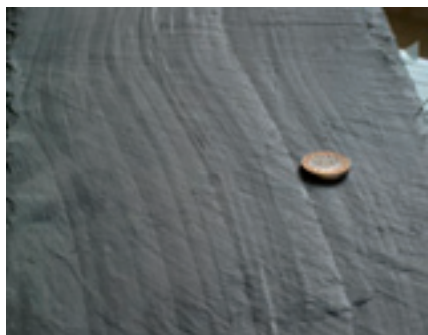


Figura 17. Lineación de intersección S_0/S_1 en la superficie de una placa de pizarra; se puede observar ondulación debida a plegamientos posteriores. Distrito La Cabrera-La Baña.

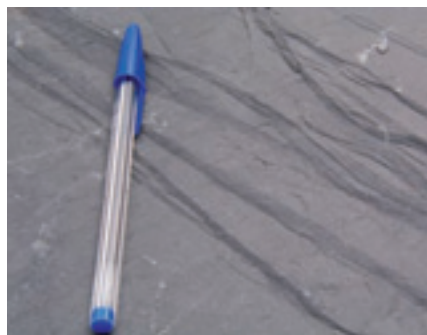


Figura 18. Pliegues kink, distrito Valdeorras.



Figura 19. Crenulación en una placa de pizarra elaborada, distrito Valdeorras.

acaba rompiendo a favor de las diaclasas, lo cual puede ser muy problemático una vez colocada en la cubierta.

Evolución del sector de la pizarra

Hoy en día, las empresas productoras de pizarra se están viendo también afectadas por la situación de crisis mundial y el descenso en la construcción. El sector de la pizarra está polarizado por un par de empresas grandes (Cupa y Samaca) y un número cercano a 100 empresas de tamaño pequeño-medio. A principios del presente

siglo se vendió mucha pizarra, realizándose grandes inversiones en maquinaria para incrementar la producción por parte de los productores. A partir del año 2002 las ventas se estancaron, por lo empezaron a subir los *stocks*, lo que, unido a la falta de consenso general entre los productores, ha hecho que en muchos casos el mercado se haya visto saturado por pizarras de calidad dudosa a precios muy reducidos; esto ha llevado a una guerra de precios entre las empresas productoras, de la que han salido beneficiados los compradores. La introducción del mercado CE para pizarra en 2006 sirvió para proteger el mercado europeo frente a la intromisión de materiales

provenientes de China, la India y Brasil. Aun así, el sector se enfrenta a una renovación forzada por la evolución del mercado mundial y la crisis, renovación que no todas las empresas podrán afrontar con garantías.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a Ernesto Varela, de la Facultad de Ciencias Geológicas de Oviedo, sus acertadas críticas y opiniones sobre este asunto y muchos otros.

Bibliografía

- Cárdenes Van den Eynde, V.; De la Horra, R.; Monterroso, C.; García-Guinea, J. y Pais, V. (2008). *Depósitos de pizarras para cubiertas en la Península Ibérica*, VII Spanish Geological Congress, Las Palmas de Gran Canaria, 14-18 de julio.
- Cárdenes Van den Eynde, V.; Pais Diz, V.; García-Guinea J. y Gómez Fernández, F. (2006). *Pizarras de Techar*, Seminarios de la Sociedad Española de Mineralogía, 2, 183-217.
- EN 12326 (2004). *Productos de pizarra y piedra natural para tejados inclinados y revestimiento*, Ed. Aenor.
- García-Guinea, J.; Lombardero, M.; Roberts, B. y Taboada, J. (1997). *Spanish Roofing Slate Deposits*, Transact. Inst. Min. Metallur, Section B, 106, 205-214.
- Gutiérrez-Marco, J. C.; Aramburu, C.; Arbizu, M.; Bernárdez, E.; Hacar, M. P.; Méndez-Bedia, I.; Montesinos, R.; Rábano, I.; Truyols, J. y Villa, E. (1999). Revisión bioestratigráfica de las pizarras del Ordovícico Medio en el noroeste de España (zonas Cantábrica, Asturoccidental-Leonesa y Centroibérica septentrional), *Acta Geológica Hispana*, 34, 3-87.
- Julivert, M.; Fontboté, J. M.; Ribeiro, A. y Conde, L. (1972). *Mapa tectónico de la península Ibérica y Baleares, escala 1: 1.000.000*, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 113.
- Lombardero Barceló, M. (1994). Caracterización de las pizarras para cubiertas mediante técnicas petrográficas, *Canteras y Explotaciones*, 325, 75-81.
- Lombardero, M.; García Guinea, J. y Cárdenes, V. (2002). The Geology of Roofing Slate, en Scott, P.; Bristow, C y Ganis, B. (eds.), *Industrial Minerals and the Extractive Industry Geology*, Geological Society Publishing House, Bath, England.
- Passchier, C. W. y Trouw, R. A. J. (2005). *Microtectonics*, Ed. Springer-Verlag.
- Sa, A. A. y Gutiérrez-Marco, J. C. (2006). *Trilobites gigantes das Ardosias de Canelas*, Ed. Ardosias Valério y Figueiredo.
- Wagner, W. (2007). The basics of test methods of slates for roofing and cladding. Grundlagen für die Prüfung von Dach- und Wandschiefern, *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, 158(4), 785-805(21).
- Ward, C. y Gómez-Fernandez, F. (2003). Quantitative mineralogical análisis of Spanish roofing slates using the Rietveld method and X-ray powder diffraction data, *European Journal of Mineralogy*, 15, 1051-1062.

El ICOG en el CONAMA9

Con el lema de “El reto es actuar”, ha tenido lugar en Madrid, del 1 al 5 de diciembre, la novena edición del Congreso Nacional de Medio Ambiente, que implica a todos los agentes políticos, sociales y económicos en el proceso para conseguir un desarrollo equilibrado en nuestro país. El Congreso se celebró en el Palacio Municipal de Congresos, en el Campo de las Naciones de Madrid, y el Colegio Oficial de Geólogos tuvo un papel relevante.

TEXTO | Jose Luis González, vocal de Riesgos Naturales del Colegio Oficial de Geólogos; Marc Martínez, vocal de Hidrogeología del Colegio Oficial de Geólogos; Rafael Varea, vocal de Recursos Minerales; Juan Pablo Pérez Sánchez, representante del Colegio Oficial de Geólogos en temas de suelos contaminados

FOTOS | Fundación CONAMA

Palabras clave

CONAMA, medio ambiente, riesgos naturales, ordenación territorial, suelos contaminados, recursos energéticos

Este Congreso está basado en una red de expertos procedentes de todas las sensibilidades ambientales y de distintos sectores e instituciones de la sociedad. Los temas a debatir se engloban en diferentes áreas temáticas (agua, territorio y urbanismo, energía y cambio climático, desarrollo rural y conservación de la naturaleza, calidad ambiental, infraestructuras y transportes, economía y sociedad).

El Colegio Oficial de Geólogos (ICOG), consciente de su compromiso en promover el desarrollo sostenible de los procesos y recursos del territorio, ya participó en diversos grupos y mesas redondas en ediciones anteriores del CONAMA, especialmente en temas relacionados con riesgos naturales, gestión de aguas subterráneas y suelos contaminados.

En esta edición, el ICOG propuso la creación de un grupo de trabajo para

analizar las iniciativas actuales sobre cartografías de riesgos naturales en la ordenación territorial y urbanística (GT-RIES) (*figura 1*), y fomentar una reflexión multidisciplinar acerca de las perspectivas que ofrece esta modalidad de prevención de riesgos.

Igualmente, otros miembros de la Junta de Gobierno del Colegio participaron en otros grupos de trabajo.

GT-RIES. Mapas de Riesgos Naturales en la ordenación territorial y urbanística

El grupo de trabajo fue coordinado por José Luis González, vocal de Riesgos Naturales del Colegio Oficial de Geólogos, con la participación de diversos representantes de las Administraciones Públicas, universidades, industria, organizaciones profesionales y sindicales, sector asegurador y expertos en

diferentes ámbitos de actividad, relacionados con el urbanismo y la cartografía de riesgos. Se analizaron las previsiones de la Ley del Suelo en relación con la obligatoriedad de incluir mapas de riesgos naturales en los instrumentos de ordenación de las actuaciones de urbanización.

La presentación del trabajo tuvo lugar el 1 de diciembre, bajo la presidencia de Rodolfo Segura, subdirector general de Urbanismo del Ministerio de Vivienda.

Intervino en primer lugar José Luis González (*figura 2*), destacando la importancia de la aprobación de dos nuevas normas que amparan la incorporación de cartografías de riesgos en los procesos territoriales y urbanísticos: la Directiva Europea de Evaluación y Gestión de Inundaciones, que obligará a los Estados miembros a elaborar mapas de peligrosidad y riesgo, y la nueva Ley del Suelo de 2007, hoy refundida en el texto aprobado por el Real Decreto Legislativo 2/2008, en donde se establece que los desarrollos urbanísticos deben someterse a una evaluación ambiental previa y a un informe de sostenibilidad, en el que se deberá incluir un mapa de riesgos naturales del ámbito objeto de la ordenación.

A continuación, Rosa Navarro Santa Mónica profundizó en la conexión urbanismo, sostenibilidad y riesgos naturales, presentando el Mapa Especial de Protección Civil de Riesgos de



Figura 1. Grupo de trabajo de Riesgos Naturales. De izquierda a derecha: José Luis González García, Francisco Javier Sánchez, Rodolfo Segura Sanz, Manuel Regueiro y González-Barros y Lluís Godé Lanao.



Figura 2. José Luis González García.

Inundaciones de la Comunidad Autónoma de Extremadura, en donde se zonifica el territorio en tres áreas (extremo, moderado y leve), poniéndose de manifiesto la importancia de la cartografía de riesgos en la planificación del territorio.

Manuel Regueiro, profesor de la Universidad Complutense y secretario general del ICOG, presentó la *Guía metodológica para la elaboración de cartografías de riesgo en España*, que permitirá poner a disposición de la planificación territorial local unos criterios para la delimitación de unidades cartográficas homogéneas, susceptibles de representar de manera integrada el conjunto de las características de la superficie terrestre. Dichas unidades podrán ser evaluadas frente a su capacidad de impacto ante posibles usos, obteniéndose un producto final que puede orientar a los planificadores territoriales en el proceso de toma de decisiones.

Francisco Javier Sánchez, del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, expuso la puesta en marcha del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, mediante el cual España se convierte en uno de los primeros países europeos en aplicar la Directiva 2007/60/CE, de evaluación y gestión de inundaciones. El desarrollo de esta cartografía y su difusión a la sociedad es

fundamental para ayudar a la toma de decisiones en el proceso de excluir el desarrollo urbanístico en zonas expuestas al peligro de inundaciones.

Lluís Godé, de la Agència Catalana de l'Aigua, describió las experiencias de delimitación de espacios de zonas inundables y de planificación y regulación de espacios fluviales en Cataluña, que se están llevando a cabo por las Administraciones hidráulica y urbanística, respectivamente. Estas experiencias han permitido disponer de una valiosa información de soporte para la toma de decisiones en materia hidrológica, ambiental, de protección civil, territorial y urbanística. La línea de trabajo emprendida es coherente con los principios establecidos en la Directiva Marco del Agua y en la Directiva 2007/60/CE.

José Antonio Álvarez, del Instituto Geográfico Nacional, presentó el proyecto comunitario TRANSFER (*Tsunami Risk and Strategies for the European Region*), en el que participan diversas instituciones españolas. Destacó que ya se han comenzado a elaborar mapas de riesgo de inundación para mejorar las capacidades de actuación y conocer la vulnerabilidad. Estos mapas pueden contribuir a una correcta planificación costera, advirtiendo sobre la conveniencia de evitar determinados elementos urbanísticos

que sean susceptibles de perturbar la movilidad de la evacuación en una situación de alerta.

La última ponencia estuvo a cargo de José Antonio Ortega, profesor de la Universidad Complutense Madrid, que señaló la importancia de tener en cuenta todas las transformaciones en el territorio, especialmente las desarrolladas en el entorno urbano. Ello conlleva una actualización permanente, no sólo de los mapas de peligrosidad, sino también de todos aquellos elementos que influyen en la preparación de nueva cartografía, como, por ejemplo, los usos del suelo y sus transformaciones, que son claves en el cálculo de factores, como el número de curva, imprescindibles para los modelos hidrológico-hidráulicos. Este tipo de actualizaciones, junto con las de los nuevos elementos expuestos y vulnerabilidad, derivará en una correcta actualización de los mapas de riesgos de inundación.

El presidente del ICOG, presente en la sala, destacó que ha habido un antes y un después con la promulgación de la Ley del Suelo estatal, subrayando que con la aprobación del precepto incluido en el artículo 15 de la citada Ley se da un paso fundamental para proteger la vida y los bienes de los ciudadanos ante los peligros naturales.

Entre las conclusiones del grupo de trabajo se destacó la necesidad de que las instituciones responsables de la ordenación cartográfica en materia de riesgos naturales dicten criterios técnicos adecuados para garantizar la homogeneidad de los productos elaborados y lograr así una visión uniforme de los territorios de riesgo.

También se recomendó la conveniencia de dedicar los recursos necesarios para formar al personal técnico de los servicios de urbanismo y de ordenación del territorio, tanto a nivel local como autonómico, a fin de que dicho personal esté capacitado para asumir las funciones de elaboración o supervisión de los mapas de riesgos naturales previstos en la legislación de suelo.

Promover una mayor comunicación entre especialistas en mapas de riesgos naturales, urbanistas y administradores locales fue otra de las conclusiones destacadas por el grupo, con el fin de intercambiar mejores prácticas y experiencias para fomentar de una manera integrada la implantación de la cartografía de riesgos naturales.

Como resumen de la sesión se valoraron positivamente los avances conseguidos en materia de cartografía de riesgos, tanto en el plano normativo como en los aspectos técnicos, aseverándose que la aplicación de estas herramientas en el urbanismo podrá facilitar en el futuro el desarrollo de las ciudades hacia zonas seguras, reforzando así la prevención ante los riesgos catastróficos.

GT-SCON. Situación en la gestión de los suelos contaminados en España: 2008

Por tercera edición consecutiva, el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España ha tenido el honor de coordinar el grupo de trabajo de Suelos Contaminados del CONAMA9 (figura 3). En los dos anteriores CONAMA, el GT que se creó para Suelos Contaminados abordó las repercusiones que se publicaron en el RD 9/2005, de 14

de enero, por el que se “establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados”, y que tendrían sobre los diferentes sectores implicados (Administraciones Públicas, empresas industriales afectadas, centros docentes y de investigación, consultorías e ingenierías, registradores de la propiedad y empresas de servicios —sondistas y laboratorios—). El objetivo entonces no fue la redacción de un documento técnico que entrase a abordar problemas específicos, sino un documento que aportase una visión general de la situación respecto a la gestión de los suelos contaminados en España. Casi cuatro años después de la aprobación del RD 9/2005, el enfoque del trabajo del GT-SCON ha intentado ser más específico. Para ello, el trabajo se ha centrado en torno a tres temas:

- Estado de aplicación del RD 9/2005 por las comunidades autónomas (CC AA) y expectativas futuras.
- Estado de la investigación en materia de suelos contaminados en España: iniciativa pública frente a iniciativa privada.
- Valoración en términos económicos agregados del mercado de los suelos contaminados.

El primero de los objetivos ha sido cubierto por una nutrida representación de técnicos de casi todas las CC AA que han venido colaborando activamente en el GT-SCON. Las CC AA son ahora, tras la recepción de todos los Informes Preliminares de Situación (IPS), las que mayor y mejor información disponen sobre el grado de cumplimiento de las exigencias del RD 9/2005.

Las principales conclusiones presentadas por las CC AA han sido las siguientes:

- Los inventarios previos con los que contaban sobre actividades potencialmente contaminantes del suelo eran inexactos.
- La mayor parte de los IPS recibidos aportan poca información, en muchos casos información relevante de cara a su valoración, por lo que se requiere de un importante trabajo para solicitar la subsanación por parte de las CC AA.
- La mayor parte de las CC AA se están apoyando en herramientas informáticas para la gestión de los expedientes de IPS, así como en algoritmos para la valoración de la información.
- Asimismo, casi todas las CC AA han incorporado personal para desarrollar estas tareas. También se ha recurrido



Figura 3. Grupo de trabajo de Suelos Contaminados. De izquierda a derecha: Joseph Antón Doménech, Javier Lillo Ramos, Juan Pablo Pérez Sánchez, Ramón Fernández Conchas, Ana Isabel Alzola y Luis Molinelli Barranco.

a la contratación de personal a través de empresas públicas o, incluso, de asistencias técnicas.

Otras conclusiones relevantes por parte de las CC AA son:

- Las siguientes CC AA disponen de niveles genéricos de referencia para metales cuando el objeto es la protección humana, si bien algunos no tienen todavía rango normativo: Andalucía, Aragón, Cataluña, Galicia, La Rioja, Madrid, Murcia y País Vasco.
- Respecto a las aguas subterráneas, se estima que es uno de los campos en los que hay que avanzar ya que es necesario:

- Establecer Niveles Genéricos de Referencia para aguas subterráneas.
- Mejorar la coordinación con la Administración hidráulica. Competencias, hoy casi inexistente.
- Fomentar las medidas preventivas.
- Establecer redes piezométricas de control de la calidad de las aguas subterráneas afectadas por contaminaciones puntuales.

- La tendencia iniciada por el País Vasco en relación a los requerimientos de acreditación de las empresas que realicen los trabajos de investigación de suelos contaminados se considera una buena práctica, ya adoptada en otros países y regiones, que permite garantizar la calidad de los estudios que se realizan en este ámbito, proporcionar protección a los administrados ante entidades sin suficiente capacitación o experiencia, facilitar la toma de decisiones de la Administración y establecer una red de entidades a través de la cual la mejora es más fácil.

- Finalmente, y como tareas a realizar, las CC AA identificaron las siguientes:

- Adecuar el Real Decreto 9/2005 al nuevo CNAE 2009.
- Adecuar las necesidades de exigencia de informes de situación a las actividades con mayor potencial de afección.
- Revisar la concentración de TPH en suelo que obliga a la realización de

- una valoración de riesgos (50 mg/kg).
- Regular las actuaciones en emplazamientos en los cuales la calidad está alterada pero el riesgo no puede considerarse inaceptable.
- Estudiar en detalle la problemática que surge de la presencia de compuestos orgánicos volátiles.
- Valorar las acciones a adoptar ante la presencia de fase libre en las aguas subterráneas.

Por lo que respecta al segundo objetivo, el GT-SCON ha trabajado en identificar la mayor parte de iniciativas de investigación científica en la materia, tanto de origen privado como público, con el fin de facilitar el conocimiento y la comunicación entre las diferentes familias científicas. Ello ha permitido presentar en qué campos se está avanzando en la investigación en temas relacionados con la descontaminación de suelos.

La principal conclusión es que existen numerosos grupos de investigación en España en materia de contaminación de suelos, fundamentalmente por metales, siendo todos ellos de iniciativa pública y multidisciplinarios, si bien ligados casi siempre a grupos de investigación de las universidades. Los principales temas de trabajo son:

- Caracterización de suelos contaminados.
- Desarrollo de tecnologías de descontaminación.

- Transporte y movilización de contaminantes.
- Procesos de atenuación natural.
- Flujo de masas en plumas.
- Estudios epidemiológicos y toxicológicos.
- Valoración relativa de los diferentes riesgos.
- Validación y contrastación de modelos de evaluación de riesgo.
- Análisis de viabilidad y evaluación de la recuperación de suelos.
- Desarrollo de criterios de valoración de actividades y técnicas de recuperación.
- Evaluación a largo plazo de la recuperación.

Por el contrario, destaca la dificultad de acceso a información sobre la investigación en la materia que se está llevando a cabo desde instituciones privadas. Se estima que se debe a la sensibilidad de la información y a las posibles repercusiones económicas que pueda tener.

Finalmente, el grupo de trabajo abordó el estudio histórico y actual del mercado de suelos contaminados. Las principales conclusiones fueron que se trataba, según datos de 2007, de un mercado de unos 120 millones de euros, de los que un 30% eran para investigación y el 70% restante para descontaminación y recuperación de suelos contaminados. Asimismo, se apuntó que la iniciativa privada es muy superior a la iniciativa pública en la materia.



Figura 4. Mesa de la UICM. De izquierda a derecha: Santiago Javier López Piñero, Rafael Fernández Rubio, Florentino Santos García, Jon Sansebastián Sauto y José Manuel González Estévez.

En cuanto a la segmentación del mercado de servicios en materia de suelos contaminados, se distinguieron cuatro categorías:

- Multinationales (servicio a multinacionales y grandes empresas nacionales; no tanto al sector público).
- Nacionales que prestan servicio a grandes empresas nacionales (ingenierías y empresas dependientes de constructoras).
- Pequeñas empresas que dan un servicio a pymes y a clientes locales.
- Empresas públicas o semipúblicas que compiten con el sector privado.

GT-SEN. Sostenibilidad de los recursos energéticos fósiles y minerales: uso racional en el abastecimiento y en el consumo

En este grupo, en el que se encontraba representado el ICOG por medio de Rafael Varea, vocal de Recursos Minerales, se crearon cuatro subgrupos para poder tratar con suficiente contenido el objetivo final del mismo.

En el subgrupo de *Garantía de suministro*, cuyo relator fue Antonio González del Foro Nuclear, se expuso la importancia de la seguridad de los suministros, los factores que afectan al mismo, el control del suministro como instrumento de presión y ofensivo, la independencia energética y las infraestructuras nacionales como garantes del suministro y las garantías de los combustibles fósiles y minerales (petróleo, gas, carbón, combustible nuclear y energías renovables).

Rafael Varea Nieto sugirió que se incluyeran también otros aspectos de interés como la seguridad de suministro en el consumo doméstico, industrial y del transporte, y la necesidad de tener en cuenta la normativa sobre existencias mínimas de carbón (*stock* de 720 horas de funcionamiento para centrales térmicas).

En el subgrupo de *Captura y almacenamiento de CO₂ (CAC)*, el relator fue Benito Navarrete de la Fundación Ciudad de la Energía. El objetivo del documento de este subgrupo de trabajo fue presentar un análisis de las posibilidades

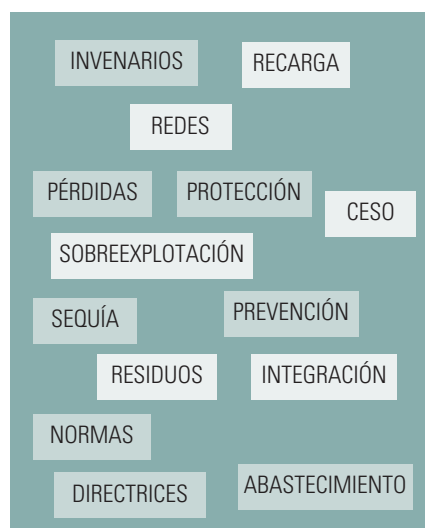


Figura 5. Principales problemas en la gestión de las aguas subterráneas.

que ofrece la implantación de las tecnologías de CAC en los diferentes sectores industriales, tanto desde el punto de vista técnico como económico y social, para asegurar la sostenibilidad del sistema energético español y sus consecuencias sobre el medio ambiente en cuanto a reducción de emisiones de CO₂ y cumplimiento de los compromisos internacionales derivados del Protocolo de Kioto. Como otro segundo objetivo se planteó el difundir y divulgar, con el apoyo del CONAMA, las tecnologías de CAC, haciendo especial hincapié en la seguridad del almacenamiento.

El documento tenía como contenidos, entre otros, los escenarios de emisión de CO₂ y escenarios de evolución climática a largo plazo; las tecnologías para la mitigación del cambio climático; la captura y almacenamiento de CO₂ (CAC); el marco regulatorio europeo; las tecnologías CAC y su estado de desarrollo; la situación en España; el impacto de las tecnologías de captura y almacenamiento sobre el sistema energético; la contribución de la CAC a la sostenibilidad en el sector industrial; y los aspectos del desarrollo e implantación de las CAC.

El representante del ICOG puso especial énfasis en que se tuvieran en cuenta los derechos de emisión de CO₂, el mercado de derechos de emisión y sus elevados costes para los ciudadanos, que son, al final, en quienes se repercutirán los gastos realizados por las empresas en la compra

de derechos de emisión de CO₂, así como la importancia que tienen estas tecnologías para luchar en el futuro inmediato contra el cambio climático. Se acordó conjuntamente con el Colegio de Ingenieros de Minas, el ICOG, la Plataforma Tecnológica de CO₂ y el CONAMA la realización de jornadas conjuntas de divulgación y de presentación a la sociedad del estado y conocimiento de estas tecnologías de captura y almacenamiento de CO₂.

En el subgrupo de *Sostenibilidad en la transformación y consumo*, el relator fue Gonzalo del Castillo, de la AOP (Asociación de Organizaciones Petrolíferas). El objetivo del subgrupo fue proponer las condiciones de utilización racional de los recursos energéticos, principalmente de los que son objeto del GT, en su transformación a productos consumibles por los usuarios y en energía eléctrica y en el consumo posterior de cualquier índole incluido el doméstico y el transporte.

En el subgrupo de *Sostenibilidad en la extracción de recursos energéticos fósiles y minerales*, la relatora fue Mercedes Martín, directora general de Carbunión. La pretensión de este documento elaborado en el subgrupo ha sido la de establecer las mejores condiciones de extracción de dichos recursos desde los puntos de vista ambientales, sociales y económicos. El contenido del documento comienza con conceptos económicos-técnicos, repercusiones sociales y del sector del uranio y del carbón y los aspectos medioambientales.

Actividad especial

El ICOG también participó en la actividad especial organizada por la Unión Interprofesional de la Comunidad de Madrid (UICM) denominada "La preocupación de los colegios profesionales ante el reparto solidario del agua" (figura 4). Fue moderado por Florentino Santos García, vicepresidente de la UICM y decano del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, que inició la mesa con el lema de la actividad, "El reto es actuar. Agua para todos", reflexionando sobre el reparto del agua en España y la función de las Administraciones.



Figura 6. El vocal Marc Martínez, primero por la derecha, durante el debate.

El doctor Rafael Fernández Rubio, del Colegio Oficial de Ingenieros de Minas del Centro, centró su presentación en una visión global de los componentes del ciclo hidrológico, así como el mal reparto y desequilibrio de las aguas para abastecimiento a nivel mundial, con deficientes dotaciones en África.

J. Manuel Alameda Villamayor, del Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas de Madrid, expuso el uso de las aguas superficiales, y José Manuel González Estévez, del Ilustre Colegio Oficial de Químicos de Madrid, reflexionó sobre la sustancia química que es el agua, tan presente en la industria, y la necesidad de un compromiso solidario para evitar el despilfarro, favorecer el ahorro y su reutilización. Santiago Javier López Piñero, del Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos del Centro y Canarias, dio interesantes datos sobre los avances en el sector agrario español para utilizar óptimamente el agua, gracias a la actuación de la Administración, el sector privado y los técnicos. Así, en el año 2007, de un total de 3.360.000 ha de riego, el 44,7% emplean el microrriego en detrimento del riego por aspersión, que se emplea tan sólo en 505.000 ha. Jon Sansebastián Sauto, del Colegio Oficial de Biólogos, filosofó sobre el papel que se les atribuye tradicionalmente a los biólogos respecto a las aguas, investigación y conservación no es el único que desempeñan, teniendo una gran versatilidad que la mayoría de la sociedad desconoce.

Reflexionó, asimismo, sobre las fronteras del agua, considerando la frontera de la cuenca hidrográfica como la más óptima para la gestión. Definió varias dualidades que se definen a la hora de estudiar y gestionar las aguas, tanto en recursos, conocimiento y protección: aguas superficiales/subterráneas, medio terrestre/marítimo y aguas arriba/abajo. Asimismo, también expuso los conflictos por la competencia de este recurso, como son el conflicto *regantes contra regantes*, que se ha visto con la polémica del abortado trasvase del Ebro, o del conflicto *campo contra ciudad*, en el caso del trasvase de las aguas de riego de Lleida para abastecer a la ciudad de Barcelona. Otra reflexión proviene de los usos y abusos del agua, sobre todo en el concepto de *cuencas excedentarias contra cuencas deficitarias*, unos conceptos más técnicos que propios de la naturaleza.

Marc Martínez Parra, vocal de Hidrogeología del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, se centró, dentro de su presentación "Agua subterránea: buen conocimiento igual a gestión eficaz", en contestar las siguientes preguntas: ¿para qué se usan las aguas subterráneas en España?; ¿quién las gestiona?; ¿cuáles son sus problemas?; ¿las conocemos suficientemente?; ¿cómo debemos administrarlas? Así, respecto al uso, manifestó que mayoritariamente se utiliza en el regadío, siendo fundamental en comunidades como las islas, Castilla-La

Mancha (65%) y Murcia (49%); su uso para abastecimiento urbano puede alcanzar ya los 1.300 hm³/año, abasteciendo a más del 30% de la población, aunque en el caso de las pequeñas poblaciones, el 70% de las mismas se abastecen de esta aguas. Respecto a su gestión se reflexionó sobre la escasa coincidencia entre demarcaciones, autonomías, acuíferos y masas de agua. La mejor manera para compartir un recurso pasa por conocer de cuánto se dispone y para ello es preciso un mayor número de técnicos en la Administración hidráulica. ¿Cuáles son los problemas? Ya fueron descritos en el *Libro Blanco del Agua Subterránea* en España, de 1994, y en el *Libro Blanco de las Aguas* del año 2000, elaborados por el MINER-MOPTMA y MIMAM, respectivamente (figura 5). Todo ello se resume en una frase: desconocimiento de los acuíferos. ¿Las conocemos suficientemente? Es evidente que no, hay falta de técnicos y de conocimiento y, por último, ¿cómo debemos administrarlas? Con un uso racional, una gestión eficaz de la demanda, sin emplear más recursos de los disponibles y desarrollar técnicas alternativas (reutilización, recarga artificial o desalación...). Así, para aumentar los recursos se debe potenciar el uso conjunto de aguas superficiales-subterráneas, desalar o desalobrar aguas, tanto en costa como en interior, reutilizar las aguas residuales, ahorrar en el consumo y mejorar las redes e infraestructuras.

En el tramo de debate (figura 6), la intervención del público y ponentes permitió conocer, por ejemplo, que el rechazo de las desaladoras no se vierte directamente al mar, sino que se diluye de cuatro a cinco veces con agua del mar, antes de devolverla al mar y que el precio de la desalación es de 0,5 euros/m³.

Tras esta actividad se llegó a la conclusión de que es preciso que los colegios profesionales tengan un mayor papel a la hora de orientar a la Administración en la toma de decisiones importantes y en la adecuada gestión del recurso agua.

Agradecimientos a la Fundación CONAMA por la cesión de las fotografías.

La seguridad del abastecimiento energético

Almacenamientos subterráneos de gas. Soluciones geológicas

El pasado 27 de octubre, el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, con el patrocinio del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, las empresas Enagás, Escal-UGS, Eptisa, Gessal, Repsol-YPF y el Instituto Geológico y Minero de España, organizó en Madrid la jornada sobre “La seguridad del abastecimiento energético. Almacenamientos subterráneos de gas. Soluciones geológicas”, con el fin de servir de foro de debate sobre un asunto de tanta importancia estratégica. En el desarrollo de las ponencias y en la mesa redonda los agentes y profesionales del sector dieron a conocer las actuaciones que actualmente se desarrollan en España en un área como ésta, con gran futuro y necesaria para garantizar la seguridad en el abastecimiento energético que demanda el país.

Texto y Fotos | Esther Lobo Gómez. Geóloga. Roberto Rodríguez Fernández. Vocal de infraestructuras geológicas del ICOG

Palabras clave

Abastecimiento energético, almacenamiento subterráneo, almacenamiento de gas

La jornada (*figura 1*) se celebró en el Hotel Jardín Metropolitano de Madrid, con una participación de 130 asistentes procedentes de diversas instituciones y empresas del sector: Aitemin, Argongra, Ava, Cepsa, Ciuden, Consulnima, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, Endesa I+D, Federación Minerometalúrgica de CC OO, Consorci Lleidatà de Control, Enagás, Escal-UGS, Eptisa, Fundación Gómez Pardo, Fundación Repsol, Gas Natural, Geólogos del Mundo, Gessal, Iberdrola, Iberia, ICAES S.A., IGME, Ineti, Ingeologia, ISE, Litoclean, Molinos del Ebro, Ocean Snell, Progemisa, Repsol-YPF, Samca, Shesa, Siemcalsa, UAM, UCM, Unesa, Unión Fenosa Gas, Valgrande Remain.

Presentación e inauguración

El acto de presentación dio comienzo con las palabras de bienvenida del vicepresidente del ICOG, José Luis Barrera Morate (*figura 2*) quien destacó la importancia de los contenidos a impartir en la jornada, dada la masiva acogida que había tenido y que derivó en la imposibilidad de dar plaza a todos los solicitantes, como consecuencia de la limitación de capacidad de la sala (*figura 3*).

Tras explicar cómo se iba a desarrollar logísticamente el acto, Barrera cedió la palabra a Roberto Rodríguez Fernández, vocal de infraestructuras geológicas del ICOG, y coordinador científico técnico de la jornada (*figura 4*).

En su intervención, Rodríguez agradeció a la mesa su presencia, al haber aceptado presidir la inauguración de la jornada. Destacó cómo el Colegio de Geólogos ha tomado conciencia desde hace más de cinco años de la importancia que tienen la realización de estudios geológicos del subsuelo, organizando cuatro cursos de este tema y dos jornadas sobre almacenamientos subterráneos de CO₂. Destacó que así como los almacenes geológicos de CO₂ son una esperanza de futuro, los almacenamientos de gas tratados en esta jornada son ya realidades en explotación o en desarrollo. También destacó que aunque aún existen pocas estructuras en explotación en España, es un sector con gran futuro si observamos lo que ocurre en los países de nuestro entorno. El crecimiento del consumo de gas natural en España ha obligado a desarrollar nuevas infraestructuras de almacenamiento subterráneo de esta materia prima para aumentar las reservas



Figura 1. Portada del tríptico de la jornada.



Figura 2. José Luis Barrera durante la presentación de la jornada.



Figura 3. Vista general de los asistentes. En primer término, a la izquierda, Enrique Hernández, de Gessal, coordinador científico de la jornada, en colaboración con Roberto Rodríguez.

disponibles y contribuir a la garantía del suministro.

Destacó que la jornada se había organizado técnicamente en dos partes: una primera donde se iban a exponer aspectos generales sobre criterios exploratorios, así como una comparación entre almacenes de gas y de CO₂, y una segunda que se centró en exponer la situación actual de los escasos ejemplos de almacenamientos geológicos en tres contextos geológicos distintos: el almacenamiento subterráneo "Castor", como ejemplo de almacenamiento de gas *offshore* en la plataforma continental de Castellón, en campos depletados de petróleo; el caso "Gaviota" en el País Vasco como ejemplo de almacenamiento en campos depletados de gas, y el caso del almacenamiento de Yela como ejemplo de almacenes no explotados previamente en acuíferos saturados.

Finalizadas sus palabras, el acto de inauguración estuvo a cargo del presidente del ICOG, Luis E. Suárez Ordóñez (figura 5). Suárez puso de manifiesto la importancia de la seguridad en el abastecimiento de gas como uno de los retos de las sociedades desarrolladas. La necesidad de disponer en nuestro país de almacenes de gas próximos a centros de consumo aún no es suficientemente bien

percibido por la ciudadanía. En la actualidad, hay 550 instalaciones subterráneas de gas en el mundo, la mayoría de las cuales están en rocas sedimentarias porosas, almacenes de petróleo o gas agotados, acuíferos y cavernas; en Europa abundan los reservorios en cavernas debido a la abundancia de depósitos salinos. Tal y como apuntó Suárez, España carece de yacimientos de gas natural; más del 99% del gas consumido proviene del abastecimiento exterior, siendo el mayor proveedor Argelia, seguido del golfo Pérsico; en estos países suministradores, la estabilidad política es baja, de ahí la importancia de la diversificación del origen del suministro y lo imprescindible que es tener en España almacenes de gas natural que den una seguridad al sistema, en caso de cortes en el suministro. Por último, Suárez mostró el interés del Colegio de Geólogos en apoyar este tipo de iniciativas para potenciar la participación de los geólogos en el estudio geológico del modelo subterráneo.

A continuación, tomó la palabra el subdirector general de Hidrocarburos del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Juan Guía García, el cual agradeció encarecidamente la invitación a la jornada por parte del ICOG, y expuso

el gran interés de la Secretaría General de Energía en la misma, presentando el gran reto que tiene como consecuencia del gran crecimiento de la demanda de gas natural durante los últimos diez años y, por otra parte, por el cambio de naturaleza de esta demanda, como sería la implantación en España de centrales de ciclo combinado (TCC), con más de un tercio de la misma y por el aumento que se produce en invierno debido a las numerosas olas de frío. Como resultado de esta necesidad, se deben buscar soluciones provenientes de dos alternativas: por un lado, la gestión de la demanda y, por otro, la flexibilidad de capacidad de transporte, lo que implicaría el desarrollo de infraestructuras, plantas de gas natural licuado (GNL), el desarrollo de nuevas interconexiones y la capacidad de almacenamiento subterráneo, por la que la Secretaría General de Energía está apostando. Igualmente, Guía manifestó que en este tipo de proyectos la financiación es una clave para su desarrollo, y el régimen concesional-administrativo una tarea compleja, dado el alto contenido tecnológico que poseen los proyectos. Sin duda, la Administración del Estado ha destacado en diversas ocasiones la importancia de los almacenamientos subterráneos para contar con las reservas necesarias que garanticen y aseguren

el suministro de gas natural en España (figura 6).

El acto de presentación concluyó con la intervención del director general del Instituto Geológico y Minero de España, José Pedro Calvo Sorando. En su intervención resaltó que el problema del abastecimiento energético es una temática importante y una tarea pendiente que viene estudiándose desde hace más de un siglo, por lo que nuestro país tiene capacidad de dar respuesta a esta problemática y ponerse al día. Destacó también cómo los proyectos centrados en el marco de la península Ibérica, que se desarrollaron en la jornada, contribuyen en gran modo al conocimiento del subsuelo de nuestro país. Por último, felicitó a los organizadores de la jornada por esta iniciativa y destacó el papel pionero del ICOG en esta temática con el desarrollo de cursos de formación y jornadas como ésta y las de almacenamiento de CO₂.

Criterios exploratorios para almacenamiento de gas

La primera intervención de la mañana fue la de Carlos Gómez Montalvo, ingeniero industrial, quien, después de presentar a la empresa Geostock (figura 7), hizo un repaso de las diferentes técnicas de almacenamiento de gas en cavernas

de sal, en acuíferos en campos depletados o en cavernas mineras. Posteriormente, explicó los principales criterios exploratorios para el almacenamiento de gas:

- Existencia de una estructura o trampa adecuada para el almacenamiento, descartando aquellos que no posean un cierre suficiente.
- Espesor de la cobertera adecuado, identificando cualquier fracturación de la misma.
- Características del reservorio y propiedades de la roca almacén, tales como porosidad y permeabilidad, así como adecuada continuidad y homogeneidad.

Gómez Montalvo destacó que disponer de información de una exploración petrolera previa es clave para el inicio de un desarrollo, si bien siempre es imprescindible hacer nuevas investigaciones mediante sísmica 3D, sondeos mecánicos, toma de testigos, ensayos hidráulicos, etc. Con la interpolación de los datos geológicos y geofísicos (litología, características petrofísicas, localización de fallas, etc.) se elabora un modelo geológico 3D, y mediante la introducción de los movimientos de fluidos del sistema, se puede obtener un modelo de simulación dinámico en 3D necesario para evaluar

las posibilidades de producción del almacén de gas.

Almacenes geológicos de metano y carbónico: diferencias técnicas y económicas

Wenceslao Martínez del Olmo, doctor en Ciencias Geológicas (figura 8), planteó que el mejor y más fiable lugar geológico para el almacenamiento del gas es un antiguo yacimiento de hidrocarburos, debido a que se conocen las características del almacén y su funcionamiento; todo ello tiene la ventaja de que no se requiere una inversión adicional elevada, mientras que la confirmación de una trampa nueva demanda inversiones muy costosas. En este sentido, Martínez del Olmo anunció que si el consumo de metano sigue creciendo al ritmo que lo hace actualmente, el problema grave está por llegar, ya que los almacenamientos estratégicos son viables pero no evidentes.

En el caso del carbónico (CO₂), no es tan importante conocer la geometría del techo de la trampa, como la seguridad del sello. Destacó que la capacidad deseable de un almacenamiento de CO₂ es de 50 a 150 millones de Tm, suficiente para almacenar el carbónico emitido por una central térmica de carbón (TC)



Figura 4. Roberto Rodríguez Fernández durante la presentación de la jornada.



Figura 5. Mesa de la inauguración. De izquierda a derecha: José Pedro Calvo Sorando, director general del IGME, Luis E. Suárez Ordóñez, presidente del ICOG, y Juan Guía García, subdirector general de Hidrocarburos del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

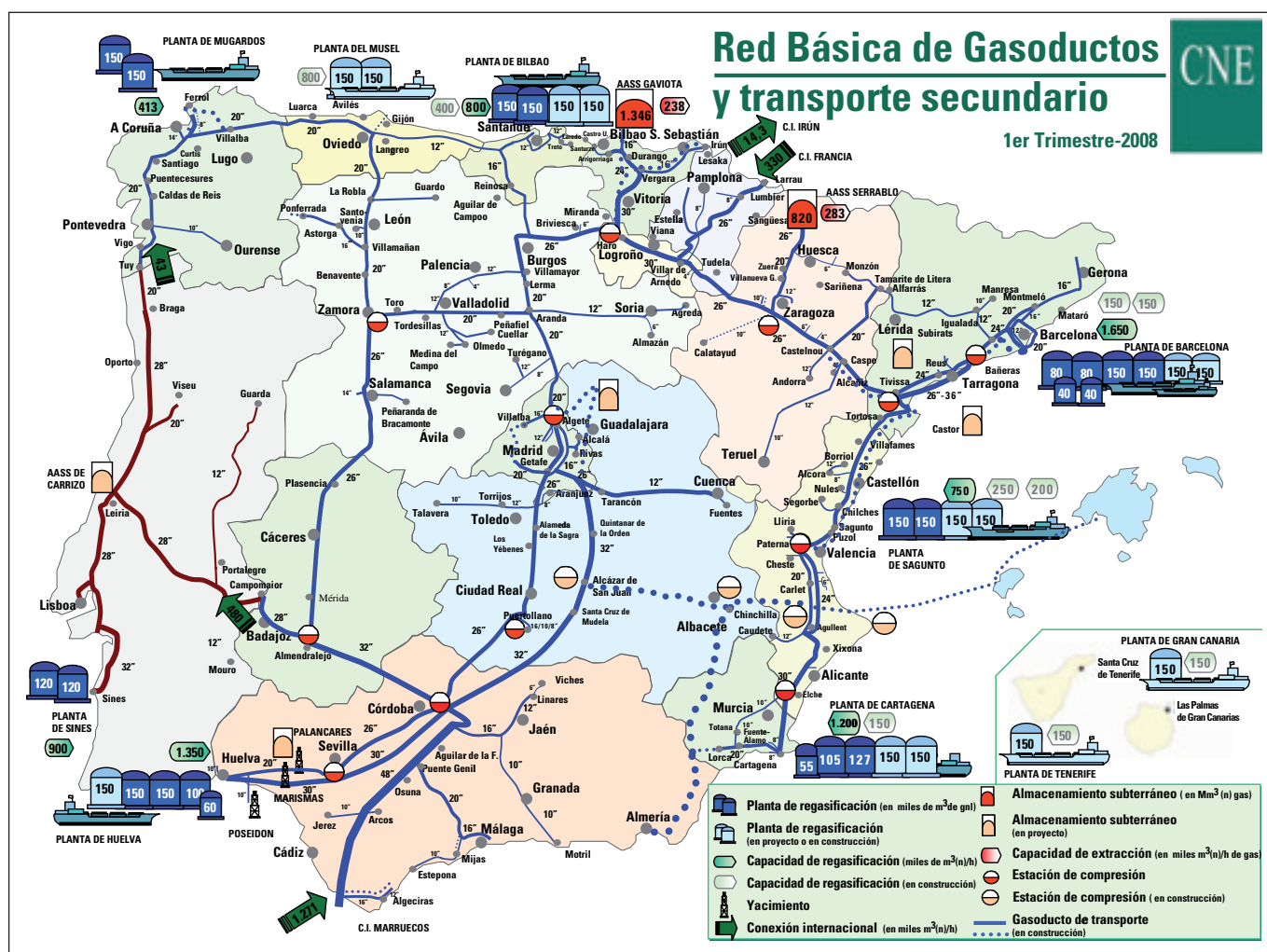


Figura 6. Mapa de infraestructuras gasistas en España. Fuente: Centro Nacional de Energía (CNE).

o de ciclo combinado (TCC) durante un periodo dilatado (50 años, por ejemplo).

Martínez del Olmo manifestó que en España, hasta el momento, no tenemos almacenamientos reconocidos con capacidad contrastada suficiente y que los reconocidos más grandes sólo servirían para almacenar el CO₂ emitido por una sola central TC durante cinco o seis años. Por ello, propuso que se ampliase el abanico de estructuras susceptible de ser consideradas reservorios. Se deben contemplar todas las geometrías geológicas válidas, si son capaces de almacenar la vida útil de una central de ciclo combinado (TCC) o una central térmica (TC) durante 50 años. Tampoco se pueden despreciar trampas cuya presión y temperatura no alcancen el punto crítico, ni porosidades menores al 10%, ni almacenes carbonatados, ni formaciones con aguas de baja salinidad, etc.

Como resumen, destacó la necesidad imperiosa de investigar trampas con capacidad mayor a 50 M Tm, así como la importancia que tiene que la iniciativa privada se una a la pública en el proceso de investigación de nuevos reservorios tanto de metano como de carbónico.

Alrededor de las doce de la mañana hubo una pequeña pausa en la jornada, para degustar un café, donde los presentes pudieron intercambiar opiniones sobre las primeras ponencias de la mañana.

El almacenamiento de gas offshore en campos depletados de petróleo: el ejemplo del almacenamiento subterráneo "Castor"

La siguiente ponencia de la mañana corrió a cargo del ingeniero de minas Recaredo del Potro y del geólogo Carlos Barat (figura 9), pertenecientes a la

empresa ESCAL-UGS. Sus exposiciones se centraron en el ejemplo del almacenamiento subterráneo "Castor". Manifestaron que el almacén se convertirá en uno de los activos clave para asegurar el abastecimiento energético de España, y será el de mayor capacidad de los que se habiliten en el país en los próximos cinco años. El objetivo del proyecto es convertir el antiguo yacimiento petrolífero de Amposta en una reserva estratégica de gas. Este almacén natural estará conectado con la red estatal de suministro por medio de un gasoducto submarino y recibiría el gas de los yacimientos del norte de África. Antiguamente, el yacimiento fue explotado por la empresa Shell en los años sesenta y setenta y, actualmente, según comentó Recaredo del Potro, se encuentra en proceso de concesión de explotación.

Carlos Barat explicó que “Castor” es un yacimiento *offshore*, en las calizas mesozoicas de la formación Montsia, a 21 km de la costa, al sur del delta del Ebro, y con una lámina de agua de 60 m. Es un yacimiento muy peculiar al tener una porosidad muy pequeña (1-2%), pero su origen kárstico le permite alcanzar una porosidad secundaria del 11-12%.

Dado que se trata de un antiguo almacenamiento de hidrocarburos, Barat destacó los aspectos más relevantes que se habían tenido en cuenta a la hora del estudio de viabilidad del mismo; por un lado, la dinámica del almacén, mediante el estudio de movilidad de fluidos, caudales de inyección y extracción, rangos de presiones dentro del almacén; y, por otro lado, el estudio de idoneidad del sello, mediante pruebas de fugas en el mismo.

Para poder satisfacer las necesidades de demanda a corto y largo plazo y proporcionar flexibilidad y seguridad, ambos ponentes destacaron la filosofía del diseño de las instalaciones del almacenamiento “Castor”, consistentes en:

- Alta disponibilidad, flexibilidad y fiabilidad.
- Rapidez de puesta en marcha.
- Minimizar la intervención del operador.
- Minimizar las pérdidas de gas.

El almacenamiento de gas *offshore* en campos depletados de gas: el ejemplo del almacén “Gaviota”

Por último, y para finalizar las ponencias de la mañana, intervino Luis Polo Navas, jefe de la Unidad de Negocio de España de Repsol-YPF (figura 10).

Polo expuso su conferencia centrándose en el caso del almacenamiento subterráneo “Gaviota”, que junto con Serrablo, son los únicos en España actualmente en explotación.

Gaviota se trata de un almacenamiento *offshore* a 8 km de la costa y con una lámina de agua de 105 m, en un anticlinal de calizas bioclásticas del Cretácico superior, con un sello formado por unas

margas grises del Paleoceno. Constituye un antiguo campo depletado de gas, de 8 km de largo por 1 km de ancho, y con una planta de tratamiento en tierra.

Según relató Polo, se tiene prevista la ampliación del almacenamiento, siempre compatible con el funcionamiento de las instalaciones actuales, lo cual conlleva la intervención de los pozos ya existentes y la perforación de nuevos, manteniendo que el impacto sobre el sistema sea mínimo. Los objetivos de este nuevo proyecto, denominado “Alga 1600”, son:

- Duplicar la capacidad de almacenamiento de gas.
- Incrementar los caudales de inyección y de producción de gas.
- Convertir la plataforma Gaviota en instalación normalmente no tripulada.
- Modificaciones en la plataforma para reducir equipos y simplificar el proceso de producción e inyección.

Concluyó su ponencia indicando que el proyecto estaría en producción e inyección en el verano-otoño de 2015.

Seguidamente a la intervención de Luis Polo, se pudo degustar un delicioso cóctel cortesía de los organizadores del acto, tras el cual dio comienzo la última ponencia de la jornada.

Los almacenamientos de gas en “formaciones acuífero”: el ejemplo de la concesión de Yela

Para finalizar el turno de ponencias, Francisco Pinilla Eguibar, director de Proyectos de Almacenamiento de Enagás (figura 11), realizó la exposición del ejemplo del almacenamiento de Yela, Guadalajara. Al igual que en las ponencias anteriores, Pinilla ilustró con numerosos gráficos evolutivos el gran aumento del consumo de gas que había tenido lugar en los últimos años debido, sobre todo, al sector eléctrico, con la creciente implantación de centrales de ciclo combinado (TCC). Los grandes consumidores de gas de nuestro país se sitúan en Cataluña, Andalucía, Valencia, País Vasco y Madrid.

La necesidad de almacenamientos constituye una reserva que se debe mantener ante un posible fallo de suministro, y una capacidad adicional ante las diferencias de una oferta estable y una demanda estacional. Asimismo, también definió los diferentes tipos de almacenamientos.

Por su capacidad, se pueden distinguir:

- Operacionales: cubren variaciones diarias/semanales del consumo.
- Estacionales: cubren variaciones de demanda estacional.
- Estratégicos: reservas para sustituir durante largo tiempo un fallo de suministro.



Figura 7. Carlos Gómez Montalvo, de Geostock, durante su intervención.



Figura 8. Wenceslao Martínez del Olmo, doctor en Ciencias Geológicas, durante su intervención.



Figura 9. Recaredo del Potro y Carlos Barat, de Escal-UGS, durante su intervención.

Por su ubicación, se pueden distinguir:

- Yacimientos depletados.
- Acuíferos profundos.
- Cavidades salinas.
- Minas abandonadas.
- Tanques de GNL.

Seguidamente, Pinilla se centró en el almacenamiento de Yela, una formación acuífera perteneciente a la estructura de la Formación Santa Bárbara, del Cretácico superior, con una profundidad de 2.300 m, una moderada porosidad y permeabilidad, así como una excelente calidad de cobertera.

Las ubicaciones favorables para un almacenamiento de gas tienen que encontrarse cerca de un centro de consumo, con un alto contenido estacional, cerca de un gasoducto de gran capacidad y lejos del punto de suministro.

Pinilla puso de manifiesto la importancia estratégica que tiene el almacén de Yela, dada su proximidad a la Comunidad de Madrid, zona de gran consumo de gas y, al mismo tiempo, la que más alejada está de los distintos puntos de entrada de este combustible a nuestro país, por lo que cumple con los objetivos de un buen emplazamiento.

Mesa redonda

Tras la finalización de todas las ponencias, Roberto Rodríguez, actuando de moderador, impulsó la participación



Figura 10. Luis Polo Navas, de Repsol-YPF, durante su intervención.

de los asistentes en la mesa redonda (figura 12), que se desarrolló en un ambiente distendido, donde asistentes y ponentes pudieron dar su punto de vista u opinión sobre el tema desarrollado a lo largo del día.

Acto de clausura

En el acto de clausura de la jornada, José Luis Barrera agradeció la presencia de José Antonio Lazuén Alcón, director general del Departamento de Infraestructuras y Seguimiento de Situaciones de Crisis (DISSC)

de la Presidencia del Gobierno (figura 13), el cual, tras el agradecimiento al ICOG por su invitación, comentó en un tono distendido y coloquial cómo le hubiera gustado haber sido geólogo y, aunque acabó siendo químico, le sigue pareciendo muy interesante y apasionante el mundo de la geología.

Destacó la importancia de la energía como un asunto estratégico en el mundo de hoy, dada la competencia de recursos energéticos y objeto prioritario de atención por el sistema de gestión de crisis. Según Lazuén, la política española en materia de gas natural ha sido una política inteligente, como se puede comprobar mediante la implantación de plantas regasificadoras a lo largo de toda la costa española, en lugares estratégicos, o la presencia de gasoductos como el que proviene del Magreb, así como el que actualmente se encuentra en construcción. Sin embargo, España no cuenta con el elemento estratégico y geopolítico de "cerrar las llaves". Por todo ello, destacó como fuente de energía primordial el gas, ya que constituye el 30% de la energía primaria para la producción de energía eléctrica.



Figura 11. Francisco Pinilla Equibar, de Enagás, a la derecha, y Enrique Hernández, de Gessal, a la izquierda, durante su intervención.



Figura 12. Mesa redonda. De izquierda a derecha: Carlos Barat, Luis Polo Navas, Wenceslao Martínez del Olmo, Carlos Gómez Montalvo y Francisco Pinilla Eguibar.

de gas, utilizados actualmente para el almacenamiento del mismo durante los meses de menos demanda, para ser extraído posteriormente en los momentos de mayor consumo.

Es absolutamente imprescindible para España contar con más almacenes subterráneos de gas, ya que, pese a que cuenta con un buen equilibrio entre el gas que llega por gasoducto y por barco, se hacen necesarios almacenes para aumentar las reservas en caso de producirse cortes en el suministro. Sin embargo, son imprescindibles múltiples almacenes para contar con seguridad en el suministro. El principal problema es la reducida capacidad de almacenamiento subterráneo, ya que España no cuenta, de momento, con estructuras geológicas investigadas que garanticen un almacenamiento suficiente.

El ICOG, a través de esta jornada, quiere poner de manifiesto la gran importancia del geólogo en este campo con gran futuro, y las múltiples posibilidades que se abren con la investigación de almacenes subterráneos de gas utilizando las técnicas y métodos de la geología del subsuelo.

Lazuén hizo referencia a la importancia que tiene la realización de jornadas de este tipo, como un asunto primordial y necesario, dada la gran relevancia que tiene el gas. Concluyó que, en la estrategia de seguridad nacional, un elemento primordial es la seguridad energética, en la cual, el contexto geológico va a tener un protagonismo esencial, destacando, por lo tanto, la gran importancia del geólogo en este campo.

almacenamientos subterráneos en activo, como son Serrablo, en Huesca, perteneciente a Enagás, y Gaviota *offshore*, en Vizcaya, de Repsol y Murphy Oil, pero gestionado por Enagás. Ambos son antiguos yacimientos depletados

Conclusión

La jornada dio una visión global del sector, así como de las necesidades de capacidad de almacenamientos subterráneos de gas que puedan garantizar el suministro seguro.

Como conclusión a la jornada celebrada, se puede decir que para ajustar la oferta y la demanda, y hacer frente a las puntas de consumo derivadas de variaciones estacionales, como consecuencia de olas de frío o interrupciones en el suministro de gas, son de gran importancia los almacenamientos subterráneos.

España importa todo el gas que consume y, actualmente, sólo posee dos



Figura 13. Acto de clausura. De izquierda a derecha: José Antonio Lazuén Alcón, director general del Departamento de Infraestructuras y Seguimiento de Situaciones de Crisis (DISSC) de la Presidencia del Gobierno, José Luis Barrera, vicepresidente del ICOG, y Roberto Rodríguez Fernández, vocal de Infraestructuras Geológicas del ICOG.

La calidad nació en el Reino de España

TEXTO | Enrique Pampliega, www.epampliega.com

La última remodelación de la Iglesia de Nuestra Señora de la Asunción de la localidad de Meco (Madrid) sacó a la luz una serie de escritos muy deteriorados; entre ellos destacan un libro de horas de Juana la Loca, sin duda una copia, fechada sobre el año 1600, y una serie de cartas de un hijo de la villa que debió servir al rey, curiosamente, en la construcción de barcos.

El único texto que se ha podido rescatar prácticamente completo dice así:



“... me decido a juntar estas letras para dejar testimonio de lo acaecido en los años que presté servicio para el Rey entre los mil seiscientos y veinticinco a los mil seiscientos y cuarenta y tres. Comenzó mi historia en la juventud, cuando relumbraba en el seminario y vivía la noche entre tempranillos y de garito en garito, tabernas para jugar a los naipes, tentar manceba y donde mentar la honra y aligerar la vaina era todo uno. Tal fue ésa la España que conocí y que hoy se desdibuja en mi recuerdo.

El Reverendísimo Padre, viendo mi escasa vocación por el seminario, decidió interceder por mí ante la corte y presentarme al Valido. Hombre fuerte y de apostura regia, conocedor de lo que acontecía por esos pagos, no dudó al ver mi disposición para el comercio en encargarme una misión al grito de ‘Vive Dios que en la corte se tira con pólvora del Rey. Ya está bien de tirar con la hacienda de todos, que cada cual lo haga con la propia’ y dicho esto me encargó lo siguiente:

En el norte del reino, cerca de la tierra de los vizcaínos, el Rey disponía de un astillero que ya su abuelo, que en gloria esté, había dedicado a la construcción de naves de transporte. Negocio este que le reportaba generosos dineros, empleados en donativos para edificar capillas con las que lavar su imagen, mas en los últimos años estos dineros se trocaron duendes, el astillero sólo acumulaba gastos y mugre. Allí me dirigí, abandonando mi Meco natal, con una mano delante otra detrás y el encargo del Valido de poner en orden el negocio en provecho de la causa; la del Rey, claro.

Los principios no fueron fáciles, primero, necesitaba definir qué es lo que se hacía allí y cómo el capataz del astillero manejaba el negocio. Qué puedo decir, el responsable, grande de España, recibíome como

esperaba, enviándome a un pícaro para instalar en mi estómago una desazón que duró todo el tiempo que tardé en poner por escrito minuciosamente lo que se hacía, cómo se hacía y quién hacía qué. Tras no pocos avatares y soportar muchos ‘voto al diablo’ y ‘rediós’, que la gente del astillero es gente trabajadora, pero de la que no gusta que se busmee en su quebacer de años, fui vigilando que cada cual hacía lo que debía hacer y esto según lo estipulado en mis escritos, y como no podía ser menos, que el trabajo se hiciera con diligencia y eficacia. Tras todo lo cual, y en los primeros años, fui afinando, como buen hijo de arcabucero, para contento del Valido y beneficio de las arcas reales.

Las naves se vendían bien desde Flandes a Génova, y escuchar a los mercaderes sus necesidades y opiniones sobre nuestros barcos se convirtió en un hábito que hoy sé fue fundamental para la buena marcha del astillero regio, tan necesario como las largas juergas con los capataces y obreros, que con el transcurrir del tiempo me consideraron uno de los suyos y no cesaban de decir lo que razón y oficio les daba a entender, con lo que yo mejoraba las naves y les pagaba vino y trotona cada vez que lo que salía de su frontispicio craneal aumentaba las arcas reales y contentaba a los mercaderes.

Al poco, recibí un comunicado del Valido. La posta era escueta, una vez al año y para que no se rezaguen los fieles y se entreguen a la bolganza, la Santa Inquisición visitaría el astillero y yo debía darle cuenta de todo lo que allí se hacía y decía. Si el resultado no era del gusto del Padre y no se ajustaba a mis escritos de qué se hacía y quién lo hacía, el Santo Oficio tomaría las medidas que en nombre de Dios tuviera a bien. Terminar de leer, que me temblaran las piernas y correr a aligerar el vientre fue un decir Jesús. Pero no fue mal, el inquisidor

revisaba escritos, preguntaba por doquier y cuando algo no le cuadraba —a mí se me ponía el vello como picas de coselete—, volvíamos sobre ello y me dejaba un tiempo para solucionar lo que no era de su conformidad. Aquello consiguió que año a año mejoráramos el trabajo y con ello la satisfacción de los mercaderes, que contrastado lo atinado de nuestros barcos no dejaban de alabarlos, cosa que atraía gentes de otros lugares a comprarlos.

El Valido pidióme un escrito en el que reflejara mi visión de lo realizado estos años y los aspectos fundamentales para aplicarlo a otros negocios y a ciertas explotaciones de plata en las Indias. No me costó mucho, y los principios generales que le enumeré fueron los siguientes:

Debemos tener conocimiento claro del juicio de los mercaderes a la hora de atinar con el diseño y otros aspectos.

Responsables, capataces, obreros y demás gente de astillero deben saber por qué están aquí y qué se quiere de ellos.

Hay que detallar minuciosamente qué trabajo se realiza y quién es el responsable de realizarlo. Intentar que capataces, obreros y otras gentes aprendan a leer, es de todo punto necesario.

No hay que ser parcos a la hora de dar las herramientas necesarias para el quehacer de cada día. Con mala forja el herrero no trabaja.

Se debe tratar con los mercaderes que nos proveen de los útiles necesarios para la construcción de las naves como si de nuestro mejor amigo se tratara. Debemos conseguir buenos precios, pero más aún mejores mercancías y servicios.

Se debe instruir un bachiller para medir que todo se hace con diligencia y eficacia.

Cuando se produce un error y alguna cuaderna no es del agrado del mercader, hay que arreglar con celeridad el incomodo y procurar por todos los medios que no vuelva a acontecer.

Es imprescindible que el ambiente en el astillero sea el de una familia, si bien también es recomendable el baño una vez por semana, haga falta o no, así como el cambio de muda.



Todos los años hay que vigilar el negocio. Mediante reuniones con mercaderes y la gente de astillero atinar con la mejor construcción.

Ésos fueron los principios que le enumeré y ya veíame en la Corte aconsejando al Rey y recibiendo sus mercedes, mas coincidió para mi desgracia la misiva con los sucesos de Rocroi y del Rey y mi escrito no volví a saber nada. La situación se complicó y un nuevo Valido colocó al frente del astillero a un hijodalgo, que, sin tardar, dióme boleto a casa, y es que en esta tierra la sombra de Caín, desde siempre, vaga errante. Moví mis asentaderas y marché a la tierra de los herejes, allí adquirí una venta y apliqué lo aprendido en el astillero. Los días trocaban años y hoy, al término de estas letras, sólo espero la cierta, con el convencimiento de que mi fin alegrará a Dios o al diablo, pero que sin duda entristecerá a los mequeros, pues habrán perdido un paisano.”

EN MADRID, EL DÍA DE SAN EUSTAQUIO
DEL AÑO DE NUESTRO SEÑOR DE DOS MIL Y SIETE.



No cabe la menor duda de que los principios enumerados en esta carta coinciden en gran medida con los principios generales de la calidad con lo que esté escrito de casi cuatro siglos tiene hoy plena vigencia.

Jornadas sobre tecnologías de captura y almacenamiento de CO₂ organizadas por el ICOG

Los pasados días 16 y 17 de octubre, el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos y la Facultad de Ciencias del Medio Ambiente de la UCLM, con la colaboración de la Ciudad de la Energía, la Asociación Española de CO₂, Endesa, ELCOGAS, el Instituto Geológico y Minero de España y la empresa GEOPRIN, organizaron las *Jornadas sobre tecnologías de captura y almacenamiento de CO₂ (CAC) frente al cambio climático*, en las cuales se sentaron las bases de actuación para solucionar el problema de las, cada vez mayores, emisiones de CO₂ en nuestro país.

Texto | Juan Manuel Fernández Gómez. Geólogo

Fotos | Gabinete de Comunicación, UCLM. Juan Manuel Fernández Gómez, ICOG

Palabras clave

Cambio climático, captura de CO₂, almacenamiento geológico

El programa de las jornadas se estructuraba en un conjunto de ponencias a cargo de diferentes expertos en la materia, y que se celebró en el auditorio de la Universidad de Castilla La Mancha, sita en el campus de la antigua Fábrica de Armas de la ciudad castellano-manchega de Toledo (*figura 1*). Las ponencias se organizaron en tres sesiones: la mañana y tarde del día 16, y la mañana del día 17, dedicadas cada una a la exposición de los temas generales que fueron el objeto de discusión del acto. Así, en la primera sesión se trataron los efectos y consecuencias del cambio climático desde un enfoque tecnológico, económico y social. La segunda atendió a los diferentes métodos de captura de CO₂ que se están desarrollando actualmente por parte de distintas empresas del sector y, finalmente, la sesión correspondiente a la mañana del día 17 versó sobre el tema por excelencia para los geólogos: el almacenamiento geológico de CO₂.

Presentación e inauguración

El evento dio comienzo con las palabras de bienvenida de la decana de la Facultad de Ciencias del Medio Ambiente, M^a José Ruiz (*figura 2*), quien presentó a los integrantes de la mesa presidencial que estaba constituida por Evangelina Aranda, vicerrectora de la UCLM, Tomás Villarrubio, delegado de la Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente



Figura 1. Programa de las jornadas.

del Gobierno de la JCCLM, José Luis Barrera, vicepresidente del ICOG, y Jacinto Alonso, secretario académico de la citada facultad.

Tras la breve presentación de las Jornadas, que tuvieron una asistencia de 130 participantes (*figura 3*), la decana

cedió la palabra a José Luis Barrera, quien, en primer lugar, excusó la ausencia del presidente del ICOG, Luis E. Suárez, por motivos de agenda. Seguidamente, Barrera entró a valorar la situación ambiental en relación con el cambio climático. Destacó la noticia dada por el presidente del Panel Gubernamental de Cambio Climático de las Naciones Unidas el día anterior a la celebración de las Jornadas, que decía: "Hasta ahora sólo se ha hecho la mitad de lo que se tiene que hacer en la reducción del CO₂", y es que, a fecha de hoy, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) son equivalentes a las previstas para 2013. Por lo tanto, el objetivo claro es almacenar el CO₂ y, en este sentido, los geólogos son los técnicos apropiados que poseen el conocimiento y las herramientas necesarias para buscar y caracterizar las zonas óptimas donde realizar estos almacenes. Terminó su locución agradeciendo el esfuerzo hecho por el coordinador de las Jornadas, Rafael Varela, vocal de recursos minerales del ICOG, para que éstas sean provechosas para los asistentes.

Posteriormente, tomó la palabra el delegado de la Consejería de Industria, Tomás Villarrubio, para transmitir a los asistentes el deseo de la propia Consejería de colaboración con las instituciones para abordar el problema que el cambio climático está produciendo sobre los tres pilares fundamentales del



Figura 2. Mesa de la inauguración. De izquierda a derecha: José Luis Barrera, vicepresidente del ICOG; Tomás Villarrubio, de la Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente del Gobierno de la JCCLM; Evangelina Aranda, vicerrectora de la UCLM; M^{ra} José Ruiz, decana de la facultad, y Jacinto Alonso, secretario académico de la facultad.

desarrollo sostenible: el medio ambiente, la economía y la sociedad.

En su parlamento, Villarrubio aludió a la existencia de detractores de estas nuevas tecnologías, que se apoyan en la existencia de las numerosas incógnitas que rodean el tema tratado en las Jornadas. En contrapartida, dijo: “No podemos ni debemos descartar ninguna de las soluciones que, desde el punto de vista de la ciencia, seamos capaces de aportar”. Para terminar, Villarrubio abogó por la divulgación de estos foros para publicitar los resultados y conclusiones favorables de las investigaciones.

Para poner punto y final a la inauguración de las Jornadas intervino Evangelina Aranda, quien destacó la necesidad de debatir sobre el tema por la polémica que puede generar en España la creación de almacenes de CO₂ relativamente próximos a núcleos urbanos.

Primera sesión. El cambio climático

El jueves por la mañana, finalizada la inauguración, dieron comienzo las ponencias de la sesión de la mañana. El moderador, Luis Mansilla, director de la Escuela de Ingeniería Técnica de Minas

de Almadén, presentó, en primer lugar, a Santiago Sabugal, presidente de la Asociación Española del CO₂ (AECO₂) (figura 4).

Sabugal puso de manifiesto, dentro del contexto energético de 2030, que los combustibles fósiles van a jugar un papel fundamental durante las próximas décadas, debido a que, hoy por hoy, es la principal alternativa (sobre todo el carbón), y a la necesidad de mantener una energía de base segura.

En la misma sintonía definió dos problemas en el espacio energético: el cambio climático inducido por la actividad humana y el creciente consumo de energía. La interrelación entre ambos problemas hace necesaria una actuación inmediata para paliar los efectos negativos producidos por la emisión incontrolada de GEI. En este sentido, aboga por la búsqueda de alternativas sostenibles, económicamente viables y compatibles con el medio ambiente, esto es, energías renovables, captura y almacenamiento de carbono (CAC), ahorro y eficiencia energética y energía nuclear, todas perfectamente compatibles.

El objetivo es el desarrollo y la optimización de los proyectos de demostración a través de I+D+i. De este modo, se reducirían los costes y sería posible la implantación de tecnologías CAC a nivel comercial.

La siguiente ponencia de la mañana estuvo a cargo de Rafael Varea, geólogo y vocal del ICOG.

Actualmente, en el ámbito de aplicación del Protocolo de Kioto, Varea dijo que nos encontramos en el periodo de 2008-2012 dentro del Plan Nacional de Asignación de derechos de emisión de CO₂ (PNA), un periodo en el cual se establecerán sanciones y posiblemente reducciones



Figura 3. Vista general de los asistentes. En primer término, a la izquierda, Rafael Varea, vocal del ICOG.



Figura 4. Santiago Sabugal durante su intervención.



Figura 5. Benito Navarrete durante su intervención.



Figura 6. Juan Carlos Ballesteros durante su intervención.

en la cuota de emisiones de GEI en casos de incumplimiento.

En este sentido, Varea subrayó la necesidad de reducir las emisiones de GEI por parte de los sectores difusos, ya que son los responsables del 55% de las emisiones de CO₂ en España, un hecho de difícil consecución debido a la recesión económica en que nos encontramos. Por otro lado, los sectores industriales se han mantenido en los porcentajes de emisión desde 1990, año de referencia del Protocolo de Kioto. No obstante, son estos últimos los encargados de reducir las emisiones.

La volatilidad de los precios de comercio de derechos de emisión de GEI, unido a que éstos son limitados y añadido al hecho de que en España la cuarta parte de producción de energía se debe al carbón —siendo la suma de carbón y gas del 46%—, hace necesario buscar soluciones geológicas para eliminar el CO₂ de la atmósfera inyectándolo en almacenes subterráneos seguros, a más de 800 m de profundidad.

La última ponencia de la mañana estuvo a cargo de Cecilio Quesada, jefe de gabinete del IGME. En su exposición, Quesada habló sobre la nada excepcional evidencia del cambio climático, al tratarse de un hecho contrastado y que

no sólo se está produciendo ahora, sino que se ha producido a lo largo de la historia del planeta a escala geológica. Continuó diciendo que existe un paralelismo entre el aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera y el progresivo aumento de la Temperatura Media Global (TMG). Hizo hincapié en que las causas hay que buscarlas en la actividad antropogénica, que ha contribuido sobremanera desde los comienzos del desarrollo industrial, sin olvidar que los procesos naturales también ayudan. Quesada concluyó su ponencia haciendo mención a la misión del geólogo para la localización, caracterización y selección de aquellas zonas donde va a ser factible almacenar el CO₂, acentuando, en este sentido, que los estudios geológicos son imprescindibles.

Segunda sesión. Captura de CO₂

En torno a las 16:30 h, tras el obligado receso para el almuerzo, servido en la propia cafetería de la facultad, se reinició la segunda sesión de ponencias. El moderador, Jacinto Alonso, secretario académico de la Facultad de Ciencias del Medio Ambiente y geólogo, presentó a Francisco García, subdirector de I+D de ELCOGAS, quien hizo una introducción, desde un punto de vista técnico, de las diferentes tecnologías de captura de CO₂

existentes: precombustión, oxcombustión y postcombustión. Destacó la importancia de las plantas piloto para el desarrollo de dichas tecnologías, así como la necesidad de avanzar con los tres sistemas al unísono para obtener conclusiones favorables sobre qué método es el más económico.

García planteó las principales actividades de ELCOGAS, entre las que adquiere una mayor relevancia el Proyecto Singular y Estratégico PSE-CO₂, consistente en una planta piloto de producción de H₂, con separación de CO₂ integrada en el CIGG (Gasificación Integrada de Ciclo Combinado) existente en Puertollano, a partir del carbón y el coque de los yacimientos de la misma localidad.

A continuación intervino Benito Navarrete (figura 5), adjunto al director del Programa de Captura de CO₂ de CIUDEN que, en la misma dinámica que el anterior ponente, entró en una explicación más profunda de las tecnologías de captura y de la separación de gases. Como proyecto estrella nombró la plataforma tecnológica de captura de CO₂ de la Fundación Ciudad de la Energía, situada en Ponferrada, comarca de El Bierzo. Se trata de la primera experiencia piloto a escala comercial de oxcombustión, lo que despierta un gran interés por las valoraciones futuras que se puedan

extraer de los resultados obtenidos, especialmente en cuanto a su viabilidad económica y eficiencia.

Por último, y cerrando la sesión de la tarde, expuso su ponencia Juan Carlos Ballesteros (*figura 6*), subdirector de I+D de Endesa Generación. Comenzó con la exposición de los diversos proyectos de investigación que tiene Endesa en captura de CO₂ en España (Cenit-CO₂, FP6, VI Programa Marco, Cachet CO₂, OPENAED...) y continuó, posteriormente, en la consideración de los procesos que completan la CAC, una vez capturado el CO₂. También habló de los proyectos de demostración de Endesa en la central térmica de Compostilla, en Cubillos de Sil (León), y de la central de La Pereda, en Mieres. Concretamente, Ballesteros mencionó la etapa de compresión del CO₂ para adecuarlo a las condiciones de transporte, sin dejar de lado las medidas de seguridad que se han de tener, ya sea mediante camiones, tuberías, tren o buques. En esta línea, también hay que hacer un esfuerzo por la divulgación de que el CO₂ no es peligroso y que se puede transportar y almacenar de un modo seguro y, sobre todo, sin peligro para la sociedad.

Como colofón a su intervención, habló del proyecto de tecnología de captura, transporte y almacenamiento OXICFB500, que integra todas las etapas de la CAC y aprovechó para lanzar un aviso: queda muy poco tiempo para definir cuáles serán los futuros emplazamientos de los almacenes de CO₂, para cumplir con las fechas impuestas por la UE.

Tercera sesión, almacenamiento geológico

La tercera sesión de ponencias tuvo lugar la mañana del viernes. La jornada se inició con la presentación, por parte del moderador José Luis Almazán, director gerente de GEOPRIN, S.A., y de Modesto Montoto, director del Programa-Almacenamiento Geológico de CO₂ de CIUDEN. En su exposición, Montoto comenzó con una idea fundamental: "Se han de almacenar miles de millones de toneladas anuales de CO₂, y la mejor



Figura 7. Antonio Jiménez durante su intervención.

opción pasa por el subsuelo", aprovechando la porosidad efectiva de las rocas y el aumento drástico de la densidad del CO₂ a partir de 800 m de profundidad. El ejemplo más evidente lo da la propia naturaleza, que ha almacenado durante millones de años fluidos y gases en condiciones estables y seguras, hasta su explotación industrial actual. Los rasgos geológicos necesarios son: almacén más sello.

A continuación, Montoto planteó un tema que genera opiniones contrapuestas entre los diferentes países que pretenden actuar en el entorno de la CAC: las normativas de regulación. De un lado están los países petroleros/gasistas, que parten con ventaja tanto tecnológica como económica y, de otro, los países no petroleros/gasistas (entre ellos España). Los primeros inducen las normativas desde su posición de privilegio para que se adapten a sus exigencias, cosa que no es viable para los segundos. Por lo tanto, se deben crear normativas que dejen a todos los países bajo un régimen de "igualdad de oportunidades".

Desde el punto de vista geológico, cualquier país que disponga de trampas geológicas en su subsuelo puede realizar almacenamientos de CO₂, sea o no petrolero/gasista, en un mismo plano de actuación.

De nuevo surgen los retos de la CAC para los países no petroleros/gasistas: tecnológico, económico, regulatorio y social. En esta línea, Montoto destacó el mencionado proyecto de CIUDEN, con la planta piloto de El Bierzo, donde se pretenden integrar todos estos desafíos, no sólo en la etapa de captura descrita anteriormente, sino en la etapa de almacenamiento geológico. Un reto también para los geólogos españoles.

Continuó con la siguiente ponencia Antonio Jiménez (*figura 7*), de la subdirección de I+D Endesa Generación, quien entró en la descripción detallada de la sucesión de fases que han de darse para la caracterización del futuro almacén de CO₂.

Inicialmente se encuentra la fase de preselección, en la cual se tienen en cuenta los criterios de viabilidad técnicos y socioeconómicos. Seguidamente, se pasa a la fase de reconocimiento de cuencas, a través de datos bibliográficos, reconocimientos geológicos a macroescala, revisión de sondeos y líneas sísmicas realizadas, etc., para llegar a un primer modelo geológico homogéneo capaz de discernir los posibles riesgos de fugas. A continuación, se entra en la fase de selección de regiones, que engloba un trabajo de geología más concreto y preciso, con realización de sondeos profundos, que dará lugar a un modelo geológico heterogéneo que permitirá conocer de una manera exhaustiva los posibles fallos y mecanismos de fugas. Posteriormente, se daría la fase de caracterización local, donde se realizarían estudios de detalle de las formaciones almacén y sello en cuanto a sus propiedades mecánicas, físicas y químicas, obteniendo un modelo dinámico a partir del cual se podrá evaluar el emplazamiento: capacidad y estanqueidad. Y, por último, se entraría en la fase de monitorización, indispensable para realizar un control íntegro del almacén, verificar el correcto almacenaje, mejorar los modelos empleados y asegurar la salud pública y el entorno natural. En todo este proceso, cabe decir que tanto el geólogo como el ingeniero han de estar perfectamente compenetrados y consensuados.

Cerrando el ciclo de ponencias, intervino Isabel Suárez, ingeniera de Minas del IGME, quien dio unas pinceladas sobre

los conceptos generales del almacenamiento geológico de CO₂, tocando un tema no mencionado hasta el momento: los mecanismos de entrapamiento. Dichos mecanismos, unidos a la evolución temporal del almacén, favorecen la seguridad frente a posibles fugas de CO₂. Concretamente, Suárez definió el entrapamiento mineral como el más eficiente, puesto que produce una fijación química del CO₂ en la roca y el agua de formación.

Posteriormente, prosiguió con la explicación de los proyectos de investigación en los cuales está involucrado el IGME, particularmente en la fase de almacenamiento de CO₂. Primeramente, habló del proyecto GeoCapacity, cuyo objetivo es determinar la capacidad europea de almacenamiento de CO₂ y, específicamente, en el caso del IGME, el potencial de almacenamiento geológico de CO₂ en las cuencas sedimentarias con acuíferos salinos profundos de España. Después, comentó el PSE-CO₂, donde el IGME se ocupa del subproyecto 3, del cual de extraen tres líneas fundamentales de actuación:

- Estudio de procesos análogos.
- Modelización, simulación y experimentación.
- Desarrollo metodológico.

A continuación expuso brevemente las características del proyecto Cenit-CO₂, participando dentro del Módulo V, en el apartado de geología, que consta de:

- Preselección del emplazamiento.
- Selección de zona.
- Estudio de zona seleccionada.
- Caracterización del emplazamiento.

Para finalizar, Suárez planteó un ejemplo práctico de almacenamiento de CO₂ en la *Depresión Intermedia* y la *Cuenca de Madrid*. En estas cuencas existirían dos posibles objetivos para convertirse en almacenes geológicos:

- Almacén: Buntsanstein. Sello: Arcillas Röt y Keuper.
- Almacén: Utrillas. Sello: Fm. evaporítica superior.

Coloquio

Terminadas las ponencias, José Luis Almazán, actuando de moderador, invitó a todos los asistentes a las Jornadas a una mesa redonda donde se trataron los temas más destacados expuestos en las ponencias. La rueda de preguntas y discusiones dio lugar a un interesante debate del cual se pudieron extraer los puntos más relevantes de las Jornadas.

De las diferentes intervenciones que tuvieron lugar a lo largo del vivo coloquio cabe destacar varias ideas que, de una u otra manera, fortalecen y hacen imprescindible impulsar el proyecto de captura y almacenamiento de CO₂ (CAC), para avanzar en el compromiso mundial en la lucha contra el cambio climático.

- En primer lugar, el elevado coste económico que supone el desarrollo y puesta en marcha de estas tecnologías se compensa con el ahorro que va a suponer no tener que comprar derechos de emisión, máxime cuando las previsiones anuncian un aumento de emisiones debido al incipiente desarrollo de los países emergentes y al aumento de los precios de los derechos de emisión, fruto de la creciente demanda.
- La falta de conocimiento de la geología del subsuelo, unida a la falta de cultura en torno a este hecho en nuestro país, es un obstáculo en la carrera del

desarrollo de la CAC. Cabe decir que se necesita profundizar más en el estudio de las estructuras subterráneas que alberguen el CO₂, y es en este punto donde el geólogo es el técnico apropiado para llevar a cabo estas investigaciones.

- Poniendo fin al coloquio se habló de la respuesta social a la aplicación de las nuevas tecnologías debatidas a lo largo de las Jornadas. Un mensaje claro: hay que educar a la población, informarla y hacerla partícipe de las investigaciones y metas que persiguen los científicos, para garantizar la aceptación general de la sociedad, y no dar lugar a la controversia por efecto de la desinformación.

Acto de clausura

La clausura del evento corrió a cargo de José Pedro Calvo Sorando (*figura 8*), director general del IGME, que, a modo de recapitulación, reconoció la importancia que han tenido las Jornadas por el interés general de los temas expuestos y dio gracias a todas las partes que intervinieron, así como a los asistentes.

Por último, hizo una evaluación favorable de la relevancia que tiene la figura del geólogo en el progreso de las nuevas tecnologías que se están desarrollando para combatir la problemática del cambio climático. Principalmente, en la fase de almacenamiento geológico de CO₂.



Figura 8. José Pedro Calvo (izquierda) durante el acto de clausura, acompañado por José Luis Almazán (derecha).

La belleza de la simetría: los cristales

Este artículo resume la labor investigadora de un grupo de alumnas de 1º de Bachillerato del I.E.S. "Marqués de Comares" de Lucena (Córdoba). El trabajo ha sido galardonado con el Primer Premio del Nivel 1 de Ciencias en el XIV Premio San Viator de Investigación en Ciencias y Humanidades. En él se recogen aspectos relacionados con la determinación de la solubilidad de algunas sales inorgánicas y la formación de cristales por evaporación de disoluciones saturadas de las mismas.

TEXTO | Alumnas María José Fernández Muñoz, Sheila Granados Gutiérrez, Sara Jiménez Montilla, Araceli Pineda Cantero y Laura Ventura Espejo. Coordinador: Profesor Antonio Castro Lopera, licenciado en Química

FOTOS | Colegio San Viator

Palabras clave

Cristalografía, curva de solubilidad, nucleación y crecimiento cristalino

La elección de un tema de investigación adecuado para un grupo de alumnos de 1º de Bachillerato no es una tarea fácil. Los conocimientos teóricos requeridos han de ser pocos, las técnicas experimentales simples, los materiales baratos y el tiempo de dedicación corto.

El estudio del proceso de cristalización cumple bien estos requisitos. Los conceptos básicos (disoluciones, solubilidad, características de los compuestos iónicos) forman parte del currículo de los alumnos y la técnica elemental de cristalización a partir de disoluciones acuosas de sales inorgánicas se aplica frecuentemente en las prácticas de laboratorio. Una selección adecuada de las sustancias a cristalizar, el reciclado de las mismas y la escasa instrumentación necesaria disminuyen la inversión inicial hasta valores asequibles para un centro de secundaria. Por último, la lentitud del proceso permite establecer un horario flexible de investigación.

Objetivo

El trabajo, realizado por el equipo de las personas firmantes (*figura 1*), ha consistido en el estudio de la cristalización de sales inorgánicas por evaporación a temperatura constante de sus disoluciones acuosas. Se han desechado las restantes técnicas por sus dificultades evidentes, como son:

- La cristalización por subenfriamiento a partir de vapor o de sólidos fundidos está limitada a sustancias químicas



Figura 1. Las alumnas premiadas junto a su profesor.

El ICOG patrocina el Premio Especial de Geología de San Viator

Desde hace tres años, el ICOG patrocina el Premio Especial de Geología que otorga el colegio San Viator de Madrid. El certamen, que en el año 2008 ha celebrado su XIV edición, premia los mejores trabajos de investigación en Ciencias y Humanidades de alumnos de ESO y Bachillerato, estando patrocinado por el Ministerio de Educación, el CSIC, varias universidades y empresas nacionales y multinacionales. El colegio San Viator pretende, a través de estos premios, estimular el espíritu investigador y la creatividad de los estudiantes, ofrecer a los profesores la oportunidad de dar un sentido práctico y experimental a su labor didáctica y contribuir a un mayor

reconocimiento y respeto de las comunidades educativas hacia la actividad científica.

Premio Especial de Geología

En esta edición, el premio patrocinado por el ICOG ha recaído en el trabajo: *Estudio de icnitas de dinosaurios en el noroeste de la provincia de Teruel*, realizado en el I.E.S. Valle del Jiloca de Calamocha (Teruel) por los alumnos Adrián Domingo Jiménez, Anchel de Jaime Soguero, Alfonso Parrilla Ocón y coordinado por el profesor Chabier de Jaime Lorén.

Hay que resaltar que este año el mejor trabajo de todo el nivel de Ciencias ha sido un trabajo relacionado con la geología, que es el que aquí se publica.

caras (con pocas excepciones, como el yodo y la naftalina) y requiere manejar gases o sólidos a alta temperatura, con las consiguientes dificultades y riesgos.

- La cristalización por subenfriamiento de disoluciones acuosas implica un control estricto de la temperatura que no estamos en condiciones de realizar (sólo disponemos de una estufa muy simple).

Teniendo en cuenta todos los condicionantes citados, los objetivos de la investigación se resumen en:

- Puesta a punto de un método fácil y rápido para determinar experimentalmente la solubilidad en agua de cinco sales inorgánicas disponibles en nuestro laboratorio: NaCl, KNO₃, CuSO₄, Na₂SO₄, K₂Cr₂O₇.
- Comparación de los datos obtenidos con los que aparecen en la bibliografía.
- Estudio semicuantitativo de la influencia de la concentración y la temperatura en la nucleación por evaporación de disoluciones acuosas de dichas sales.
- Estudio cualitativo de la velocidad de crecimiento de los núcleos obtenidos anteriormente.

Métodos

Determinación de las curvas de solubilidad

Primer procedimiento

- En un vaso de precipitados de 200 cm³, añadimos 100 cm³ de agua destilada y una cantidad de sal suficiente para que quede algo (no importa cuanto, es sólo para asegurar que la disolución está saturada) sin disolver.
- Medimos la temperatura de la disolución y extraemos de ella, con pipeta, una muestra de 2 cm³, que guardamos en un tubo de ensayo.
- Colocamos la disolución restante en una estufa, a una temperatura superior a la anterior. La dejamos allí hasta que alcance el equilibrio térmico, agitando para acelerar el proceso de disolución y asegurándonos de que al final siga quedando sal sin disolver en el fondo



Figura 2. El presidente del ICOG, Luis E. Suárez (con traje de color claro) en la mesa presidencial.

del vaso. A continuación, repetimos la toma de muestra, sin sacar la disolución de la estufa.

- Repetimos el proceso a distintas temperaturas.
- Evaporamos a sequedad los tubos de ensayo con las muestras obtenidas en una estufa a 110 °C.
- Pesamos los tubos con el precipitado obtenido, los limpiamos, secamos y volvemos a pesar vacíos.
- A partir de los datos obtenidos, calculamos la masa de soluto por diferencia entre las pesadas del tubo con precipitado y el mismo tubo vacío y obtenemos la concentración de la disolución saturada, expresada en gramos de soluto por litro de disolución.

$$\text{Concentración} = (M_{\text{tubo con precipitado seco}} - M_{\text{tubo vacío}}) / V_{\text{pipeta}}$$

Inconvenientes:

Cuando la temperatura es relativamente alta (por encima de 60 °C) la solubilidad



Figura 2. Detalle de la toma de muestras para determinar curvas de solubilidad.

de las sales es tan grande que, al sacar la pipeta de la disolución, se forma un precipitado que la obtura e impide la medida exacta del volumen.

Segundo procedimiento

Dadas las dificultades de la medida directa del volumen de la disolución, pensamos utilizar un procedimiento indirecto para determinarlo:

- En este método, procedemos de la misma manera que antes, pero efectuamos la toma de muestra vertiendo directamente con el vaso de precipitados un volumen cualquiera de disolución. El valor exacto de éste se determinará a posteriori, para lo cual marcamos con rotulador el nivel alcanzado por el líquido en cada tubo.
- Después de evaporados a sequedad, pesados con precipitado, limpios y pesados vacíos, llenamos los tubos con agua hasta la marca y volvemos a pesarlos. De esta forma, por diferencia entre las pesadas del tubo con agua y del mismo tubo vacío, determinamos la masa de agua contenida en ellos y, conociendo la densidad del agua, el volumen del tubo hasta la marca, que es el ocupado inicialmente por la disolución.
- La concentración se expresa, como antes, en gramos de soluto por litro de disolución.

$$\text{Concentración} = (M_{\text{tubo con precipitado seco}} - M_{\text{tubo vacío}}) / [(M_{\text{tubo con agua}} - M_{\text{tubo vacío}}) \cdot d_{\text{agua}}]$$

A pesar de que hemos eliminado las dificultades asociadas a la toma de muestra, el procedimiento nos sigue pareciendo poco exacto, como consecuencia de los errores cometidos al marcar el nivel alcanzado por la disolución en el tubo (errores de paralaje y de trazado de la línea de enrase).

Tercer procedimiento

Puesto que los métodos anteriores conllevan errores producidos por la necesidad de medir el volumen de la disolución saturada, hemos decidido sustituirlos por otro en el que determinaremos la masa de la disolución.

- En un vaso de precipitados de 200 cm³, añadimos 100 cm³ de agua destilada y una cantidad de sal suficiente para que quede algo (no importa cuánto, es sólo para asegurarnos de que la disolución está saturada) sin disolver.
- Medimos la temperatura de la disolución y extraemos, con una jeringa, un volumen de aproximadamente 1 cm³, que guardamos en un tubo de ensayo.
- Colocamos la disolución sobre una placa calefactora e introducimos en ella un termómetro. Calentamos lentamente y con agitación continua.
- En el momento en que deseemos tomar la muestra, dejamos de agitar y esperamos 30 segundos para que las partículas en suspensión se depositen. Cuando la disolución aparezca transparente, colocamos la jeringa en la zona próxima al termómetro y extraemos 1 cm³ aproximadamente (figura 2). Lo guardamos en un tubo de ensayo y anotamos la temperatura.
- Repetimos el procedimiento cuantas veces creamos necesario durante el proceso de calentamiento.
- Una vez alcanzada una temperatura de 80-90 °C, desconectamos la placa y dejamos la disolución sobre ella, para que se enfríe lentamente, tomando nuevas muestras a las mismas temperaturas que durante el calentamiento.
- Finalmente, pesamos los tubos de ensayo con disolución, evaporamos a sequedad, los volvemos a pesar con el precipitado seco, los limpiamos y los pesamos otra vez vacíos.

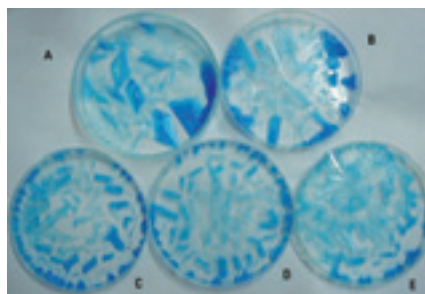


Figura 3. Cristalizadores con "núcleos" de CuSO₄ formados a partir de disoluciones de distinta concentración.

- A partir de los datos obtenidos, calculamos la masa de disolución por diferencia entre las pesadas del tubo con disolución y el mismo tubo vacío y la masa de soluto por diferencia entre las pesadas del tubo con precipitado seco y el mismo tubo vacío. La concentración de la disolución la expresamos como porcentaje de soluto en masa.

$$\text{Concentración} = \left[\frac{(M_{\text{tubo con disolución}} - M_{\text{tubo vacío}}) / (M_{\text{tubo con precipitado seco}} - M_{\text{tubo vacío}})}{1} \right] \cdot 100$$

Ventajas:

- Rapidez: aunque el calentamiento y el enfriamiento se hagan muy lentamente, el tiempo de espera será menor del necesario para alcanzar el equilibrio térmico en la estufa, cuyo volumen es mucho mayor.
- Simplicidad: la manipulación de la disolución se efectúa fuera de la estufa y no es necesario tomar un volumen exacto de muestra.
- Exactitud: las balanzas de laboratorio utilizadas tienen mayor resolución que las pipetas. Además, no nos importa que parte de la disolución se quede en la jeringa por formación de precipitado, ya que sólo nos interesa la contenida en el tubo de ensayo.

Inconvenientes:

- A pesar de la agitación continua, el calentamiento de la disolución no es homogéneo, lo que origina gradientes de temperatura y concentración que han de ser tenidos en cuenta a la hora de tomar la muestra. Esta dificultad se

puede soslayar colocando la jeringa próxima al termómetro.

- En la zona superficial, el enfriamiento producido por la pérdida de calor al aire da lugar a la aparición de una fase sólida formada por cristales de pequeño tamaño, que complican la toma de muestras.

Estudio semicuantitativo de la nucleación

El estudio experimental de la nucleación, habida cuenta de los tamaños de los núcleos, queda totalmente fuera de nuestras posibilidades experimentales, tanto por la sofisticación del material de observación, como por la complejidad de las técnicas de laboratorio.

Para poder continuar la investigación, nos vemos obligados a efectuar una simplificación drástica: vamos a considerar núcleos a los cristales que se forman en una primera cristalización a partir de una disolución saturada a una temperatura dada, independientemente de su tamaño. En realidad, éstos son ya verdaderos cristales macroscópicos, aunque en una fase aún temprana de su crecimiento. Suponemos, como hipótesis de trabajo que requiere una confirmación posterior para la que no estamos capacitados, que la influencia de la temperatura y la concentración de la disolución en el tamaño de los mismos se puede extrapolar a los núcleos verdaderos.

Con esta suposición de partida, el trabajo en esta etapa se puede dividir en dos series de experiencias.

Estudio de la influencia de la concentración en el tamaño de los "núcleos"

1. Tomamos cinco placas de Petri, en cada una de las cuales añadimos las siguientes disoluciones:

- Placa A: 10 cm³ de una disolución saturada a 20 °C de una de las sales + 5 cm³ de agua.
- Placa B: 9 cm³ de una disolución saturada a 20 °C de una de las sales + 6 cm³ de agua.
- Placa C: 8 cm³ de una disolución saturada a 20 °C de una de las sales + 7 cm³ de agua.

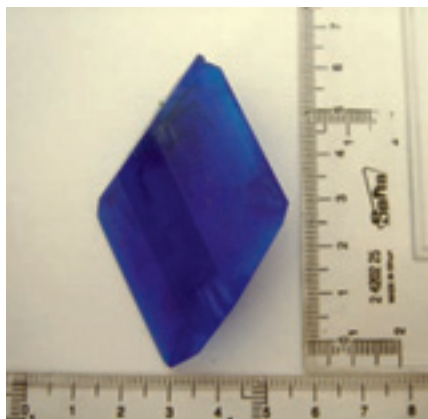


Figura 4. Cristal de CuSO_4 obtenido al cabo de tres meses de crecimiento en una disolución saturada.

- Placa D: 7 cm^3 de una disolución saturada a 20 °C de una de las sales + 8 cm^3 de agua.
 - Placa E: 6 cm^3 de una disolución saturada a 20 °C de una de las sales + 9 cm^3 de agua.
- Colocamos todas las placas en una estufa a 20 °C y evaporamos a sequedad (figura 3).
 - Seleccionamos los cristales de mayor tamaño formados y medimos su dimensión mayor.

Estudio de la influencia de la temperatura en el tamaño de los “núcleos”

- Tomamos 15 cm^3 de una disolución saturada a 20 °C de una de las sales y la vertemos en una placa de Petri.
- La colocamos en una estufa a 20 °C y esperamos hasta que se evapore totalmente el disolvente.
- Seleccionamos los cristales formados de mayor tamaño y medimos su dimensión mayor.
- Repetimos el procedimiento para cada una de las sales.
- Repetimos todo el procedimiento variando sólo la temperatura a la que se lleva a cabo la evaporación a sequedad: 40 °C en la segunda serie de medidas, 60 °C en la tercera y 80 °C en la cuarta. Para todas las experiencias en todas las series de partida es el mismo: disolución saturada a 20 °C.

Estudio cualitativo del crecimiento cristalino

En esta etapa, vamos a utilizar los “núcleos” obtenidos antes como semillas

Tabla 1

Sal	Características de los cristales
CuSO_4	Gran tamaño. Muy regulares.
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	Gran tamaño. Tendencia a formar agregados policristalinos.
NaCl	Agregados policristalinos medianos formados por cristales pequeños.
NaNO_3	Imposibles de obtener debido a la redisolución de los “núcleos”.
Na_2SO_4	Grandes. Poco regulares. Se disgregan al secarse.

para conseguir cristales de gran tamaño. Para ello, el método seguido es muy simple:

- Seleccionamos un “núcleo” de tamaño mediano, forma geométrica lo más regular posible y sin cristales secundarios adheridos.
- Lo sujetamos con un hilo fino, haciendo un nudo o aplicándole un poco de pegamento.
- Introducimos esta semilla en un vaso de precipitados que contiene una disolución saturada a 20 °C de la misma sal y la dejamos reposar a una temperatura constante de 20 °C, procurando que el ambiente esté libre de polvo.
- Periódicamente reponemos la disolución, para que el cristal permanezca totalmente sumergido en ella. Si se forman cristales en el fondo del vaso decantamos a otro recipiente limpio, procurando no arrastrar ninguno. También hemos de raspar los que se formen sobre el hilo.
- Fotografiamos y medimos el cristal en distintos momentos de su crecimiento (figura 4).

Resultados y conclusiones

- El método, nuevo por lo que nosotros sabemos, para obtener la curva de solubilidad de una sal inorgánica es suficientemente exacto, excepto en el caso del Na_2SO_4 .
- Su rapidez, facilidad de ejecución y pocas exigencias de material de laboratorio lo hacen recomendable para aplicarlo en trabajos prácticos, tanto en la educación secundaria como en

los primeros años de estudios universitarios de contenido técnico-científico.

- Durante el proceso de nucleación, el tamaño de los “núcleos” formados depende de la concentración de la disolución inicial y de la temperatura a la que se lleva a cabo el proceso.
- Para las disoluciones de CuSO_4 , NaCl y $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, todas ellas evaporadas a la misma temperatura, cuanto mayor es la concentración inicial mayores son las dimensiones de los “núcleos”.
- Si partimos de disoluciones saturadas a 20 °C, el tamaño de los núcleos de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ y NaNO_3 disminuye al aumentar la temperatura, mientras que el NaCl manifiesta la tendencia contraria.
- La técnica aplicada para el crecimiento produce resultados muy distintos, según la naturaleza de las sales en disolución (tabla 1).
- La cristalización, por lo menos con nuestros medios, tiene tanto de ciencia como de arte. En el proceso influyen tanto las pequeñas variaciones de gran número de factores que siempre resulta imposible predecir el resultado final.

Bibliografía

- Amorós, J. L. (1975). *El cristal*, Ediciones Urania S.A., Barcelona.
- Garrido, J. (1973). *Forma y estructura de los cristales*, Alhambra, Madrid.
- Markov, I. V. (2004). *Crystal growth for beginners*, World Scientific, Nueva York.
- En: www.wikipedia.org
- Mullin, J. W. (1972). *Crystallization*, Butterworths, Londres.

El Centro Tecnológico del Granito

Un centro de referencia en piedra natural

El fomento del I+D+i sectorial, la promoción del conocimiento, el espíritu de cooperación empresarial y la formación de los recursos humanos implicados son las metas generales a cumplir por la Fundación Centro Tecnológico do Granito de Galicia.

TEXTO | Fundación Centro Tecnológico do Granito de Galicia

FOTOS | Fundación Centro Tecnológico do Granito de Galicia, excepto figura 1

Palabras clave

Granito, piedra natural, Porriño, Centro Tecnológico, Galicia

El sector español de las rocas ornamentales ha alcanzado un gran desarrollo en los últimos años, de modo que España se ha convertido en uno de los primeros países productores de granitos.

Actualmente, la competitividad existente en el sector de la piedra natural en general, y del granito en particular, frente al rápido desarrollo de otros países, hacen que la calidad y las garantías del producto, el desarrollo sostenible o el desarrollo tecnológico sean una de las principales herramientas para mantener y mejorar dicha competitividad en el mercado.

La Fundación Centro Tecnológico do Granito de Galicia (FCTGG) es una organización sin ánimo de lucro constituida a comienzos del año 2005 por el sector empresarial del granito a través de sus asociaciones empresariales: Asociación Galega de Graniteiros (AGG), Asociación de Canteiras de Galicia (ACG), Asociación de Fabricantes de Maquinaria para Piedra (GALIMAC) y otras instituciones como la Xunta de Galicia, el Ayuntamiento de O Porriño y la Universidad de Vigo.

Situada en las instalaciones del Centro Tecnológico del Granito (CTG), en O Porriño, Pontevedra, la FCTGG se dedica principalmente a impulsar actividades relacionadas con la innovación y la investigación en el sector productivo del granito; aporta un apoyo al sector granitero mediante el fomento de la investigación científica y el desarrollo tecnológico; promueve e impulsa



Figura 1. Vista aérea de la explotación del granito Rosa Porriño. Autor: Guillermo González (GTI).

el desarrollo sostenible del sector, y contribuye a la internacionalización de las empresas del sector granitero suministrando formación, asistencia y asesoramiento.

El Centro Tecnológico do Granito se sitúa muy próximo a las explotaciones del popular granito Rosa Porriño y, por lo tanto, a todas las empresas que han ido creciendo a su alrededor (figura 1).

La particularidad más destacable de la Fundación (figura 2) es que combina, entre otras actividades, un laboratorio de ensayos de piedra natural, una oficina

de asesoramiento técnico, un departamento de proyectos e I+D+i y un área de medio ambiente y desarrollo sostenible, que actúan complementándose y dando un apoyo total al sector.

Oficina técnica

La oficina técnica del CTG es un servicio de apoyo técnico a profesionales del sector de la arquitectura y construcción, que presta su apoyo ante cualquier tipo de cuestión relacionada con la piedra natural, desde cálculos de piezas, correcta colocación en obra y materiales auxiliares,



Figura 2. Centro Tecnológico do Granito.

normativas al respecto, patologías, controles a realizar, etc.

Laboratorio de piedra natural

Además, la FCTGG dispone de un laboratorio para la realización de ensayos de piedra natural en general (tanto de tipo mecánico, como hídrico, de durabilidad, dimensionales, petrografías...) y, en particular, todos los requeridos para obtener el marcado CE en los productos de piedra natural (figura 3). Se realizan, además, otros ensayos, como los requeridos por el Código Técnico de la Edificación en relación con la determinación del grado de resbalamiento en pavimentos.

El laboratorio, de reciente creación, dispone de los equipos con tecnología puntera y más novedosos del mercado para la realización de los ensayos normalizados (figuras 4 y 5). Al frente del laboratorio de piedra natural del CTG (figura 6) se encuentra Nuria Sánchez, geóloga y directora técnica del mismo.

El laboratorio tiene implantado un Sistema de Gestión de la Calidad, acreditado por ENAC, según la Norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2005. Es por ello que este laboratorio, con 17 ensayos acreditados por ENAC es, en la actualidad, uno de los laboratorios con más ensayos acreditados en piedra natural en España.

El sistema de calidad implantado, junto con el rigor científico y los medios tanto de equipamiento como de personal existentes en el laboratorio, avalan la calidad de los resultados y su aceptación dentro y fuera de nuestras fronteras.

Departamento de proyectos e I+D+i

Actualmente, el CTG dispone de un departamento de I+D+i en donde se desarrollan proyectos de investigación en campos como las nuevas aplicaciones de la piedra natural, formas de colocación, caracterización de la piedra para el marcado CE, aprovechamiento de serrines, etc., impulsados desde equipos de investigación multidisciplinarios que aseguran la calidad del estudio, por lo que se cuenta con el apoyo científico de diferentes grupos de investigación de universidades y otros centros tecnológicos especializados.

Uno de los grandes retos a los que se enfrenta el sector del granito es el tratamiento de grandes cantidades de serrines producidos durante los procesos de elaboración de la piedra. Por este motivo, el Centro Tecnológico está desarrollando en este momento dos proyectos de investigación en esta misma línea, con lo que se contribuirá a minimizar este problema.



Figura 3. Laboratorio: prensas para ensayos de fuerza.



Figura 4. Laboratorio: equipo de desgaste.



Figura 5. Laboratorio: prensa para ensayos de compresión.

En uno de los proyectos se pretende lograr un aprovechamiento industrial de los serrines de granito para la obtención de cerámicas de construcción y de piedra artificial, estudiando además su uso en geohormigones y geotextiles (obtenidos por activación alcalina y posterior fraguado).

Por otro lado, existe otro proyecto que se encuentra en una primera fase de desarrollo, que pretende verificar la viabilidad de la aplicación de estos serrines en terraplenes de obra lineal, mediante modelos a escala próxima a la real en los que se ponga en evidencia su comportamiento tras ser conformados mediante técnicas, herramientas

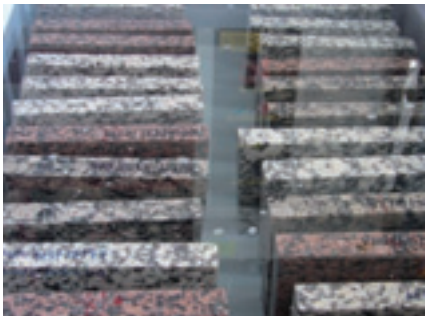


Figura 6. Zona de muestras.

y procedimientos convencionales en ingeniería civil.

Otra línea de investigación recientemente iniciada es la optimización del proceso de corte del granito a partir de su caracterización petrográfica y física (figura 7).

Tanto durante el arranque en cantera como durante el procesado de la piedra, la vida útil de las herramientas de corte y el tiempo empleado son muy importantes en el cálculo de los costes totales de la producción. El rendimiento de los procesos de corte depende tanto de factores propios del corte (disco, velocidad de corte, profundidad, lubricantes...), como de las características petrográficas de la roca (mineralogía, textura, grado de alteración y espacios vacíos). En los últimos años, los fabricantes de herramientas utilizadas en el corte han mejorado sustancialmente estos útiles; no obstante, aún se desconoce exactamente qué parámetros de la roca influyen en el corte y en qué medida.

En este proyecto se pretende llevar a cabo la modelización del comportamiento de los granitos frente al corte con útiles diamantados, intentando establecer un orden de importancia de estos parámetros en su cortabilidad que pueda ser utilizado con fines prácticos en el sector (figura 8).

Museo de los Minerales de Galicia

Este museo, situado actualmente en las instalaciones del CTG, expone una colección de aproximadamente 1.500 minerales que en su mayoría proceden de una colección particular (figura 9). Posee un carácter fundamentalmente



Figura 7. Laboratorio: área de microscopía.



Figura 8. Maquinaria de corte.

didáctico, destacando la calidad y representatividad de sus ejemplares. En él se muestran de manera sencilla y amena la formación, modo de cristalización y utilidad de los minerales, e incluso algunas propiedades particulares de las especies mineralógicas, aspectos suficientemente atractivos para animar a verlo y disfrutarlo.



Figura 9. Museo de los Minerales.

Ingeniería de vertederos

Congreso VERSOS 08: Vertederos y Sostenibilidad

Los días 3 y 4 de noviembre de 2008, con un enorme éxito de participación y gran nivel científico, se celebró en el BEC (Bilbao Exhibition Centre) la primera edición del congreso VERSOS 08: Vertederos y Sostenibilidad. Mejores Tecnologías Disponibles. Fue organizado por la delegación en el País Vasco del Colegio Oficial de Geólogos y patrocinado por diversos organismos públicos y empresas privadas, dentro de las actividades paralelas del certamen "GEO2-Feria del Desarrollo Sostenible".

TEXTO | Guillermo Bernal, Miguel Gómez y Aitor Zulueta. Geólogos

Palabras clave
Vertederos, residuos, sostenibilidad, medio ambiente

Este congreso se presentó como una oportunidad para intercambiar las últimas experiencias en cuanto a las MTD (Mejores Tecnologías Disponibles) aplicadas a vertederos controlados, fomentando los aspectos prácticos de las mismas, en un enfoque aplicado que interese a las empresas del sector, a la Administración y otros agentes implicados.

Si bien la opinión pública tiende a relacionar los vertederos con prácticas en desuso sobre gestión de residuos, ésta sigue siendo la infraestructura de más amplia utilización a nivel mundial y con los mayores niveles de protección del medio circundante. La sostenibilidad, que será una realidad sólo cuando la convirtamos en negocio, requiere obligatoriamente de la existencia de vertederos tecnificados, que cubran las carencias de infraestructuras de mayor brillo mediático, pero a menudo de pobres resultados.

VERSOS 08 (*figura 1*) ha supuesto la primera edición de un congreso que, con una frecuencia bianual, está llamado a constituirse, según los miembros del comité organizador, en un referente a nivel estatal entre los certámenes cuya temática sea la tecnología e ingeniería de vertederos, o la geotecnología ambiental en un sentido más amplio.

El congreso ha estado centrado en las MTD en el ámbito del diseño y construcción de vertederos, temática de gran oportunidad debido a la reciente



Figura 1. Portada del tríptico del congreso.

finalización del proceso de obtención de las Autorizaciones Ambientales Integradas de acuerdo con la Ley IPPC.

El número de asistentes totales a las dos jornadas, en las que se combinaron las ponencias con las visitas a obras en ejecución, ha estado en torno a las 160 personas, siendo significativa la presencia de asistentes de 14 comunidades autónomas del Estado español, además de algunos asistentes de Uruguay, Venezuela y Colombia.

Inauguración

El acto de inauguración (*figura 2*) fue presidido por Dña. Begoña Iriarte, directora de Calidad Ambiental del Gobierno Vasco, que explicó a los asistentes las principales actuaciones realizadas por su departamento en materia de residuos. En representación de la Diputación Foral de Bizkaia tomó la palabra Mikel Huizi, director gerente de Garbiker, empresa pública dependiente del Departamento de Medio Ambiente, encargada de realizar múltiples actividades sobre reciclaje y gestión final de residuos en el ámbito de Bizkaia. El acto de inauguración lo cerró Miguel Gómez, presidente de la Delegación en el País Vasco del Colegio Oficial de Geólogos y miembro del comité organizador de VERSOS 08, que incidió en el importante papel desarrollado por los geólogos en este campo, donde son uno de los colectivos profesionales con mayor presencia.

Ponencias

Las ponencias fueron presentadas a lo largo de dos intensos días. En el primero, y tras el acto de inauguración y la presentación realizada por Aitor Zulueta, coordinador científico del congreso (*figura 3*), se procedió a la primera sesión (*figura 4*), en la que participaron cinco ponentes.

Primera sesión de ponencias

En la primera ponencia, Ainhoa Mintegi, de la Dirección de Calidad Ambiental del



Figura 2. Inauguración del congreso. De izquierda a derecha: el vicepresidente primero del ICOG, José Luis Barrera, el director gerente de Garbiker-Diputación Foral de Bizkaia, Mikel Huizi, la directora de Calidad Ambiental del Gobierno Vasco, Begoña Iriarte, y el presidente del ICOG-País Vasco, Miguel Gómez.

Gobierno Vasco, presentó el borrador del proyecto de nuevo Decreto sobre vertederos y rellenos del País Vasco, legislación autonómica más restrictiva que el RD 1481/2001, de aplicación común a todo el Estado.

En la segunda, Daniel Castro, del Laboratorio de Geosintéticos de la Universidad de Cantabria, expuso con mucha claridad la normativa y legislación aplicable a geosintéticos utilizados en actividades de gestión de residuos.

A continuación, Miguel Sánchez, también de la Universidad de Cantabria, presentó los resultados de un trabajo de investigación en relación a la evaluación de la calidad del sustrato y macizo rocoso en un emplazamiento de vertedero utilizando ensayos de permeabilidad tipo Lugeon.

En la cuarta, Carlos Luengo, de la Dirección de Calidad Ambiental del Gobierno Vasco, puso de relieve, acompañado de múltiples casos reales, la problemática existente a la hora de calcular el drenaje y la estabilidad de las capas de sellado de vertederos.

Para finalizar la sesión, Guillermo Bernal, de Lurgintza Ingeniería Geológica, S.L., habló sobre la gestión de materiales en el diseño y construcción de vertederos.

Segunda sesión de ponencias

La segunda sesión, celebrada en horario de tarde, contó con seis ponencias. En la primera, Javier Moreno, de Terratest Medioambiente, S.L., disertó sobre los vertederos de última generación.

En la segunda, Pedro Abad, de IGS-International Geosynthetic Society, explicó los criterios utilizados para el cálculo, dimensionamiento y selección de geosintéticos en sistemas de impermeabilización de vertederos.

En la tercera, Alfonso García de Cortázar, de Terra Nova, expuso un caso práctico sobre la aplicación de procedimientos de control de calidad de obra a la construcción de sistemas de impermeabilización, para lo cual se sirvió de un más que interesante vídeo.

En la cuarta, y tras una ronda abierta de preguntas, Ramón Sans, de la Universidad



Figura 3. Presentación del congreso por parte de Aitor Zulueta, supervisor científico de VERSOS.

Politécnica de Cataluña, presentó los resultados de un proyecto de investigación relativo al tratamiento del rechazo de los residuos municipales embalados.

A continuación, Enrique Gómez de Priego, de Teconma, S.A., expuso los criterios a tener en cuenta a la hora de realizar cimentaciones sobre vertederos mediante la utilización de geomallas.

Por último, Iñaki Antigüedad y Estilita Ruiz, de la Universidad del País Vasco, presentaron los resultados del control hidrológico e hidrogeológico tras la clausura en dos vertederos clausurados de acuerdo con la Directiva 1999/31/CEE a lo largo de los últimos dos años.

Tercera sesión de ponencias

La tercera sesión, celebrada el martes 4 de noviembre por la mañana, contó con cinco ponencias. En la primera, José Luis García, de Wehrle Medioambiente, realizó un repaso por las diferentes tecnologías aplicables para el tratamiento integral de los lixiviados.

Posteriormente, Enrique Roca, de SIDASA Medio Ambiente, se centró en la tecnología de la evaporación para el tratamiento de lixiviados en vertederos de residuos no peligrosos.

En la tercera ponencia, Virginia Ormaetxea, de Harrilur, puso de relieve la problemática generada por las rocas ácido-sulfatadas depositadas en rellenos y vertederos.

Después de una ronda abierta de preguntas y un posterior descanso, Mikel Garay, de CIMAS, y José Ignacio Mendoza, de Ekisolar, presentaron la Iniciativa Itzulbide, promovida por ACLIMA (cluster de empresas de medio ambiente del País Vasco), que tiene como objetivo el aprovechamiento de los vertederos clausurados para la generación de energía mediante módulos solares fotovoltaicos.

Para finalizar las sesiones de ponencias, Carlos Heví, de Calcinor, disertó sobre la aplicación de mezclas con hidrato de cal para el sellado de vertederos.



Figura 4. Primera jornada de ponencias.

Acto de clausura

El acto de clausura lo inició Miguel Gómez, presidente de la Delegación en el País Vasco del Colegio Oficial de Geólogos, que agradeció a todos los presentes su asistencia y anunció la intención del comité organizador de organizar dentro de dos años VERSOS 10. Por último, se dirigió a los presentes el vicepresidente del Colegio Oficial de Geólogos de España, José Luis Barrera, que en su breve pero interesante intervención felicitó a los organizadores y remarcó la trascendencia de la Directiva europea de servicios, de próxima entrada en vigor.

Visitas técnicas

Como nota importante de VERSOS 08, deben destacarse las salidas prácticas organizadas a dos vertederos en fase de construcción que han obtenido Autorización Ambiental Integrada de acuerdo con la Ley IPPC. Estas visitas técnicas tuvieron una gran aceptación entre los inscritos, asistiendo a las mismas unas 80 personas.

En primer lugar, se visitó el vertedero de RI y RNP de Igorre (figuras 5 y 6), donde se revisaron las instalaciones, los procedimientos constructivos y las MTD implementadas. Se hizo hincapié en la problemática generada debida a la orografía inicial del valle donde se ubica esta instalación, caracterizada por sus fuertes pendientes.

Posteriormente, se visitó el vertedero de RNP de Iruatxeta, en el término municipal de Mallabia, Bizkaia. Esta nueva instalación constituye un magnífico ejemplo de cómo gestionar 160.000 m³ de materiales excedentarios durante el proceso de construcción de un nuevo vaso de vertido. El proyecto fue sometido a criterios de AAI, e incorpora a la instalación un relleno autorizado de tierras y un muro verde de 22 m de altura que asegura la estabilidad del antiguo vertedero de residuos inertes sobre el que se apoya.

Hacia VERSOS 10

El proyecto VERSOS continúa. Nuestra propuesta es abrir el conocimiento acumulado a todos los geólogos y técnicos interesados en el ámbito de la ingeniería de vertederos.



Figura 5. Visita técnica al vertedero de RI y RNP de Igorre.

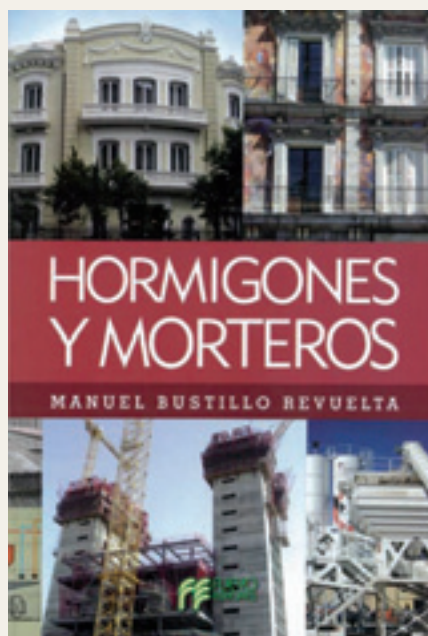
De esta manera, ya está en fase de construcción el sitio web de VERSOS, que nace con vocación de constituirse en referente de las Mejores Tecnologías Disponibles en el ámbito de la ingeniería de vertederos.

Este sitio será un foro vivo y permanentemente actualizado con artículos técnicos y científicos, enlaces con las MTD, hojas y métodos de cálculo, intercambios/foros de opinión, certámenes, eventos y novedades de mercado.

El éxito obtenido da solución de continuidad hacia VERSOS 10, certamen para el cual los organizadores se han puesto como objetivos conseguir una pluralidad disciplinar aún mayor, tanto en ponentes como en asistentes, la internacionalización del certamen y un posible incremento de dos a tres jornadas de trabajo, para lo cual se buscará un formato participativo que aumente, si cabe, el número de asistentes.



Figura 6. Visita técnica al vertedero de RI y RNP de Igorre. Al fondo, con trajes grises, Guillermo Bernal, con micrófono en mano, y Miguel Gómez, a su izquierda, explican las características del vertedero.



Manuel Bustillo Revuelta

Fueyo Editores, Madrid

Año 2008 - 721 páginas

ISBN: 978-84-935279-1-4

Hormigones y morteros

Dada la importancia que tienen los sectores de la obra pública y de la edificación en nuestro país, es necesaria la aparición de libros, como éste de *Hormigones y morteros*, que traten este tipo de materiales de construcción con la seriedad que se merecen y profundicen en los aspectos técnicos de los mismos, sin descuidar otros puntos de vista, como son los económicos, los medioambientales o los de calidad, que van inevitablemente asociados a los primeros.

El uso de hormigón preparado y morteros ha tenido un crecimiento espectacular en las últimas décadas, como consecuencia del desarrollo de los dos sectores citados. Basta decir que en el caso del hormigón preparado el consumo superó recientemente los 100 millones de metros cúbicos, a través de más de 600 empresas y unas 2.300 centrales de producción repartidas por todo el territorio nacional. Si bien estas magnitudes son espectaculares, no lo es menos la evolución en cuanto a requisitos técnicos y de calidad que se demandan a estos productos.

En esta obra se combinan de manera magistral la descripción de los diferentes tipos de hormigones y morteros, los procesos productivos y la maquinaria y equipos empleados, las aplicaciones de los diversos productos, la normativa vigente y todos los aspectos relacionados con la garantía del producto y la certificación de calidad de los mismos. El autor no sólo ha estructurado magníficamente el contenido del texto, sino que lo expone de una manera sencilla y muy didáctica, lo que facilita la lectura y comprensión de los temas que se abordan.

Esta publicación aparece en un momento oportuno, por cuanto los cambios normativos y la propia innovación tecnológica abren el espectro de aplicaciones de estos materiales sobre las ya tradicionales. Sirva de muestra la reciente aplicación del Código Técnico de la Edificación, la utilización de hormigón preparado en la construcción de autopistas, etc.

Deseamos que este nuevo libro, que ve ahora la luz, facilite el acercamiento a estos materiales de construcción y sus numerosos usos por parte de los estudiantes, profesionales noveles e incluso consagrados.

Carlos López Jimeno

Director General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid

La cuenta **más despierta** para su bolsillo

BS Cuenta Profesional

BS Cuenta Profesional es una cuenta personal o profesional, sin ningún tipo de comisiones ni gastos de administración ⁽¹⁾, que le permitirá gestionar su economía y acceder a un conjunto de productos y servicios en condiciones preferentes, sólo por pertenecer al Ilustre Colegio Oficial de Geólogos.



0 euros

- Comisión de mantenimiento⁽¹⁾
- Comisión de administración⁽¹⁾
- Comisión por ingreso de cheque
- Comisión por emisión de tarjeta Visa Classic

SabadellAtlántico le dejará un buen sabor de boca

Llévese esta exprimidor Kenwood de regalo⁽²⁾ al hacerse cliente de SabadellAtlántico

Regalo exclusivo para nuevos clientes.



Infórmese en cualquier oficina **SabadellAtlántico** llamando al **902 323 555** o bien en **sabadellatlantico.com**

⁽¹⁾ Excepto cuentas inoperantes en un período igual o superior a un año y con un saldo igual o inferior a 150 euros.

⁽²⁾ Promoción válida hasta finalizar existencias (500 unidades) por la apertura de una BS Cuenta Profesional con un saldo mínimo de 300 euros.

Normas de publicación

Principios generales

- Los artículos deberán ser originales, estar escritos en castellano y no estar publicados en ninguna otra revista.
- El comité editorial revisará los manuscritos y decidirá su publicación o devolución.

Texto

- Se entregará en un archivo Word, en cualquier tipo y tamaño de letra.
- Para calcular la extensión se informa de que 600 palabras son una página editada de la revista.
- Todas las ilustraciones (mapas, esquemas, fotos o figuras) y tablas serán referenciadas en el texto como (figura...) o (tabla...).
- Las referencias bibliográficas dentro del texto se harán siempre en minúscula.

Tablas

Toda información tabulada será denominada "tabla" y nunca "cuadro".

Figuras

- Todas las ilustraciones se considerarán figuras.
- Las figuras se reseñarán dentro del texto como (figura...).
- Es recomendable una o dos figuras por cada 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 del título por un punto.

Los titulares de artículos no se pondrán entre comillas ni en cursiva. Los nombres de las revistas y los títulos de libros se pondrán en cursiva.

Envío

Los manuscritos se remitirán por correo en un CD con una copia en papel, tanto del texto como de las ilustraciones, a la redacción de la revista *Tierra & Tecnología*, Colegio Oficial de Geólogos: C/ Raquel Meller, 7, 28027 Madrid. Tel.: + 34 915 532 403

Separatas y originales

Los autores recibirán un PDF 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 • Jornadas técnicas •
Tertulias • Revista Tierra y tecnología**

www.icog.es



BARCELONA BILBAO MADRID OVIEDO ZARAGOZA

icog@icog.es - + 34 915 532 403

Es miembro de:

Federación Europea de Geólogos • Unión Profesional • Unión Interprofesional de Madrid •
Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra • Confederación Empresarial de Madrid



ICOG