

Cena de Navidad con la ministra de Vivienda **Carme Chacón**

El pasado 12 de diciembre, el ICOG celebró su tradicional cena de Navidad en Madrid, en el restaurante Pedro Larumbe. Asistieron un total de 150 personas entre colegiados e invitados, llenando totalmente el salón.

TEXTO | José Luis Barrera, geólogo, vicepresidente primero del ICOG

FOTOS | Torres & Gómez, S.L.

Este año, el ICOG había invitado como personaje principal al presidente del Gobierno, José Luis Rodríguez Zapatero, con motivo de su distinción como Geólogo Honorífico. Hasta pocos días antes de la cena, su gabinete intentó atender la solicitud del Colegio pero, al final, fue imposible encontrar el hueco en la agenda. Nos consta que al presidente le hubiera gustado acudir personalmente a recibir la distinción, pero no pudo ser por lo que acudió en su representación la ministra de Vivienda, Carme Chacón, por tener su ministerio una relación muy estrecha con el ICOG. El gabinete también nos anunció que la ministra sólo se quedaría al cóctel y a los preámbulos de la cena (discursos y entrega de distinciones y títulos profesionales).

Carme Chacón se presentó puntual en el restaurante, acompañada por su jefe de Gabinete, Luis Arroyo, el secretario general, Javier Ramos, y el director general de Arquitectura, Rafael Pacheco. Estos dos últimos altos cargos ya estuvieron en la cena de Navidad de 2004, cuando asistió la entonces ministra de Vivienda, María Antonia Trujillo. Luis Suárez, presidente del Colegio, le dio la bienvenida (*figura 1*), y le presentó a los miembros de la Junta de Gobierno y Consejos de Gobierno. La ministra comunicó que venía gustosa representando al presidente de Gobierno pero que, muy a su



Figura 1. El presidente del Colegio dialogando con la ministra. En medio, el director general de Arquitectura, Rafael Pacheco.



Figura 2. El rector de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo, Salvador Ordóñez, conversando con la ministra.



Figura 3. Carme Chacón firmando en el Libro de Honor.



Figura 4. El moderador, José Luis Barrera, presentando la cena.

Durante el cóctel los asistentes pudieron saludar y departir con la ministra que, muy atentamente, atendió todas las solicitudes

pesar, no podía quedarse a la cena, pues cuando le avisó la Secretaría de Presidencia, no pudo modificar sus compromisos. En cualquier caso, se comprometió con el Colegio a asistir a otro evento que requiriera su presencia. Seguidamente, se pasó a servir el cóctel, durante el cual los asistentes pudieron saludar y departir con la ministra que, muy atentamente, atendió todas las solicitudes (figura 2).

Concluido el cóctel, los invitados pasaron al comedor donde, una vez sentados los asistentes, la ministra firmo en el Libro de Honor (figura 3). A continuación, ya en presencia de la ministra, el moderador, José Luis Barrera (figura 4), presentó el acto



Figura 5. La ministra recibiendo de manos del presidente del Colegio la distinción a José Luis Rodríguez Zapatero.

Terminado el discurso del presidente, Barrera presentó a la ministra con su habitual y peculiar exposición



Figura 6. La ministra entregando la distinción a César Casero.

y, para comenzar, dio la palabra al presidente del Colegio, Luis E. Suárez, que sorprendió a todos con su saludo en castellano y catalán. La ministra, esbozando una sonrisa, alzó las cejas como expresión de sorpresa y agradecimiento por la deferencia de utilizar el catalán en el discurso. Suárez destacó, entre otros temas, que los geólogos españoles concebimos nuestra misión como la geología de los ciudadanos, lema colegial que impulsa nuestra estrategia de actuación. Seguidamente señaló las actividades principales que desarrollan y las últimas colaboraciones con el Ministerio de Vivienda: el CTE, la Ley del Suelo, etc. También comentó los logros alcanzados por la ONG Geólogos del Mundo, enumerando los proyectos solidarios en los que interviene.

Terminado el discurso del presidente, Barrera presentó a la ministra con su habitual y peculiar exposición. Comenzó diciendo que no era la primera vez que teníamos con nosotros a una ministra de Vivienda, pues en la

Navidad de 2004 asistió como invitada M^a Antonia Trujillo. Se refirió a los datos personales de Chacón diciendo

que nació en Espulgas de Llobregat (Barcelona), el mismo año que le dieron el Premio Nóbel a Pablo Neruda o el año que Joan Manuel Serrat (cantante admirado por la ministra) editó su famoso álbum *Mediterráneo*. Carme Chacón estudió la licenciatura de Derecho en la Universidad de Barcelona, ampliando estudios de postgrado, muchos de ellos con beca, en Friburgo, Ottawa, Toronto y Montreal. Se doctoró en la Universidad de Barcelona y, en la actualidad, es profesora de Derecho Constitucional en la Universidad de Gerona. De su carrera política, Barrera destacó que Carme Chacón se afilió a las



Figura 7. La ministra entregando la distinción a Alberto Barcenilla.



Figura 8. La ministra entregando la distinción a Luis Fernández Muñoz.

Barrera comentó que los periodistas del Congreso le habían concedido el premio al “Parlamentario más activo” y que era uno de los rostros más populares del Congreso

Juventudes Socialistas del PSC en 1989, e ingresó en el PSC en 1994. Ha crecido políticamente a la sombra del primer secretario general del PSC-PSOE, José Montilla (actual presidente de la Generalitat), ocupando los siguientes cargos públicos: 1999-2003, concejala del Ayuntamiento de Esplugues de Llobregat y primer teniente de alcalde de Servicios Económicos, Recursos Humanos y Seguridad Ciudadana; en el año 2000 fue diputada por Barcelona (vocal de la Diputación Permanente y de la Comisión de Educación, Cultura y Deporte); también ese mismo año fue elegida miembro de la Comisión Ejecutiva Nacional del PSC-PSOE como secretaria de la Comisión de Educación, Cultura e Investigación; en el año 2004 repite como diputada y es nombrada vicepresidenta del Congreso de los Diputados desde el comienzo de la legislatura; por último, en el año 2007 es nombrada ministra de Vivienda en sustitución de María Antonia Trujillo.

Entre otros datos personales, fuera de las biografías oficiales, Barrera comentó que los periodistas del Congreso la habían concedido el premio al “Parlamentario más activo” y que era uno de los rostros —y sonrisas— más populares del Congreso. De su perfil personal dijo que era frenética en su trabajo y poeta en la intimidad, devota de Pedro Salinas. Escribir poesía es una de sus grandes aficiones y durante su adolescencia llegó a reportarle ciertos éxitos: ganó todos los certámenes poéticos del instituto. Se siente una catalana en



Figura 9. La ministra entregando el título a Roberto Lechosa.

Madrid que echa de menos el olor a mar. Hija de padre andaluz (arquitecto) y madre catalana (abogada), Chacón se considera un puro mestizaje. Con estos datos, Barrera le dedicó, como colofón a su presentación, un soneto, más un quinteto de rima libre, en homenaje a su vocación poética.

Nadie sabe por qué nuestra invitada
es mujer de frenético trabajo
cuando todos sabemos por lo bajo
que gusta de la paz de la alborada

Catalana de puro mestizaje
en Madrid la sal del mar evoca
mientras poemas salen de su boca
y en Salinas encuentra maridaje

Si a su rigor se añade la dureza
no es de extrañar que la obsesión la embargue
aunque lleva bien puesta la cabeza

Mas seguro, no hay nada que la amargue
en esta cena llena de nobleza
que deseamos no la sobrecargue

Y aunque el soneto en sí ya se ha acabado
y tan sólo haya sido un mal intento
añadiré a modo de pequeño prólogo
que dureza y salinas
también son patrimonio de geólogos

Almudena García-Orea

Terminada la presentación, Barrera dio la palabra a la ministra que, entre otras cosas, agradeció al Colegio la invitación a la cena y se excusó por no poder quedarse a la misma.

La entrega de distinciones y Títulos Profesionales

Concluido el discurso de la ministra, se pasó a entregar las distinciones que el ICOG ha concedido en el año 2007. El secretario del Colegio, Manuel Regueiro, leyó el acta de concesión de cada una de ellas, correspondiente a la sesión de la Asamblea General del 14 de abril de 2007, y fue llamando a los distinguidos. La entrega la hizo la ministra. La relación de distinguidos y clase de distinción es:

- **José Luis Rodríguez Zapatero,**
Geólogo Honorífico por su apoyo y contribución con la comunidad geológica al servicio de los



Figura 10. La ministra entregando el título a Rafael Varea.



Figura 11. La ministra entregando el título a Santiago González.

ciudadanos en materias relacionadas con el Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Estudios Geotécnicos.

En su nombre, recogió la distinción la ministra de Vivienda, Carme Chacón (figura 5).



Figura 12. El presidente entregando el título a Jesús Martínez Frías.



Figura 13. La mesa presidencial. De izquierda a derecha, José Pedro Calvo (de espaldas), José Luis Barrera, Javier Ramos, Luis Suárez, Rafael Pacheco, Salvador Ordóñez, Roberto Rodríguez y Eumenio Ancochea.

Al igual que en la entrega anterior, también fue la ministra la que personalmente entregó los títulos a los interesados

Por último, se entregaron los Títulos Profesionales. La presentación de los mismos la hizo, en su calidad de presidenta de la Comisión de Títulos Profesionales del ICOG, Cristina Sapalski. Al igual que en la entrega anterior, también fue la ministra la que personalmente entregó los títulos a los interesados. La relación de los nuevos titulados es:

Geólogo Especialista: Santiago González Nistal (especialista en Recursos Minerales); Lluís Boixet Martí (especialista en Recursos Minerales); Roberto Lechosa Estrada (especialista en Recursos Minerales y en Ingeniería Geológica) (figura 9), y Rafael Varea Nieto (especialista en Recursos Minerales) (figura 10).

Geólogos Europeos: Santiago González Nistal (figura 11); Lluís Boixet Martí, José Malavé Mora, Rafael Varea Nieto y Jesús Martínez Frías (figura 12).

Terminada la entrega de distinciones y títulos, el presidente del Colegio acompañó a la ministra por las mesas, presentándola a colegiados e invitados. Posteriormente, junto a su jefe de Gabinete, Carme Chacón se despidió de los miembros de la Junta de Gobierno y se marchó. En la mesa presidencial, y como representantes del Ministerio de Vivienda, estuvieron el secretario general del ministerio, Javier Ramos, y el director general de Arquitectura, Rafael Pacheco (figura 13).

Al acabar la cena, un mago amenizó la velada durante la sobremesa.

- **César Casero Fernández**, Insignia de Oro por su larga y meritoria labor como presidente de la Delegación en Asturias, desde su inicio en 1986 hasta marzo de 2007 (figura 6).
- **Alberto Barcenilla Rueda**, Insignia de Oro por su contribución a la creación de la delegación del ICOG en el País Vasco y su organización durante los primeros años (figura 7).
- **Luis Fernández Muñoz**, Insignia de Oro por su larga y meritoria labor como tesorero de la Delegación en Asturias desde su inicio en 1986 hasta marzo de 2007 (figura 8).
- **Jaume Matas**, Insignia de Oro por su apoyo al desarrollo de la geología española. No pudo recoger la distinción por encontrarse fuera de España.

Discurso del presidente del ICOG, Luis Eugenio Suárez Ordóñez

Buenas noches / *Bona nit.*

Sra. ministra de Vivienda, *benvinguda a la trobada dels geòlegs* / bienvenida a la fiesta de los geólogos.

Autoridades y personalidades. Miembros de la Junta de Gobierno, Consejos de Gobierno de las Delegaciones y del Consejo Consultivo. Invitados y colegiados.

Como todos los años, los geólogos españoles y nuestros invitados nos reunimos para celebrar el tradicional coloquio-cena con un alto responsable de la Administración. Es un honor contar este año con la presencia de D^a Carme Chacón, ministra de Vivienda, 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 seis años, tuve la ocasión de presentar a José Luis Rodríguez Zapatero una propuesta transformadora de los colegios profesionales, que si se lleva a cabo con un uso eficaz del tiempo político, puede convertirse en una realidad. En aquella cena, el actual presidente del Gobierno cumplimentaba la hoja de ruta del desarrollo constitucional de los colegios profesionales. En su discurso nos transmitía que "la sociedad española debe reconocer a los colegios profesionales como ha ocurrido con los empresarios. Para ello, han de impulsar una mayor actitud de compromiso social, pues son un pilar básico de la vertebración social".

Creo que los colegios profesionales debemos hacer autocrítica. Ha llegado el momento de que los Colegios abandonemos trasnochados manuales corporativos 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, los geólogos españoles, concebimos nuestra misión como la geología de los ciudadanos, lema colegial que impulsa nuestra estrategia de actuación. Para impulsar la geología de los ciudadanos, el Colegio de Geólogos ha gestionado el visado *on line* para la mejora y el control 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. Se protege a la ciudadanía, articulado un seguro de responsabilidad civil profesional



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

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: 2000 de Gestión de Calidad, para mejorar nuestros servicios a los ciudadanos.

La geología al servicio de los ciudadanos se plasma en que los planes de estudios deberán, en todo caso, diseñarse de forma que permitan obtener las competencias necesarias para ejercer la profesión regulada de geólogo y que a tales efectos la universidad justificará la adecuación del plan de estudios a dichas condiciones, según lo tipificado por el Real Decreto de Ordenación de las Enseñanzas Universitarias Oficiales.

Hemos instaurado 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, por medio de la plataforma digital de la Escuela de Geología Profesional. 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 servicio de Desarrollo Profesional y Bolsa de Empleo *on line* como instrumento formal para que hoy haya pleno empleo en el colectivo de geólogos (la tasa de paro es sólo del 3,28%, 105 de 3.202 colegiados), no pudiendo cubrir, en ocasiones, las ofertas de empleo que llegan al Colegio.

Estamos cooperando con el Ministerio de Medio Ambiente mediante la elaboración de los informes geotécnicos independientes de las presas hidráulicas de Itoiz (año 2006), Yesa y Siles.

En próximas fechas, el ICOG firmará un convenio de colaboración con la Asociación de Ayuntamientos de Cuencas Mineras del Carbón (ACOM), para la realización de centros interpretativos e itinerarios geológicos.

Pero todo no va a ser profesión. También en el Colegio de Geólogos nos preocupamos y ocupamos por la cooperación internacional, por lo que hace siete años creamos la ONG Geólogos del Mundo, abierta a todos los ciudadanos. Tengo que expresar la satisfacción por la gestión de la ONG, que en este año ha realizado siete proyectos de abastecimientos de agua en Burkina-Faso, Malí, Honduras, El Salvador y Ecuador, y cuatro proyectos de prevención de riesgos geológicos en El Salvador y Nicaragua, por lo que se ha puesto a disposición del Gobierno de España en el proyecto de plataforma permanente de cooperación en desastres naturales en Panamá. Tengo que reconocer que la sensibilidad del Ministerio de Vivienda en esta acción humanitaria, dado que en mayo pasado ha firmado con la ONG Geólogos del Mundo el *Convenio Marco de Colaboración para actuaciones conjuntas en materia de arquitectura y vivienda*, fruto del cual se está gestionando el primer proyecto sobre "Elaboración de mapas geotécnicos para ordenación territorial. Aplicación a las zonas de proyección urbanística del área metropolitana de San Salvador".

Cuando un ciudadano tiene un problema geológico (se ha agrietado su edificio, sufre restricciones en el abastecimiento de aguas, padece desastres por inundaciones, tiene problemas de contaminación de suelos, se hundan las infraestructuras públicas, etc.) no tiene mecanismos de defensa, dado que la actuación de los geólogos, en estos casos, es una actuación curativa, a posteriori, si me apuran, explicativa del problema.

Por ello, demandamos a los poderes públicos, en beneficio de los ciudadanos, que las políticas, programas y planes de actuación cambien la geología curativa, "tipo bombero", donde se nos solicita que expliquemos y solucionemos problemas que ya no tienen solución, o la tiene a un coste económico, medioambiental y social excesivo, por una geología preventiva, silenciosa, eficiente mediante estudios geológicos, geotécnicos y de riesgos naturales adecuados para el desarrollo de los proyectos constructivos y la investigación de los recursos naturales.

Nuestra aportación a la ciudadanía para la solvente, eficiente y eficaz construcción a las obras de infraestructuras públicas se basa en las siguientes directrices de actuación:

1. Reforma de los pliegos de condiciones técnicas de contratación de estudios geotécnicos y proyectos constructivos para incrementar sustancialmente la calidad y la exigencia de responsabilidad civil asociada a las obras.
2. Separación de los estudios geotécnicos y los proyectos de ejecución de obras de infraestructuras, con evaluación de empresas contratistas, para que los estudios geotécnicos no sean una subcontrata de los proyectos constructivos.
3. Destinar un porcentaje de la inversión en construcción a estudios geotécnicos y proyectos de ejecución, en función de las complejidades del terreno y de las dificultades de la ejecución de los proyectos.
4. Contratar en todo proyecto de infraestructuras de grandes túneles, viaductos, con problemas de colapsos por hundimientos, la supervisión de los mismos por el Instituto Geológico y Minero de España o por algún instituto geológico autonómico, como el Instituto Geológico de Cataluña.
5. A estas medidas de gestión geológica deberían implementarse otras medidas estructurales de gestión, relativas a contratación de proyectos y obras, evaluación de proyectistas y de contratistas, análisis coste-beneficio de obras, análisis de sobrecostes sobre proyectos, plazos de ejecución, etcétera.

Asimismo, sería prudente evaluar la viabilidad política de un Pacto de Estado de Infraestructuras para la próxima legislatura para mejorar los graves problemas de las infraestructuras en las anteriores legislaturas.

Estas humildes propuestas están recogidas en el documento *Aportaciones de los geólogos para la modernización de la Administración en la próxima legislatura*, elaborado por el Colegio, que vamos a remitir a los partidos políticos para que estudien su integración en los programas electorales. No sólo aportamos ideas, sino que impulsamos plataformas ciudadanas que apoyen el urbanismo y la movilidad sostenible.

El Colegio siempre explica sus propuestas en clave ciudadana, en que benefician las mismas a los ciudadanos. Nosotros nunca pedimos competencias exclusivas, es más, hemos renunciado a ellas en nuestros estatutos. Sabéis que los geólogos no tenemos cuerpo, pero tenemos espíritu, espíritu ciudadano, y alma geológica.

Somos conscientes de la voluntad transformadora del Gobierno, aunque la empresa será ardua. Apoyamos la puesta en marcha de los cambios estructurales y organizativos necesarios en la Administración, aunque, como decía el politólogo irlandés Philip Petit: "La política es el arte más importante y el más difícil".

Tengo que reconocer que el diálogo con el Ministerio de Vivienda durante esta legislatura ha sido franco y constructivo, con una vocación de sus responsables de escuchar permanentemente a la otra parte, por lo que en buena medida nuestras propuestas han sido asumidas en beneficio de los ciudadanos.

Para ello, necesitamos nuevos impulsos en la Junta de Gobierno, por lo que demandamos la participación en las próximas elecciones del ICOG en abril de dos colectivos muy importantes: los jóvenes y las geólogas. Demandamos y esperamos vuestro impulso para los próximos años.

Tengo que agradecer al Ministerio de Vivienda la asunción de las propuestas del ICOG en relación la capítulo Estudio Geotécnico del CTE, de importancia capital para los ciudadanos, pues no en vano un tercio de los siniestros de las viviendas ocurren, hasta ahora, por carencia o insuficiencia de estudios geotécnicos de los terrenos. En el futuro, la siniestralidad de los edificios se minimizará al asegurarse la calidad de los trabajos y se incrementará la protección de los usuarios al exigir la realización de los estudios geotécnicos por un técnico competente (ingeniero, arquitecto, geólogo), los colegios profesionales serán responsables de hacer cumplir las cláusulas del estudio geotécnico previstas en el Código y, en el caso del Colegio de Geólogos, el ciudadano estaría protegido por un seguro de responsabilidad civil, con una indemnización desde 300.000 euros.

Asimismo, con el objetivo de impulsar una aplicación efectiva y excelente del Código Técnico de la Edificación, el ICOG ha organizado diez y siete cursos, jornadas, seminarios de formación de técnicos en materia de estudios geotécnicos, cimentaciones y acreditación de laboratorios.

Con toda seguridad, el trabajo más importante sobre evaluación de riesgos naturales (terremotos, tsunamis, volcanes, inundaciones, deslizamientos del terreno, erosión del suelo, erosión costera, suelos expansivos, subsidencias, etc.) es el titulado *Impacto económico y social de los riesgos geológicos en España*, realizado por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) en 1987, donde se evalúan las posibles pérdidas económicas en el horizonte 1986-2016. Así, para la hipótesis de riesgo medio, las pérdidas estimadas de riesgos geológicos para 2007 son de 2.800 millones de euros, siendo las relativas a inundaciones de 1.570 millones de euros (57%). Si desplegaran las medidas de mitigación se produciría una disminución de pérdidas de 2.800 millones de euros a 1.200 millones. Para la hipótesis de riesgo medio se ha estimado que los fallecidos serán 30 al año. El coste por persona puede oscilar entre 155 y 240 euros anuales, lo que supone que la repercusión de los riesgos geológicos en España sobre su economía representa más del 0,5% del PIB (año 2007).

Ante esta coyuntura, no era asumible que los responsables políticos pudieran seguir declarando que las "fuerzas de la

naturaleza" son imprevisibles. Los ciudadanos en un Estado social y democrático de derecho no podían aceptar muchas veces más la imprevisibilidad de los riesgos naturales como explicación de una catástrofe natural. Era perentorio solventar esta problemática mediante la asunción de medidas legislativas y de planificación, y como primer instrumento preventivo, la doctrina científica y técnica ha establecido la delimitación de zonas de diferente peligrosidad mediante Mapas de Riesgos Naturales previos a la ordenación urbanística.

Por ello, tengo que reconocer solemnemente y expresar nuestro más sincero agradecimiento en nombre de los geólogos al Gobierno de España y, en especial, a los responsables del Ministerio de Vivienda, 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 pasado, la obligatoriedad de los mapas de riesgos en la ordenación urbanística. En efecto, el apartado 2 del artículo 15 de la vigente Ley del Suelo establece que "*el informe de sostenibilidad ambiental de los instrumentos de ordenación de actuaciones de urbanización deberá incluir un mapa de riesgos naturales del ámbito objeto de ordenación*".

Pero el impulso del Ministerio de Vivienda en la protección de los ciudadanos frente a las catástrofes naturales no se plasma solamente esta obligatoriedad legal, sino que se ha ampliado a la realización conjunta de una *Guía metodológica para la elaboración de mapas de riesgos naturales en España*, mediante la firma de un Convenio de Colaboración entre el Ministerio de Vivienda y el Colegio Oficial de Geólogos. Una vez concluida la Guía, se realizará una aplicación piloto en un municipio, labor que será continuada mediante la realización de jornadas de sensibilización y cursos de formación para diferentes profesionales sobre su aplicación.

Además de estas medidas será necesario abordar otras acciones como la promulgación de leyes del suelo autonómicas, la ejecución del deslinde del Dominio Público Hidráulico para periodos de retorno de 10 años, la realización de una campaña intensa y continuada de información a los ciudadanos sobre riesgos naturales y sobre medidas de protección colectivas e individuales que puedan afectar a su zona de residencia y el impulso de una política de seguros, con el objetivo de que las primas del seguro se realicen en función de la zonificación de riesgos naturales.

Por último, quiero aprovechar para felicitaros las Pascuas y deseáros un próspero año 2008 a todos los colegiados y a nuestros invitados, así como reiterar el agradecimiento sincero a la señora ministra de Vivienda 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 ministra de Vivienda Carme Chacón¹

Decía Pedro Salinas: “Todo con exceso, la luz, la vida, el mar y excesivo ha sido con toda seguridad”. José Luis, muchísimas gracias, me conoce ya más mi equipo en el día de hoy que en todo el tiempo que llevo trabajando, porque es verdad que mi actitud es más bien reservada. Hoy la dejaré aparte para daros las gracias por esta invitación. Es verdad que me hubiera gustado quedarme con todos ustedes y hacer aquello que al final es el privilegio que tenemos quienes un día somos ministros, que es conocerlos. La gente cree que los privilegios son otros, pero los privilegios son muy distintos de los que la gente cree; es poder enriquecerse, como hubiera podido hacer esta noche a vuestro lado; no obstante, sé que voy a tener más oportunidades, decidan los ciudadanos lo que decidan, afortunadamente decidirán ellos pero agradeceré, en cualquier caso otro día con tranquilidad, sabiéndolo pueda pasar una jornada como esta con todos vosotros.

Decía también Baltasar Gracián: “Lo bueno, si breve, dos veces bueno”, así que, dadas las horas, se queda mi equipo con vosotros para el coloquio que habitualmente hacéis en estas noches. En cualquier caso, sí que quiero transmitir algo, y no sólo en mi nombre. Los Colegios Profesionales en España ejercen, lo sabemos todos, una labor imprescindible. Es una labor más que ratificada por el propio Tribunal Constitucional, defienden los derechos de sus colegiados, velan por el rigor, por el buen hacer en el ejercicio de sus profesiones y el reconocimiento de esas profesiones, y ofrecen, en definitiva, a los ciudadanos, que son los receptores finales del trabajo de cualquier profesional, las garantías de un ejercicio riguroso, solvente y serio; todo eso es verdad.

Pero existen también otros Colegios en nuestro país que van más allá, que van mucho más allá, que además de defender a sus miembros, además de elevar la profesión, además de ofrecer a los ciudadanos rigor, solvencia y garantías, se implican muy intensa y directamente en el progreso de la sociedad. Lideran, desde su campo, los avances de un país, apuestan voluntariamente por la responsabilidad social corporativa y se comportan colectivamente más allá de sí mismos. Lo hacen además como ciudadanos implicados en el futuro de la gente.

Creo que, indiscutiblemente, el vuestro es uno de ellos, y yo no me quiero ir esta noche sin felicitaros efusivamente por el grandísimo trabajo profesional que estáis haciendo; a ti presidente, vicepresidente, a vuestra Junta Directiva, a colegiados y colegiadas de España, en nombre del Ministerio de Vivienda con quien creo que hemos hecho una labor más que fructífera durante este tiempo, da gusto trabajar



Estáis siendo fundamentales para normas pioneras que España no había siquiera soñado y que estamos, gracias a vuestro trabajo, gracias a vuestro talento, poniendo en marcha

a vuestro lado. Muchos de vosotros sólo lo sepáis en una noche como la de hoy; da gusto trabajar con profesionales como vosotros. Estáis siendo fundamentales para normas pioneras que España no había siquiera soñado y que estamos, gracias a vuestro trabajo, gracias a vuestro talento, poniendo en marcha.

Pero mi gratitud no es sólo mía, por eso esta noche he sido avisada de esa cena, con esa breve antelación, porque hoy quería estar con vosotros el presidente del Gobierno, y me ha pedido expresamente que, personalmente, recogiera la distinción de Geólogo Honorífico con la que hoy le honráis. Hace seis años estuvo aquí, me consta, lo sabéis, que le hubiera gustado repetir esa noche. En cualquier caso os quiero trasladar su agradecimiento, no sólo por la distinción, sino por el esfuerzo impagable que habéis hecho codo con codo con el Gobierno de España, con los ministerios afectados, que no ha sido sólo el de Vivienda. En este esfuerzo para conseguir que España tenga normas pioneras que insisto, hace unos años, no soñábamos que este país, pudiera siquiera tener normas que, a día de hoy, apuestan

¹El texto es una transcripción literal del vídeo.

no sólo por la innovación, sino que lo hacen por la seguridad, por la investigación, por el trabajo bien hecho, por el rigor, por la calidad, por esa que os gusta llamar a vosotros "geología de los ciudadanos". De verdad, en nombre del presidente del Gobierno, del Gobierno de España y, por supuesto, de mi equipo del Ministerio de Vivienda, muchísimas gracias, creo que estáis logrando que vuestra profesión aflore a la superficie, si esa es una expresión que vale en un día como hoy. En cualquier caso, que sea más conocida, que es muy importante, que sea más apreciada por los ciudadanos y por quienes estamos hoy en instituciones públicas y privadas y sois para nosotros un compañero imprescindible, casi un compañero simplemente en nuestro trabajo a diario, a pesar de que la gente no lo sepa cuando piensa en el trabajo que hace el Ministerio de Vivienda.

Creo que la importancia de la geología, y es verdad, lo han comentado Luis y José Luis, tal vez con un poco de ironía en este segundo caso, suele ser percibida por la mayoría sólo por una reacción a lo que sucede, cuando un desastre natural abre brechas en el terreno, cuando se agrieta un edificio o cuando se hundan infraestructuras públicas.

En esas circunstancias se os concede una extraordinaria importancia en las sociedades contemporáneas. Me niego a decir que conozco a los geólogos sólo cuando pasan estas cosas. Creo, y me voy a quedar con ese mensaje, que la apuesta por la geología preventiva es, tal vez, más imprescindible que nunca y, eso sí que lo estoy viviendo en primera persona probablemente más que nunca. Por eso, porque creo que tenéis razón en ese esfuerzo que estáis haciendo por convencer y por vencer convenciendo respecto de la necesidad de una geología preventiva y todo lo que significa, los análisis previos de certificación y de garantías, quiero que sepáis que seguís contando con el Ministerio de Vivienda para ello. Me consta que lo sabéis, quiero reiterarlo esta noche, un ministerio que es vuestra casa y en la que siempre encontraréis, como habéis hecho, la mejor receptividad. Nos hemos estrenado esta legislatura. Ha sido un placer hacerlo de vuestra mano. Esta voluntad de colaboración también os digo que no es nueva, tenemos en marcha el Convenio con Geólogos del Mundo, vuestra ONG, que ya se plasma en el particular proyecto de San Salvador; también vuestra participación y redacción en la difusión fundamental del Código Técnico de la Edificación, que es ya una auténtica revolución en nuestro país en la manera de construir nuestros edificios y, por supuesto, ahí está vuestra colaboración y vuestro trabajo, también imprescindible en la nueva Ley del Suelo. Lo ha comentado también el presidente, una ley que explícitamente ahora ordena analizar y prevenir los riesgos geológicos en las urbanizaciones del suelo; un granito para vosotros pero creo que sobre todo para este país. Un granito para nuestra gente, para la seguridad en nuestras construcciones y, sobre todo, un gran ejemplo de

Tenemos en marcha el Convenio con Geólogos del Mundo, vuestra ONG, también vuestra participación y redacción en la difusión fundamental del Código Técnico de la Edificación y, por supuesto, ahí está vuestra colaboración y vuestro trabajo, también imprescindible en la nueva Ley del Suelo

esa geología preventiva que estáis impulsando como nunca y que además, justa y legítimamente, reclamáis. Desde vuestro sector estáis contribuyendo decisivamente a otra política del suelo y a otra política de vivienda que quiero que sepáis que este Gobierno defiende y reclama. Una política del suelo y de vivienda que respeta y protege el medio ambiente y, a su vez, el desarrollo sostenible, que sea para nosotros pero, sobre todo, sea un legado del que estar orgullosos para los que vienen. Una política de vivienda que a su vez sea transparente y clara y que prevenga y evite la especulación, otro esfuerzo que estamos haciendo conjuntamente. Por lo tanto, una política finalmente con el objetivo real e irrenunciable del acceso efectivo y seguro de los ciudadanos a una vivienda, porque al fin y al cabo estamos contribuyendo todos en ese reto que tenemos por delante. Al margen de elecciones ideológicas, colores políticos e incluso niveles de administración públicos y privados, que el acceso a la vivienda deje de ser el gran problema social en el que hoy se ha convertido, para pasar a ser ese derecho que hace ya casi treinta años quisimos entre todos dibujar en la Constitución.

Quiero deciros que quería hablar en nombre del presidente y en el mío mismo y el del Ministerio de Vivienda. Creo que lo puedo hacer en nombre del conjunto de los ciudadanos. Gratitud, gratitud, además del orgullo y la admiración por vuestro trabajo, gratitud es lo que sentimos, os deseamos todo el éxito. Para ello estamos a vuestra disposición pero, sobre todo, no lo olvidéis, orgullo, admiración y esperanza, la que vosotros suscitáis, porque sin ninguna duda vuestro camino, vuestro trabajo y el que está siendo vuestro éxito, es el éxito de todos nosotros y, en primera persona, el éxito de este país, no sólo hacia nosotros mismos, que empezamos a conocernos, sino lo que estáis siendo hoy a nivel internacional: un Colegio, una profesión en este país reconocida y admirada. Por lo tanto, enhorabuena por vuestro trabajo y nuestra gratitud, creo que hablo ya no sólo en nombre del presidente, de este ministerio, de los ciudadanos y ciudadanas de España, si me permitís humildemente hacerlo.

Muchísimas gracias, buenas noches, disfruten de la jornada.

La ministra de Medio Ambiente inauguró la nueva sede del ICOG

El 21 de noviembre, Cristina Narbona, ministra de Medio Ambiente, inauguró la nueva sede del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos sita en la calle Raquel Meller número 7, de Madrid.

TEXTO | José Luis Barrera, geólogo, vicepresidente primero del ICOG

FOTOS | Torres & Gómez, S.L.

El Colegio Oficial de Geólogos se creó por Ley 73/1978 de 26 de diciembre. Hubo que hacer muchos esfuerzos para su creación pues no fueron pocos los obstáculos que hubo que salvar hasta conseguirlo. La creación del Colegio fue la última actuación legislativa de las Cortes Constituyentes. Desde aquellos momentos, el Colegio ha ido creciendo progresivamente por la fructífera labor de sus juntas de gobierno y consejos de gobierno, además de la demanda del mercado por incorporar a los geólogos como profesionales especializados en el conocimiento del terreno. La compra de la nueva sede (*figura 1*) es la materialización de ese crecimiento y la base para el desarrollo futuro de todos los geólogos españoles.



Figura 1. Fachada de la nueva sede del ICOG (diciembre de 2007), en la calle Raquel Meller.

Breve historia de las sedes del ICOG

La primera sede del ICOG estuvo en la calle Santa Feliciano número 14, en el madrileño barrio de Chamberí. Era un piso modesto alquilado, en la primera planta del inmueble. La Junta se planteó comprar la oficina, pero se desestimó la compra dado que tenía un problema estructural; había una grieta en la pared del pasillo central, y un arquitecto que dictaminó el problema recomendó no comprar. Tras esta circunstancia, y ya en 1991, la sede se quedó pequeña. Había que buscar una nueva oficina para

acomodarse a las crecientes exigencias colegiales. La zona de Chamberí se consideraba buena para tales propósitos por lo que se visitó un local en la misma calle Santa Feliciano, pero en la acera de enfrente. El local, con entrada desde el portal, era convertible en dos plantas, pero también se desestimó la compra por la dificultad para obtener la licencia de actividad. Tras el intento fallido, se visitaron un par de nuevos lugares por la zona de Bilbao que tampoco dieron buen resultado. Por fin, aunque no en el mismo barrio, se encontró lo que se buscaba. A través de una información

del colegiado José Manuel Baltuille, se visitó una vivienda en la avenida de Reina Victoria número 8, 4º B que, aunque su uso era como vivienda, se podía convertir legalmente en oficina. Era un cuarto piso con bastante luz que daba a la fachada principal del edificio. Con la preceptiva aprobación por la Asamblea, que presidía por entonces José Manuel Baltuille, se compró el piso por 34 millones de pesetas, una vez que se confirmó la posibilidad legal de obtener la licencia de oficinas. Corría el mes de julio de 1992. La reforma para adaptarlo a los usos colegiales costó otros 10

millones. Peccata minuta para los precios que se barajan hoy en el mercado inmobiliario. La sede de Reina Victoria la inauguró el vicepresidente del Senado, y geólogo colegiado, Clemente Sanz Blanco, el 11 de diciembre de 1992.

En la sede de Reina Victoria, el ICOG ha permanecido 15 años, aunque los cinco últimos con estrecheces de espacio. El crecimiento de actividad y personal había sido tan grande, así como nuevos servicios, como los de la ONG Geólogos del Mundo que se instalaron también en el local, que hicieron que la sede se quedara nuevamente pequeña. Se buscó una nueva oficina por varios barrios de Madrid pero no se encontró nada que satisficiera las necesidades del Colegio. Unas veces porque no tenían licencia, otras porque eran caros y, en muchos casos, porque no cumplían las condiciones de espacio requeridas para el cambio, no se encontraba nada.

Se compra la nueva sede

Pocos meses antes del verano de 2007 se encontró un local en la zona de la calle Alcalá (Ventas), que la inmensa mayoría de la Junta de Gobierno consideró idóneo para la nueva sede. Era una local a nivel de calle, con amplias cristalerías corridas que pertenecía a la compañía de seguros AXA y que llevaba dos años desocupado. La compra se efectuó el 4 de mayo (figura 2) y se pagó por él 1,8 millones de euros. Para las obras de acondicionamiento se contactó con varias empresas de la construcción y, al final, se adjudicaron a la empresa Adapta-t (figura 3) que comenzó las obras el 2 de julio de 2007 y las finalizó el 12 de octubre.

El local está situado en la calle Raquel Meller número 7 (cupletista, cantante y actriz de cine española que, durante los años veinte y treinta del siglo XX, fue famosa y admirada como una estrella internacional) esquina a la calle Virgen de la Alegría. Tiene una



Figura 2. Momento de la compra del local a AXA.



Figura 3. El equipo de Adapta-t con miembros de la Junta de Gobierno y la secretaria del ICOG, durante las obras.



Figura 4. Cristina Narbona con el presidente del ICOG en el momento de descubrir la placa de la inauguración.



Figura 5. La ministra con el presidente y personal del ICOG.



Figura 6. La ministra firmando en el Libro de Honor.

La nueva sede es amplia y luminosa y cumple las necesidades actuales que tiene nuestra corporación. La mudanza se realizó los días 15 y 16 de octubre de 2007

y luminosa y cumple las necesidades actuales que tiene nuestra corporación.

La mudanza se realizó los días 15 y 16 de octubre de 2007 sin más sobresaltos que los habituales en este tipo de actuaciones.

Acto de inauguración

El ICOG tiene como ministerio de referencia, del cual depende, al Ministerio de Medio Ambiente. Parecía razonable que fuera la titular de este ministerio la que inaugurara la nueva sede colegial. En carta oficial, se invitó a la ministra Cristina Narbona al acto de inauguración, lo que aceptó de buen gusto. El único sobresalto se produjo cuando el viernes 16 de noviembre por la tarde nos comunicó su gabinete que la fecha escogida por la ministra, en función de su agenda oficial, era el miércoles 21 de la siguiente semana, a las 19 horas. ¡Faltaban sólo cinco días, con un fin de semana por medio! De manera inmediata se puso a trabajar la Junta y secretaría del Colegio para que todo estuviera a punto en la fecha señalada. Las invitaciones al acto no dio tiempo a realizarlas en imprenta por lo que se decidió enviarlas por correo electrónico, ¡bendito Internet!

Y llegó el 21 de noviembre. Con la puntualidad de un reloj suizo (como es habitual en ella), se presentó a las siete de la tarde en la puerta del Colegio la ministra Cristina Narbona. Venía acompañada por su jefe de

planta baja de 348,65 m² en la que se sitúan la recepción, sala de visados y los despachos de presidencia, vicepresidencia, secretario, jefa de secretaría y jefe de administración. En el ala derecha de la planta está el departamento de visados con el

despacho de la secretaría técnica. Por una escalera de cristal adosada a la pared se accede a la entreplanta superior de 89,71 m² donde se encuentra el salón de actos y un *office*. En ambas plantas hay aseos de hombres y mujeres. La nueva sede es amplia

En carta oficial, se invitó a la ministra Cristina Narbona al acto de inauguración, lo que aceptó de buen gusto

gabinete y de su jefa de protocolo. A su llegada, la ministra saludó a la Junta de Gobierno y paso a descubrir la placa conmemorativa del acto (figura 4). Posteriormente, acompañada por el presidente del ICOG, que hacía de guía y relator, visitó las instalaciones del Colegio saludando a todo su personal que se encontraba en sus puestos de trabajo (figura 5). A continuación pasó al despacho de presidencia donde firmó en el Libro de Honor (figura 6) y fue obsequiada con un magnífico agregado de cristales de distena, que agradeció sinceramente. También, el presidente de la ONG Geólogos del Mundo, Ángel Carbayo, le hizo entrega del libro titulado *Pobres por desastres* editado recientemente por la ONG (figura 7).

En el salón de actos, el presidente, Luis Suárez, pronunció un breve discurso agradeciendo la presencia de la ministra, del público asistente y destacando las atribuciones profesionales de los geólogos, entre otros aspectos. Le contestó la ministra diciendo que siempre tiene presente a los geólogos en muchas de sus actuaciones y que los considera unos profesionales fundamentales en muchos de los temas medioambientales de su departamento.

Finalizados los discursos, los asistentes departieron con Narbona, mientras que una fuente de chocolate hacía las delicias de muchos (figura 8).

Asistieron al evento unas 60 personas entre colegiados, representantes de otros colegios profesionales, altos cargos del IGME y directivos de empresas, que expresaron su satisfacción por la nueva sede.



Figura 7. El presidente de la ONG Geólogos del Mundo entregando a la ministra el libro *Pobres por desastres*.



Figura 8. Fuente de chocolate.



Figura 9. Vista general de los asistentes al acto.

Discurso del presidente del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, Luis Eugenio Suárez Ordóñez

Buenas tardes,

Sra. ministra de Medio Ambiente, autoridades y personalidades, miembros de la Junta de Gobierno y delegaciones del Colegio, invitados y colegiados.

Para el Colegio Oficial de Geólogos es un honor ser los anfitriones y contar con la presencia de Dña. Cristina Narbona, ministra de Medio Ambiente, en este acto de inauguración de la nueva sede social del ICOG; presencia que celebramos una vez más, desde la primera de ellas en la cena colegial de 2001, acompañando al hoy presidente del Gobierno José Luis Rodríguez Zapatero.

Mis primeras palabras serán para comentar que este colegio oficial está llevando a cabo una propuesta transformadora del sistema corporativo, que se plasma en una apuesta por salir de nuestras fronteras colegiales y tratar de saber cuáles son las demandas que los ciudadanos quieren de nosotros.

El Colegio de Geólogos tiene como objetivo a los ciudadanos como usuarios de nuestros servicios profesionales, por lo que venimos desarrollando una política de competencia que garantice el principio constitucional de igualdad de oportunidades entre los profesionales.

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.

Este Colegio es una institución abierta a los ciudadanos y a todos los colectivos, por lo que es nuestra estrategia de actuación estar a disposición de los medios para informar a los ciudadanos de los temas de su interés. Una vez más podemos ser muy útiles para aportar soluciones técnicas al cambio climático mediante la captura y confinamiento de CO₂ en almacenamientos subterráneos seguros, para concienciar a los ciudadanos del concepto del tiempo geológico en los parámetros temporales del cambio climático, para la detección y prevención de los riesgos naturales derivados del mismo, para la ejecución de solventes estudios geotécnicos de infraestructuras y edificios...

Esta es una vía de trabajo geológico de futuro que ayudará a resolver los problemas globales, pero también será un nuevo camino para orientar a los profesionales de la geología, hacia un escenario de gran desarrollo y demanda de servicios profesionales.

Este es un nuevo paradigma de cómo el ICOG, los geólogos españoles, concebimos nuestra misión como la geología de los ciudadanos.

En este sentido, de una manera sintética, voy a comentar algunas acciones que refrendan nuestra estrategia de actuación: la geología al servicio de los ciudadanos.



El Colegio de Geólogos ha impulsado:

- La mejora y control por medio de listas de chequeo de los visados de los estudios geotécnicos, que garantizan el cumplimiento del Código Técnico de la Edificación y, por ende, la disminución de los siniestros de los edificios.
- La geología al servicio de los ciudadanos se plasma en el impulso de que los planes de estudios de las titulaciones de grado y de máster se deban diseñar, de forma que permitan obtener las competencias necesarias para ejercer las profesiones, debiendo las universidades justificar dicho cumplimiento, de acuerdo con lo tipificado por el Real Decreto de Ordenación de las Enseñanzas Universitarias Oficiales.
- Se sirve a la ciudadanía, articulando un seguro de responsabilidad civil profesional para proteger a los clientes en los estudios y proyectos visados en el Colegio de Geólogos.
- Somos de los contados colegios profesionales que están certificados por la ISO 9001: 2000 de Gestión de Calidad, para mejorar el servicio a los ciudadanos.
- Hemos instaurado los títulos profesionales para la certificación de la capacitación profesional de los colegiados en beneficio de los usuarios.
- Hemos puesto en marcha la plataforma digital de la Escuela de Geología Profesional para la formación de los colegiados y profesionales en general.
- Hemos propuesto en la nueva Ley del Suelo la necesidad de Mapas de Riesgos Naturales en el informe de sostenibilidad de actuaciones urbanísticas para la protección de los ciudadanos.
- Vamos a llevar a cabo la *Guía Metodológica para la elaboración de Mapas de Riesgos Naturales*, mediante un convenio con el Ministerio de Vivienda.
- Estamos cooperando con el Ministerio de Medio Ambiente mediante la elaboración de los informes geotécnicos independientes de las presas de Itoiz, Yesa y Siles.

- Hemos firmado, y vamos a firmar, convenios de colaboración con el Ayuntamiento de Almadén, las minas de Almadén y Arrayanes y la Asociación de Ayuntamientos de Cuencas Mineras del Carbón (ACOM), para la realización de centros interpretativos e itinerarios geológicos.
- Estamos impulsando la investigación, el desarrollo y la innovación en la captación y almacenamiento de CO₂ por parte de los poderes públicos.

Pero todo no va a ser profesión, también en el Colegio de Geólogos nos preocupamos y nos ocupamos por la acción humanitaria, por lo que en 1999 creamos la ONG Geólogos del Mundo, abierta a todos con el objetivo de participar activamente en la cooperación internacional mediante el ejercicio de la geología humanitaria.

En este sentido, nuestra ONG se pone a disposición del Gobierno de España para ayudar en la puesta en marcha en Panamá de la plataforma permanente de cooperación en desastres naturales, dada su amplia experiencia en la prevención de riesgos naturales y abastecimiento de aguas a poblaciones en El Salvador, Nicaragua, Honduras y Ecuador.

Como siempre, los geólogos estamos al servicio de la sociedad para ayudar, en la medida de nuestras posibilidades, a resolver sus problemas, que son también los nuestros, y que sean los ciudadanos los que elijan en el mercado al profesional competente y así se cumpla el ideal profesional de que la competencia sea para el competente.

Cuando una persona le duele la cabeza sabe que debe tomar una aspirina o acudir a un médico. Cuando un ciudadano tiene un problema geológico (se ha agrietado su edificio, sufre la "pertinaz" sequía, padece desastres por inundaciones, tiene problemas de contaminación de suelos o de las aguas subterráneas, se hundan las infraestructuras públicas) no tiene mecanismos de defensa, dado que la actuación de los geólogos es una actuación curativa, a posteriori, si me apuran, explicativa del problema y que se resume en una demanda de estudios geológicos previos a las actuaciones naturales o antrópicas.

Por ello, demandamos a los poderes públicos, en defensa de la sociedad, que las políticas, programas y planes de actuación cambien la geológica curativa, "tipo bombero", por una geología preventiva mediante estudios geológicos, geotécnicos, hidrogeológicos y estudios de riesgos naturales adecuados para el desarrollo de los proyectos constructivos y la investigación de los recursos naturales. Con ello, los ciudadanos estarían más protegidos y la gestión de los recursos públicos sería más eficiente y eficaz.

Por ello, demandamos en beneficio de los ciudadanos el impulso de la geológica preventiva, silenciosa, eficiente para minimizar la actual geología mediática y curativa, donde se nos solicita que expliquemos y solucionemos problemas que ya no tienen solución o la tiene a un coste económico, medioambiental y social excesivo.

En relación a nuestro ministerio de dependencia incidiré en dos aspectos, a nuestro juicio importantes, de la política de aguas, como

son el impulso de una política de aguas desde una perspectiva pluridisciplinar y la gestión de las aguas subterráneas.

En este sentido, es importante reseñar que en la Relación de Puestos de Trabajo (RPT) del Ministerio de Medio Ambiente, casi el 75% de los funcionarios del Grupo A se dedican a diseñar y ejecutar obras hidráulicas, por lo que deberían ser complementados por otros profesionales para la gestión de las aguas subterráneas y de la calidad de las aguas. Por ello, reivindicamos una profundización en el giro pluridisciplinar en el Ministerio de Medio Ambiente, una acción positiva a favor de los licenciados (geólogos, biólogos, químicos...) en las futuras RPT para que participen con su experiencia y profesionalidad en la nueva política del agua.

Los geólogos estamos empleados fundamentalmente en el sector privado, con un índice de paro muy bajo, teniendo graves dificultades para acceder a las Administraciones Públicas. Nosotros no tenemos cuerpo, somos espíritu, espíritu puro. Por ello, solicitamos que se haga normal en el sector público, lo que es normal en el sector privado, donde la competencia suele ser para el competente.

Debemos explicitar asimismo las restricciones a la competencia en las concesiones de explotación de aguas subterráneas, dado que son reguladas por obsoletas normas de seguridad minera. Esto supone un verdadero galimatías jurídico, dado que cada organismo de cuenca exige para la concesión de aguas subterráneas requisitos diferentes que, en ocasiones, cercenan la participación de diferentes profesionales. Por ello, solicitamos al Ministerio de Medio Ambiente que asuma la plena competencia en la gestión de las aguas subterráneas, de acuerdo con los principios de unidad de gestión y de unidad del ciclo hidrológico, establecidos por la Ley de Aguas.

En materia de suelos contaminados, queremos expresar a la ministra nuestro reconocimiento por la promulgación y desarrollo del reglamento de suelos contaminados, que constituye un excelente instrumento de referencia, por lo que ofrecemos nuestra colaboración en el desarrollo normativo mediante Instrucciones Técnicas Complementarias.

Somos conscientes de la voluntad transformadora del Gobierno, aunque la empresa será ardua. Apoyamos la puesta en marcha de los cambios estructurales, organizativos y culturales necesarios de la administración medioambiental aunque, como decía el politólogo irlandés Philip Petit: "La política es el arte más importante y el más difícil".

Para finalizar, quiero agradecer a todos nuestros invitados y colegiados su presencia en este acto de inauguración de la Casa de la Geología, que es vuestra casa, así como reiterar el agradecimiento sincero a la ministra de Medio Ambiente por su presencia en este acto y agradecer su franca voluntad de colaboración con el colectivo de geólogos españoles.

Muchas gracias por su atención.

Discurso de la ministra de Medio Ambiente, Cristina Narbona¹

Queridas amigas y amigos geólogos, Colegio de Geólogos, muchas gracias por invitarme a la inauguración de vuestra nueva sede.

Lo primero que quiero es desearos que esta sede sea el escenario de muchos momentos felices en vuestras vidas, de muchos momentos intensos de trabajo y de la consecución de muchos de los sueños y las expectativas de esa estrategia que comentaba hace un momento Luis de una manera bastante completa, en cuanto a los temas donde efectivamente sería necesario una mayor presencia de geólogos.

Es cierto que en la iniciativa privada hay hoy en día mayor presencia de geólogos que en las Administraciones Públicas. La gran diferencia entre la iniciativa privada y las Administraciones Públicas es que, como bien sabéis todos, el régimen laboral nada tiene que ver. La movilidad que existe en los puestos de trabajo y, por lo tanto, también la competencia en base a la capacidad que supone la actividad privada, no responde exactamente a las pautas de la función pública y de las Administraciones Públicas.

Por eso creo que es una buena noticia para vosotros que en el Ministerio de Medio Ambiente hayamos recuperado la Hidrogeología para la oferta pública de empleo, y yo animo a los colegiados y a los geólogos en general a que acudan a esa oferta.

Es verdad que a veces la Administración Pública tampoco ofrece, quizá desde el punto de vista profesional, las mismas perspectivas de trayectoria y de retribuciones que puede ofrecer la empresa privada. Pero para quienes sentís el deseo de colaborar desde el servicio público, desde la función pública, antes de terminar esta legislatura, al menos, hemos conseguido esa recuperación en la oferta pública de empleo para que haya esos puestos de Hidrogeología donde obviamente os corresponde presentaros y poder tener también esa posibilidad.

Quiero aprovechar esta ocasión, además, para agradecer la colaboración de este Colegio durante toda esta legislatura que llega ya a su final. A lo largo de ella se han producido un cúmulo de normas, de leyes, de cambios en nuestro ordenamiento jurídico precisamente, entre otras cosas, para garantizar mucho mejor los derechos de los ciudadanos a lo que pide nuestra Constitución, a un medio ambiente adecuado.

Y al final, un medio ambiente adecuado significa entre otras cosas que seamos capaces de utilizar los recursos naturales de la manera más eficiente y más segura. Y es en esa tarea de más eficiencia, más sostenibilidad y más seguridad, que los profesionales de la Geología tenéis mucho que aportar.

Afortunadamente, hoy ya casi nadie deja de tomarse en serio el cambio climático y los grandes desafíos ambientales. Esos



desafíos ambientales nos obligan a mirar la realidad con un enfoque mucho más integral y de largo plazo, como muy bien decía Luis, donde la prevención tenga un papel mucho más destacado.

No podemos seguir asumiendo de manera pasiva situaciones provocadas por las inundaciones o por las sequías como algo inevitable, porque la mayoría de las veces los efectos de lo que llamamos riesgos o catástrofes naturales son efectos amplificados por la mala acción del hombre. Y en esa prevención están muchas de las iniciativas que destacaba Luis en su intervención. El planeamiento urbanístico y la ordenación del territorio tendrían que incorporar de una manera mucho más rigurosa el conocimiento que vosotros podéis aportar.

Por lo tanto, aquí mi agradecimiento. Y mi deseo de que el giro tímido que ha comenzado en esta legislatura el Ministerio de Medio Ambiente al abrir algunas plazas, incorporando algún geólogo en las máximas responsabilidades de las Confederaciones Hidrográficas y volviendo a situar a la Hidrogeología como una parte de nuestra oferta pública de trabajo se mantenga también en la próxima legislatura. Porque vosotros sabéis bien lo que significa el tiempo y el largo plazo, los cambios en la Administración Pública y la propia concreción de la voluntad política que muchas veces lleva más de una legislatura.

Así que espero que el camino emprendido sea un camino que se consolide en los próximos años. Y que os sintáis muy útiles en una sociedad como la nuestra, cada vez más moderna, con mayor conocimiento y con más exigencias por parte de los ciudadanos. Pues es a ellos a los que nos debemos, tanto quienes tenemos responsabilidades en la vida pública como quienes habéis tenido el privilegio de cursar una carrera universitaria y de acceder a una ciencia y a una técnica tan importantes como la Geología.

Muchísimas gracias por toda vuestra tarea.

1. Transcripción directa del vídeo.



Área de visados al comienzo de las obras.



Área de despachos al comienzo de las obras.



Área de visados a mitad de las obras.



Área de despachos a mitad de las obras.



Área de visados en la actualidad.



Área de despachos finalizadas las obras.



Escalera antigua y área de despachos al comienzo de las obras.



Salón de actos al comienzo de las obras.



Área de despachos durante la remodelación de la sede.



Salón de actos (estrado) durante las obras.



Área de despachos en la actualidad.



Salón de actos al final de las obras.



Despacho de presidencia durante las obras.



Despacho de presidencia en la actualidad.



Escalera nueva durante las obras.



Escalera nueva en la actualidad.



Recepción en la actualidad.



Recepción en la actualidad.

Aspectos geológicos y constructivos del tercer túnel de Guadarrama en la autopista AP-6

Los tres túneles de Guadarrama, de unos 3.000 metros de longitud, forman parte de la autopista de peaje AP-6 gestionada por Iberpistas, sociedad concesionaria que constituye una unidad del grupo Abertis. Esta autopista está integrada en el corredor noroeste de España, que conecta Madrid con Castilla y León, Asturias y Galicia, hasta la ciudad de La Coruña. El 29 de marzo de 2007 se puso en servicio el tercer túnel de Guadarrama de la AP-6, después de unos dos años y medio de obras y más de siete años de tramitación, desde que en noviembre de 1999 fuera adjudicada la concesión de las autopistas AP-6-Segovia (AP-61) y AP-6-Ávila (AP-61) a Iberpistas, dentro de la cual se contempla esta obra.

TEXTO | Rafael Pérez Arenas. Dr. ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director de Construcción. Iberpistas, S.A.C.E.
Santiago Rodón Ortiz. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Coordinador de Oficina Técnica. Iberpistas, S.A.C.E.

Palabras clave
AP-6, autopista, túnel de Guadarrama.

Con la puesta en marcha del nuevo túnel y de sus accesos, que conforman la denominada tercera calzada de la AP-6, se culmina la primera fase de las obras de ampliación de la autopista A-6/AP-6 entre Las Rozas y San Rafael, amortiguándose de manera notable las importantes retenciones que se vienen padeciendo en esta vía durante los retornos de fines de semana, festivos y puentes.

Condiciones generales de la obra

Debido a la imposibilidad de la ampliación a tres carriles en los túneles de la autopista de peaje AP-6 que actualmente atraviesan la sierra de Guadarrama, la ampliación de capacidad de esta autopista se ha resuelto con la construcción de un nuevo túnel y sus accesos, conformando la denominada "tercera calzada" (figura 1). Ha sido necesario, por tanto, adaptar la solución que resultaría de autopista con túneles ampliados a la solución constructivamente obligada de tres túneles y, consecuentemente, de tres calzadas de acceso de dos carriles cada una, con los carriles adicionales para las vías lentas en zonas de rampas o disminución de velocidad. Para cumplir todas las condiciones de

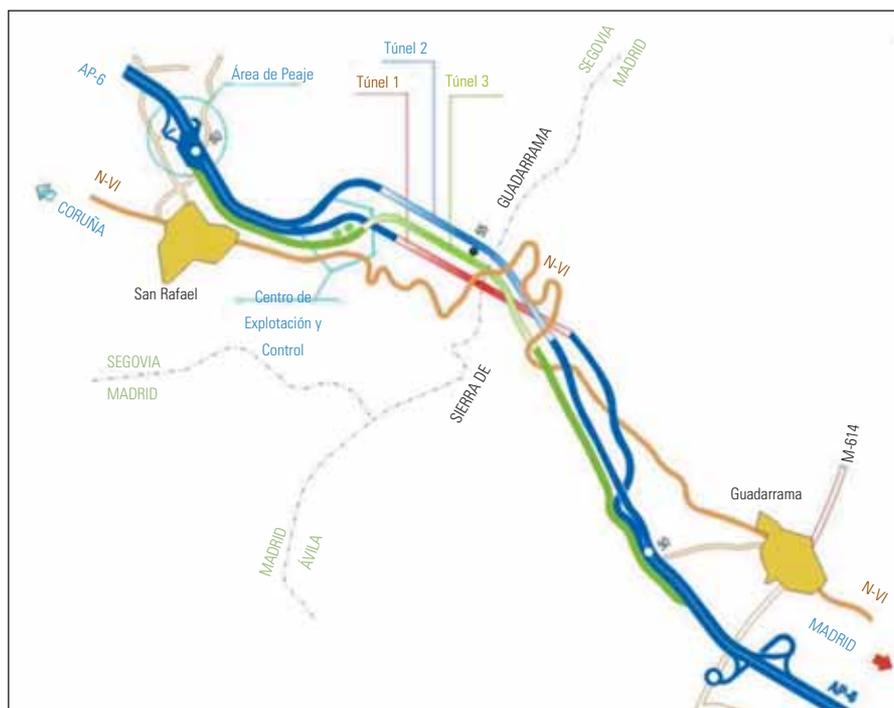


Figura 1. Esquema de localización de los túneles de Guadarrama en la AP-6.

funcionalidad fueron estudiadas inicialmente tres alternativas previas, de las cuales dos fueron desechadas tras las consultas previas medioambientales, dando lugar a otras dos alternativas nuevas compatibles con el resultado de dichas consultas, recogidas en el Estudio Informativo.

Todas las alternativas del Estudio Informativo contemplaron:

- La construcción de un tercer túnel, de una longitud próxima a los 3.000 m.
- Los accesos al nuevo túnel mediante una nueva calzada paralela y lo más próxima

a las existentes, con objeto de minimizar el impacto ambiental que se pudiera producir.

- La conexión de los tres túneles entre sí mediante un sistema de galerías auxiliares, suponiendo una sensible mejora en las condiciones de seguridad de los usuarios.
- La reordenación del tráfico en el tramo, de manera que al disponer de una nueva calzada, la que inicialmente permitía la entrada a Madrid se pudiera disponer en el futuro en régimen reversible permitiendo el tráfico en uno u otro sentido, según las necesidades del momento en función de las intensidades que se registren, incluyendo la adecuación del túnel de entrada a Madrid a su nueva función como reversible.
- La ampliación del área de peaje de San Rafael, ampliando las vías de cobro a las necesidades futuras.

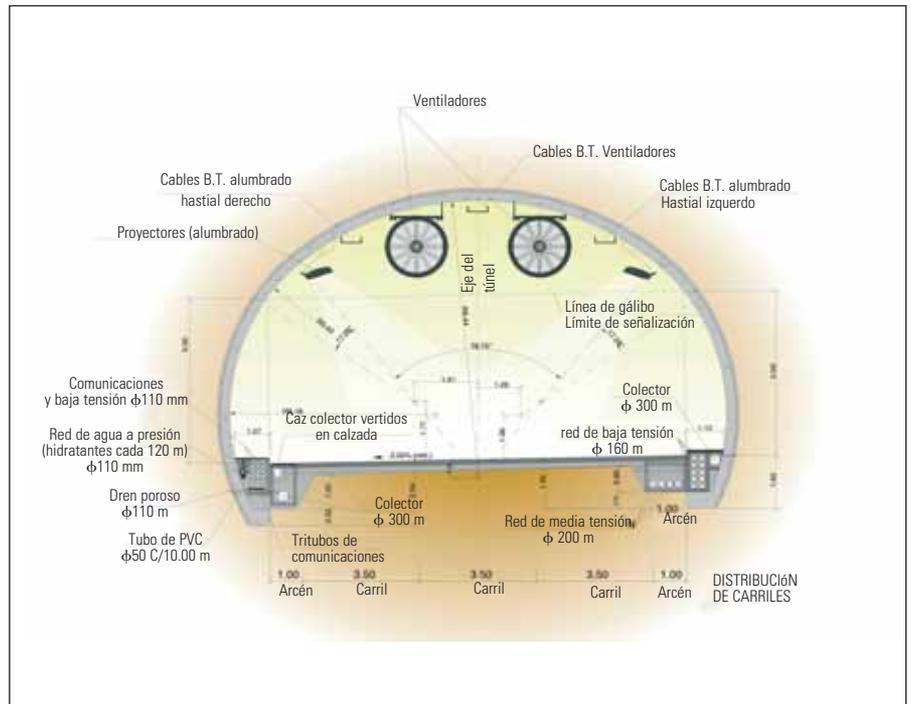


Figura 2. Sección transversal. Túnel 3.

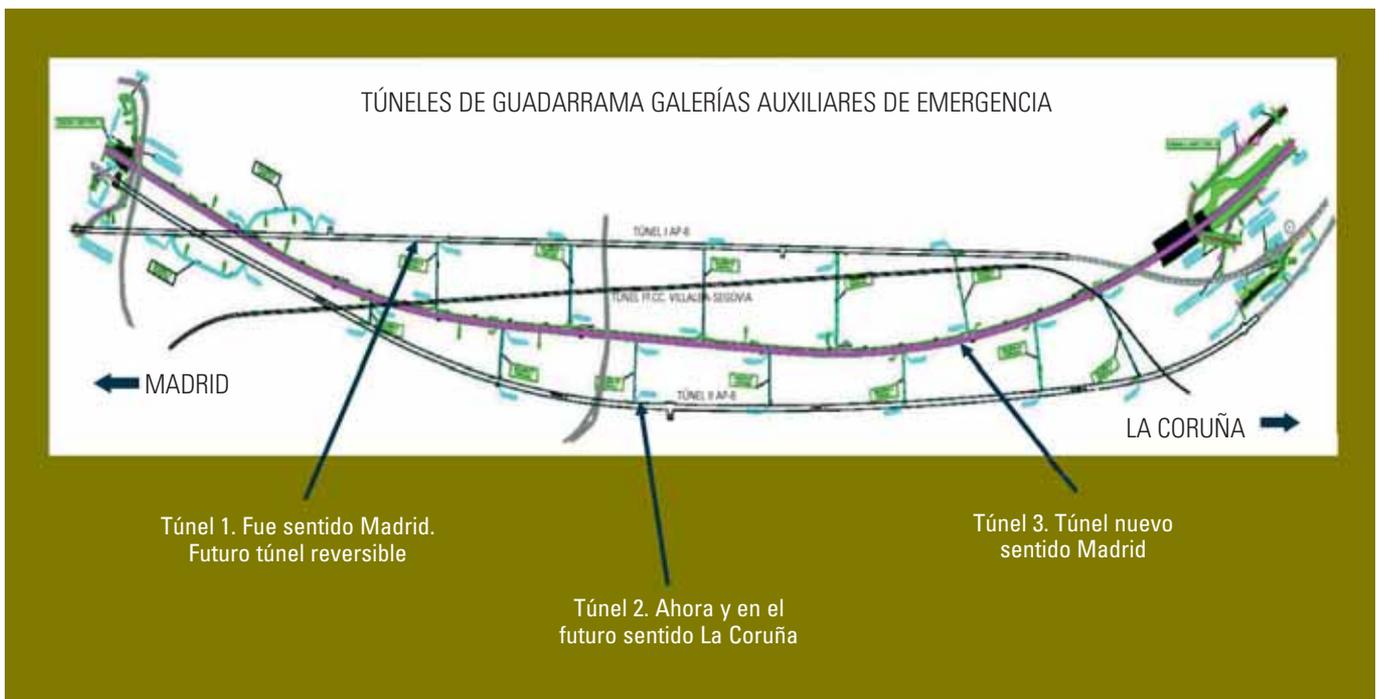


Figura 3. Planta general de los túneles.

La alternativa 2 del Estudio Informativo fue elegida como la óptima y se desarrolló en los Proyectos de Trazado y Construcción, cuya redacción fue llevada a cabo por la consultora de ingeniería TYPSA.

En el esquema funcional propuesto para la ampliación, la calzada que actualmente se utiliza para soportar el tráfico en sentido La Coruña se seguirá utilizando en el mismo

sentido; la que se ha utilizado para soportar el tráfico en sentido Madrid hasta la apertura del tercer túnel se utilizará como calzada reversible, en uno u otro sentido en función de las condiciones del tráfico, y los vehículos que circulen en sentido Madrid lo hacen ya a través de la nueva calzada (túnel) abierta en marzo. La operación con tres calzadas se prevé inicialmente sólo en casos de necesidad,

estando previsto limitar su uso sólo para el tráfico de vehículos ligeros, lo que supondrá en principio una mejora de las condiciones de seguridad para los usuarios del túnel 1 (el de mayor antigüedad, en servicio desde 1963), que será el integrado en esta calzada reversible y es el que cuenta con mayores limitaciones, tanto de sección como de pendiente. Otra importante consecuencia es que este túnel

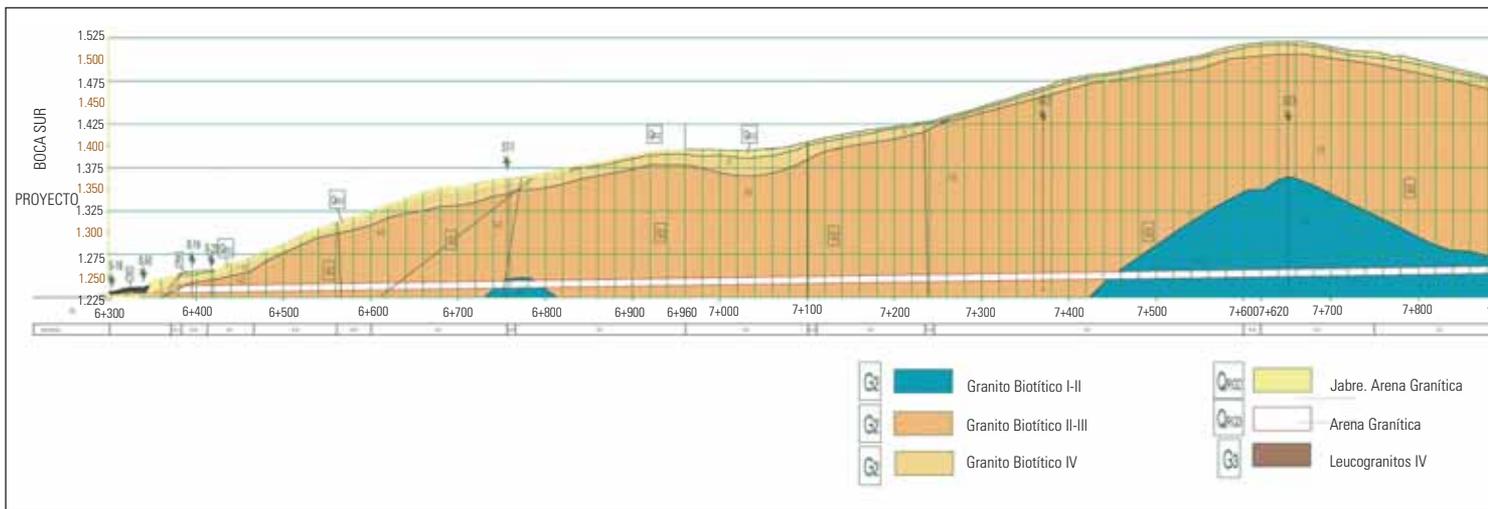


Figura 4. Perfil geológico del tercer túnel de Guadarrama.

servirá durante la mayor parte del tiempo como galería de evacuación y de acceso de vehículos de emergencia en caso de accidente, así como para las operaciones rutinarias de mantenimiento, ya que estará conectado con el nuevo túnel y, a través de este, con el túnel 2 por el sistema de galerías auxiliares.

Para tener una idea de la importancia de la actuación, conviene reseñar que el monto de la inversión en el tramo Enlace del Valle de los Caídos-San Rafael, ronda los 160 millones de euros.

Características generales del tercer túnel de Guadarrama

El tercer túnel se ha proyectado con sección transversal de tres carriles de 3,5 metros y arcones de 1 metro (figura 2). La boca sur se sitúa al suroeste de la entrada del túnel 2 (sentido La Coruña), manteniéndose los trazados de ambos túneles paralelos hasta que cruzan sobre el túnel 1 (sentido Madrid). A partir de aquí, el nuevo túnel, de 3.004 metros de longitud en mina, 144 metros de falso túnel y pendiente máxima del 1,9% se mantiene entre los dos túneles existentes, lo que posibilita la disposición alternada de galerías auxiliares de seguridad (también denominadas de escape o de emergencia) de vehículos y peatonales. Se han proyectado 13 galerías auxiliares de seguridad que unen el nuevo túnel 3 con los túneles 1 y 2 y una más que une los dos túneles actuales. El conjunto

de galerías suma una longitud total de 2.211,38 metros.

El trazado del nuevo túnel se encuentra condicionado no sólo por los dos túneles de autopista actualmente en servicio, sino también por la presencia del antiguo túnel ferroviario que atraviesa en esta misma zona la sierra de Guadarrama (figura 3). De esta manera, el túnel 3 cruza sobre el túnel 1, con un resguardo de apenas 15 metros, así como bajo la actual calzada sentido Madrid, uno de los puntos singulares de la construcción del túnel, con 12 metros de distancia desde clave, en las proximidades de la boca norte. El túnel llega a cruzar bajo el túnel ferroviario, pero con 35 metros de resguardo y bajo la trinchera del ferrocarril con 11 metros de montera sobre clave. Los primeros metros de excavación desde el sur se realizaron bajo la carretera N-VI, con 16 metros de resguardo.

La geología y la geotecnia del tercer túnel

Los túneles de Guadarrama están situados en el sector central de la sierra de Guadarrama (Sistema Central), a caballo entre las provincias de Madrid y Segovia. El túnel 3 atraviesa el Alto del León o Puerto de Guadarrama de 1.511 metros, que constituye parte de la divisoria entre las cuencas de los ríos Tajo y Duero.

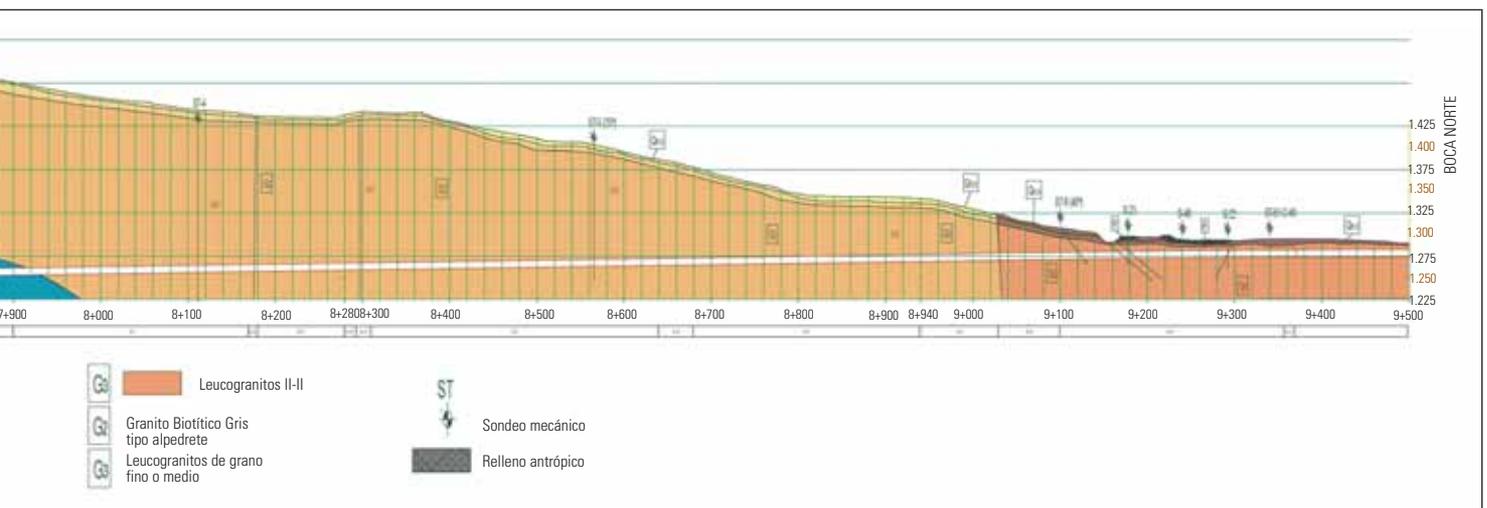
Desde el punto de vista geológico, la obra se enclava dentro de la denominada Zona Centro-Ibérica del Macizo Varisco (o Hercínico), que está constituida por rocas

ígneas y metamórficas, cuyas edades están comprendidas entre el Precámbrico y el Paleozoico (600-300 millones de años). Concretamente, nos encontramos en el denominado Complejo de Guadarrama, unidad geológica caracterizada por la presencia de rocas graníticas s.l. y metamórficas de grado medio a alto (gneises).

El túnel 3 atraviesa exclusivamente rocas graníticas, dentro de las cuales se pueden diferenciar dos tipos petrológicos (figura 4). Geotécnicamente, sin embargo, ambos tipos de rocas presentan una densidad de 2,7 t/m³, y una resistencia a compresión simple (RCS) media de 24 MPa (GM-III) a 65 MPa (GM-II), con valores máximos de hasta 130 MPa.

Se describen a continuación los dos tipos de granitos:

- *Granitos biotíticos con cordierita (G2).* Se trata de granitos biotíticos de grano grueso a medio, poco o moderadamente porfídicos, (grandes cristales de feldespato de hasta 2-3 cm de longitud), de color gris en corte fresco y estado sano, que pasan a tonos ocres y marrones por alteración en superficie (grados III-IV). Están constituidos mineralógicamente por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y biotita, presentando con cierta frecuencia cordierita y moscovita. Presentan enclaves microgranulares de tonalitas de textura microporfídica y, más raramente, de rocas metamórficas.



Afectan al trazado del túnel desde su inicio hasta el PK 8+969, es decir, en 2.606 m, donde entran en contacto litológico con la unidad de leucogranitos de grano fino a medio (G3). En los materiales de tipo G2 se ha excavado la mayor parte del túnel previsto. Los espesores de alteración en estos materiales son muy variables, observándose taludes de hasta 6-8 metros de altura en granitos con meteorización de grado IV-V, junto a afloramientos rocosos sanos o muy ligeramente alterados (grado II-III) en superficie. Un importante espesor de alteración se observa en el emboquille sur del túnel, donde existe un talud de 8 metros de altura en granito meteorizado en grados IV-V (arenas graníticas).

- **Leucogranitos de grano fino a medio (G3).** Se trata de materiales con emplazamiento relativamente tardío, ya que cortan al resto de rocas graníticas de su entorno. Son rocas de tonos claros, gris claro a blanquecinos, que generalmente, en los afloramientos estudiados y sondeos perforados, presentan una elevada fracturación. Mineralógicamente se componen de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, biotita y moscovita. Constituyen el substrato litológico del tramo comprendido entre los PK 8+969 y el emboquille norte del túnel, situado en el PK 9+367 (398 metros). Desde el cruce bajo la trinchera del ferrocarril, donde los leucogranitos afloran con escaso espesor de meteorización, hasta la boca norte, se atraviesa una zona con el nivel

freático muy próximo a la superficie, sin afloramientos rocosos y con una importante cobertura de suelos residuales (jabres), por alteración del substrato granítico a grado V. La roca prácticamente sana a moderadamente meteorizada (grados II a III), aparece tanto en los reconocimientos realizados, como en la excavación de la trinchera del emboquille norte del túnel, a profundidades de 9 metros.

Respecto a la *estructura y tectónica*, el macizo granítico atravesado por el túnel se encuentra afectado por varios sistemas de juntas y numerosas fallas y fracturas, observadas tanto en los estudios de reconocimiento durante la fase de proyecto, como posteriormente al excavar el túnel. No se han observado fallas de importancia en los sondeos, aunque sí zonas muy fracturadas en algunos tramos puntuales. Básicamente, se distinguen dos familias de fracturas, subparalelas a los dos sistemas de juntas principales subverticales (J1 y J2). Se caracterizan por presentar brechas centimétricas a decimétricas de granito muy fracturado con matriz arcillosa, o bien rellenos arcillosos que pueden incluir minerales de baja fricción (clorita, talco, grafito). Suelen estar acompañadas de un diaclasado más intenso que el del macizo en general, y de una alteración a episienita rosada o rojiza muy típica en granitos. Ocasionalmente, se han atravesado fallas subparalelas a los sistemas de juntas de bajo a medio buzamiento (J3, J4, J5).

Respecto a la *fracturación* general del macizo rocoso, se han observado dos sistemas de juntas subverticales dominantes (J1 y J2) de continuidad alta y siempre presentes, acompañadas de otras juntas subhorizontales o de bajo a medio buzamiento (J3, J4, J5 y otras más ocasionales J6 y J7), que presentaban una continuidad variable desde baja a alta. La combinación de estos sistemas de juntas ha afectado a la formación cuñas y bloques en el túnel, que han sido de mayores dimensiones a medida que aumentaba la continuidad de las juntas subhorizontales y de buzamiento medio a bajo, debiendo reforzar el sostenimiento.

Los materiales graníticos del substrato rocoso afectado por el túnel se consideran impermeables desde el punto de vista hidrogeológico. Los ensayos de permeabilidad realizados en sondeos, han dado valores de 10^{-7} a 10^{-9} m/s, e incluso permeabilidad nula. Las observaciones realizadas en el reconocimiento previo que se hizo del túnel ferroviario existente, y que se confirmaron durante la construcción del nuevo túnel, muestran aportes de agua concentrados en zonas próximas a los emboquilles, mientras que en la zona central del túnel aparece seco, sin indicios de circulación del agua en las discontinuidades del macizo rocoso (observable únicamente, dado el revestimiento del túnel, en los fondos de los nichos existentes cada 50 metros). En el túnel excavado, tanto desde la boca sur como desde la boca norte, los aportes de agua a la excavación se restringieron a los

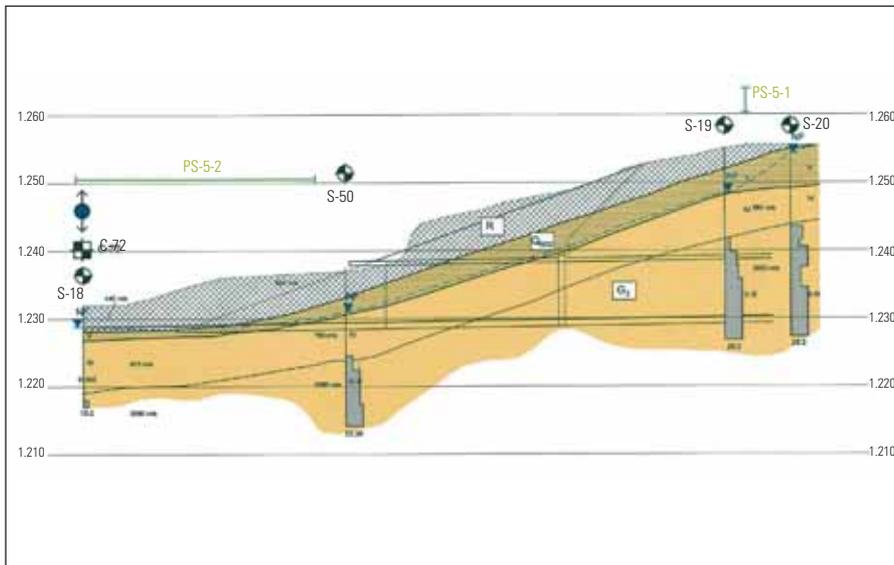


Figura 5. Perfil geológico del emboquille sur. Túnel 3.

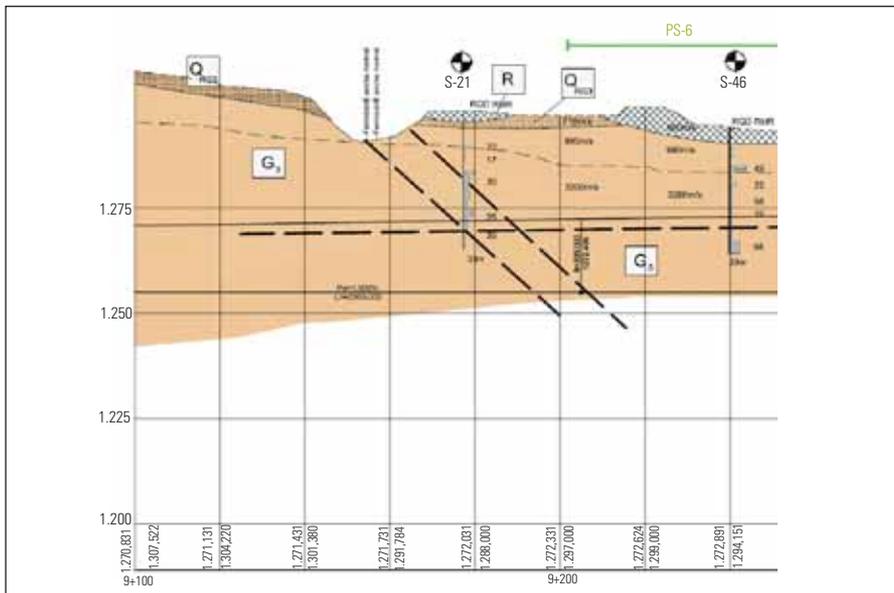


Figura 6. Perfil geológico del emboquille norte. Túnel 3.

La excavación se diseñó con taludes fuertes, 1(H):1(V) en rellenos y jabres y 1(H):4(V) en el frente de ataque. Para su sostenimiento se calculó un muro claveteado (*soil nailing*) resuelto mediante el empleo de anclajes activos constituidos por barras corrugadas de 25 y 32 milímetros de diámetro y entre 15 y 9 metros de longitud, y hormigón proyectado (gunita) armado con malla electrosoldada.

Para el control de los desplazamientos inducidos por la trinchera y el túnel, tanto en la carretera N-VI como en la coronación del desmonte se instalaron hitos de nivelación topográfica, dianas de auscultación en el talud frontal e inclinómetros verticales.

La excavación del *emboquille norte*, en sus primeros tramos, se llevó a cabo por medios mecánicos con grandes dificultades por la alternancia de zonas brechificadas muy fracturadas y tramos sanos de gran resistencia (*figura 6*). Posteriormente se combinaron los medios mecánicos con las voladura de taqueo. La excavación de la trinchera también se ejecutó con los mismos taludes 1(H):1(V) en jabres y 1(H):4(V) en el frente de ataque que para la boca sur. Para su sostenimiento se realizó un muro claveteado (*soil nailing*) resuelto, como en la boca sur, mediante el empleo de anclajes activos, tesados a 25 toneladas, constituidos por barras corrugadas de 25 y 32 mm de diámetro entre 15 y 9 m de longitud, y hormigón proyectado armado con malla electrosoldada.

La auscultación de los desplazamientos inducidos por la trinchera y el túnel, tanto en la calzada de la AP-6 próxima a la excavación, como en la coronación del desmonte, se realizó mediante la instalación de hitos de nivelación topográfica, dianas de auscultación en el talud frontal e inclinómetros verticales.

En el caso de la *excavación del túnel en mina*, esta se llevó a cabo mediante el Nuevo Método Austriaco (NATM). En el proyecto se contempló la excavación a sección completa, a excepción de aquellos tramos menos competentes

primeros 200 metros, en la boca sur, y a los primeros 380 metros, en la boca norte. Además, de forma puntual, se observaron otras surgencias de agua en otros tramos más internos.

Excavación y sostenimiento

Las trincheras de ambos emboquilles constituyeron uno de los puntos singulares de la obra. En el caso del emboquille sur, el emplazamiento del frente de ataque, fuertemente condicionado por el emboquille sur del túnel 2 y la carretera N-VI, dio lugar a una excavación de cerca de 25 metros de altura máxima en una zona de deficientes características geotécnicas. El perfil geotécnico de detalle

de proyecto (*figura 5*), elaborado según la investigación geotécnica llevada a cabo por TYPSA (sondeos y perfiles sísmicos de refracción), evidenciaba la presencia de rellenos antrópicos procedentes de las obras de construcción de la carretera N-VI, en los primeros 2 a 5 metros de excavación, bajo los cuales se identificaron jabres que, a partir de los 10 metros, daban paso a granitos, aunque meteorizados a grado IV. Los tubos piezométricos instalados en los sondeos registraron un nivel freático asociado al contacto entre los jabres y el granito alterado. La roca moderadamente meteorizada, grado II-III, no se registró en el entorno del frente de ataque, hasta una cota próxima a la de avance.

(tramos de falla) y las zonas próximas a ambos emboquilles. Sin embargo, una vez adjudicada la obra, se optó por la excavación en dos fases (avance y destroza) totalmente independizadas, entre otros motivos, por proporcionar un incremento de seguridad en la ejecución, debido, por un lado, al menor tamaño de la sección de ataque y, por otro, por una mejora en la accesibilidad a zonas potencialmente inestables mediante la utilización de maquinaria más convencional.

En el proyecto se distinguieron cuatro clases de terreno en función del valor del RMR de Bieniawski (1989) a los que se asoció una longitud máxima de pase en la fase de avance. De igual manera se diseñaron cinco secciones tipo, cada una de las cuales fue aplicada a la respectiva clase de terreno previamente definida. Durante las obras no llegó a ejecutarse ninguna sección con sostenimiento tipo S-I (la más liviana, para los terrenos más competentes), pero sin embargo se diseñó una nueva sección tipo (S-IIIB), intermedia entre las denominadas S-III y S-IV. La sección S-V corresponde a los tramos de emboquille. En todas ellas se emplearon como elementos tipo de sostenimiento hormigón proyectado con fibras (sin fibras y con mallazo electrosoldado en las secciones S-IV y S-V), bulones de expansión (excepto en las secciones S-IV y S-V), cerchas (sólo en las secciones S-IIIB, S-IV y S-V) y paraguas de micropilotes en emboquilles y pasos especiales, no siendo en ningún caso necesaria la ejecución de contrabóveda.

Clases de terreno y secciones tipo de sostenimiento

Una vez construida la viga de atado y la visera de ataque, la excavación en mina comenzó primero desde el frente sur el día 18 de enero de 2005. A lo largo de los primeros pases, la excavación se realizó mediante medios mecánicos. Las condiciones geotécnicas del frente mejoraron pronto considerablemente, de manera que la práctica totalidad del mismo estaba constituido por granitos sanos, grado de meteorización II-I, con

Clase	Calidad del macizo rocoso			Longitud de pase (m)
	RMR	Q	Descripción	
I	>70	>20	Calidad óptima	5,0
II	55 – 70	2 – 20	Macizo de calidad buena	4,0
III	40 – 55	0,5 – 2	Calidad aceptable a buena	2,5
IV	20 – 40	0,05 – 0,5	Zonas de falla	1,0 – 2,0

Sección tipo	Hormigón proyectado (cm)	Cerchas		Bulones de expansión L=4 m	Pase de avance (m)	Paraguas pesado	Espesor de hormigón proyectado en el frente (cm)	Contrabóveda o solera
		Tipo	Espaciado (m)					
S-I	3 – con fibras	–	–	2,5x2,5	5,0	–	–	–
S-II	3+5 – con fibras	–	–	2,0x2,0	4,0	–	–	–
S-III	5+10 – con fibras	–	–	1,5x1,5	2,5	–	–	–
S-IV	5 (c/f)+ mallazo +15 (sin fibras)	TH-29	1,0	1,0x1,0	1,0	–	5	Sí
S-V	5 (c/f)+ mallazo +20+5 (sin fibras)	HEB-180	1,0	–	1,0	Sí	5	Sí

valores de RMR de entre 50 y 60 (correspondientes a secciones de sostenimiento S-II y S-III). Sin embargo, en todos los frentes podía apreciarse en clave zonas algo más alteradas, grado III o incluso IV, con aportes de agua a favor de los planos subhorizontales, que daban lugar a sobreexcavaciones de cierta entidad, de manera que, para una mejor ejecución del sostenimiento, se colocó en un gran número de pases chapa Bernold a modo de encofrado perdido en tramos localizados del perímetro de la sección.

Durante los primeros metros de excavación mediante el empleo de explosivos, a requerimiento de la dirección de obra se llevaron a cabo mediciones de velocidades y frecuencias inducidas en el túnel 2, situado a menos de 30 metros de distancia del túnel 3 en ese punto. Se elaboró un informe de acuerdo al cual se estableció una limitación de velocidad sísmica inducida de 100 mm/s para evitar que el tráfico que circulaba por el túnel 2 pudiera quedar afectado por las vibraciones. Una vez que se hubo comprobado que las

velocidades medidas en túnel 2 eran mínimas, se concedió permiso para volar sin cortes previos de tráfico.

Durante los meses siguientes, hasta el cale del avance el día 8 de octubre de 2005, se produjo una alternancia entre las secciones S-III y S-II. Los valores de RMR estuvieron comprendidos entre 50 y 70 y en un número importante de ocasiones se situaron entorno a los 70-75. La estructura del macizo rocoso, dominada por dos familias de discontinuidades subverticales de orientación y características muy homogéneas a lo largo de todo el túnel, se veía afectada por diversos planos subhorizontales y zonas de fractura y falla, estas últimas asociadas a los planos principales, cuya combinación creaba cuñas potencialmente inestables cuya aparición en tramos localizados aconsejaba el paso a la sección S-III de sostenimiento.

La optimización del ciclo productivo y el buen comportamiento del macizo rocoso permitieron en la fase avance que los rendimientos diarios alcanzasen los

Tabla 2. Rendimientos en sección de avance - Boca Sur

MES	EXCAVACIÓN		DÍAS TOTALES	DÍAS LABORABLES	RENDIMIENTOS		
	PK Inicio	PK Final			MENSUAL (m)	DÍA TOTAL (m/día)	LABORABLE (m/día)
Enero - 2005	6+363	6+381	14	6	18	1,29	3,00
Febrero - 2005	6+381	6+458	28	19	77	2,75	4,05
Marzo - 2005	6+458	6+697	31	20,5	239	7,71	11,66
Abril - 2005	6+697	6+987	30	23,5	290	9,67	12,34
Mayo - 2005	6+987	7+270	31	21	283	9,13	13,48
Junio - 2005	7+270	7+567	30	24	297	9,90	12,38
Julio - 2005	7+567	7+845	31	22	278	8,97	12,64
Agosto - 2005	7+845	8+155	31	23,5	310	10,00	13,19
Septiembre - 2005	8+155	8+449	30	22,5	294	9,80	13,07
Octubre - 2005	8+449	8+519	8	6	70	8,75	11,67

Tabla 3. Rendimientos en sección de avance - Boca Norte

MES	EXCAVACIÓN		DÍAS TOTALES	DÍAS LABORABLES	MENSUAL (m)	RENDIMIENTOS	
	PK Inicio	PK Final				DÍA TOTAL (m/día)	LABORABLE (m/día)
Junio - 2005	9+365	9+262	30	24	103	3,43	4,29
Julio - 2005	9+262	9+140	31	22	122	3,94	5,55
Agosto - 2005	9+140	8+875	31	23,5	265	8,55	11,28
Septiembre - 2005	8+875	8+589	30	22,5	286	9,53	12,71
Octubre - 2005	8+589	8+519	8	6	70	8,75	11,67

Las buenas características de la roca en este tramo permitieron eliminar el paraguas de micropilotes previsto en proyecto, pero continuando con el sostenimiento de cerchas

12-13 metros, con avances mensuales comprendidos entre los 239 y los 306 metros (frente sur) y los 103 y los 288 metros (frente norte). La excavación de la fase de destroza comenzó a primeros del mes de noviembre de 2005 y finalizó desde la boca sur el día 15 de marzo de 2006. El rendimiento medio alcanzado se situó en torno a los 20 metros/día. El terreno encontrado coincidió lógicamente con el detectado en la fase de avance, por lo que se prolongaron los mismos sostenimientos que los ejecutados en dicha fase.

Respecto a la *excavación de las galerías*, en todas ellas se ejecutó previamente a su excavación un zuncho en el entronque constituido por un paraguas ligero de bulones de 32 milímetros y L=6 metros inyectados, con mallazo electrosoldado y gunita con fibras. En el entronque con los túneles en servicio la viga de zuncho fue sustituida por perfiles metálicos cosidos por los bulones del paraguas ligero. Posteriormente, se realizó la excavación a sección completa siguiendo los mismos pasos explicados en la ejecución de la sección principal del túnel.

Pasos especiales

El trazado en mina del túnel 3 presentó cuatro puntos singulares de paso:

- Paso bajo la carretera N-VI. Cobertera de 16 metros.
- Paso sobre el túnel 1. Resguardo de 15 metros.
- Paso bajo la trinchera del ferrocarril Villalba-Segovia. Cobertera de 11 metros.
- Paso bajo la calzada sentido Madrid de la autopista AP-6. Cobertera de 12 metros.

El paso bajo la carretera N-VI coincidió con un tramo en el que el macizo rocoso tiene calidad media a alta (RMR entre 57 y 62), estando constituido por granitos prácticamente sanos (grado II) excepto en la clave, donde se alcanzaba el grado III (moderadamente meteorizado). La roca estaba poco fracturada, con tres familias de juntas principales de continuidad y espaciados altos. Estas buenas características permitieron eliminar el paraguas de micropilotes previsto en proyecto, pero continuando con el sostenimiento de cerchas.

El nuevo túnel cruza *esviado* bajo el ferrocarril a lo largo de 20 metros. La ejecución del cruce coincidió con un macizo rocoso de calidad media (RMR entre 47 y 58), presencia de agua y bastante fracturado. El granito se encontraba prácticamente sano con grados I a II. Se ejecutaron dos paraguas de micropilotes desde el interior del túnel de 14 metros de longitud cada uno, solapados 3 metros.

El paso sobre el túnel 1 desde la boca sur no presentó problemas de inestabilidad

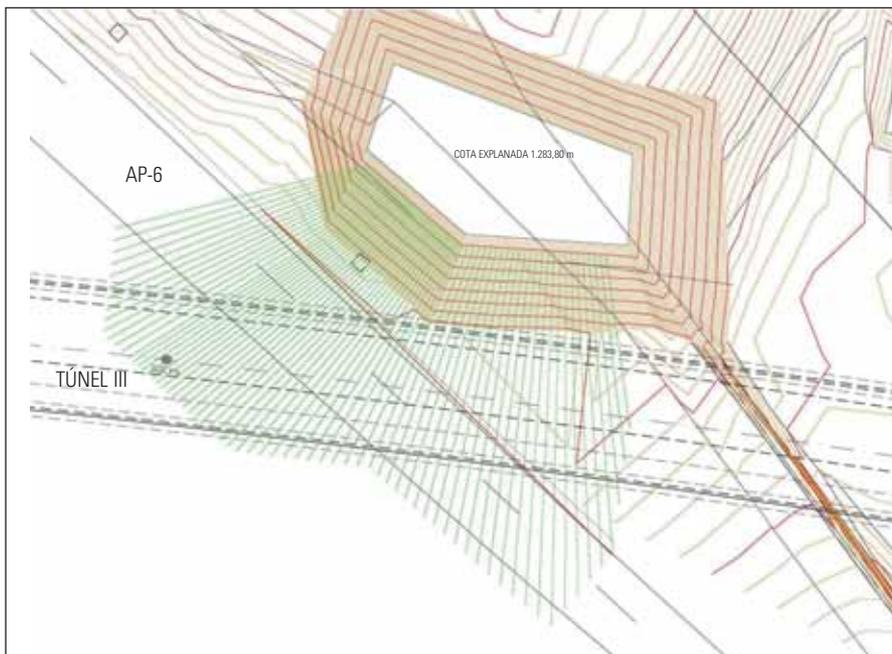


Figura 7. Tratamiento propuesto. Micropilotes paso bajo AP-6.

mecánica. Se realizaron medidas de vibraciones en las voladuras para confirmar la ley de propagación en estos granitos y determinar la carga operante y la longitud de pase. Las vibraciones causadas por las voladuras estuvieron muy por debajo de los límites fijados en la normativa existente y no llegaron a afectar al tráfico que circulaba por el túnel 1 ni a los equipos que allí se encuentran instalados.

El paso bajo la calzada sentido Madrid de la autopista ha constituido el punto más conflictivo de la obra. La investigación geofísica y los sondeos efectuados en la zona indicaban una importante variación en los espesores de los suelos residuales que recubren el substrato. De acuerdo a la interpretación geotécnica, el recubrimiento está constituido, en sus primeros 6 metros, por jabres y roca alterada a grado IV-V, existiendo un espesor de unos 5 metros de roca granítica moderadamente meteorizada, grado III, que presenta una intensa fracturación. Por otro lado, el nivel freático está situado unos 4 metros por encima de la clave del túnel. La acusada variabilidad observada en el perfil geotécnico y las deficientes características geotécnicas de los materiales existentes en el recubrimiento recomendaron el diseño de un refuerzo que permitiera asegurar el

paso del frente de excavación sin producir asentamientos de importancia o chimeneas que hubieran podido afectar a la importante infraestructura existente.

La solución elegida consistió en la construcción de micropilotes desde una zanja adyacente al trazado del túnel y de la autopista AP-6 (figura 7). Desde dicha zanja se perforaron micropilotes horizontales a una cota próxima al contacto entre la roca moderadamente meteorizada y los niveles más alterados. Los micropilotes, de longitudes variables desde los 25 hasta los 40 metros, se dispusieron en espaciados de algo menos de 1 metro entre sí, formando una especie de losa de terreno mejorado, armado con los micropilotes, abarcando 57 metros de tramo de autopista.

Esta solución ha presentado diversas ventajas:

- La perforación e instalación de los micropilotes se llevó a cabo con antelación al paso del frente de excavación, sin retrasar el avance del túnel.
- Las perforaciones para los micropilotes constituyeron una serie de sondeos previos indicativos de la naturaleza del terreno, lo que habría permitido, si hubiera sido necesario, reforzar la

sección del túnel antes de alcanzar las secciones críticas.

- La zanja excavada para el tratamiento permitió colocar medios de auscultación, como un inclinómetro horizontal, que obtuvo datos de las deformaciones inducidas en la autopista antes, durante y después de que el frente de excavación pasara por su zona de influencia. Esto hubiera permitido actuar antes de que las deformaciones llegaran a límites inadmisibles. La auscultación se completó con 12 hitos de nivelación a ambos lados de la calzada.

La solución fue comprobada en la fase de proyecto empleando modelos tridimensionales de diferencias finitas. Se estudió la estabilidad de la sección del túnel, limitando las deformaciones en superficie de manera que no afectasen a la circulación. Los cálculos proporcionaron altos factores de seguridad. En el interior del túnel la evolución de las deformaciones fue controlada de manera detallada mediante la auscultación dispuesta. Los hitos de nivelación registraron un descenso máximo sobre el eje del túnel de 20 milímetros durante el paso del frente de avance, con una estabilización total posteriormente. Con el paso de la destroza se volvió a registrar un nuevo descenso de 5 milímetros más, llegándose a un descenso total máximo de 25 milímetros y la siguiente estabilización. Respecto al inclinómetro horizontal, éste registró un descenso máximo próximo a los 15 milímetros. En cuanto a las precauciones respecto a la excavación, se limitó la longitud de pase a 2,5 metros, empleando una sección tipo de sostenimiento con cerchas para mayor garantía de seguridad.

Control e instrumentación

El equipo de túnel de la asistencia técnica a pie de obra, llevada a cabo por la empresa consultora Técnica y Proyectos, S.A. (TYPESA), estuvo constituido por un ingeniero de Caminos y un geólogo, ambos con amplia experiencia en labores similares, además de contar con asesores de reconocido prestigio con los cuales la dirección de obra tomó las principales decisiones.

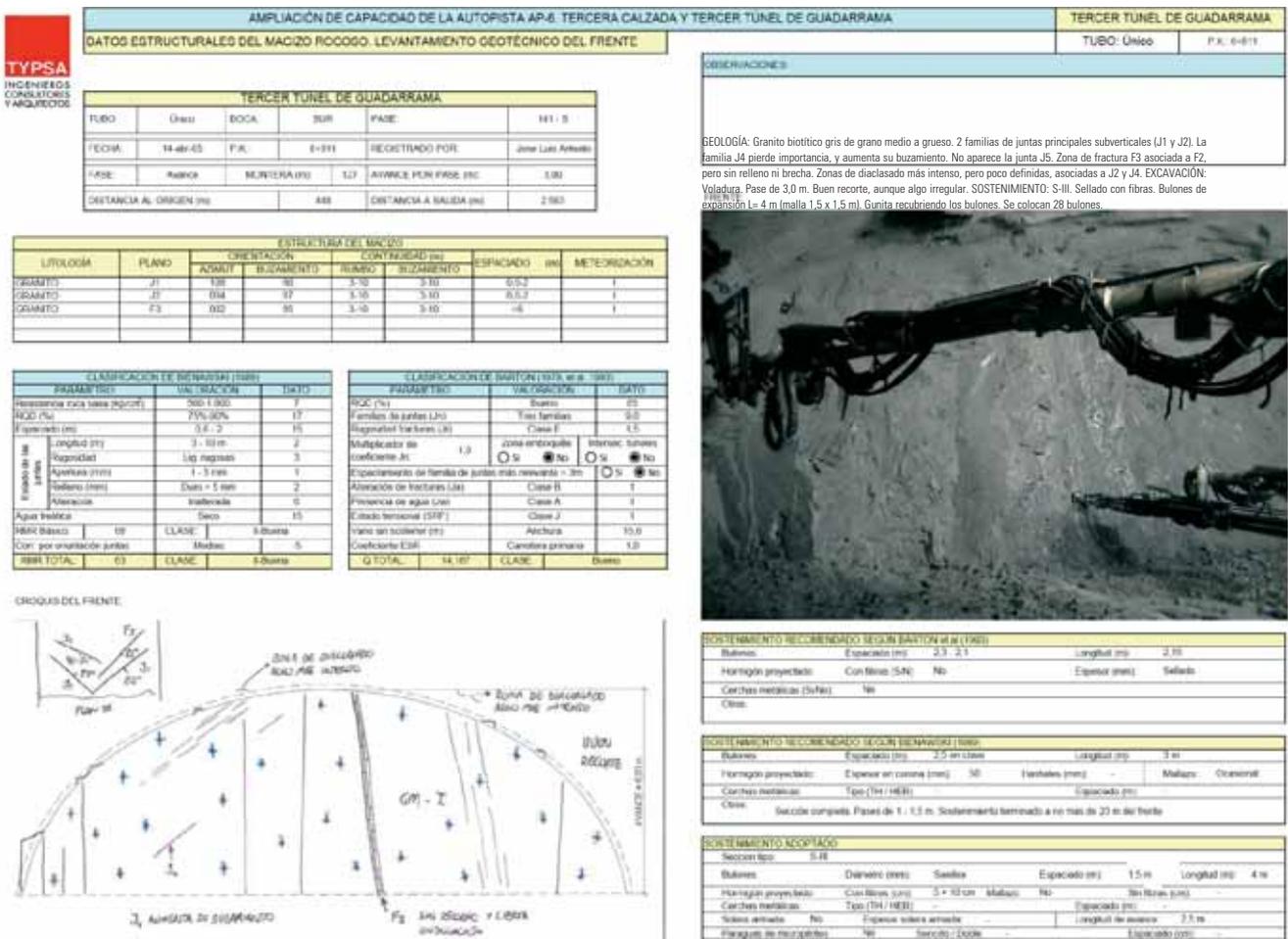


Figura 8. Ficha de levantamiento del frente. Pase 141-S. PK 6+811.

El control técnico del túnel se articuló en torno a cuatro tareas principales:

- Levantamiento geotécnico del frente de excavación.
- Análisis estructural del macizo rocoso.
- Cálculo de estabilidad de cuñas y bloques.
- Control de la auscultación.

Para cada uno de los frentes de excavación se preparó una ficha de levantamiento geotécnico del frente (figura 8).

Para el análisis estructural del macizo rocoso, los datos geomecánicos obtenidos en cada frente de excavación fueron procesados analíticamente mediante el programa CALEST. Los planos correspondientes a los frentes característicos fueron representados en proyección estereográfica, para poder así determinar cuáles eran los polos medios característicos de cada familia de discontinuidades.

La estabilidad de cuñas y bloques se estudió mediante el programa UNWEDGE. El estudio de la estabilidad de cuñas y bloques es fundamental en un túnel como el que se ha construido, dado que las distintas combinaciones de juntas podían dar lugar a bloques y cuñas inestables. En secciones de sostenimiento sin cerchas los bulones han constituido el arma más eficaz para el cosido de las cuñas inestables. Fue por tanto esencial el control día a día del sostenimiento adoptado en cada pase y su validación para soportar las cuñas formadas por las combinaciones de discontinuidades con un razonable factor de seguridad. Los análisis de estabilidad sólo pueden ser efectivos con una cierta dosis de criterio práctico llevado a cabo por profesionales con experiencia. Los técnicos que estuvieron a pie de la excavación conocían suficientemente el macizo rocoso (conocimiento aportado por el control del frente de la excavación tras cada voladura) para poder graduar en función de su importancia las juntas medidas, discriminar

aquellas combinaciones de discontinuidad improbables, limitar la continuidad de los planos que correspondan, etc (figura 9).

Por otra parte, las obras del tercer túnel de Guadarrama requirieron un intenso control llevado a cabo mediante su auscultación. Las obras exteriores se han controlando mediante la instalación de hitos de nivelación de precisión, dianas de auscultación topográfica e inclinómetros. En particular, en cada uno de los puntos de control se instalaron los siguientes elementos:

- Emboquille sur: 14 hitos de nivelación, 5 dianas de auscultación y 3 inclinómetros verticales, desde coronación del talud hasta una cota 5 metros inferior a la cota inferior de zapatas del túnel.
- Emboquille norte: 7 hitos de nivelación, 4 dianas de auscultación y 2 inclinómetros verticales.
- Paso bajo la calzada Madrid de la AP-6: 12 hitos de nivelación y 1 inclinómetro horizontal para el control de asentamientos.

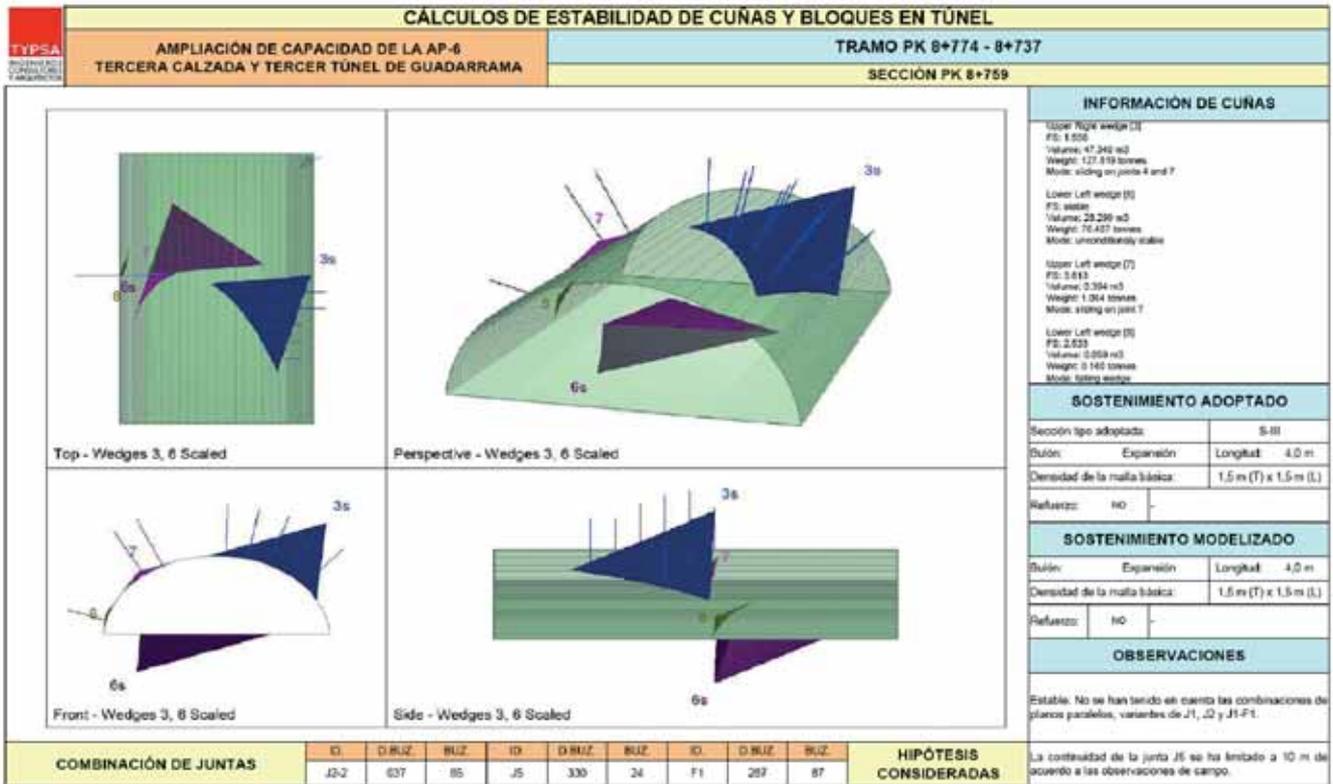


Figura 9. Ficha de análisis de cuñas. Sección PK 8+759.



Figura 10. Miembros del ICOG en la visita al túnel.

de convergencia hasta su estabilización y durante un periodo mínimo de dos semanas. Posteriormente, se realizaron mediciones mensuales de comprobación. La medición de convergencias fue completada con la nivelación topográfica del perno de clave. En la zona de emboquilles las secciones de convergencia se dispusieron espaciadas únicamente cada 5 metros. En el resto del túnel se espaciaron 25 metros en los primeros tramos, aunque a la vista de que en ninguna de las estaciones colocadas en los primeros 400 metros de excavación por ambos frentes presentaron movimientos superiores al rango de medición de los aparatos empleados, las estaciones se espaciaron a partir de esos puntos a 35 metros.

La Junta del ICOG visita la obra

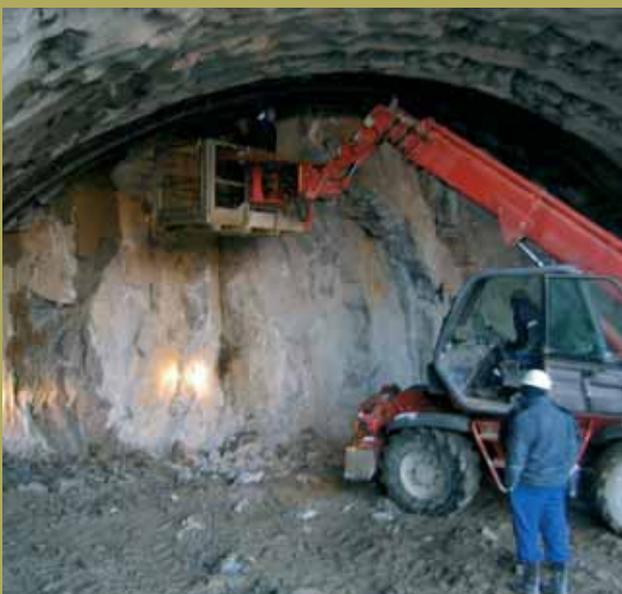
Por invitación de la empresa constructora del túnel, Castellana Autopistas, varios miembros de la Junta de Gobierno del ICOG visitaron las obras del túnel (figura 10). La visita fue guiada por el director de construcción de la empresa, Rafael Pérez Arenas, que explicó muy detalladamente los aspectos geológicos y constructivos de la obra.

En todos los casos se llevaron a cabo mediciones diarias hasta constatar la estabilización de las medidas. En el emboquille norte, los movimientos medidos fueron mínimos, del orden de magnitud del rango de apreciación de los medios de auscultación empleados. En la boca sur, los movimientos no han superado los 20 milímetros de descenso máximo. Los hitos en los que se apreciaron mayores descensos coincidieron con el eje del túnel. Se llevó a

cabo un seguimiento del descenso de los hitos centrales con la posición del frente de excavación, constatándose la estabilización de las medidas pocos metros después de que el frente pasase bajo la vertical del hito. Los elementos más comunes para la auscultación interior del túnel son las estaciones de convergencia. Cumpliendo las indicaciones del PPTP de la obra se llevaron a cabo mediciones diarias de las estaciones



Perforación de micropilotes. Boca Sur.



Colocación de cerchas y doble capa de malla electrosoldada.



Gunitado. Robot de gunitado por vía húmeda.



Desescombro. Pala cargadora y camión articulado.



Saneo de la sección. Martillo picador montado sobre retroexcavadora.



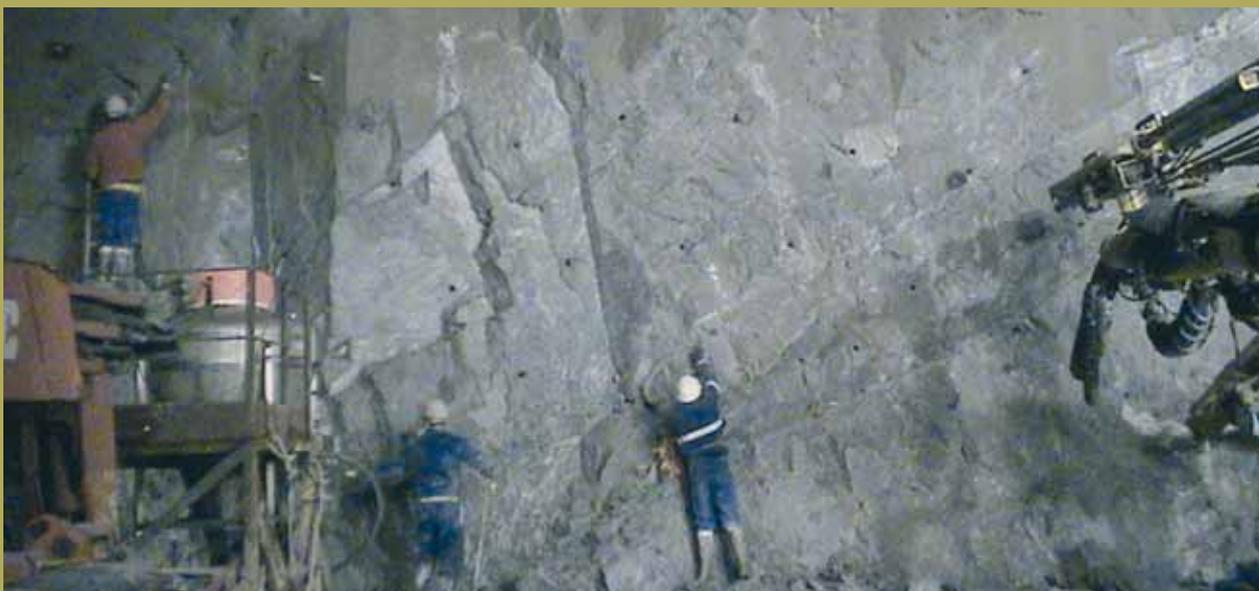
Vista de la boca Sur. Equipo de ventilación soplante.



Jumbo perforador de tres brazos trabajando en modo semiautomático.



Barrenado de bulones.



Preparación de la pega.



Pega preparada para el disparo.



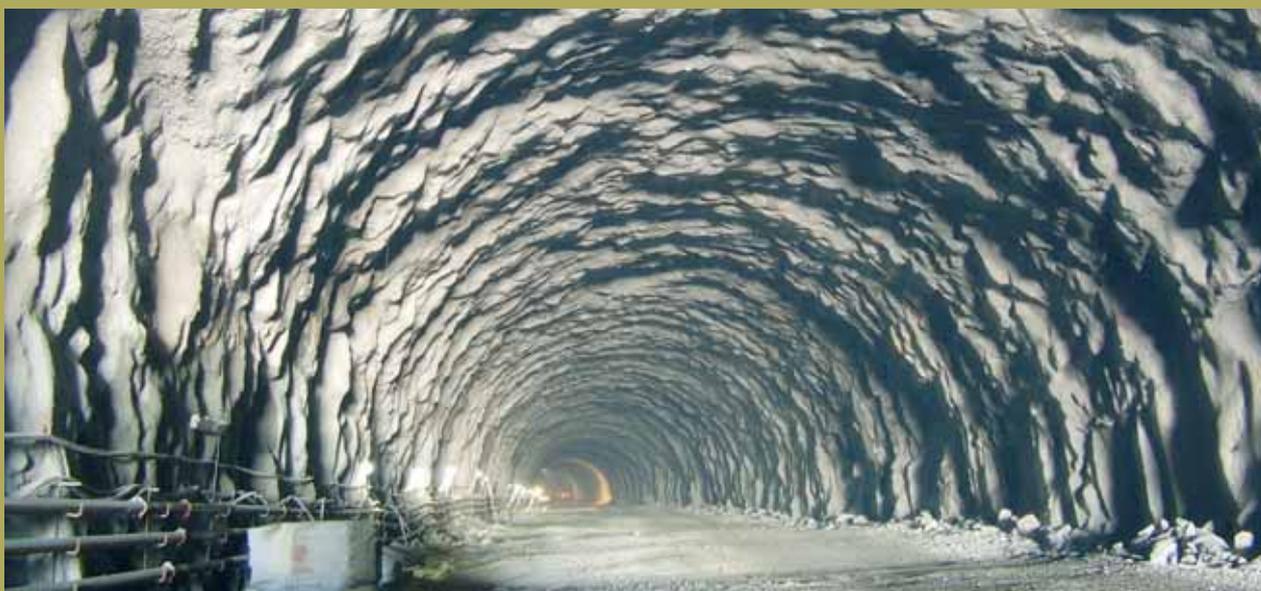
Excavación del emboquille Norte.



Perforación de micropilotes. Boca Norte.



Vista de la sección de avance y destroza.



Sección completa excavada.



Comienzo de la excavación de una de las galerías.



Entronque de galerías con túnel 2.



Detalle impermeabilización túnel.



Carro de encofrado trabajando en zona impermeabilizada.



Sección revestida completada.



Revestimiento en apartadero con sistema Bernold.



Vista aérea emboquille sur en construcción.



Estructura de la boca sur.



Galería de conexión en servicio.



Túnel 3 en servicio.

2008 Año Internacional del Planeta Tierra

Ciencias de la Tierra para la sociedad

Texto | José Pedro Calvo Sorando, presidente del Comité Ejecutivo Español del Año Internacional del Planeta Tierra



La iniciativa de la conmemoración de un Año Internacional del Planeta Tierra (AIPT) fue puesta en marcha por la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS), conjuntamente con la División de Ciencias de la Tierra de la UNESCO. En respuesta a esta iniciativa, la Asamblea General de Naciones Unidas, en su reunión de 22 de diciembre de 2005, proclamó oficialmente 2008 como Año Internacional del Planeta Tierra. Tal como se señala en el documento de proclamación, el Año Internacional se enmarca en un conjunto de iniciativas de carácter universal propiciadas por Naciones Unidas (Cumbre de Río, Cumbre de Johannesburgo, Hyogo), lo que da una particular relevancia a las actuaciones emprendidas.

Más de ochenta países han apoyado esta iniciativa que, en realidad, se desarrolla como un trienio de actividades (2007-2009), con 2008 en su centro. El objetivo es hacer patente que las Ciencias de la Tierra, y entre ellas la Geología como ciencia esencial en el conocimiento de nuestro planeta, contribuirán de forma decisiva a que las futuras generaciones resuelvan los retos existentes y aseguren un mundo más próspero y seguro.

El Año Internacional comprende un programa científico y un programa de difusión de las Ciencias de la Tierra hacia la sociedad, incluyendo en este concepto el gran público, los medios de comunicación, la clase política y los

agentes sociales con capacidad de decisión y gestión.

En España, la Comisión Nacional de Geología está siendo el elemento motor de la organización del evento en nuestro país, coordinando actividades y estableciendo contactos con instituciones y asociaciones de otros países.

Objetivos del Año Internacional del Planeta Tierra

Junto con el incremento de la conciencia social respecto al papel de las Ciencias de la Tierra, la iniciativa pretende ampliar las actividades de investigación, tanto en los países menos desarrollados como en las naciones que ya lo

están. En la aspiración general de alcanzar un mundo más saludable, seguro y próspero, se pueden señalar como objetivos más específicos los siguientes:

- La reducción de riesgos causados por fenómenos peligrosos de carácter natural o inducidos por el hombre, partiendo del actual conocimiento de



dichos fenómenos o del derivado de nuevas investigaciones.

- La reducción de los problemas relativos a la salud de las poblaciones mediante la mejora de diversos aspectos de la sanidad relacionados con las Ciencias de la Tierra.
- El hallazgo de nuevos recursos naturales, haciéndolos disponibles y utilizables de forma sostenible. En el caso de los recursos hídricos, en especial las aguas subterráneas, su conocimiento debe mejorar lo que a menudo es una fuente de tensiones políticas entre países vecinos.
- La mejora en el diseño de infraestructuras más seguras relacionadas con la expansión urbana a través de un buen conocimiento de las características del subsuelo.
- La determinación de los factores no directamente derivados de la actividad humana en lo que se refiere al cambio climático.
- El incremento del conocimiento sobre las particulares condiciones de los

fondos oceánicos, tan relevantes para la evolución de la vida.

Junto con estos objetivos se pueden señalar otros que aluden a aspectos de carácter más general pero con un claro contenido para la ciudadanía, como son:

- La estimulación del interés por las Ciencias de la Tierra en el conjunto de la sociedad.
- El aumento del número de estudiantes en los programas y titulaciones en Ciencias de la Tierra.
- El incremento de presupuestos para la investigación científica sobre la Tierra.
- La promoción de la visibilidad y de las aplicaciones de las geociencias.

Organización del Año Internacional y actividades previstas en nuestro país

En España está constituido un Comité Nacional del AIPT, cuya presidencia de honor corresponde a S.A.R. la Infanta Cristina y en el que están representados departamentos ministeriales, instituciones y organismos de la Administración, sociedades científicas y representaciones de colectivos de profesionales relacionados con las Ciencias de la Tierra.

En este sentido, el
Ilustre Colegio
Oficial de

Geólogos está presente como miembro del Comité Ejecutivo del AIPT. La Comisión Nacional de Geología (CNG) actúa como un elemento de coordinación para todas estas actividades. El Instituto Geológico y Minero de España, que ostenta la presidencia y secretaría de la CNG, está contribuyendo de forma decisiva a todas estas tareas. La UNESCO, como institución de la que parte la iniciativa de conmemoración del Año Internacional, tiene asimismo un papel importante en las actividades en marcha.

Tras la inauguración oficial del Año Internacional del Planeta Tierra en la sede de UNESCO, en París, el 12 de febrero de 2008, y la ceremonia oficial de arranque en España al día siguiente, están previstas numerosas actividades de difusión. En primer lugar, mediante la distribución de material informativo y didáctico en el conjunto de los centros escolares. También mediante la presencia y visibilidad del evento en las Ferias de la Ciencia programadas a lo largo de 2008. Por otra parte, mediante la organización de ciclos de conferencias que desarrollarán los temas centrales en los que se estructura el Programa Científico y de Difusión del AIPT: agua subterránea; desastres naturales; Tierra y salud; cambio climático; recursos y uso sostenible; megaciudades; la Tierra profunda; océanos; suelos; Tierra y vida. Todo ello se desarrollará en paralelo con el recorrido de la exposición Planeta Tierra, de carácter itinerante, en la que se mostrarán los contenidos y mensajes esenciales del Año Internacional.

El Año Internacional del Planeta Tierra constituye una oportunidad única para difundir el papel que la Geología y las Ciencias de la Tierra, en general, cumplen en la mejora de las condiciones de vida de la población y, como escenario general, en la salvaguarda de nuestro planeta. A ello debemos implicarnos de forma decidida participando e impulsando las actividades programadas.

¡Bienvenidos al Año Internacional del Planeta Tierra!

Sobre lo efímero y lo permanente

Un paseo geológico-artístico por el cañón del río Júcar en Cuenca

El texto explica un paseo donde la geología sirve de interlocución para una visión artística del paisaje. También se comentan los argumentos que sirven para construir una idea de intervención escultórica en los cañones de los ríos Júcar y Huecar.

Un paisaje es ante todo un territorio emocional, construido por interpretación de agregados de otros territorios: climáticos, geológicos, biológicos, antropológicos, místicos, históricos, administrativos. Y las operaciones de mezcla y desmezcla son de muchas clases: fusión, yuxtaposición, superposición, borrado, amalgamado, arrasado...

TEXTO | Luis Ismael Ortega, geólogo y artista (ortega@arenarius.net)

Palabras clave

Paisaje geológico, intervención artística, río Júcar, Cuenca, tiempo geológico.

Era un día equinoccial del mes de septiembre, un anticiclón ocupaba el océano Atlántico, desde las islas Azores, hasta el mar Mediterráneo. El cielo de Cuenca estaba despejado, el aire anticiclónico descendía calentándose y disolviendo las nubes. El espacio del paseo discurría por un valle que, encajado en una masa calcárea, que define uno de los límites de la Cordillera Ibérica. Hacia el Suroeste se abría la llanura, una depresión rellena de sedimentos de la era Terciaria, producto de la dismantelación de la cordillera. En el encuentro entre el borde de la cordillera y la llanura crece un sistema de formas bioconstruidas por la especie humana a partir del reciclado de materia y energía: *una ciudad*. Los homínidos participamos sin percibirlo de modo consciente, de los ciclos biogeoquímicos del planeta, en el reciclaje de litosfera a gran escala: un flujo de procesos superpuestos y concatenados a diferentes escalas y velocidades, en el que colaboran activamente los procesos biológicos de los seres vivos.

El planeta gira con una velocidad angular de 860 km/h en el paralelo 40°, ámbito del paseo. Y se desplaza alrededor del sol con energías gravitacionales, a 104.000 km/h. Aunque sin percepción de ese movimiento, nos movemos todos a la vez.



Hoz del río Júcar.

Este ámbito, me indujo a presentar un proyecto de intervención escultórica por encargo de Ángel Pérez, en septiembre de 2004 para los cañones del Júcar y Huécar, en el entorno de la ciudad de Cuenca que nace del encuentro con ese espacio particular y esta orientado a hacer significativa una relación de tiempo-materia-proceso. Lo efímero y lo

permanente son categorías que semejan a la lluvia sobre el océano: todo es agua bajo diferente aspecto.

Las nubes también son agua y es generalmente conocido que existen diversos tipos de nubes. Unas son delgadas y casi transparentes; otras tienen forma de coliflor y son de color

blanco brillante; otras tienen color oscuro y a veces aparecen coronadas por un yunque grisáceo y aplanado. Algunas nubes producen lluvia o nieve, otras originan tormentas, relámpagos y truenos. Pero la mayoría de ellas se forman y desaparecen sin ninguna de esas manifestaciones externas. La estructura, apariencia y movimiento de una nube dependen en especial de los movimientos verticales del aire.

Hablar y escribir de nubes o rocas es describir y construir el mundo desde una parcela de los campos semánticos, es hacerlo con un lenguaje particular que en este caso es el mejor aprendido. Campo semántico y de conocimiento desde el que se mira y aborda el quehacer, que es otro modo de construir. De eso trata el paseo, pues más que explicar la naturaleza de lo que se ve, busca orientar la observación hacia una dinámica reflexiva que relativice la actitud antropocéntrica de nuestro pensamiento.

Vemos rocas y vacíos que nos abren a la emoción por sus escalas. Pasear por el borde del cañón al pie de los cantiles no es indiferente. Hay una respuesta emotiva a la magnitud y proximidad de las masas de materia, a la configuración particular de las rocas y al volumen de espacio que se abre. Sin saberlo, esa percepción no consciente nos conmueve en diferente grado, pues es una comprensión instantánea que atraviesa y no permanece, sólo transmite la certeza de que asistimos a un lenguaje con significados sobre la realidad, que nos incorpora y funde sin saber cómo y sin palabras adecuadas para nombrarlo. La vivencia profunda de sentir el vértigo de la materia y el espacio es el núcleo de las respuestas del quehacer en intervenciones artísticas de los espacios abiertos. Sin esa experiencia interior, sólo hay imposiciones.

Las rocas que vemos son la parte visible de una tríada materia-procesos-tiempo. Las rocas son materia y significan la

duración. En las paredes del cañón del Júcar vemos rocas, son dolomías formadas en una plataforma profunda de los mares cretácicos, por sedimentación de cristales de calcita y restos de caparazones microscópicos de algas y foraminíferos durante el Turoniense, hace 90 millones de años. El conjunto de los 25 metros de espesor de la capa rocosa más rotunda del cañón se fue sedimentando durante 3 millones de años. El apilamiento de calizas y margas que están por encima suponen un proceso sedimentario discontinuo de progresiva retirada del mar, un episodio que duró 18 millones de años. Luego ahí, nada relevante ha ocurrido desde hace 65 millones de años, al menos no quedan huellas. Las llanuras posmareales fueron y siguen siendo suelo, es decir, superficie. El conjunto deformado por su propio peso y la compresión de las masas adyacentes se ha ido desmantelando y vaciando desde entonces. Este proceso aún sigue ante nuestra mirada ciega. Aunque las rocas son vistas como sólidos rígidos que no parecen fluir, resulta que están en deformación permanente, se comportan como fluidos viscosos si tomamos la medida de tiempo adecuada. Para el hielo, la medida es la semana; para los depósitos de sal, el año; para los yesos, las décadas; para las calizas las centenas de mil...

Arthur Bloom (1978)¹ señala que *"una de las metas fundamentales en la instrucción del lenguaje geológico en superficie es ver el territorio no como un conjunto de lomas, barrancos, llanuras y picos montañosos, sino como valles erosivos, depresiones y concavidades, entre las que quedan cerros y montañas residuales. Debe acostumbrarse al ojo a ver que el material rocoso desaparecido es un hecho más significativo que el material que ha permanecido"*. Mirar el cañón en términos de masas y vacíos, advirtiendo que lo que falta es más importante que lo que hay.

Cómo y cuándo se ha formado el cañón y qué procesos actúan son aproximaciones



Grieta en la masa de calizas.

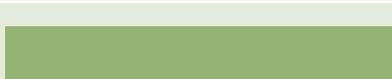
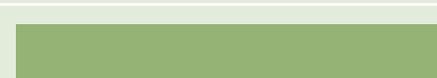
que nos desplazan momentáneamente de la atención sobre nosotros mismos. Los cañones son la parte visible de un proceso en cascada donde la materia es la parte pasiva y el agua la parte activa. Las rocas apiladas en varios centenares de metros, una vez que dejan de estar confinadas en profundidad, son frágiles y responden a los desequilibrios producidos por los esfuerzos: basculan, se abren, se comprimen, se distienden y se rompen formando una red de fracturas que determinará las vías favorables de circulación de agua. Algunas de estas roturas llevan ya el germen de un cañón. Las nubes, que son casi todo vacío, flotando, las rocas abajo. La nube en contacto con la roca. Una nube y una fractura. Un vacío y otro vacío que fabricarán huecos. El agua llevará la información de lo que hay que hacer.

1. Arthur L. Bloom (1978). *A Systematic Analysis of Late Cenozoic Landforms*. Prentice-Hall.

Luego el agua en el subsuelo, circulando a presión por las fisuras a varias decenas o centenas de metros de profundidad, disolviendo la roca caliza y ampliando la grieta. Trabajando una galería que a medida que se ensancha da cabida a más circulación de agua, aumentando el proceso de disolución. En relativamente poco tiempo se origina un conducto de varios kilómetros de longitud y algunas decenas de metros de diámetro;

el proceso es intenso, poniéndose en riesgo la estabilidad de la bóveda natural del conducto, que se desploma al no poder aguantar el peso de la masa que soporta sobre sí. De repente una parte de la bóveda colapsa y lo que era galería cerrada queda abierto al cielo. Entonces, el proceso de disolución pasa a segundo plano, ahora queda evacuar los restos. A partir de ese momento, el agua sólo va a actuar como medio

de transporte, retirando, en las crecidas y por la divagación que le permita la anchura del cauce, el material de que es capaz su energía. Mientras, las paredes del cañón siguen transformándose por la caída de bloques inestables de sus paredes y las nubes seguirán disolviendo la roca en un proceso de disolución, ahora mucho más discreto, concentrado en la red de fracturas menores.

Sobre la velocidad y la duración de los procesos geológicos		
	1-60 segundos	Impacto meteorítico Corriente de turbidez Avalancha, desprendimiento
	24 horas	Erupción volcánica Erosión del suelo Polución de un río
	1 año	Retroceso de 3 mm de las paredes del Gran Cañón Desplazamiento de 1,2 m de glaciar antártico
	10 años	Migración de barras de arena de un río Salinización de un acuífero Desactivación de isótopos de vida corta
	100 años	Separación de unos 10 cm del fondo marino Cambio climático Acumulación de sedimentos
	1.000 años	Subida o bajada del nivel del mar Formaciones minerales
	10.000 años	Formación de un suelo fértil Construcción de edificios volcánicos
	100.000 años	Etapa glacial. Glaciación a escala planetaria Encajamiento de un valle fluvial, formación de terrazas
	1.000.000 años	Separación de >4 km de fondo oceánico Evolución de nuevas especies Sucesión sedimentaria Formación de un cañón
	10.000.000 años	Orogenia. Formación de una cordillera

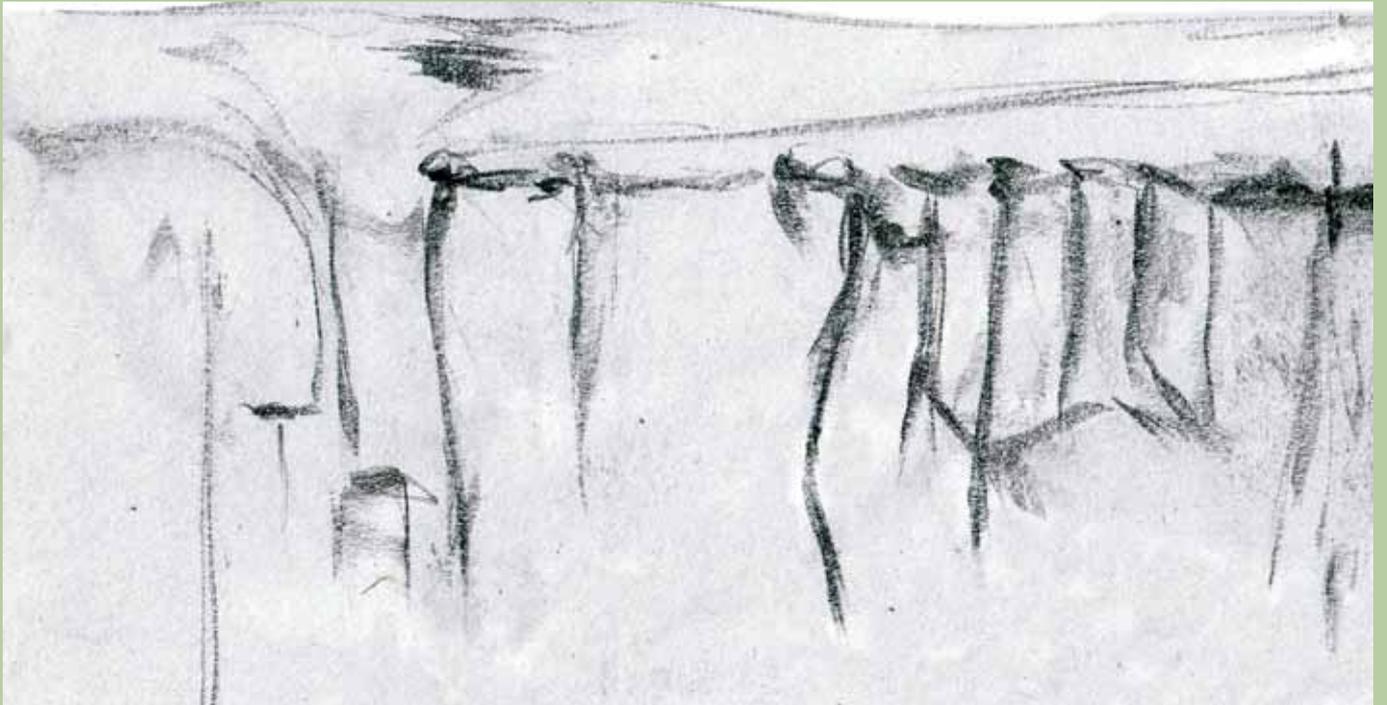
Los procesos en permanente actividad, dispersos o localizados, invisibles aunque evidentes, generando formas son el conjunto de interacciones en la interfase atmósfera-subsuelo, donde intervienen el aire, el agua, la materia y la gravedad. Operando bajo un régimen de estabilidad dinámica o en cascada, donde un desequilibrio accidental arrastra a todo el sistema. Los procesos geológicos operan de modo simultáneo y a diferente escala y velocidad.

Boceto para un proyecto de intervención escultórica en las hoces del Júcar y Huecar en el entorno de Cuenca



Los paisajes han sido objeto de atención por los artistas desde hace tiempo. Sin embargo, la intervención directa sobre el territorio, bien destacando sus singularidades o mostrando cualidades ocultas, han sido operaciones iniciadas en la década de 1970 que continúan en la actualidad y que han ayudado a cambiar la perspectiva de nuestra visión sobre el entorno que habitamos, ayudándonos, como especie, a situarnos mejor en el tiempo cosmológico y en el espacio de escala planetaria.

La ciudad de Cuenca está situada en el espigón que está en la confluencia de los cañones del Júcar y Huécar. Sus paredes son el escenario que se divisa desde la parte alta de la ciudad, tanto al Este como al Oeste. Es una morfología fluvial con el agua como agente precursor activo, donde el proceso de circulación y disolución de las rocas calcáreas masivas deja huella y se manifiesta en las acanaladuras de las paredes del cañón y en los teñidos de hidróxidos negros y óxidos rojizos producto de la liberación y alteración de algunos compuestos minerales de la roca.



Intervención

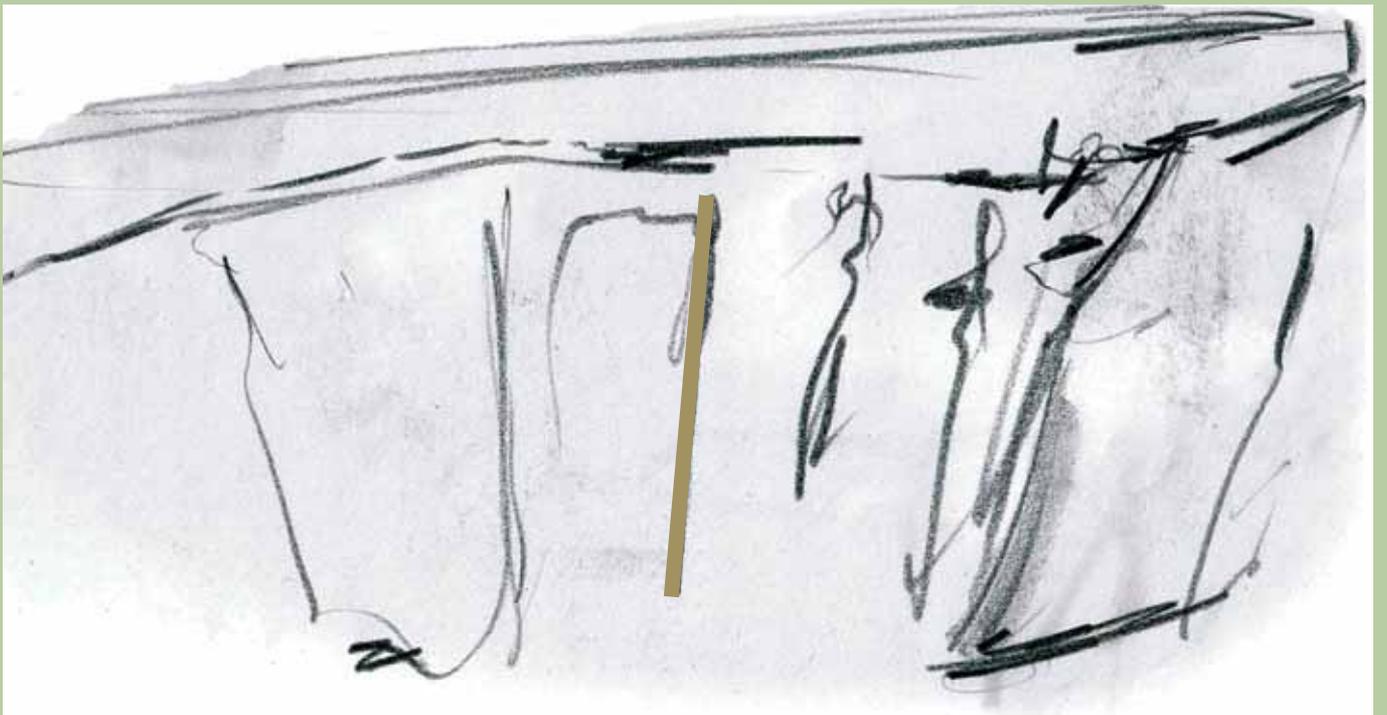
Las cornisas y paredes de los cañones están grabadas con acanaladuras, que son la resultante de la interacción entre el agua y el macizo rocoso, fragmentado en una red de fracturas. El agua, casi invisible, hace visible la estructura oculta de la materia, poniéndola en evidencia a través de las marcas.



La propuesta consiste en señalar simbólicamente la acción misteriosa y continua del agua, marcando sus huellas con materiales de color de *oro*. El agua como esencia y agente de los procesos externos, como fundamento de la vida, como elemento sagrado de la materia.



La intervención se basa en el trabajo de "dorar" acanaladuras seleccionadas, sean verticales u horizontales, en ambos flancos. Marcando las *líneas maestras* de los procesos invisibles. Marcar el carácter asociado a la condición divina del agua y los ríos.

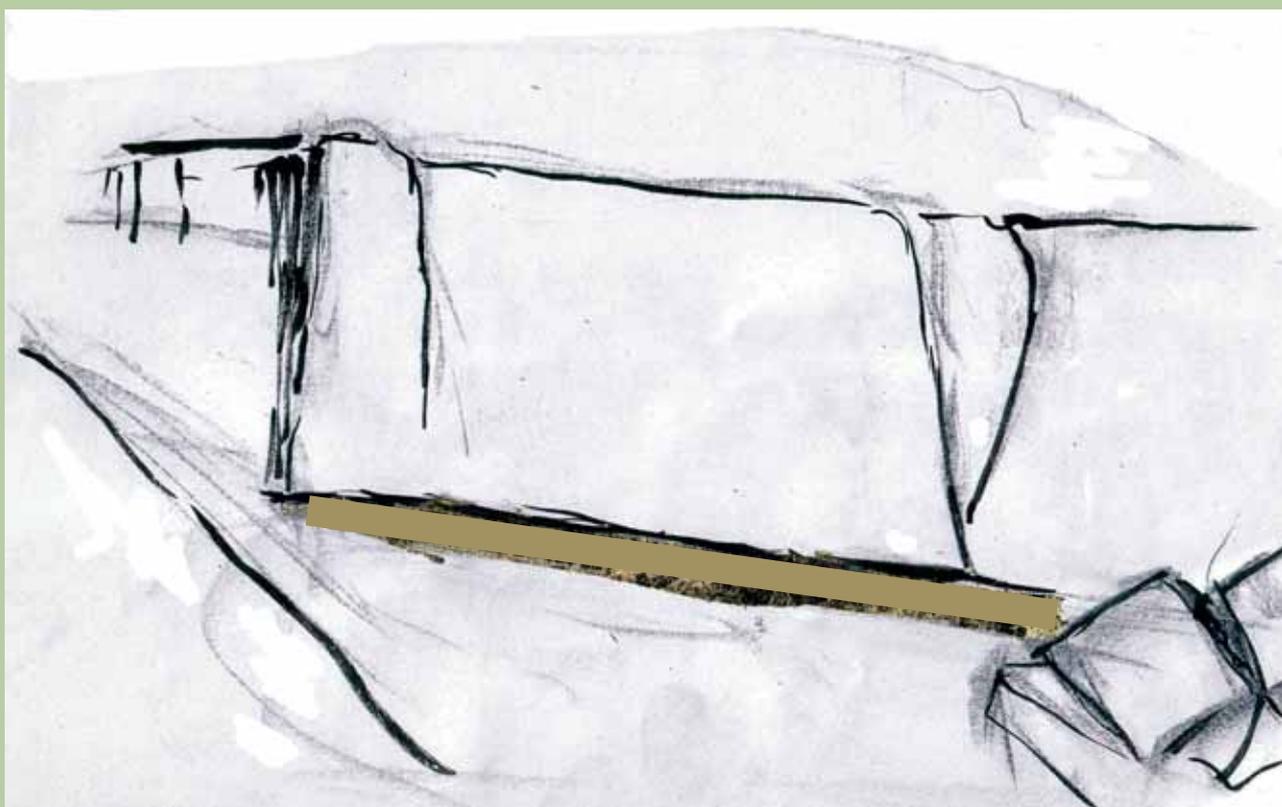




La pared oriental del cañón del Huécar, que articula la ladera del cerro con el fondo del valle encajado, no sólo muestra los procesos marcados por el agua, sino además los gobernados por la gravedad sobre las masas inestables. Los planos abiertos son líneas de actividad donde está operando de modo preferente el tiempo geológico.



Señalar esos espacios donde tiempo y procesos se materializan, dorando parte de los planos que configuran el hueco, bien mediante chapa de bronce dorado aplicada y adaptada a la roca, bien mediante morteros especiales proyectados, con mezclas y cargas metálicas de modo que resalte el brillo, o bien mediante el vaciado de huecos para sacar moldes de las superficies, a base de resinas con carga de pan de oro, de modo que ajusten y se integren perfectamente en su plano de origen.



Soluciones geológicas frente al cambio climático

El pasado día 15 de octubre, el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, con el patrocinio del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, el Instituto Geológico y Minero de España y la empresa GEOPRIN, organizó la "Jornada sobre Captura y Almacenamiento de CO₂", que dispuso dudas y ofreció soluciones a la problemática sobre el cambio climático que tanto está dando que hablar de un tiempo a esta parte y cada vez más.

TEXTO | Sonia Losa, licenciada en Ciencias de la Información

La jornada (figura 1) se celebró en el hotel Jardín Metropolitano de Madrid, con una participación de 109 asistentes (tabla 1) (figuras 2, 3 y 4).

Presentación

Comenzó el acto con las palabras de bienvenida por parte del vicepresidente del ICOG, José Luis Barrera (figura 5), quien presentó a los miembros de la mesa, excusando al secretario general de Planificación Energética del MITYC, Ignasi Nieto, que no pudo asistir por motivos de agenda, y que delegó en el subdirector general del citado ministerio, Francisco Macía.

Haciendo mención a la nota de prensa elaborada por los expertos en el cambio climático, Barrera comentó lo preocupante de la situación actual, ya que hoy en día la concentración de CO₂ en la atmósfera es la que se esperaba para el año 2012. Este hecho, junto con la adjudicación del Premio Nobel de la Paz 2007 al ex vicepresidente de EE UU, Al Gore, y al panel de expertos internacionales, da cuenta de la trascendencia a la que está llegando esta problemática por parte de todas las esferas sociales.

La respuesta a dos cuestiones que planteó Barrera justifica el hecho de que el ICOG organizara esta Jornada: ¿dónde se puede almacenar el CO₂?, en la Tierra, y ¿quién está capacitado para encontrar el almacenamiento más adecuado?, los expertos en ciencias de la Tierra, es decir, los geólogos.

La primera parte de la Jornada trató fundamentalmente el tema de la captura y sus diversos procedimientos técnicos, mientras que en la segunda, celebrada por la tarde, ilustró los aspectos geológicos más concretos, tanto estratigráficos como sedimentarios y estructurales, necesarios para localizar las zonas más seguras de almacenamiento.

Inauguración

La inauguración del acto la presidió Luis E. Suárez Ordóñez (figura 6), presidente del ICOG, que destacó la necesidad urgente de ofrecer soluciones geológicas frente al cambio climático, mencionando nuevamente la concesión del Nobel a Al Gore y exponiendo datos del Informe Económico de Caja España. Este informe vaticina un importante incremento del consumo de carbón hasta el año 2030, debido, entre otros aspectos, a que numerosos países en vías de desarrollo utilizarán esta fuente como principal motor de su producción de energía. Comentó Suárez que este no es sólo un asunto económico o político, sino que es ya una crisis mundial, la emergencia planetaria levanta cada vez más la voz, como era de esperar.

Debido a esta creciente preocupación por los efectos del cambio climático, prosiguió Suárez, se hace necesario investigar y promover soluciones de todo tipo y desde todos los ámbitos, soluciones que ayuden a detener el ritmo creciente de contaminación planetaria

Palabras clave
Captura de CO₂, almacenamiento de CO₂.



Figura 1. Portada del tríptico de la jornada.

y mecanismos de diversa índole, como el ya conocido establecimiento de un mercado de derechos de emisiones de CO₂. Por parte de las ciencias de la Tierra se requieren soluciones geológicas para hacer frente al cambio climático disminuyendo el gas de la atmósfera mediante la inyección del mismo en el subsuelo. En este sentido, la Geología puede colaborar en gran medida al servicio de los ciudadanos.

ASISTENTES A LA JORNADA

NOMBRE	EMPRESA	NOMBRE	EMPRESA	NOMBRE	EMPRESA
Abós, Héctor	AITEMIN	Gallego, Martín	Ingeniero de Minas	Molinero, Ricardo	
Abril Hurtado, José				Montoto, Modesto	Universidad de Oviedo
Aguilar, Rosa M ^a	REPSOL	García, José Luis	IGME	Moyá, José	CONFEDEN
Alarcón, Isabel	GEOPRÍN	García, Juan Ignacio	BASOINSA, S.L.	Navarro, Jorge	CEPSA
Alfageme, Francisco José	DM IBERIA, S.A.	García, Carlos	IBERIA	Ordóñez, Rufino	Federación Minerometalúrgica de CC OO
Alonso, Juan	Universidad Castilla La Mancha	Giner, Jorge Luis	Universidad San Pablo	Palomero, Miguel	Ministerio Medio Ambiente
Alonso, Esther	(Marc Martínez)	Girón, José Luis	ENUSA	Penelas, Germán	REPSOL
Alonso, Luis Hilario	Ministerio de Industria, Turismo y Comercio	Gómez, Maite	Ind. Avanzadas	Peña, Bernabé	
Álvarez, Eloy	Unión Fenosa	Gómez, Juan Antonio	GEOMARE, S.A.L.	Perucha, M ^a Ángeles	IGME
Antón-Pacheco, Carmen	IGME	González, Ángela	Mina La Camocha	Pineda, Lourdes	Asociación Española Industria Eléctrica
Antuña, José M ^a	Federación Minerometalúrgica de CC OO	Gonzalo, Francisco Javier	SAMCA	Pineda, Antonio	EPTISA
Arenillas, Alicia	IGME	Hassidoff, Boris		Plata, Juan Luis	IGME
Artieda, Jesús		Huertas, Fernando	DM IBERIA, S.A.	Plaza, Juan	CGS, S.A.
Asuero, Domingo	Unión Fenosa	Isanta, Nuria		Portero, José Manuel	CGS, S.A.
Barat, Carlos	ESCAL UGS	Jambrina, Ildefonso	IBERDROLA Ingeniería y Construcción, S.A.U.	Recreo, Fernando	CIEMAT
Blasco, Óscar	EPTISA			Rico, Ricardo	
Brändle, José Luis	UCM	Klimowitz, Juan	Geología de exploración y síntesis, S.L.	Rincón, José Luis	CONFEDEN
Cabrerizo, Manuel	WestLB AG			Rivero, Cristina	UNESA
Calvo, Carlos	Geofísica Aplicada	La Moneda, Emilio	ITGE	Rodríguez, José Esteban	GEOPRÍN
Carramiñana, Verónica	ENDESA S.A.	Ladera, Rosa M ^a	IGME	Rodríguez, Jesús	GAMMA GEOTÉCNICA
Casarrubios, Lidia	Lafarge Cementos	Lasheras, Félix		Roldán, Ramón	EPTISA
Castillo, Carlos	IHOBE, S.A.	Leguey, Miguel	ARGONGRA	Romero, Ramón	Net Oil Support S.L. (NOS)
Castro, Ana		León, Carlos	Ingeniero de Minas	Sánchez, Antonio	Grupo Potasas
Chamizo, Manuela	IGME	Llomas, Bernardo	ENDESA	Sánchez, José	Tecnología y Recursos de la Tierra
Cienfuegos, Ignacio	ENRESA	Lobato, Leonardo	Universidad de León	Sánchez, Ana Belén	Comisiones Obreras
De Horte, Javier Jesús	ENUSA Ind. Avanzadas	López, Fernando	CGS, S.A.	Soler, Gloria	
De Lara, Teresa	Diputada nacional por Córdoba	Loredo, Jorge	Universidad de Oviedo	Suárez, Isabel	IGME
De Tena-Dávila, Manuel		Marina, Mónica	IGME	Suso, Jesús M ^a	AITEMIN
Del Potro, Recaredo	ESCAL USG, S.L.	Marinero, Pablo	GEOPRÍN	Torres, Olga	CARBOUNIÓN
Delgado, Adoración	REPSOL	Martín, Mercedes	CARBOUNIÓN	Tortolero, M ^a Angélica	REPSOL
Delgado, Beatriz	EPTISA	Martínez, Wenceslao	REPSOL	Turón, José Manuel	
Durán, Juan José	IGME	Martínez, José J.	UCM	Valdegrama, Eugenio	Ingeniero de Minas
Eraso, Adolfo	Escuela Politécnica	Martínez, Carlos	IGME	Vicent, Enrique	Facultad de Geología
Escobar, Rebeca	Facultad de Geología	Martínez, Roberto	IGME	Zapatero, Miguel Ángel	IGME
Fernández, Jesús Ángel	CRN, S.A.	Matesanz, Julio	Unión Fenosa		
Fernández, José Antonio	IGME	Mazariegos, Alberto	Escuela U.I.T. de Obras Públicas UPM		
Gabaldón, Vicente	IGME	Miguel de, Carlos	INTEINCO		
Galán, Luis Antonio	IGME	Millán, David			
		Mínguez, Raúl	Geofísica Aplicada		

Tabla 1.



Figura 2. Asistentes a la Jornada.



Figura 3. Asistentes a la Jornada.

Terminado su parlamento, Suárez dio la palabra al subdirector general de Planificación Energética del MITYC, Francisco Macía, que agradeció la celebración de esta Jornada por parte del Colegio de Geólogos. Según sus palabras,

el cambio climático es actualmente el tema estrella en la agenda internacional en general, y en la de España en particular, donde nos encontramos en la fase final de la asignación de derechos de emisión de CO₂ para las distintas empresas.

Macía destacó los objetivos de la política energética de su ministerio, que podríamos decir que son tres. Por un lado, el aumento del ahorro y la eficiencia; por otro, el fomento de las energías renovables, tales como la eólica, hidráulica o solar, que apenas ofrecen emisiones contaminantes, y, por último, la captura y almacenamiento de CO₂ como medida importante para detener gran parte de la emisión de este gas de efecto invernadero, ya que es el carbón la segunda fuente mundial de suministro energético.

Se pretende conseguir que para el año 2012 las centrales de carbón estén provistas de infraestructuras para capturar y almacenar el CO₂. Por ello, ya se están llevando a cabo acciones claras que empujen esta iniciativa, como la firma de un convenio por parte del Ministerio de Industria con el IGME que ayudará a dar un impulso a la consecución de los objetivos planteados en la Jornada.

A continuación intervino, para finalizar el acto inaugural, José Pedro Calvo, director general del Instituto Geológico y Minero de España. Calvo hizo hincapié en la necesidad de reducir a escala mundial las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) perjudiciales para la atmósfera, destacando que la Geología puede ofrecer herramientas para mejorar las condiciones de vida de la humanidad. Agradeció el interés mostrado en la definición de proyectos e iniciativas por parte de los diferentes organismos implicados en este tema, como el MITYC, el Ministerio de Educación y Ciencia, el Ministerio de Medio Ambiente y el IGME.

Las ponencias de la mañana

José Luis Almazán, director de GEOPRIN, presentó al primer ponente de la mañana, Rafael Varea, responsable de recursos minerales del ICOG.

En su conferencia, Varea comenzó con datos del Plan Nacional de Reserva Energética del Carbón, exponiendo el cambio de mentalidad que a este respecto se está dando en la Unión Europea, en general.

Es difícil prescindir del carbón para producir electricidad, ya que la demanda eléctrica seguirá creciendo y esta tendencia parece casi imposible o muy difícil de parar

Los sectores que más contribuyen a la emisión de GEI (gases de efecto invernadero) deberán reducir las emisiones. Sectores industriales como el eléctrico, el siderúrgico, el del cemento, vidrio, cerámica, refino de hidrocarburos y papel son los más implicados en estas emisiones. En este punto, Varea destacó que el sector eléctrico es el más perjudicado, ya que se considera el sector que mayor esfuerzo puede hacer en la reducción de emisiones de CO₂ y en el que más y mejor se puede actuar en lo referente a la compra de derechos.

Es difícil prescindir del carbón para producir electricidad, ya que la demanda eléctrica seguirá creciendo y esta tendencia parece casi imposible o muy difícil de parar. Es por ello que hay que pensar en solucionar la cuestión que nos planteamos con otros métodos, con maneras y soluciones geológicas, por ejemplo.

Tras esta intervención, el turno pasó a Antonio Giménez Alonso, subdirector de I+D de ENDESA Generación, quien se adentró en algunos de los aspectos más técnicos del tema de la Jornada, como son las etapas de captura, transporte y almacenamiento del CO₂, e incluso ya habló de una cuarta etapa, en fase de investigación conceptual: la utilización del CO₂ almacenado como materia prima en procesos industriales.

Planteó tres maneras de capturar el CO₂: en precombustión, postcombustión y por el método de oxidación. Expuso las



Figura 4. Asistentes a la Jornada.



Figura 5. José Luis Barrera durante la presentación de la Jornada.



Figura 6. Acto de inauguración. De izquierda a derecha: José Pedro Calvo, Luis E. Suárez y Francisco Macía.



Figura 7. Ballesteros durante su intervención.

ventajas e inconvenientes de cada uno de los procesos, dejando constancia aún más si cabe del profundo estudio y gran conocimiento que se tiene de la solución geológica al problema del cambio climático.

En este punto de la Jornada, los organizadores complacieron a los asistentes con un *coffee break* donde la gente intercambió las primeras opiniones en un ambiente cálido y distendido.

Retomando las siguientes ponencias, Roberto Rodríguez, investigador del IGME y vicepresidente 2º del ICOG, hizo de moderador y presentó a Roberto Martínez Orio, investigador también del IGME, que explicó cuáles son los posibles almacenes geológicos de CO₂, en función de las características de los materiales y estructuras geológicas. Dichos almacenes podrían ser:

- Yacimientos de petróleo y gas ya agotados.
- Formaciones permeables profundas (más de 800 m).
- Capas profundas de carbón que no vayan a ser minadas.
- Cavidades de sal, basalto... almacenes estos aún en proceso de investigación.

Después, expuso los mecanismos de almacenamiento geológico: de una parte, mecanismos físicos, como el entrapamiento estático, el entrapamiento residual de gas, el entrapamiento hidrodinámico y la absorción del CO₂ en el interior del carbón. Y de otro lado, mecanismos químicos como la disolución del CO₂ en fluido subterráneo o la reacción química del CO₂ con la matriz de la roca.

Comentó los objetivos cubiertos por parte del IGME, tales como la elaboración de un inventario con las principales fuentes de emisión de CO₂ e infraestructuras de transporte en España, el desarrollo de los criterios, guías y procedimientos de selección de emplazamientos y la preselección de formaciones favorables a escala regional para el almacenamiento y valoración del potencial regional de almacenamiento geológico.

Por otro lado, Martínez Orio expuso también los objetivos en desarrollo: la elaboración de estudios de detalle de algunas zonas seleccionadas y estimación de volúmenes almacenables de CO₂, la elaboración de modelos geológicos en 3D que permitan integrar la información obtenida y su visualización, la elaboración de modelos conceptuales y dinámicos de comportamiento del CO₂ en el almacén y, por último, el análisis de los posibles

Se ha habilitado la primera página web en castellano con información relevante a nivel nacional, europeo y mundial sobre la tecnología CAC

escenarios de almacenamiento, así como una valoración económica de los mismos.

Se pudieron también observar diferentes mapas con un inventario de las fuentes de emisión de CO₂ e infraestructuras de transporte, un mapa de las zonas de la Península con depósitos agotados de petróleo y gas donde podría almacenarse el CO₂, mapa de las cuencas sedimentarias con formaciones de agua salada y un mapa final con las posibles cuencas de carbón donde el CO₂ podría almacenarse.

Martínez Orio mostró, asimismo, varios estudios de modelización y estudios de los procesos físico-químicos en relación con el almacenamiento de CO₂. Y con esto terminó su exposición, que ilustró las numerosas posibilidades que nos ofrece la Tierra para poner fin a su propio deterioro.

El proyecto CENIT

A continuación llegó el turno de la ponencia de Juan Carlos Ballesteros (figura 7), subdirector de I+D de Endesa y líder del Proyecto CENIT CO₂. Como no podía ser menos, expuso el proyecto CENIT CO₂, primer proyecto español que cubre toda la cadena industrial del CO₂: almacenamientos y usos del CO₂ (CAC). Un proyecto que tiene como objetivo demostrar la viabilidad técnica de la captura de CO₂, matizando que este proyecto es aún de investigación, no de demostración.

Gracias a dicho proyecto, se ha organizado el primer foro sobre tecnologías de captura



Figura 8. En primer plano, Ramón Más (izquierda) y Rafael Varela (derecha) atentos a las explicaciones de los ponentes.

y almacenamiento de CO₂ dirigido a organizaciones medioambientales, agentes sociales y público no científico, con la programación de cursos de verano para estudiantes universitarios. Igualmente, se ha habilitado la primera página web en castellano con información relevante a nivel nacional, europeo y mundial sobre la tecnología CAC.

La Asociación Española de CO₂

A continuación, como siguiente ponente, tomó la palabra al vicepresidente de la Asociación Española de CO₂, Eloy Álvarez, para presentar dicha Asociación. Indicó que es una Asociación relativamente joven, sin ánimo de lucro, dedicada a la captación de nuevos socios preocupados por esta problemática mundial, así como a la elaboración de informes técnicos y económicos, de agendas estratégicas de investigación y hojas de ruta, organización y coordinación de foros, cursos, seminarios y mesas redondas, participación en foros internacionales y coordinación de grupos de trabajo.

Es una organización que demanda una posición en la sociedad para tratar este tema urgente y esencial. Según palabras

de Álvarez, el CO₂ es importante y tenemos que actuar contra él por varios motivos. En primer lugar porque ya estamos siendo conscientes de que el calentamiento global es algo inequívoco, porque en 50 años la temperatura ha subido 0,13 grados C y, en 20 años, subirá 0,2, y porque en el año 2100 el aumento será entre 1 y 6 grados C, con lo que vemos la vertiginosa tendencia al crecimiento de emisiones hasta ese año 2100.

Con el crecimiento de nuevas potencias mundiales emergentes, como China, India, Brasil, crece el consumo de energía basada en el carbón, por lo que aumentan también las emisiones de gases nocivos. Y es por esto que se plantea la necesidad de llegar al 2015 con almacenes de CO₂ realmente probados. Para terminar, invitó a todos a participar con la Asociación de cualquier manera, dejando una dirección de correo electrónico de contacto: elisadom@unizar.es

Terminada la exposición, Álvarez animó a los asistentes a participar en la Jornada con preguntas u opiniones (figura 8). Varios asistentes ofrecieron sus puntos de vista, despidiéndonos hasta la tarde para continuar con la segunda parte de la Jornada.

La hidrogeología tiene una gran importancia, ya que condiciona las características hidroquímicas del agua y de circulación de fluidos

La jornada de tarde

Después de degustar el cóctel que ofrecieron los organizadores del acto, se pasó a las 16h en punto, a las ponencias de la tarde, más técnicamente geológicas.

Las rocas y formaciones estructurales que se deben buscar

En primer lugar intervino José Ramón Mas, catedrático de Estratigrafía de la UCM, quien, en una apasionada exposición, trató el tema de los medios sedimentarios apropiados para el almacenamiento de CO₂, tomando como punto de partida las opciones del almacenamiento geológico de CO₂: en almacenes de gas o petróleo agotados, utilizando dicho gas en la mejora de recuperación de gas y petróleo en formaciones que constituyen acuíferos salinos profundos o utilizando el CO₂ en la mejora de la recuperación de gas metano a partir de capas de carbón.

Habló de las formaciones como almacenes con potencial porosidad-permeabilidad, cuyos requisitos serían: medios sedimentarios en los que se depositen facies favorables y sistemas de depósito siliciclásticos y carbonatados cuya diagénesis les permita comportarse como potenciales almacenes (formaciones arenosas y carbonatadas porosas-permeables). Otro tipo de almacenes podrían ser aquellos medios sedimentarios en los que se depositen facies que actúen como sello.

Hizo una clasificación de los sistemas de depósito, dividiéndolos en depósitos continentales, siliciclásticos costeros y marinos someros, carbonatados costeros y marinos someros y sistemas de depósito marino profundos y explicando más detalladamente los subtipos de sistemas que existen dentro de cada uno, tras lo cual terminó su exposición.

Las estructuras que se deben buscar

Llegando en este punto a las últimas intervenciones, tomó la palabra Ramón Capote, catedrático de Geodinámica Interna de la UCM, que basó su intervención en el tema sobre estructuras tectónicas favorables para el almacenamiento de CO₂. Capote planteó el objetivo de la búsqueda de almacenes desde el punto de vista estructural. Esto se resume en que hay que encontrar cuencas sedimentarias estables, sin actividad tectónica y sísmica importantes, con formaciones almacén (porosas, permeables) y formaciones impermeables que puedan ser confinantes.

Comentó Capote que hay que buscar estructuras que sirvan de trampa, con buzamientos bajos y forma anticlinal o domática, o bien una falla en disposición adecuada y zonas sin grupos densos de fallas y sin actividad tectónica actual y sísmica, para concluir que en España hay unidades regionales y estructuras locales que cumplen con estos requisitos.

La hidrogeología en la búsqueda de emplazamientos

La Jornada finalizó con la conferencia de Jorge Loredo, reputado hidrogeólogo y catedrático de la E.T.S. de Ingenieros de Minas de Oviedo, que comenzó exponiendo que las previsiones de generación de energía están basadas en los combustibles fósiles, con un inequívoco protagonismo del carbón y que, por otro lado, la solución nuclear parece que no convence a los sectores implicados.

Por ello, cabe interesarse por medios geológicos con mayores posibilidades

y capacidad para el almacenamiento geológico de CO₂, como son los acuíferos salinos profundos y las capas de carbón no explotadas. Tanto en un caso como en otro, la hidrogeología tiene una gran importancia, ya que condiciona las características hidroquímicas del agua y de circulación de fluidos y, en el caso de las capas de carbón, la producción de metano biogénico. Aquí la ciencia hidrogeológica tiene mucho que ver, puesto que los flujos hidrodinámicos de una cuenca y la circulación del fluido en la formación son esenciales para establecer la estrategia de inyección.

Acabó reclamando lo que consideraba un obstáculo para la consecución de soluciones sobre el tema en discusión, esto es, la falta de más datos sobre el subsuelo, tarea que, sin duda, bien se podría encomendar a expertos en las ciencias de la Tierra como son los geólogos.

Terminaron así las ponencias con las que los ponentes nos ilustraron a lo largo del día y con las que se llegó a la conclusión de que este tema es realmente preocupante y relevante para la sociedad actual. Ante todo, quedó constancia también de que, pese a todo, es un problema que tiene solución desde muchos ámbitos. Una vez más, como en muchos otros temas de actualidad, desde el ámbito geológico se pueden llevar a cabo actuaciones que ayuden a solucionar el problema global debatido en esta Jornada.

Acto de clausura

La clausura corrió a cargo de Santiago Sabugal, subdirector general de Ingeniería de ENDESA que, en su breve pero interesante intervención, destacó los tres factores clave para abordar el problema del CO₂: un consumo energético más eficiente, la reducción de las emisiones y el potenciar las energías alternativas. Finalmente, abogó por la instalación de varios almacenamientos cerca de los centros de emisión en lugar de uno solo centralizado.

Geopolítica de los hidrocarburos: los think tanks

Los *think tanks* son centros de análisis e influencia política y sus opiniones, conclusiones y recomendaciones pueden afectar a la toma de decisiones del máximo nivel gubernamental. A partir de la crisis energética de los setenta, estos centros dedicaron gran parte de su esfuerzo al estudio de las geopolíticas de los países productores de petróleo, y a establecer recomendaciones a sus Gobiernos sobre acciones y políticas exteriores a llevar a cabo para garantizar la explotación y el abastecimiento de hidrocarburos hacia las economías occidentales. En Estados Unidos de América y Reino Unido es donde se localizan la mayor concentración de *think tanks* del mundo.

TEXTO | Roberto Carsi Sister, geólogo, doctor en Ciencias Económicas y Empresariales

Palabras clave

Think tanks, influencia política, geopolítica, abastecimiento de hidrocarburos.

La vida en los centros de análisis y estudios (denominados en la jerga anglófila *think tanks*) podría resultar inocente y placentera si no fuera porque en ellos se concentra la intelectualidad más política y brillante del mundo académico, político, empresarial, militar y diplomático. Para comprender cómo funcionan internamente, tenemos que referirnos a las normas de anonimato asumidas por los participantes para no desvelar ni la identidad ni la afiliación del ponente, conferenciante o autor de opiniones, juicios de valor, etc., la denominada *The Chatham House Rule*, asumida hoy día por la mayoría de los centros. Entre las virtudes de los *think tanks* están las de emitir opiniones que gozan de influencia política al máximo nivel y disfrutar del confort de la opinión, en ocasiones, no vinculante. Por el contrario, pecan con frecuencia de pedantería, convencionalismo, irrelevancia, en ocasiones, y trabajan con frecuencia haciendo frentes ideológicos y de *lobbying* para intereses, con frecuencia, oscuros.

Como no podría ser de otra manera, sus economías dependen de las donaciones de fondos externos —patronos privados y empresariales— y las suscripciones de sus miembros. Su estructura orgánica, así como sus programas, tienden a mirarse y copiarse en el espejo de unos y de otros. Su influencia, relevancia y esplendor en la vida política ha dependido y depende de

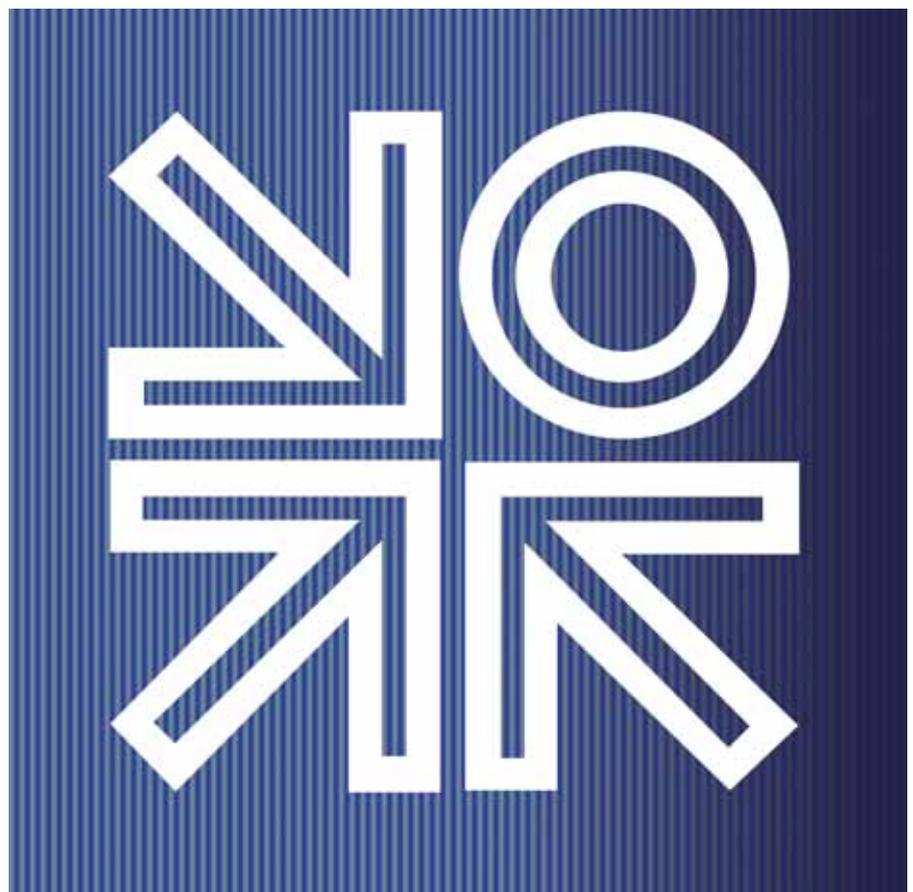


Figura 1. Logotipo del Oxford Institute for Energy Studies.

la proximidad al Gobierno de turno y su coincidencia con las ideologías presentes, aunque siempre se pueden reorientar. Estas han ido desde el liberalismo económico al conservadurismo, además de a la defensa y seguridad de los recursos naturales con especial atención al petróleo y, últimamente, el cambio climático. En

cualquier caso, los temas bandera de los diferentes *think tank* han ido cambiando con el tiempo o simplemente se han ido marchitando paralelamente a la desaparición de escenarios políticos internacionales, como por ejemplo, la desaparición de la Guerra Fría. A continuación, se comentan algunos de los



Figura 2. Sede del Chatham House, Londres.

centros de mayor renombre en el mundo y donde se produce abundante material de investigación, se emiten opiniones y se ejerce influencia, entre otros temas, sobre la seguridad en el abastecimiento de los hidrocarburos, en definitiva, la geopolítica que rodea la explotación de estos. Existen otros muchos centros de carácter político y económico por una parte, además de los citados, y otros más técnicos que, con sus opiniones y dictámenes, pueden inclinar posiciones en la toma de decisiones y desarrollo de normativa de sectores económicos concretos. Por ejemplo, los informes emitidos por el American Petroleum Institute y la Society of Petroleum Engineering, en relación al tema de valoración de reservas petrolíferas, son tenidas en consideración por la Security and Exchange Commission y la Financial Services Authority, organismos reguladores de los mercados organizados donde cotizan el mayor número de

empresas de petróleo *upstream* y *downstream*.

Los centros de estudios y análisis

Son varios los centros de este tipo que tratan cuestiones relacionadas con los recursos naturales, especialmente el petróleo, y con aspectos que conciernen a los cambios físicos en el planeta como el cambio climático. Entre ellos están los siguientes:

Institute for International Economics, Washington. Centro de análisis que tuvo su importancia en los ochenta donde sus informes ejercían cierto monopolio sobre temas financieros internacionales, que ha perdido en la actualidad algo de su brillo de antaño. Su especialidad en el estudio de ciertos nichos de mercado le propinó prestigio y cierta fama logrando, gracias a la labor de su director Fred Bergsten, recaudar fondos para la causa. Hoy día,

renombrada como Peterson Institute, en 2006, mantiene su aureola de rigor e interés en temas relacionados con los países del este de Europa. El cambio climático también está en su agenda. Posee una interesante biblioteca y un archivo sobre temas de hidrocarburos. Entre sus miembros se encuentran: Alan Greenspan, Kristin J. Forbes, George Soros, Ernesto Zedillo y Paul Volcker.

Oxford Institute for Energy Studies, Oxford, Reino Unido (figura 1). Prestigiosa organización privada que produce abundante trabajo de investigación propia sobre diferentes temas energéticos, principalmente petróleo y gas. Su revista *Quarterly Journal for Debating Energy Issues and Policies* publica artículos, opiniones y documentos a tener en cuenta, y sus puntos de vista tienen consideración e influencia en el mundo político y empresarial.

Royal Institute of International Affairs (Chatham House), Londres (figura 2). Localizado en St James's Square, próximo a la editorial de *The Economist*, un poco alejado del poder financiero de la City y no muy lejos del Parlamento, el Foreign Office y el Ministerio de Defensa. Fundado en 1920 en pleno periodo de entreguerras en Europa, su grupo fundador participó activamente con la delegación angloamericana en la Conferencia de Paz de Versalles en 1919. Su credo fundacional es "to encourage and facilitate the study of international questions to promote the exchange of information and thought on international affairs with the view to the creation of better informed public opinion...". Además de un programa intenso de actividades, proyectos de investigación y conferencias, atrae a diario a personajes relevantes de la vida política, militar, diplomática, ONG y empresarial, entre otros intereses, a compartir



almuerzos de trabajo. Edificio elegante, aunque un poco angosto, posee una buena biblioteca y está formado por académicos, muchos de ellos con currículum notorios tratando de pensar cómo debería ser el mundo. Sus informes sobre asuntos internacionales están bien fundamentados, poco dados a las excentricidades e inteligentes —al menos deberían tener credibilidad— dada la relevancia de los asistentes y ponentes, los cuales son del más alto nivel ejecutivo del mundo financiero y empresarial, del Gobierno británico y de otros Gobiernos invitados. Muchos de ellos tratan asuntos sobre geopolítica de los recursos naturales y petróleo, su seguridad y su abastecimiento. Entre otras iniciativas, en junio 2007 lanzó una propuesta orientada a trazar lo que serían las líneas generales del buen gobierno de los países productores de petróleo.

The American Enterprise Institute, Washington. Algunos opinan que es la respuesta conservadora al The Brookings Institutions. Destacado por su manera de crear polémica, su influencia, no obstante, fue importante en el pasado y, durante los años del presidente Reagan, introdujo a numerosos de sus miembros en el Gobierno, que no pasó desapercibido en la prensa y medios de comunicación. Relevantes personajes de la vida pública norteamericana han encabezado la imagen corporativa de la institución. Sus trabajos son serios y mantienen rigor, hostigando en ocasiones el academicismo de otros. Interesante archivo sobre opiniones, trabajos de investigación y estudios en materia de hidrocarburos. Muchas de sus conclusiones se pueden leer también en la revista *Brookings Foreign Policy Studies*.

The Brookings Institutions, Washington. Se encuentra localizado en uno de los edificios más grande y mejor localizado de esa ciudad y mantiene un intenso

programa de trabajo y estudios sobre economía y política internacional. Se fundó en 1916 y maneja un importante presupuesto —sin duda el *think tank* más rico de todos los comentados— para el desarrollo de proyectos de investigación, aunque corren rumores de que también tuvo en su momento un largo endeudamiento financiero, lo que, quizá,

Existen varios centros que tratan cuestiones relacionadas con los recursos naturales, como el petróleo, y con aspectos que conciernen a los cambios físicos del planeta

le restó independencia de pensamiento y opinión. Sus defensores indican que mantiene su dignidad y amor propio a pesar de la vileza con que fue tratado en relación al liberalismo de sus ideas propiciadas en el pasado. Sus trabajos de investigación y análisis son serios, mantienen rigor, apertura de miras y pueden llegar a ser aburridos. Posee un abundante archivo documental y biblioteca sobre temas de petróleo y gas. Está muy centrado en la política exterior norteamericana en cuanto a sus relaciones con Rusia y el abastecimiento de hidrocarburos procedente de cualquier país productor. Importantes personalidades del mundo empresarial acuden a sus actos y conferencias donde se discuten temas de geopolítica energética. Es interesante leer los *Brookings Foreign Policy Studies Energy Security Series*.

The Centre for European Policy Studies, Rue Ducale, Bruselas. Fundado en 1982 y localizado en un edificio del siglo XIII, es uno de los pocos centros dedicados al estudio de la integración y política europea. Muy cercano a la clase funcionarial y política de las instituciones europeas. Su fortaleza es haber tomado parte activa en multitud de estudios, trabajos de investigación, seminarios y conferencias, y su debilidad es que, en ocasiones, no toma la distancia necesaria para conservar el espíritu crítico y generar reflexiones objetivas, lejos del clientelismo político. Trabaja principalmente en inglés y sus ingresos provienen de las suscripciones de sus socios y ventas de revistas, artículos, etc. Sus estudios sobre hidrocarburos son escasos, pero se pueden encontrar documentos relevantes sobre las relaciones de la EU con los países productores de petróleo y gas más importantes del Caspio.

The Council of Foreign Relations, New York. Para la izquierda política, es donde Wall Street y el mundo financiero encuentran al poder político de Washington y se construye, así, la política y defensa de los intereses exteriores norteamericanos. Se trata de una prestigiosa organización profesional donde trabajan académicos de prestigio que producen documentos y trabajos de investigación serios y fundamentados, a la manera americana. Muy atentos a todo lo que acontece o pueda influir en la política energética y de abastecimiento de hidrocarburos a Estados Unidos.

The Heritage Foundation, Washington. Suntuoso edificio con entrada un poco palaciega, últimamente ha tenido problemas para mantener el estilo al que ha estado acostumbrado por un tiempo y donde la ex primer ministra inglesa, Margaret Thatcher, acudía con frecuencia





Figura 3. Sede del IISS, Londres.

Institutions, posee un abundante archivo documental y biblioteca sobre hidrocarburos. También muy centrado en las relaciones con Rusia.

The International Institute for Strategic Studies (IISS), Londres (figura 3).

Localizado próximo a The London School of Economics. A primera vista destaca el aspecto externo de su soberbio edificio y su interior se encuentra lleno de pasillos laberínticos. Posee oficinas en Washington y Singapur. Es el más internacional de los *think tanks* en el Reino Unido. Está bien conectado con la clase política y, en su momento, trató activamente asuntos destacables durante el final de la Guerra Fría. Muy centrado en temas de seguridad y geopolítica. En sus archivos y biblioteca se encuentran interesantes ponencias, estudios y documentos sobre temas relacionados con la situación del petróleo en Rusia, Caspio y Asia en general.

The Institute of Economic Affairs (IEA), Londres.

Fundado en 1955, localizado junto al Parlamento, sus críticos consideran que ha estado más tiempo dedicado a diseminar las bondades del libre mercado y los contraintervencionismos europeos que a propiciar nuevas ideas. Ha sido por un tiempo lugar de reposo de intelectuales excéntricos. Durante los años iniciales del "thatcherismo", el IEA estuvo en su cénit. Sus acólitos —muchos de sus miembros entonces pertenecientes al Gobierno— proclamaban y abanderaban ideas sobre la introducción de mecanismos de libre mercado dentro del sistema de funcionamiento de la Administración del Estado británico. Antieuropeos por definición, son famosos los almuerzos celebrados el último viernes de cada mes donde acudían políticos y periodistas ansiosos por escuchar proclamas en defensa del libre mercado. Pero la caída de Mrs. Thatcher y la pérdida de influencia

a cenas e invitaciones con sus patrones. Considerada por algunos como intelectualmente conservadora pero con algunas soluciones novedosas sobre problemas sociales, dejando claro que la izquierda no tiene el monopolio del progreso social. Interesante biblioteca y archivo. Un poco más de lo mismo con respecto a las anteriores.

The Hoover Institution, Universidad de Stanford, California. Está centrado más en la política doméstica de Estados Unidos. Se trata de una organización económicamente poderosa, bien localizada y con una superbiblioteca. Sus galerías

albergan retratos de antiguos miembros relevantes como Herbert Hoover (fundador y 31º presidente de los Estados Unidos de América), Edward Teller (padre de la bomba de hidrógeno), Milton Friedman (el defensor del monetarismo), Robert Conquest (brillante historiador sobre la Unión Soviética) y George Shultz (ex secretario de Estado), entre otros. Como muchos de los *think tank* creados o nacidos al socaire de la Guerra Fría, con la caída del muro muchos perdieron su esplendor o se reconvirtieron hacia el análisis de la amenaza del terrorismo, de la defensa del petróleo o del cambio climático. Al igual que The Brookings



del partido de los *tories* con John Mayor al frente, generó la crisis esperada. Hoy en día, el IEA —al igual que su otro centro hermano el Adam Smith Institute— intenta preservar su lustro, un poco perdido, con los laboristas en el Gobierno y la asunción de la realidad europea. Los trabajos de investigación sobre geopolíticas de los hidrocarburos, en general, no es su fuerte.

No obstante, no hay que perder de referencia que el Reino Unido, tanto en la época de la “primera dama” como en la actualidad, con los laboristas en el poder político, además de ser el productor de

hidrocarburos más importante de Europa es uno de los países más dinámicos en cuanto a la implantación de normativa y marcos regulatorios, la producción de documentos de investigación, debates, etc., que han servido para inspirar el desarrollo de políticas energéticas y de explotación y abastecimiento de hidrocarburos a muchos países.

Stiftung Wissenschaft und Politik (German Institute for International and Security Affairs), Berlín, aunque anteriormente estaba localizado en Ebenhausen, Múnich. Institución con una larga estela de secretismo —su primer

director, Klaus Ritter, trabajó para la inteligencia alemana—. Consta de una extensa plantilla de personal investigador, bien pagada y con seguridad en el empleo, últimamente muy presente en el circuito de conferencias internacionales sobre temas de política y seguridad y muy centrado en los intereses de la República Federal de Alemania. Sus publicaciones y trabajos aparecen con frecuencia en las revistas académicas más prestigiosas de análisis internacional. Dispone de documentos llenos de análisis extensos en relación a temas de geopolítica y abastecimiento de hidrocarburos para la economía alemana.

Bibliografía

Boucher, S. (2004). *Europe and its Think Tanks: a Promise to be Fulfilled*. Notre Europe.

Cockett, R. (1994). *Thinking the Unthinkable: Think Tanks and the Economic Counter-revolution, 1931-1983*. London: Fontana Press.

Government Research Service (2006). *Think Tank Directory: a Guide to Independent Nonprofit Public Policy Research Organizations*.

Rich, A. (2004). *Think Tanks, Public Policy and the Politics of Expertise*. Cambridge: University Press.



**GEÓLOGOS
DEL MUNDO**

Colabora con nosotros para...

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

Hazte socio

Información: C/ Raquel Meller, 7. Madrid
28027. España.
Teléfono: 91 553 24 03. Fax: 91 533 03 43.
www.geologosdelmundo.org
E-mail: geologosdelmundo@icog.es



Diego Lozano: el diálogo de la piedra y el maestro

El arte de tallar la piedra es una disciplina, un arte, la aplicación práctica de conocimientos teóricos de matemáticas, geometría, escultura, arquitectura. Diego Lozano no cursó estudios superiores que titulen su labor, sin embargo, su talento y conocimientos se ponen de manifiesto en cada una de sus obras y en el sentido de cada una de sus palabras.

TEXTO | Patricia Romero, licenciada en Ciencias de la Información

(Imagen y Sonido), patriromeroperez@gmail.com

FOTOGRAFÍAS | Patricia Romero y Miguel Ángel Salcedo

Palabras clave

Diego Lozano, escultura, padre Sifón, Baeza, Piedra Franca, Vinaixa, Patrimonio de la Humanidad.

Puede que la crítica o los puristas no deseen llamarle artista pero, ante los ojos de muchos amantes de su trabajo, Diego Lozano "padre Sifón" es sin duda un maestro. Él mismo se ruboriza y corrige a quien así le nombra pero no cabe la menor duda de que sus manos poseen el don de los maestros artesanos (*figura 1*).

Quien quiere algo, algo le cuesta

Esas son las primeras palabras que escucho en boca de don Diego cuando cruzo el umbral de su pequeño taller-museo de la calle Arco de las escuelas en Baeza, Jaén. Viste un largo guardapolvo *beige* que le confiere un aire del pasado, sus gafas de aumento hacen inmensos unos ojos que encierran toda la sabiduría de un maestro artesano desconocido para muchos y honrado por otros tantos. Camina lento, encendiendo las luces de las vitrinas y expositores, sopesando las palabras antes de pronunciarlas como buen orador.

Diego Lozano Jiménez nació en Baeza en 1932. Es un andaluz de porte esbelto y mirada contundente. Tenaz en su trabajo, fervoroso de corazón, filósofo, artista, un hombre aforista de respuestas rotundas. Todo el pueblo de Baeza lo conoce como el padre Sifón y hasta como tal le han cantado coplas y recitado poesías que él atesora en su estudio-museo junto a decenas de estampas religiosas, recortes de periódicos,



Figura 1. Del paso del tiempo, a Don Diego sólo le preocupa cómo invertir las horas.

fotografías de proyectos y dedicatorias acumuladas a lo largo de más de veinte años de actividad artística.

Lo de Sifón, o sifonero, le viene a Diego de familia, y acepta el sobrenombre con el orgullo de haber portado el testigo de una de las fábricas de gaseosa más antiguas de España. Fundada en 1885 y hoy desaparecida, Gaseosas Lozano dio sustento a cuatro generaciones de su familia y su éxito permitió a Diego desengañarse del valor de la fama. De su etapa como sifonero sólo recuerda las distancias que recorrió como repartidor

de botellas y el lema publicitario: "Si quieres vivir fuerte y sano, bebe gaseosas Lozano" (*figura 2*).

Corría la década de los setenta cuando Diego formó parte de un grupo de baezanos que por amor a su tierra y su fe, estimulados por la iniciativa del canónigo reverendo don José Melgares, acondicionaron, pintaron e hicieron labores de restauración en la Catedral de Baeza para poder mantenerla abierta al público. Y como si del varón apostólico se tratara, a Diego se le conoce desde entonces como el padre Sifón.



Figura 2. Junto a sus esculturas, esta botella de 1885 le recuerda al sifonero sus orígenes.

De sifonero a miniaturista. La talla preciosista de la piedra viva

A mi pregunta inevitable sobre cuándo empezó la singularísima tarea de tallar la piedra y extraer de grandes bloques de piedra blanca réplicas a escala de las más bellas obras de la arquitectura local y nacional, contesta rápidamente sin asomo de duda: “Tenía cincuenta y dos años. Era 1982. En la calle Romanones encuentro la talla de un Cristo (ahora ubicado en una de las paredes del museo) que alguien había desechado como cualquier objeto decorativo

inservible. De ahí saco la intuición, la inspiración y hago una promesa”.

Fruto de aquel hallazgo, Diego, alejado ya de la fresquería, empieza a tallar su primera piedra y a extraer la Sagrada Custodia de la Catedral de Baeza de un bloque de piedra arenisca conocida como Piedra Franca de Baeza. Paciente fue su espíritu ante las horas, los materiales precarios, sus conocimientos autodidactas y la incredulidad de sus paisanos que sarcásticamente hablaban de la Custodia del padre Sifón como del “cohete” interminable. “Al principio se

La Piedra Franca de Baeza

La Loma es una comarca situada en el centro geográfico de la provincia de Jaén que tiene una superficie de 1,37 km². Su capital histórica está en Úbeda, aunque el turismo cultural alcanza importancia en la propia Úbeda y en Baeza, las dos ciudades renacentistas, catalogadas como Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO. Representa un cruce de caminos naturales que en el transcurso de la historia han comunicado el centro y el levante español con Andalucía.

La comarca tiene una larga historia de ocupación humana que abarca desde el Paleolítico a la actualidad, que se refleja en el amplio y espectacular patrimonio histórico-monumental de sus ciudades, villas y caseríos. El patrimonio arquitectónico de Úbeda y Baeza tienen más de 1.300 edificios actualmente protegidos, la mayoría de los cuales fueron construidos durante el Renacimiento, en el siglo XVI. Precisamente en su construcción se emplearon ampliamente las areniscas calcáreas y calcarenitas procedentes de diversas explotaciones situadas en los alrededores de las ciudades. La continuidad horizontal de los estratos rocosos permitía, en ocasiones, extraer la piedra directamente en el lugar donde iba a ser construido el monumento. La roca utilizada, por los colores que adquiere al envejecer, se ha dado en llamar “Piedra Dorada”. Todas las canteras en las que se extrajo esta piedra están actualmente cerradas o se ha edificado sobre ellas. Hubo una industria local de cantería —la mayoría talleres familiares— cuya fama trascendió los límites de la región. Muy afamado fue también el *Libro de Trazas y Cortes de Piedra*, auténtico tratado de cantería recopilado por Alonso de Vandelvira, hijo del arquitecto, y que es un documento extraordinariamente avanzado para la época, siendo considerado incluso internacionalmente como un manual de referencia para el correcto uso la piedra de cantería. Desgraciadamente, las explotaciones han sido abandonadas y, en muchos casos, se trabaja con material de otras regiones de España o con los escombros de edificios que han sido demolidos.

La piedra que se explotó pertenece a dos unidades arenosas marinas de edad neógena que constituyen el núcleo de la comarca. Dentro de estas unidades se distinguen tres tipos de areniscas: Piedra Franca, Piedra Viva y Arenazo. La Piedra Franca es la más fácil de labrar; se presenta en paquetes masivos y estratificados de espesor decimétrico a métrico.

Composicionalmente es una arenisca amarilla, de grano medio a grueso, medianamente cementada, con pocas estructuras sedimentarias. El porcentaje de granos terrígenos que proceden de fuera de la cuenca es el más bajo de todo el conjunto.

Fuente: *Proyecto de investigación de la “Piedra Dorada” en la comarca de La Loma* (IGME, inédito).



Figura 3. Cumplida la promesa, prueba de su tesón y talento, la réplica de la Sagrada Custodia se exhibe como testimonio de su fe y su arte.

cachondeaban de mí y me preguntaban que cómo llevaba el cohete, pero la risa es del último que se ríe.”

Diego le dedicó 24 meses. 4.200 horas de trabajo después, el esfuerzo e ingenio

invertidos, habían merecido la pena. Sin embargo, Diego habla de su talento delante de la Custodia y se llena de orgullo al considerarlo un don de Dios. “Maestro sólo hay uno, el de arriba, yo sólo soy un aprendiz” (figura 3).

Tras la custodia fue la Fuente de Santa María, el Palacio de Jabalquinto, el Ayuntamiento, la Puerta de Jaén, la iglesia de la Concepción... es decir, gran parte del patrimonio artístico de Baeza reproducido a escala. Impresiona la audacia de las perspectivas, las escalas y las proporciones de todas ellas. Deslumbra su sentido del humor e ironía al incluir detalles que convierten cada escultura en una particular forma de expresar su amor por la tierra, su descontento con la tendencia a sistematizar y canonizar el arte y conmueve su espíritu ante los millares de horas invertidos sin descanso.

Diego presta singular atención a una obra que le dignifica como escultor, esposo y padre. Se trata del árbol genealógico familiar, creado en 1996 sobre mármol de Macael. Su cabeza —mejorada— como a él le gusta recalcar y caricaturizada por unas viejas gafas que descansan sobre la nariz prominente, reposa sobre un capitel, adornado con ocho hojas de laurel que representan a sus hijos y el rostro en altorrelieve de su esposa Ana, con la que contrajo matrimonio en 1958 y que aún hoy vela las horas de trabajo incesante de su esposo (figura 4).

El diálogo de la piedra y el maestro

“En esta vida hay que escoger entre ser alguien o hacer algo; yo prefiero hacer algo. No quiero ser mártir ni en el sistema, ni en el confort.”

Confiesa no seguir una disciplina militar, sin embargo, el tesón que demuestra día a día roza lo épico. 10.806 horas repartidas en jornadas de seis horas de trabajo diario, sea lunes o domingo (figura 5).

Con una sonrisa dispuesta para el transeúnte ocioso, el estudioso insolente o el turista curioso, a Diego le nace una historia... “y eso que no he estudiado Bellas Artes, Arquitectura, ni Física”. Sabe de matemáticas, geometría y proporciones gracias a un talento ágil e intuitivo al igual que conoce la Historia del Arte casi como si se la hubieran

Todos los que hemos disfrutado de las palabras del padre Sifón, abandonamos sus dominios de piedra y cincel, conocedores de la historia de una tierra imbatible, una tierra de conquistadores que hoy es Patrimonio de la Humanidad

contado los propios constructores y escultores de las catedrales.

Es amante de las historias y las narra como los artesanos, destilando las palabras a golpes de cincel que escaran la piedra. Para todos y cada uno de los visitantes de su taller-museo hay una anécdota de su vida, su pueblo, su obra, su religión y aunque nadie salga de allí propietario de ninguna de sus piezas, todos los que hemos disfrutado de las palabras del padre Sifón, abandonamos sus dominios de piedra y cincel, conocedores de la historia de una tierra imbatible, una tierra de conquistadores que hoy es, merecidamente, Patrimonio de la Humanidad.

Guarda una relación íntima con cada una de sus piezas y no las vende. Digno de halagos, premios, menciones internacionales, motivo de artículos

Piedra de Vinaixa (Lleida)

La conocida como *Piedra de Vinaixa* es una calcarenita de grano medio a fino, de origen fluvial, que se depositó durante el Oligoceno como paleocanales fluviales de arenisca con continuidades laterales limitadas. Estos depósitos pertenecen al relleno sedimentario del sector catalán de la depresión del Ebro. Las canteras se encuentran en la comarca de las Garrigas (provincia de Lleida) pero muy cerca del límite provincial con Tarragona. También se la conoce con el nombre de *Piedra de Floresta*.



Figura 4. Su orgullo, las raíces de su familia.



Figura 5. Precisión, esmero y dedicación se unen a cada golpe de sus herramientas.



Figura 6. Pese a estar abierto al público, hay cierto grado de intimidad en el caos de su estudio.

El arte es un don;
el don de expresar
con aciertos los
sentimientos. El artista,
sensible en sus
creaciones, calibra
el espíritu que anima
sus obras, la creación
sería imposible
sin ello

su vida un regalo de Dios y, sin sus manos, su casa, su familia y su pasado él, simplemente no sería él. *El arte es un don; el don de expresar con aciertos los sentimientos. El artista, sensible en sus creaciones, calibra el espíritu que anima sus obras, la creación sería imposible sin ello (figura 6).*

Un cartel impreso y enmarcado llama mi atención una y otra vez a lo largo de nuestra conversación. Reproduce unos versos de Antonio Machado:

A mis soledades voy, de mis soledades vengo porque para estar contigo, me bastan mis pensamientos.

Resume la forma de pensar de don Diego. El suyo es un pensamiento gráfico y sencillo. Un turista ensalza su humanidad, dice de él que es un prohombre y él se ruboriza: "No hombre, no; sólo soy un hombre normal que ha descubierto la fuerza de sus manos" (figura 7). Mientras, por lo bajito me confiesa que sólo existe una mente y un alma alimentados por el circuito del corazón, "lo demás es un rollo", apostilla.

Y la última pregunta Diego: "¿La piedra elige la obra o es la obra la que elige a la piedra y al maestro?" "No me haga la última pregunta..." Le encantaría reproducir la portada de la Trinidad

y entrevistas, los honores no le convierten en inasequible pero ni todo el dinero del mundo compraría una de sus piezas. "El dinero es papel y la piedra es crear." Su respuesta es siempre contundente:

"Jamás venderé una de mis reproducciones. Será el legado de mi familia". Puede parecer fortuito que su estudio esté donde estuvo su empresa familiar, pero no lo es. El padre Sifón considera

Ninguna ecuación,
ningún dilema apagará
a don Diego, sólo una
tenue veta de tristeza
ensombrece sus ojos.
Un pensamiento fugaz
que se queda entre
la piedra y él

de Úbeda. Acaba de empezar la Giralda a la que dedicará cinco años de trabajo. Le seguirá la Sagrada Familia, cientos de cuartillas, mucha tinta y operaciones matemáticas para resolver los enigmas de una arquitectura imposible. Y la resolverá. Ninguna ecuación, ningún dilema apagará a don Diego, sólo una tenue veta de tristeza ensombrece sus ojos. Un pensamiento fugaz que se queda entre la piedra y él (figura 8).

Así es el maestro Diego Lozano. Un hombre de hábitos sencillos y de pensamientos profundos. Recio y contundente a la hora de ofrecer sus esculturas al mundo: "¡Qué vengan aquí y las vean!". Eso siempre se lo deberá Baeza (figura 9).



Figura 7. Sus manos son la máxima expresión de un corazón templado por la experiencia.



Figura 8. Entre sus obras, como no, la Catedral de Baeza.

Agradecimientos

A Palmira y Cristobal que han hecho posible este encuentro.

A José Luis Barrera que, de nuevo, ha confiado en mí; a Manuel Regueiro y Joan Escuer que han aportado datos petro-lógicos de inestimable valor para la elaboración de este reportaje.

Por supuesto, a don Diego Lozano, por su entrega, su amabilidad y su valioso tiempo.



Figura 9. Una imagen de su entrevista.

El análisis mineralógico

mediante difracción de rayos X (DRX)

y sus aplicaciones

Vamos a tratar de exponer, de modo muy simplificado, los fundamentos de esta técnica, conocida por todos los geólogos de sus años de licenciatura, pero muchas veces olvidada en su posterior ejercicio profesional. Hoy se encuentra bien accesible en muchas universidades a través de sus Servicios Generales. Incluimos distintos ejemplos de su utilidad en el análisis de materiales geológicos y afines (materiales de construcción), así como en distintos materiales de tipo industrial.

Texto I Fco. Javier Sangüesa Aguerri, Dr. en Ciencias Geológicas, Universidad del País Vasco (serx@ehu.es)

Palabras clave
DRX, análisis mineralógico.

La difracción de rayos X (DRX) es una técnica analítica que nos permite estudiar la estructura interna de los sólidos cristalinos. Si bien las aplicaciones de esta técnica son numerosas, la más extendida es la identificación de las fases cristalinas presentes en una muestra pulverizada. Este procedimiento es conocido como "Análisis mineralógico mediante DRX", y se basa en el hecho de que, en función de su estructura interna y de los tipos de átomos que la componen, cada fase cristalina tiene un difractograma propio y característico. Es importante recalcar que no se trata de un análisis químico, sino de la identificación de fases o compuestos cristalinos.

El difractor mostrado en este trabajo (Philips PW1710), empleado también para la medida de los difractogramas que presentamos como ejemplos, es un modelo bastante antiguo pero perfectamente válido para los objetivos que aquí se plantean. De hecho, este viejo conocido de muchas facultades, laboratorios y centros de investigación ha soportado numerosos trabajos de investigación en Mineralogía, Cristalografía y ciencias afines.

La difracción de los rayos X en la materia cristalina

Iniciaremos este trabajo recordando que los rayos X son ondas electromagnéticas, al igual que la luz visible, pero con una

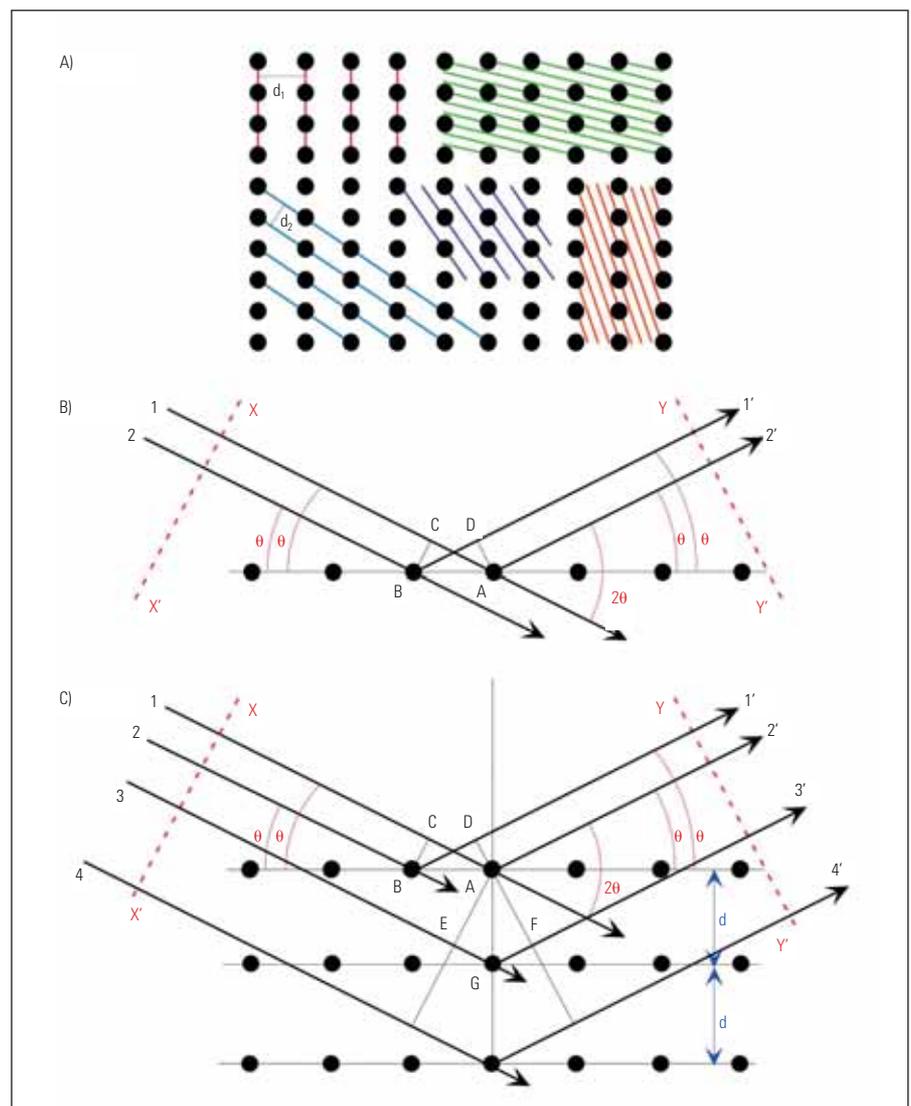


Figura 1. a) Diferentes familias de planos reticulares, indicadas mediante distintos colores, en una red cristalina. Se indican los valores de espaciado d_1 y d_2 correspondientes a dos de esas familias. b) Difracción de los rayos X en una fila de átomos, representando un plano atómico. c) Difracción de los rayos X en una serie de planos atómicos separados por su espaciado interplanar d . (Modificadas de Moore y Reynolds, 1997).

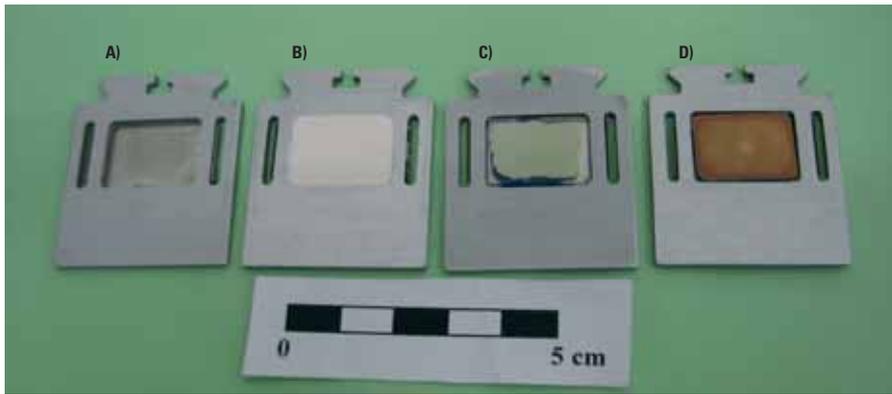


Figura 2. a) Ejemplo de portamuestras vacío utilizado para DRX en el difractómetro Philips PW1710. b) Portamuestras relleno completamente de polvo. c) Portamuestras con una pequeña muestra de polvo adherido con acetona sobre un vidrio plano. d) Portamuestras con un agregado orientado de minerales arcillosos.

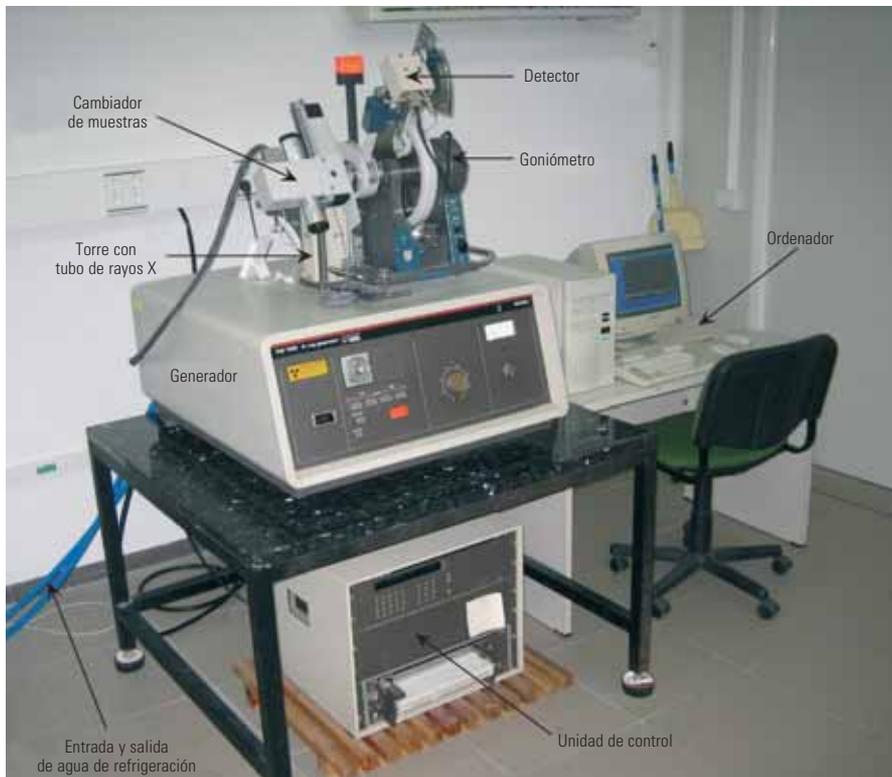


Figura 3. Difractómetro de polvo Philips PW1710, con indicación de los principales elementos que lo constituyen.

longitud de onda λ mucho menor, en el rango comprendido entre 0,1 y 10Å, por lo que se trata de radiaciones ionizantes muy energéticas.

Los rayos X se generan normalmente mediante tubos al vacío, donde un filamento de wolframio (cátodo) es sometido a una corriente eléctrica de varios mA, estableciéndose una diferencia de potencial de varios KV entre ese cátodo y un ánodo metálico, habitualmente de cobre. En esas condiciones, se produce la emisión de electrones desde el cátodo, que impactan con mucha energía en el ánodo,

arrancando electrones de las capas internas de la estructura electrónica del metal que constituye el ánodo. Los "huecos" electrónicos generados requieren la "caída" de electrones desde capas más externas, generándose así los rayos X característicos de ese elemento metálico. Es importante destacar que la mayor parte de la energía de esos choques electrónicos se disipa en forma de calor, por lo que los tubos de rayos X requieren una refrigeración continua mediante circuito de agua.

Por otro lado, en la materia cristalina (figura 1a) los átomos están dispuestos

de una manera ordenada y periódica en el espacio, formando planos cristalinos. Los planos cristalinos de una misma familia están separados entre sí en un valor constante denominado espaciado d . Estos espaciados interplanares son del mismo orden de magnitud que la λ de rayos X, por lo cual estos pueden difractarse por las redes cristalinas, de acuerdo con la Ley de Bragg que exponemos a continuación.

Consideremos primeramente (figura 1b) un único plano atómico (representado en dos dimensiones por una fila de átomos) irradiado por un haz de rayos X. Los rayos 1 y 2 se mueven en fase hacia la fila de átomos, de modo que X-X' es el frente de ondas. Los átomos A y B dispersan los rayos incidentes en todas las direcciones. Para que se forme un haz difractado Y-Y' es necesario que los rayos difractados 1' y 2' interfieran de manera constructiva, lo que implica que esos rayos deben encontrarse en fase, es decir, las longitudes de sus recorridos deben ser exactamente iguales o diferir en un número entero de longitudes de onda. En esta figura 1b se observa que AC y BD tienen la misma longitud si $\theta = \theta'$, cumpliéndose que $AC - BD = AB \sin \theta - AB \sin \theta' = 0$. Esto nos indica que la diferencia de camino recorrido entre los rayos 1-1' y 2-2' es nula, por lo que la interferencia entre ambos será constructiva. Esto implica que para una fila de átomos la difracción puede tener lugar a cualquier ángulo, a condición de que el ángulo de incidencia θ sea igual al de salida θ' .

No obstante, debemos considerar que en un cristal existe más de un plano atómico. Así, la figura 1c nos muestra una serie de planos reticulares (representados en dos dimensiones como un conjunto de filas) separados por el espaciado interplanar d . Una vez más, para obtener un haz difractado los rayos del frente de ondas Y-Y' deben estar en fase. Así, para que el rayo 3' llegue al frente de ondas Y-Y' en fase con 1' la diferencia de camino recorrido (EG+GF) debe ser un número entero n de longitudes de onda, es decir:

$$n\lambda = EG + GF$$

En la citada figura 1c se observa que los ángulos EAG y GAF son iguales a θ , por lo que:

$$n\lambda = EG + GF = AG\sin\theta + AG\sin\theta$$

y como la distancia AG es igual al espaciado d interplanar:

$$n\lambda = d\sin\theta + d\sin\theta = 2d\sin\theta$$

Esta es la ecuación de la Ley de Bragg:

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

Así, para una radiación X monocromática, es decir, de λ conocida, las diferentes familias de planos reticulares con su espaciado reticular d característico, difractarán cada una a un ángulo de incidencia θ concreto.

Las técnicas de monocristal, de amplia utilización para la determinación estructural en cristalografía, exponen un cristal en diferentes orientaciones a un haz de rayos X, obteniéndose así las reflexiones correspondientes a sus espaciados reticulares.

Por su parte, en el **método de polvo** que explicamos en este trabajo, al estar la muestra reducida a partículas muy

finamente molidas, todas las orientaciones posibles quedan representadas en su superficie, y por tanto expuestas al haz de rayos X. Las muestras (figura 2) pueden prepararse rellenando completamente la cavidad del portamuestras con polvo compactado, o bien colocar en la cavidad un vidrio plano en el que se deposita una pequeña cantidad de polvo y unas gotas de acetona, de modo que al secarse ésta, el polvo queda adherido a la superficie del vidrio.

El difractor de polvo

Un difractor de polvo típico (figura 3) consta básicamente de un generador de alta tensión, una torre donde se ubica el tubo de rayos X (en nuestro caso con ánodo de cobre), un goniómetro con un motor "paso a paso", un monocromador de haz difractado, un detector de los rayos X difractados y una unidad de control automatizada, generalmente controlada desde un ordenador.

Aunque existen difractómetros de polvo con muchas configuraciones distintas, la geometría más frecuentemente empleada

es la de Bragg-Brentano (figura 4), donde la muestra se sitúa equidistante (radio del goniómetro Rg) entre el foco emisor y la rendija de recepción de un detector de rayos X, y se verifica que el ángulo de incidencia es igual al de difracción sólo para aquellos rayos difractados por planos paralelos a la superficie de la muestra.

En esta configuración geométrica, los rayos X emitidos por el ánodo del tubo inciden sobre la superficie plana de la muestra pulverizada con un ángulo de incidencia θ , que va variando a medida que la muestra va girando. Por su parte, el detector, montado en un brazo giratorio, va girando un ángulo doble (2θ), recogiendo un fondo continuo de radiación y una serie de máximos que corresponden a los rayos X difractados por los planos reticulares de la muestra que se encuentren paralelos a la superficie de la misma.

En la citada figura 4 se aprecia que mientras el radio (Rg) del círculo del goniómetro es fijo, centrado en la muestra, el círculo de enfoque (tangente

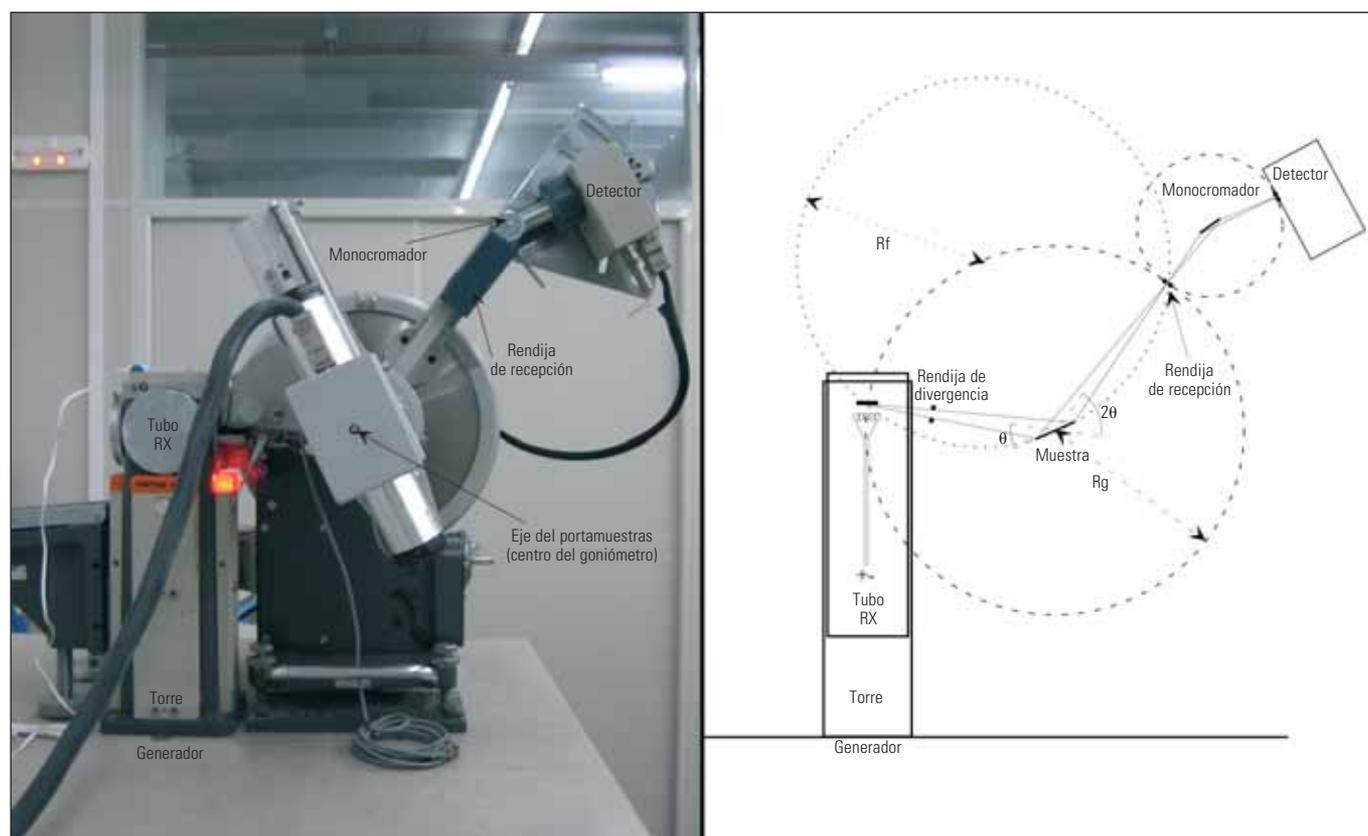


Figura 4. Geometría Bragg-Brentano del difractor de polvo Philips PW1710 en una vista lateral de su goniómetro.

El monocromador consiste en un cristal mecanizado de grafito pirolítico, que expone únicamente un espaciado reticular al haz de rayos X difractado por la muestra

a la superficie de la muestra, y conteniendo al foco emisor y a la rendija de recepción) irá disminuyendo su radio (Rf) a medida que aumenta el ángulo θ de incidencia y, por tanto, el 2θ recorrido por el detector, e irá variando la posición de su centro.

Cabe indicar por último el papel que desempeña el monocromador del haz difractado. La radiación emitida por el ánodo del tubo, en nuestro caso cobre, consta de varias líneas características ($K\alpha$, $K\beta$, etc.), con diferentes valores de λ , además de un espectro continuo de

emisión. Además, los elementos químicos que componen la muestra pueden emitir radiación X de fluorescencia, por la excitación producida por los rayos X incidentes sobre la misma. Para que la radiación X que llegue al detector sea monocromática, es decir, que corresponda sólo a la λ característica de la $K\alpha$ (1,541874 Å) del cobre, se recurre de nuevo al fenómeno de la difracción.

Efectivamente, el monocromador consiste en un cristal mecanizado de grafito pirolítico, que expone únicamente un espaciado reticular al haz de rayos X difractado por la muestra. Así, volviendo a la ecuación de Bragg $n\lambda=2d\text{sen}\theta$, en este caso tenemos que el espaciado d del cristal de grafito es constante y, por tanto, existe un valor fijo del ángulo θ para el cual se consigue que sólo una determinada λ (en nuestro caso la $K\alpha$ del cobre) llegue al detector.

El difractograma

El detector de rayos X es un dispositivo que convierte la radiación recibida en impulsos eléctricos, de modo que puedan ser procesados electrónicamente y representados gráficamente en forma de intensidad (eje vertical) frente al ángulo 2θ (eje horizontal) recorrido por el detector. Ese resultado es un difractograma (figura 5), que bien puede ser representado en papel continuo pautado, o bien registrado en forma de fichero electrónico.

El difractograma de una fase cristalina muestra un fondo continuo al que se superponen una serie de "picos" o máximos de difracción, también conocidos como "reflexiones", dispuestos en determinados valores del ángulo 2θ . Su intensidad o altura se suele asignar de manera relativa, dando una intensidad del 100% al pico más alto, y el resto proporcionalmente. A grandes rasgos, la información cristalográfica contenida en un difractograma se puede resumir del modo siguiente:

- El número y la posición de los máximos de difracción en el difractograma son el resultado de la simetría interna de la

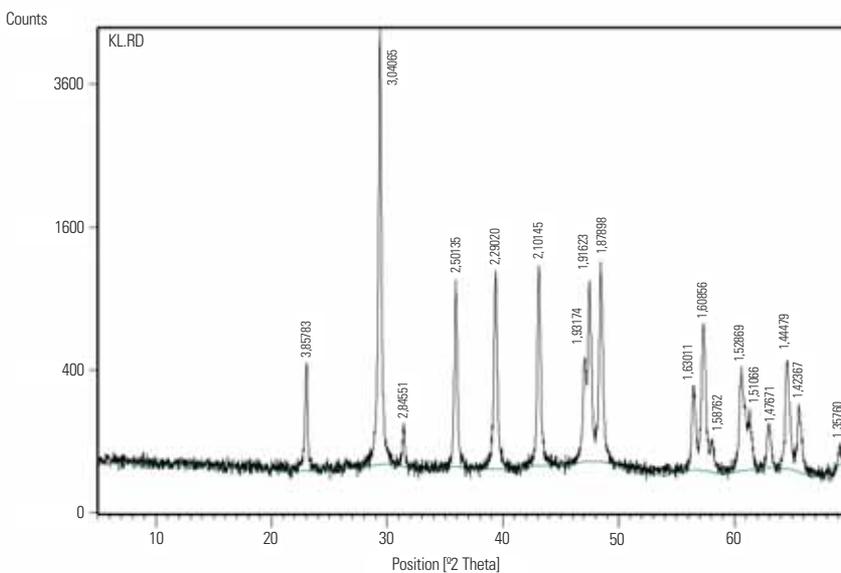


Figura 5. Ejemplo de difractograma medido en una muestra de polvo cristalino, mostrando el valor (en Å) del espaciado basal correspondiente a cada máximo de difracción.

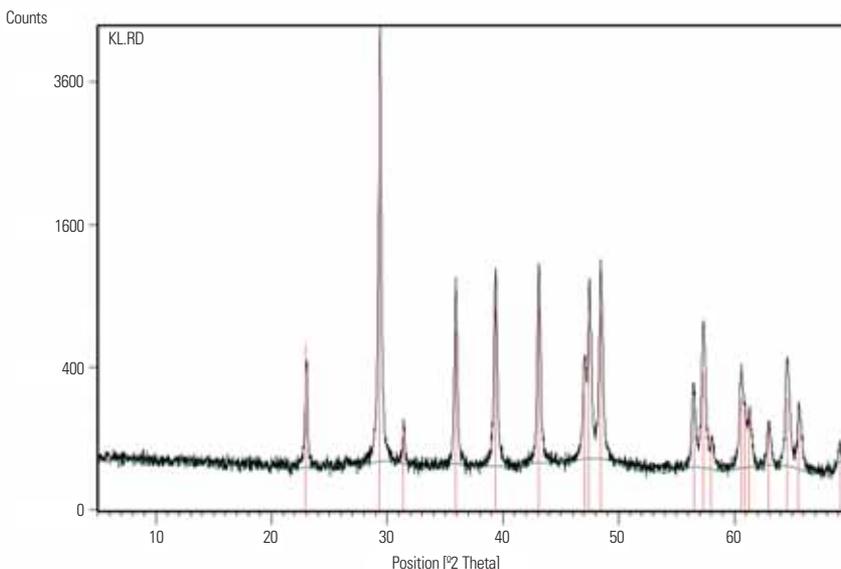


Figura 6. Identificación de la calcita CaCO_3 (ficha PDF 5-586) como única fase cristalina presente en el difractograma correspondiente a la figura anterior.

fase cristalina (grupo espacial en el que cristaliza), y de las dimensiones de su celda unidad. El valor de 2θ donde se encuentra cada máximo es directamente equiparable a un valor de espaciado d (figura 6), conocida la λ de la radiación con la que estamos trabajando, a través de la ecuación de Bragg. Nótese que los mayores espaciados corresponden a los valores más bajos de 2θ .

- La intensidad de las reflexiones depende fundamentalmente del contenido de la celda unidad, es decir, de la cantidad y tipo de átomos (elementos químicos) que la constituyen, y de sus coordenadas espaciales en el interior de dicha celda. En muchas ocasiones, incluidos la mayor parte de los ejemplos de este trabajo, la escala vertical que se representa no es lineal, sino de tipo *square root*, a fin de facilitar la visión de los máximos de intensidad más pequeños.
- La anchura de las reflexiones es función tanto de la configuración del difractómetro utilizado (anchura instrumental), como de diferentes características inherentes a la muestra, tales como el tamaño de los cristalitas (dominios coherentes de difracción) o la existencia de microtensiones en la estructura de la fase cristalina.

En la medida de un difractograma se controlan diferentes parámetros, tales como el ángulo inicial y final de 2θ , el tamaño de cada paso en $^\circ 2\theta$ y el tiempo de medida en cada uno de esos pasos. Un difractograma *standard* utilizado para identificación de fases puede medirse en menos de una hora, por lo que resulta un método de análisis rápido y de aplicación relativamente sencilla.

Análisis mineralógico mediante DRX

Según lo que acabamos de indicar, cada sustancia cristalina tiene un difractograma característico, a modo de "huella dactilar" de la misma, dado que su simetría interna y las dimensiones y contenido de su celda unidad determinan que su difractograma tenga determinados máximos, cuyas posiciones e intensidades

relativas son característicos. Esos difractogramas propios de cada fase están recogidos en un fichero o base de datos, en forma de fichas PDF (*Powder Diffraction File*), proporcionadas por el ICDD (*International Center for Diffraction Data*). Esa base de datos consta de más de 150.000 difractogramas, incluyendo los experimentales y los calculados, de prácticamente todos los compuestos inorgánicos conocidos, así como de muchas sustancias orgánicas cristalinas.

La identificación de una fase cristalina tradicionalmente se ha hecho de modo manual, a partir de la determinación del espaciado correspondiente a las tres reflexiones más intensas, y ayudándose de las tablas de Hanawalt (ver por ejemplo Díaz Mauriño, 1988). Muchos geólogos y químicos recordarán haber hecho este tipo de ejercicios durante su licenciatura.

No obstante, como hemos comentado, los difractómetros modernos permiten obtener un difractograma en forma de fichero informático para el posterior tratamiento del mismo mediante *software* específico, y su comparación con la base de datos PDF, también en soporte digital, de manera que pueden identificarse la fase o fases cristalinas presentes en una muestra. Los diferentes fabricantes de difractómetros ofertan programas informáticos para este tipo de tareas. En concreto, para la elaboración de este trabajo hemos usado el *software* comercial denominado PANalytical X'pert HighScore. El procedimiento típico a seguir consta de los siguientes pasos:

1. Determinación del fondo del difractograma (modo automático o manual), y eventual substracción del mismo. En los ejemplos que ilustran este trabajo hemos mantenido el fondo original, sin restar.
2. Correcciones diversas del difractograma, ligadas a efectos instrumentales. Se pueden eliminar los picos debidos a la $K\alpha_2$, ya que a altos ángulos de 2θ sus reflexiones aparecen desdobladas de las correspondientes a la $K\alpha_1$ (algunos equipos disponen de monocromador de haz primario que elimina la $K\alpha_2$, de

Un difractograma *standard* para identificación de fases puede medirse en menos de una hora, por lo que resulta un método de análisis rápido y de aplicación relativamente sencilla

modo que sobre la muestra sólo incide radiación $K\alpha_1$). Se pueden convertir las intensidades medidas con rendija de divergencia variable (como es nuestro caso) a fija, y viceversa. Se pueden eliminar los denominados *outliers*, que aparecen como falsos picos muy estrechos, y que corresponden a errores puntuales de medida en un paso de 2θ .

3. Búsqueda de picos, según varios métodos, controlados con criterios numéricos. Es importante comprobar que el programa reconoce como máximos de difracción todos aquellos que nosotros apreciamos visualmente.
4. Aplicar restricciones a la base de datos a la hora de buscar fichas que se ajusten a nuestro difractograma. En este sentido, el conocimiento de cualquier información previa relativa a la muestra resulta determinante en muchos casos. Así, se puede hacer que el programa trabaje sólo con las fichas que corresponden a minerales, o a compuestos inorgánicos en general; o bien establecer restricciones de tipo químico si conocemos alguno o todos los elementos químicos que contiene, o bien elementos que sabemos que no están en la muestra.
5. El programa nos dará una lista de candidatos, ordenados según una calificación numérica (*score*) del parecido entre el difractograma experimental y cada ficha PDF. Si los ajustes no son buenos, se puede permitir una cierta deriva o desviación entre el difractograma y los máximos de las fichas, a fin de considerar otros efectos instrumentales, como puede ser el desplazamiento de la muestra si

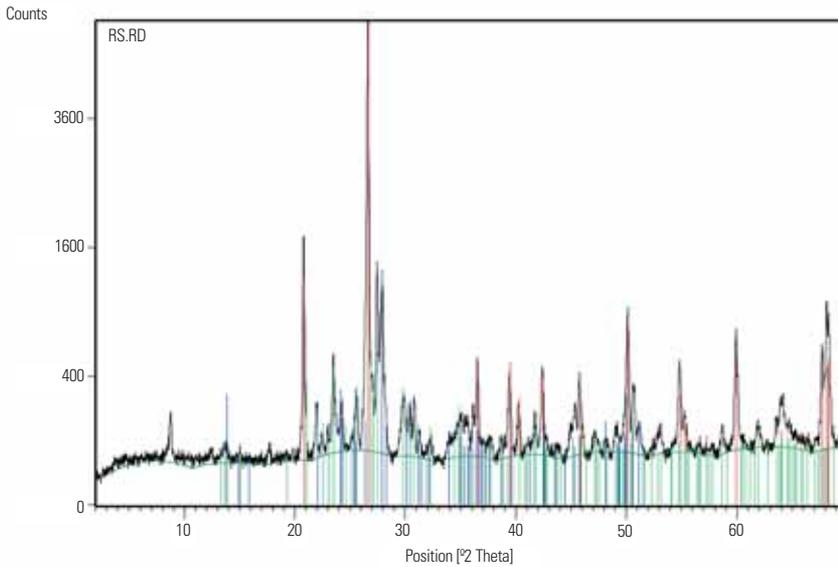


Figura 7. Diffractograma de polvo de una roca granítica, en el que se identifican cuarzo SiO_2 (rojo), albita $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (azul) y ortosa KAlSi_3O_8 (verde). Los máximos de difracción no asignados a ninguna de estas tres fases corresponden a micas.

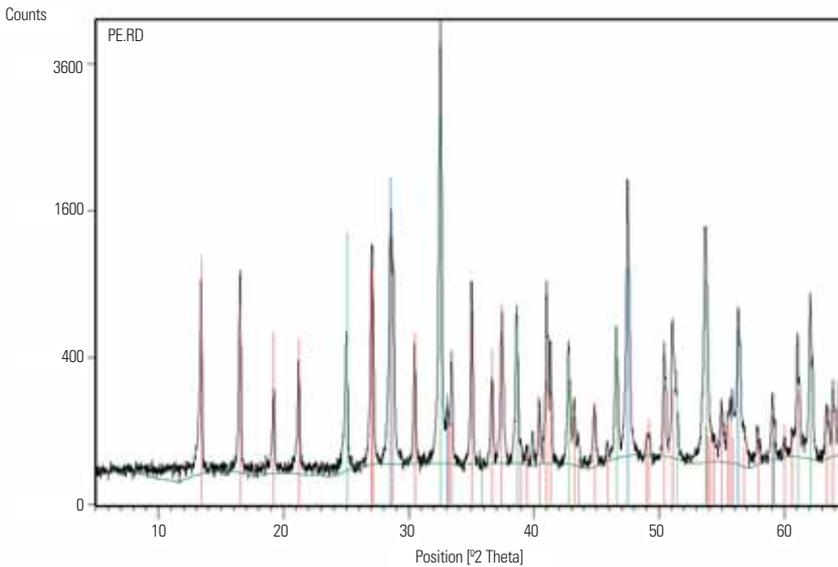


Figura 8. Diffractograma de polvo de una muestra procedente de una mineralización de zinc. Se identifica la presencia de hemimorfita $\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (rojo), smithsonita ZnCO_3 (azul) y esfalerita ZnS (verde).

ésta no está perfectamente enrasada con la superficie del portamuestras, que es donde se enfoca el haz primario de rayos X.

- La decisión final sobre la determinación de la fase o fases que componen la muestra dependerá en buena medida de nuestro conocimiento sobre la misma (origen, quimismo, etc.), valorando aspectos tales como la posibilidad de que existan fases en forma de soluciones sólidas, o incluir entre las fases determinadas alguna cuya identificación no sea del todo segura por estar presente en pequeñas proporciones.

El ejemplo mostrado en la figura 6 ilustra el resultado de todo lo expuesto en este apartado. Se observa que los máximos de difracción que veíamos en la figura 5 se ajustan, en posición e intensidad, con los recogidos en la ficha PDF 5-586 de la calcita, permitiendo así su identificación en esta muestra, correspondiente a una costra que se había formado en el alero de un tejado.

Muestras multifásicas

Salvo en ciertos casos de materiales sintetizados en laboratorio, o de

minerales o cristales separados en el laboratorio a través de procedimientos diversos (magnéticos, gravimétricos, a la lupa binocular, etc.), la mayor parte de las muestras analizadas contendrán más de una fase cristalina, con lo que el proceso de identificación se puede complicar notablemente.

En estos casos tendremos que valorar simultáneamente las cifras de bondad (*score*) del ajuste ofrecidas por el programa para cada ficha PDF, con la posibilidad de que esas fases se encuentren mezcladas en una misma muestra. Una vez más se pone de manifiesto la necesidad de disponer de la mayor información posible sobre la muestra que estamos analizando. Así, se debe probar con diferentes combinaciones lógicas de fases hasta que todos los máximos de difracción estén identificados, con especial atención a las zonas donde picos de diferentes fases se pueden solapar, sumando sus intensidades. En cualquier caso, no es extraño que quede algún pequeño pico sin identificar, correspondiente a alguna fase presente en cantidades muy pequeñas en la muestra. En este sentido, el límite de detección se puede establecer en torno al 1-3%, dependiendo de cada fase en particular y del conjunto de fases en la mezcla.

A modo de ejemplo característico, podemos considerar una roca, como el granito, cuyo difractograma interpretado se muestra en la figura 7. Para estos casos, los procedimientos informáticos suponen una gran ayuda frente a la identificación manual a la hora de cotejar nuestro difractograma experimental con la base de datos PDF. La figura 8 corresponde a otro ejemplo de identificación de tres minerales diferentes, en este caso en una muestra procedente de una mineralización de zinc. La figura 9 pertenece al análisis de un sulfuro alterado, identificándose el sulfuro original (pirita) y el producto de la alteración (szomolnokita).

Existen además diferentes técnicas para estimar o conocer la cantidad de cada

fase presente en la muestra analizada (**análisis semicuantitativo**). La mayoría de estas técnicas se basan en la medida del área o de la intensidad de un máximo de reflexión característico de cada fase, y que no se solape con los de las otras fases presentes.

En el caso de rocas, es habitual el uso del método de los poderes reflectantes (Schultz, 1964) para hacer una estimación semicuantitativa de los minerales presentes. Este método se basa en la aplicación de un factor corrector (poder reflectante) al área de un máximo de difracción característico de cada mineral. Por ejemplo, la *figura 10* es el difractograma de la zona externa de una calcarenita usada como piedra natural de construcción que se veía afectada por desagregación superficial como consecuencia de la formación de eflorescencias de yeso. La estimación semicuantitativa por el método de los poderes reflectantes ofrece para ese difractograma unos valores de 75% calcita, 20% cuarzo, 3% yeso, 2% feldespato potásico y trazas de dolomita.

De manera similar, muchas de las fichas del fichero PDF incluyen un valor RIR (*Reference Intensity Ratio*) que es la relación de intensidades I/I_c entre el pico más intenso de la fase representada en esa ficha y el más intenso del corindón ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) medidos en una mezcla al 50% entre ambas fases. Esto permite, que si identificamos todas las fases de una muestra con fichas que incorporen ese valor RIR, el mismo programa nos dará una estimación semicuantitativa de los contenidos de cada fase, ya que sus intensidades están todas referidas a una misma fase (corindón) que hace de "patrón interno" aunque no exista corindón en la muestra.

Por ejemplo, en el caso de la *figura 10*, si se identifican las 3 fases presentes con las fichas 85-1387 (hemimorfita), 83-1765 (smithsonita) y 5-566 (esfalerita), todas ellas con valor RIR, obtenemos unos valores de 34%, 43% y 23%, respectivamente.

Otras técnicas de análisis cuantitativo requieren la confección de rectas de

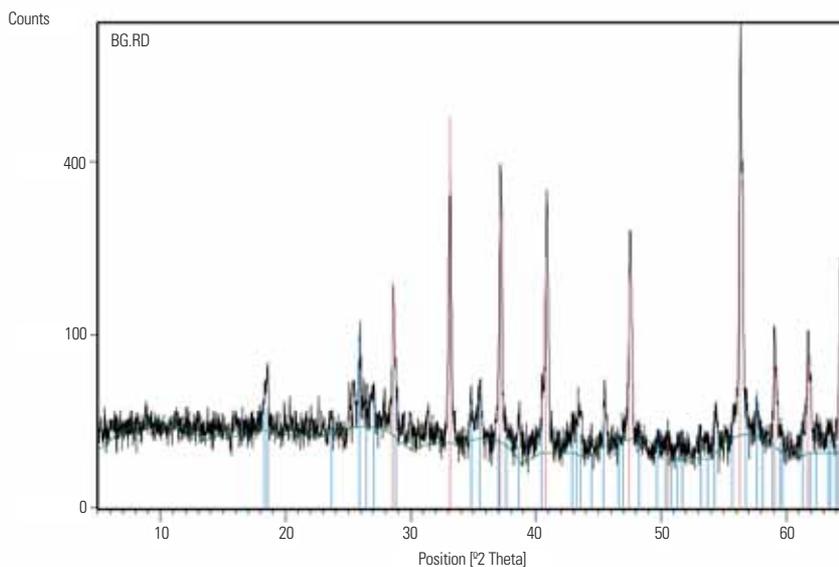


Figura 9. Difractograma de polvo de un sulfuro alterado, en el que se identifican pirita FeS (rojo) y szomolnokita $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (azul).

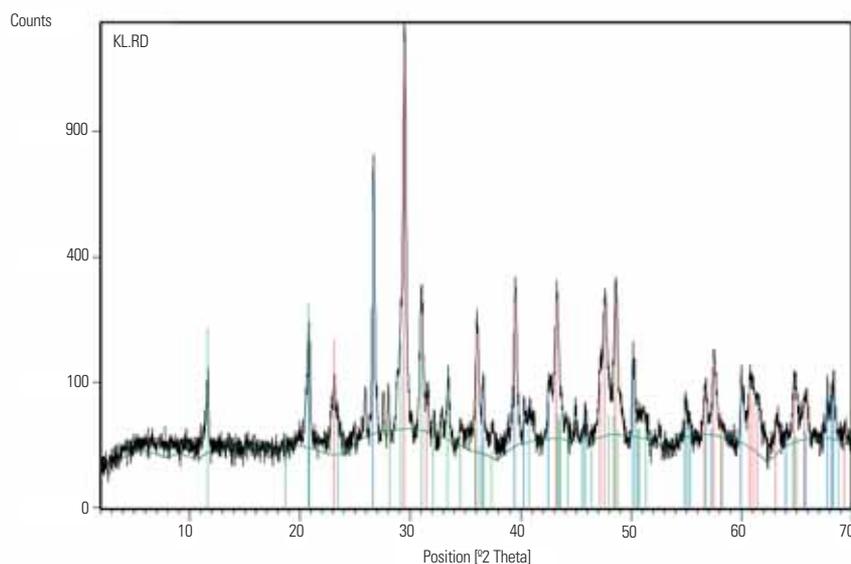


Figura 10. Difractograma de polvo de la zona superficial de una calcarenita usada como piedra natural en una fachada. Se identifican calcita (rojo), cuarzo (azul), yeso $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (verde) y cantidades menores de dolomita y feldespato potásico (no indicados).

calibrado y el uso de patrones, trabajo sólo abordable cuando se van a analizar muchas muestras de composición similar. En los últimos años, la aplicación del método de Rietveld (véanse por ejemplo Bish y Post, editores, 1989) al refinamiento de perfiles de DRX ha permitido el análisis cuantitativo de fases, considerando el difractograma completo y no sólo algunos máximos característicos. No obstante, dado que ese método que requiere la medida de un difractograma muy preciso y una perfecta definición de la composición y estructura de las fases

presentes en la muestra, su utilidad es limitada en materiales geológicos, donde abundan las sustituciones isomórficas, soluciones sólidas, orientación preferente de minerales de hábito planar o acicular, etc.

Polimorfos, soluciones sólidas y materiales amorfos

Siguiendo con los ejemplos de identificación mineralógica en rocas, pensemos en una roca sedimentaria cuyo análisis químico nos indica que está compuesta exclusivamente por carbonato

cálcico CaCO_3 . ¿Tendríamos así esa roca perfectamente caracterizada desde el punto de vista mineralógico? Recordemos que el carbonato cálcico aparece en la naturaleza en forma de distintos minerales polimorfos, siendo los más habituales la calcita (trigonal) y el aragonito (rómbrico). Lógicamente, dado que su simetría interna y su estructura son distintas, sus difractogramas han de ser diferentes (figura 11), por lo que la DRX es la técnica ideal para saber si esa roca consta de calcita, aragonito o una mezcla de ambos, pudiéndose estimar también la proporción entre ellos.

La problemática del polimorfismo aparece también en muchos materiales industriales, como es el caso, por ejemplo, de la utilización del dióxido de titanio TiO_2 como elemento de carga de color blanco en la fabricación de pinturas y papel, y que puede corresponder a los minerales rutilo o anatasa.

Por otro lado, sin embargo, las fases isoestructurales pueden ser difíciles de identificar mediante DRX, aunque su composición química sea bien diferente. Las complicaciones pueden aumentar en los casos en que existan soluciones

sólidas entre distintos extremos de una serie. La figura 12 representa el caso de un mineral que resulta ser un miembro de la solución sólida entre la thorianita (grupo espacial Fm-3m, parámetro $a=5.597\text{\AA}$) y la uraninita (mismo grupo espacial, $a=5.467\text{\AA}$).

Lógicamente, las fichas PDF de esas dos fases son muy similares, ya que son isoestructurales y con un parámetro de celda muy similar, pero ninguna de ellas se ajusta bien al difractograma experimental del mineral. Sólo un análisis químico mediante fluorescencia de rayos X (FRX) permitió determinar que, efectivamente, se trataba de un miembro intermedio de la solución sólida entre ambos extremos.

Otra aplicación inmediata del análisis mineralógico por DRX es determinar si una muestra es o no cristalina. Sólo los sólidos cristalinos son capaces de difractar los rayos X, mientras que los materiales vítreos o amorfos, al carecer de una estructura cristalina ordenada definida, sólo provocan una dispersión incoherente de los mismos y, por tanto, no generan máximos de difracción.

Como ejemplo característico, es el caso de materiales aislantes usados en construcción. Cuando un aislante está

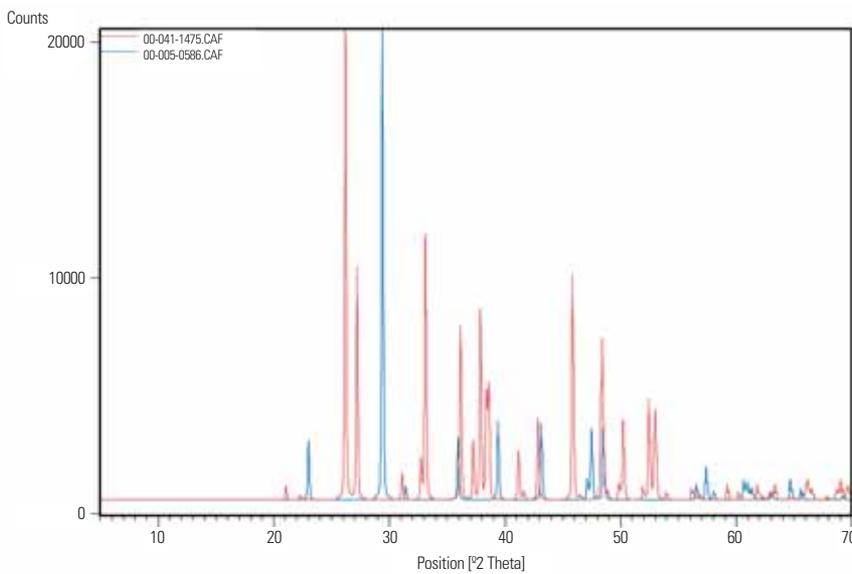


Figura 11. Difractogramas de polvo de dos polimorfos del carbonato cálcico, el aragonito (rómbrico, en color rojo) y calcita (trigonal, en color azul), simulados a partir de sus respectivas fichas PDF.

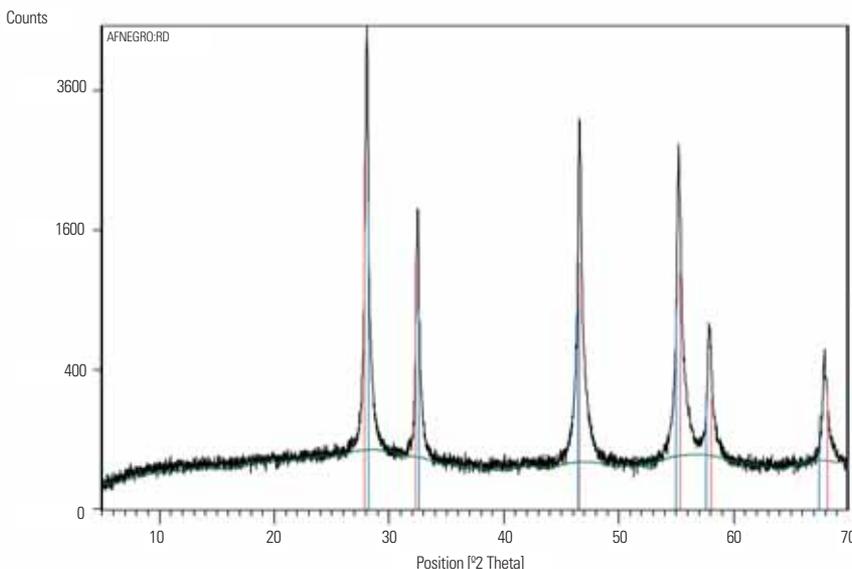


Figura 12. Difractograma de polvo de una muestra que resulta ser una solución sólida $(\text{Th,U})\text{O}_2$, entre la thorianita ThO_2 (azul) y la uraninita UO_2 (rojo).

Las fases isoestructurales pueden ser difíciles de identificar mediante DRX, aunque su composición química sea bien diferente. Las complicaciones pueden aumentar en los casos en que existan soluciones sólidas entre distintos extremos de una serie

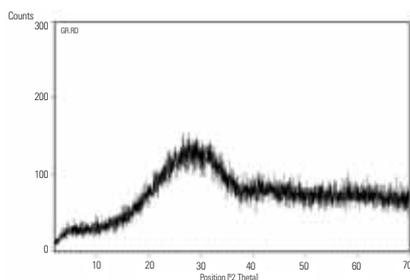


Figura 13. Diffractograma de un material aislante de naturaleza vítrea, por lo que no exhibe máximos de difracción.

constituido por fibras de naturaleza vítrea (fibra de vidrio, lana de roca, etc.), al tratarse de un material amorfo y no cristalino (figura 13) no se generan máximos de difracción. Por su parte, las fibras minerales del tipo de los asbestos o amiantos, bien de tipo serpentina, variedad crisotilo (figura 14), o bien anfibólicos (crocidolita, amosita, antofilita, tremolita y actinolita), son cristalinas y, por tanto, identificables mediante DRX, aunque como consecuencia de su hábito fibroso, dan problemas de orientación preferente que afecta a las intensidades de los máximos de difracción.

Minerales de la arcilla: agregados orientados

Hemos comentado que el método de difracción de muestras en polvo requiere una molienda lo más fina posible para que todos los planos reticulares de las fases presentes estén representados en la superficie de la muestra. Lógicamente, si alguna de esas fases tiene un hábito planar o acicular, ligado a sus superficies de exfoliación, durante la molienda tenderá a romperse por dichas superficies y esos planos reticulares estarán más representados que otros, generando una mayor intensidad difractada.

Este es el caso de la calcita, que tiende a romperse según su exfoliación neta romboédrica incluso en la molienda más fina, por lo que los planos reticulares paralelos a las caras del romboedro se verán potenciados en su diffractograma respecto a una muestra cuyas partículas estén orientadas perfectamente al azar.

Un caso extremo es el de los filosilicatos, y los minerales de la arcilla en particular

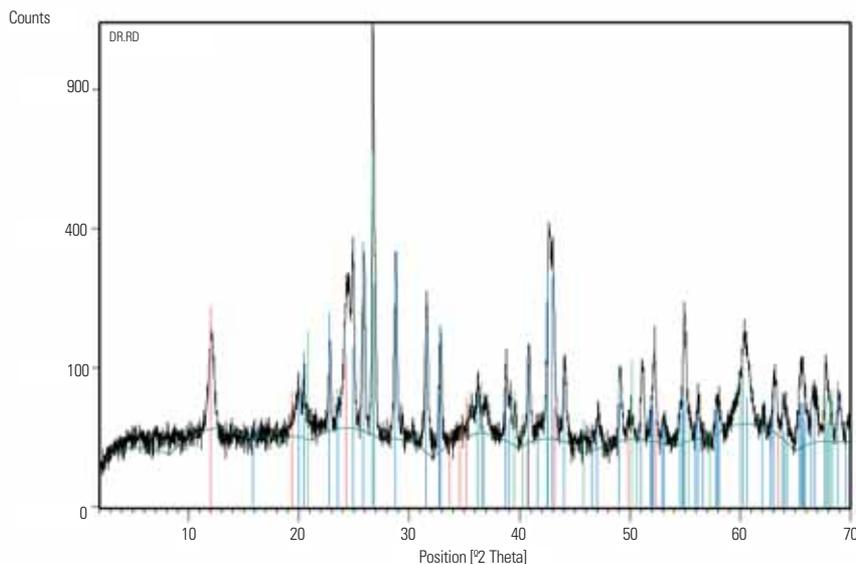


Figura 14. Diffractograma de un material aislante con presencia de asbestos de tipo crisotilo $Mg_3 Si_2 O_5(OH)$, (en rojo) junto a barita $BaSO_4$ (azul) y cuarzo (rojo).

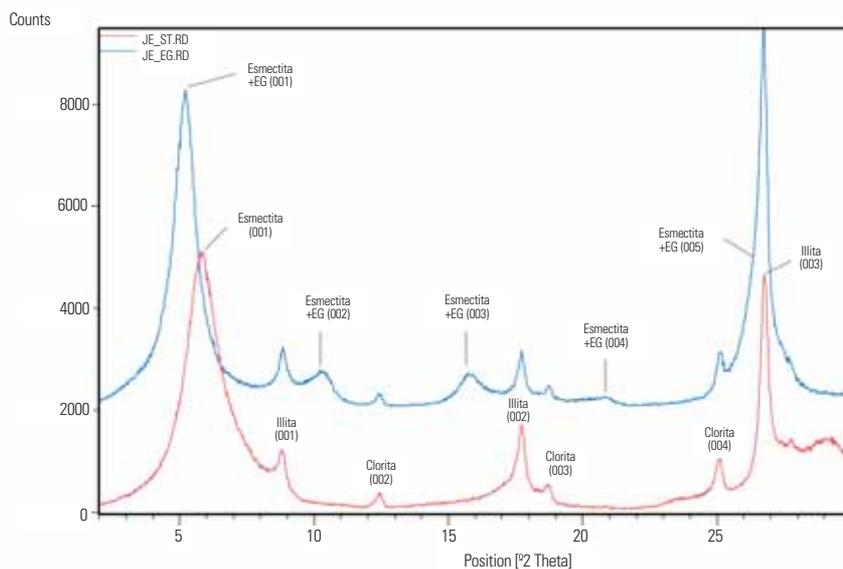


Figura 15. Diffractogramas de un agregado orientado de la fracción granulométrica $<2\mu m$ de una muestra arcillosa compuesta por esmectita, illita y clorita. Se aprecian las diferencias entre el agregado sin tratamiento (rojo) y tras solvatar con etilenglicol (azul), lo que implica el incremento del espaciado basal de la esmectita. La reflexión (001) de la clorita está enmascarada por la (001) de la esmectita en ambos casos.

(Moore y Reynolds, 1997), cuyo hábito planar, como consecuencia de su perfecta exfoliación basal, hace que resulte sumamente difícil obtener una muestra con sus partículas orientadas al azar. En cualquier caso, y dado que los diferentes grupos de minerales de la arcilla se distinguen principalmente por su espaciado basal, perpendicular a los planos de exfoliación, la estrategia que se sigue para su análisis es precisamente potenciar la orientación de los mismos. Para ello, se depositan sobre un portamuestras de vidrio plano unas gotas

de una suspensión de arcilla en agua y se deja secar. Así se obtiene un agregado orientado (figura 2d) que consiste en una película de partículas arcillosas orientadas paralelamente a la superficie del portamuestras y que serán expuestas al haz de rayos X.

La identificación de los diferentes grupos de minerales de la arcilla se hace en base a su serie racional de reflexiones (001), es decir, (001), (002), (003) y sucesivamente. Estas reflexiones aparecen a lo largo del difractograma

para los distintos valores de n en la ecuación de Bragg, siendo los espaciados de cada reflexión el resultado de dividir el correspondiente a la (001), entre 1, 2, 3, 4, etc.

Generalmente se preparan varios agregados orientados de cada muestra, ya que la identificación de algunos grupos de minerales de la arcilla requiere la utilización de distintos tratamientos (tabla 1) y la medida de nuevos difractogramas tras su aplicación. La figura 15 muestra los difractogramas de un agregado

orientado compuesto por illita, clorita y esmectita, sin tratamiento y tras la solvatación con etilenglicol. En el segundo caso se aprecia el hinchamiento del espaciado (001) de la esmectita desde 15 hasta 17 Å, afectando así a todas las reflexiones de este mineral, que se ven desplazadas hacia valores menores de 2θ .

Algunos ejemplos de materiales de origen industrial

El análisis mineralógico mediante DRX es igualmente válido para identificar

las fases cristalinas presentes en muestras no geológicas, como se puede observar en la figura 16 correspondiente al difractograma de un material refractario industrial, compuesto por alúmina (corindón) y zirconia (baddeleyita).

También los productos cerámicos son susceptibles de ser analizados mediante DRX, como en la figura 17, donde se exhibe la identificación de diferentes fases cristalinas en el análisis de una cerámica arqueológica. En este tipo de muestras, habitualmente analizadas en estudios arqueométricos, la presencia o ausencia de determinadas fases, particularmente en el caso de cerámicas fabricadas a partir de arcillas calcáreas, es indicativa de la temperatura de cocción alcanzada en la fabricación de la cerámica, aunque se debe tener siempre en cuenta la posibilidad de que existan fases secundarias, formadas con posterioridad a la cocción de la misma.

Como último ejemplo, incluimos el análisis de una muestra de pintura, para lo cual primeramente debemos recordar que una pintura es una mezcla de componentes orgánicos e inorgánicos, que cumple cada uno una función específica, tal y como queda

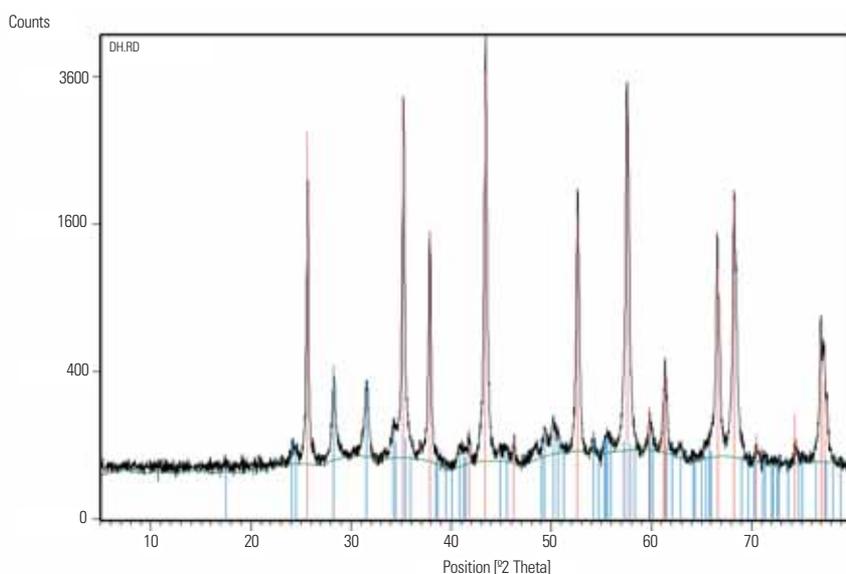


Figura 16. Difractograma de polvo de una muestra de material refractario industrial, en el que se identifican corindón Al_2O_3 (rojo) y baddeleyita ZrO_2 (azul).

Tabla 1. Tratamientos más habitualmente aplicados en la identificación de los principales minerales de la arcilla mediante DRX de agregados orientados				
Minerales de la arcilla	Espaciado basal (001) Sin tratamiento	Solvatación con Etilén-glicol	Solvatación con Dimetil-sulfóxido	Tratamiento térmico a 550°C
Illita	10 Å	–	–	–
Esmectita	14 o 15 Å	Expande hasta 17 Å	Expande hasta aprox. 19 Å	Colapsa a 10 Å (incluso a 300°C)
Vermiculita	14,3 Å	Puede expandir hasta 15 o 16 Å	–	Colapsa a 10 Å, pero se puede rehidratar
Caolinita	7,1 Å	–	Expande hasta aprox. 11,2 Å	Desaparece, al volverse amorfa a los rayos X
Clorita	14,2 Å	–	–	Incrementa intensidad de la reflexión a 14 Å y se reduce el resto de reflexiones

resumido en la tabla 2. Entre todos esos componentes, sólo podremos identificar mediante DRX aquellos que correspondan a sólidos cristalinos y que estén en cantidades significativas dentro de la misma. Así, las fases identificables mediante esta técnica se reducen generalmente a los pigmentos inertes y, en algunos casos, algunos pigmentos de color y/o anticorrosivos. Por ejemplo, en la pintura analizada en la *figura 18* se identifican rutilo y calcita, éste último generalmente empleado como pigmento inerte en pinturas "baratas".

Consideraciones adicionales

El análisis mineralógico mediante DRX es una técnica instrumental rápida y de aplicación relativamente sencilla para la identificación de fases cristalinas en diferentes tipos de muestras. En el caso de materiales

geológicos (minerales, rocas, arcillas), además de su interés intrínseco, constituye un excelente complemento otras técnicas, tales como la petrografía, los análisis químicos, los análisis térmicos, etc. Igualmente, es aplicable en el análisis de materiales de construcción (piedra natural, cales y yesos, cementos, morteros, productos de su alteración como las eflorescencias) e industriales (pinturas, cerámicas, aleaciones, catalizadores, etc.).

Esta técnica debe considerarse como "destructiva", en el sentido de que se requiere pulverizar la muestra, si bien la cantidad requerida es muy pequeña (0,1 gramos suelen ser suficientes), y el polvo analizado se puede recuperar para su uso en otros tipos de análisis.

Los avances en el diseño y construcción de difractómetros (nuevos

Sólo los sólidos cristalinos son capaces de difractar los rayos X, mientras que los materiales vítreos o amorfos, al carecer de una estructura cristalina ordenada definida, sólo provocan una dispersión incoherente de los mismos y, por tanto, no generan máximos de difracción

Tabla 2. Componentes de una pintura o recubrimiento

VEHÍCULO: Conjunto de todos los componentes de la fase líquida de una pintura o recubrimiento.	Ligantes: Parte no volátil del vehículo que forma la pintura. Suponen el 15-20% en pinturas de acabado mate, y hasta el 45% en pinturas de acabado brillante	Típicamente se trata de compuestos orgánicos, tales como aceite de linaza (u otros aceites secantes), o ciertos tipos de resinas.
	Disolventes: Son líquidos simples o mezclas de líquidos volátiles en las condiciones de secado especificadas y capaces de disolver completamente al ligante. Alcanzan un 50-60% en pinturas de acabado mate y en torno al 20% en pinturas de acabado brillante.	Ejemplos: hidrocarburos alifáticos, hidrocarburos aromáticos, cetonas, alcoholes, ésteres y éteres glicólicos.
PIGMENTOS: Sustancias en forma de finas partículas, prácticamente insolubles en el vehículo, utilizadas por sus propiedades ópticas, protectoras o decorativas. Suponen un 15-20% en pinturas mates y 25-35% en pinturas brillantes.	Inertes o de refuerzo: Ejercen un papel de relleno.	Talco, dióxido de titanio TiO_2 (rutilo o anatasa), sulfato cálcico $CaSO_4$ (anhidrita), sulfato de bario $BaSO_4$ (barita), carbonato cálcico $CaCO_3$ (calcita).
	De color: Dan color y opacidad a la capa de pintura.	$PbCrO_4$, $ZnCrO_4$, Fe_2O_3 , Na_4SiO_4 , $Fe(CN)_6$.
	Ignífugos.	Sb_2O_3 .
	Dispersantes: Facilitan la dispersión de los componentes de la pintura.	C (negro de carbón o negro de humo).
	Anticorrosivos/Inhibidores: Aumentan la resistencia a la corrosión de la pintura.	Pb_3O_4 (minio), $ZnCrO_4$, $SrCrO_4$, $CrPO_4$, aluminio en láminas, otros.
ADITIVOS: Sustancias añadidas en pequeñas proporciones (en total suponen menos del 5%) a un recubrimiento para mejorar o modificar una o más propiedades. Sin estos las pinturas no resultarían funcionales.	Surfactantes, espesantes, biocidas, fungicidas, estabilizadores, antiespumantes, catalizadores, antifloculantes, secantes, etc.	

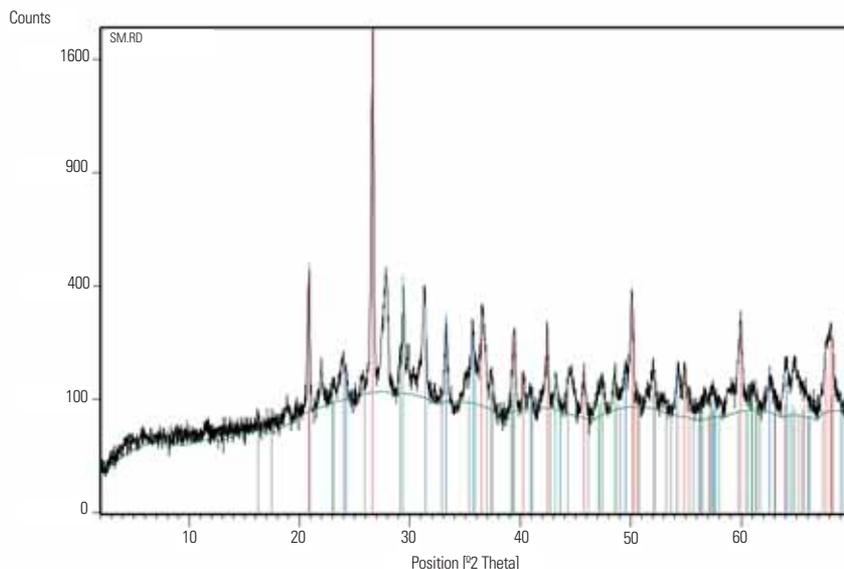


Figura 17. Diffractograma de polvo de una muestra de cerámica arqueológica, identificándose cuarzo (rojo), calcita (verde), hematitas Fe_2O_3 (azul), gehlenita $Ca_2Al_2SiO_7$ (gris), y cantidades menores de feldespatos (no indicados). La elevación del fondo en la región $15-35^\circ 2\theta$ es indicativa de que esta cerámica también contiene material vítreo.

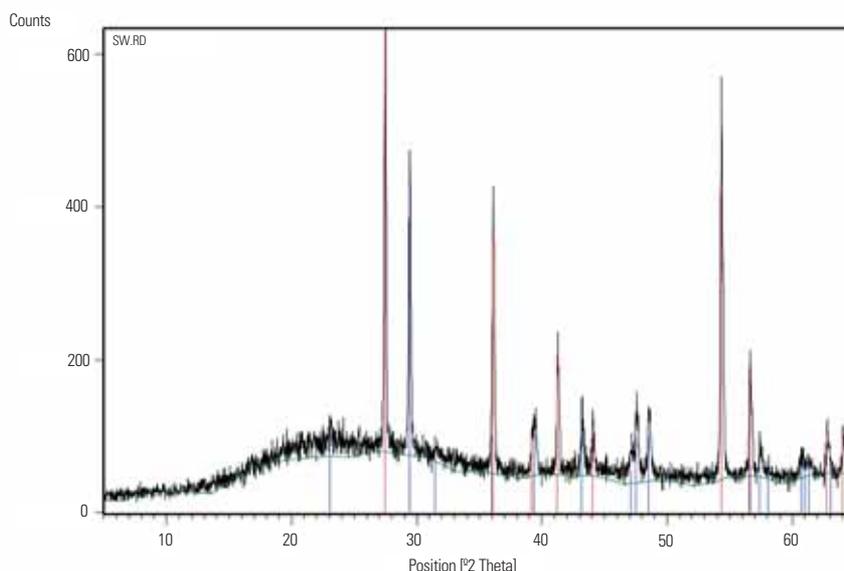


Figura 18. Diffractograma de una muestra de pintura, en la que se identifican rutilo TiO_2 (rojo) y calcita (azul). La elevación del fondo en la región $15-35^\circ 2\theta$ se debe a los componentes no cristalinos de la pintura.

tipos de portamuestras, geometría $\theta-\theta$, detectores más rápidos y precisos, ópticas de haz paralelo mediante espejos de Göebbel, etc.), imponen cada vez menos restricciones en la cantidad de muestra a utilizar (microdifracción), en los tiempos de medida, e incluso se pueden analizar muestras sin pulverizar, siempre que estas sean policristalinas. Todo ello contribuye a incrementar la versatilidad de esta técnica, incluyendo su aplicación para el análisis de evidencias en ciencia forense, donde las principales limitaciones vienen dadas por la naturaleza y tamaño de dichas evidencias.

El método de la difracción de polvo también puede aplicarse en condiciones no ambientales, en difractómetros que tengan la cámara portamuestras adaptada para trabajar como cámara de reacción, de vacío, de presión, o de temperatura. En este último caso, es habitual medir sucesivos difractogramas de una muestra a diferentes temperaturas para ver cuándo tienen lugar los posibles cambios polimórficos de la misma. Por último, es necesario indicar que la técnica de DRX de polvo se emplea, además, en muchas más aplicaciones, tales como el refinamiento de estructuras cristalinas, el análisis de tamaños de nanopartículas, el análisis textural de la orientación en agregados policristalinos, etc.

Bibliografía

Se incluyen las referencias citadas en este trabajo, así como algunos textos de carácter general que tratan sobre los métodos de DRX de polvo.

Bish, D.L. y Post, J.E., editores (1989). *Modern Powder Diffraction*. Reviews in Mineralogy, vol. 20. Mineralogical Society of America. 369 pp.

Díaz Mauriño, C. (1988). *Prácticas de Mineralogía*. Ed. Alhambra. Madrid.

Jenkins, R. y Zinder, R.L. (1996). *Introduction to X-ray Diffractometry*. John Wiley. 403 pp.

Klug, H.P. y Alexander, L.E. (1977). *X-ray Diffraction Procedures for Polycrystalline and Amorphous Materials*. 2nd edition. John Wiley. 966 pp.

Moore, D.M. y Reynolds, R.C. (1997). *X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*, 2nd edition. Oxford University Press. New York.

Pecharsky, V.K. y Zavalij, P.Y. (2003). *Fundamentals of Powder Diffraction and Structural Characterization of Materials*. Kluwer Academic Publishers. 713 pp. y CD-ROM.

Schultz, L.G. (1964). Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and chemical data for Pierre Shales. *U.S. Geol. Sur. Prof. Pap.* 391-C.

Las islas Alhucemas y el peñón de Vélez de la Gomera

La mínima expresión geológica de unos peñones olvidados

Las islas Alhucemas y el peñón de Vélez de la Gomera, junto con las islas Chafarinas, completan el conjunto de posesiones españolas en el norte de África, además de las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla. La pequeña extensión de ambos territorios hace que su geología esté representada por una sola unidad litoestratigráfica principal. La cartografía geológica oficial del Plan Magna, realizada en septiembre de 2003, describe, después de 100 años del último trabajo geológico que allí se hizo, sus características geológicas más notables.

TEXTO | Antonio Pineda, geólogo, (apineda@eptisa.es); Roberto Rodríguez Fernández, Dr. en CC. Geológicas, (lr.rodriguez@igme.es); Ángel Martín-Serrano, Dr. en CC. Geológicas, (amartinserrano@igme.es) y José Luis Barrera, geólogo (biotita@arrakis.es)

FOTOGRAFÍAS | Antonio Pineda y Roberto Rodríguez Fernández

Palabras clave

Peñón de Alhucemas, Peñón de Vélez de la Gomera.

De las llamadas plazas menores de soberanía española en el norte de África (peñón de Vélez de la Gomera, islas Alhucemas, islas Chafarinas, la población no tiene, mayoritariamente, una opinión de ellas. Las razones fundamentales son dos: muy pocos conocen que son de soberanía española desde hace siglos y, menos aún, dónde se encuentran.

Ninguna de estas plazas formó parte del protectorado que España tuvo en el norte de Marruecos desde 1912 a 1956. Tras la independencia de Marruecos, en 1956, quedaron como lo que desde hace cuatro siglos han sido, plazas de soberanía aisladas de las costas peninsulares. Ambas plazas habían conservado siempre un carácter de presidios, cuya ampliación había sido una constante durante el siglo XVIII.

Las islas Alhucemas y el peñón de Vélez de la Gomera se localizan en la parte septentrional de la costa africana (figura 1). Desde su incorporación a España, se las



Figura 1. Mapa del norte de Marruecos con la situación de los peñones.

ha conocido con el equivoco nombre de "Presidios". La denominación de "presidio" equivalía a fortaleza, tanto en su sentido etimológico, derivado del latín del Bajo Imperio, como en el uso común en la lengua española, sin perjuicio de que entre sus funciones estuviera la de servir de confinamiento de presos en diversos momentos históricos (Mariñas, 1998).

Con motivo de la realización de la cartografía geológica de estas posesiones, dentro del Plan Magna, se ha decidido la publicación de esta nueva información geológica actualizada dentro del contexto geodinámico de la región, junto con otros datos históricos y geográficos, para contribuir al conocimiento más preciso de ellas. En el número 30 de esta revista se publicó el



Figura 2. Grabado antiguo del peñón de Vélez, obra de G.F. Camocio o F. Bertelli, publicado en *Civitates Orbis Terrarum* por Braun and Hogenberg, en 1575.

artículo sobre las islas Chafarinas (Barrera y Pineda, 2006). En el actual lo hacemos de las islas Alhucemas y el peñón de Vélez de la Gomera.

El 16 de septiembre de 2003, los tres primeros autores del presente artículo realizaron la campaña de campo para el conocimiento geológico de los peñones y la ejecución de la cartografía geológica del Plan Magna. El Ministerio de Defensa les transportó desde Melilla a las dos plazas en un helicóptero *Chinook*. Lo que al último geólogo español que estuvo allí, Fernández Navarro, le costó en 1905 ocho días de trabajo, a los autores nos costó 11 horas. La información aquí presentada se basa en los datos elaborados posteriormente por Pineda en 2003.

Desde hace siglos son posesiones españolas

Las islas Alhucemas. Su pequeña historia

La bahía de Alhucemas ya era conocida en época púnica y romana como

fondeadero, refugio y puerto comercial. Los romanos conocían los islotes de Alhucemas y los bautizaron con el nombre de *Ad sex insulae* pero no existe ninguna información más de esa época.

En el periodo árabe las islas recibieron el nombre de Hayert-al-Nekor (Piedras del Nekor) y formaban parte del reino de Nekor.

En 1560, el sultán Muley Abdalá el Galib Billah cede el peñón de Alhucemas al rey Felipe II para su lucha contra el Imperio Otomano, aunque solamente fueron ocupadas a partir del 28 de agosto de 1673 por el general jefe de la Armada don Andrés Dávalos, príncipe de Montesarchio (Monte Sacro), que desembarcó en la isla con su escuadra. Se instaló en ella una guarnición, un presidio y, posteriormente, un faro.

Las potencias europeas siempre ansiaron apoderarse del islote principal. Así, fue sitiado por una escuadra inglesa en 1803, y ambicionado por los franceses unos años más tarde.

A partir de la primera insurrección carlista, el peñón se convirtió en presidio para los partidarios de ese bando. En 1838 hubo una sublevación de los 300 prisioneros carlistas que lograron escapar de la guarnición y llegar a Orán donde fueron apresados por los franceses.

En 1902, Francia reconoce la soberanía española del peñón, al ofrecerle a España el reparto de Marruecos en dos zonas de influencia.

Durante la guerra del Rif (1909-1925), el peñón adquirió un protagonismo inesperado. Tras el desastre de Annual, en julio de 1921, Abd el-Krim lo atacó sin resultados efectivos. Cuatro años más tarde, en 1925, el general Primo de Rivera ordenó, con la ayuda de la escuadra francesa, el primer desembarco aerotransportado de la historia: el desembarco de Alhucemas. Desde el peñón de Alhucemas, la armada franco-española bombardeó la costa en apoyo de las fuerzas de desembarco. Esto supuso el fin de la guerra del Rif y el inicio de la pacificación definitiva de la zona y su articulación administrativa.

Peñón de Vélez. Su pequeña historia

El peñón de Vélez de la Gomera es de soberanía española desde unos 50 años antes que el de Alhucemas. A partir de la toma de Ceuta en 1415 por tropas portuguesas, se convierte en un importante bastión de refugio para los piratas rifeños que atacaban las costas del sur de la península ibérica. Estos ataques estuvieron reforzados por los abencerrajes que se unieron a los piratas, cuando se tomó el reino de Granada, en 1492. Ante esta situación, Fernando el Católico ordenó su conquista siendo ocupado por primera vez por los españoles el 23 de julio de 1508, cuando una escuadra española mandada por Pedro Navarro aniquiló al poderoso núcleo de piratas que lo defendían. Sin embargo, se cometió el error de no ocupar también la costa, por lo que la ocupación fue breve. Se perdió, en 1522, por el ataque de los piratas berberiscos al mando de Muley Mohamed, señor del territorio en el que se encontraba el peñón, pereciendo

degollada toda la guarnición al mando del capitán Villalobos. Al año siguiente, navíos españoles intentaron tomarlo de nuevo, pero el peñón resultó inexpugnable. La roca permaneció bajo el dominio del sultanato de Fez hasta mediados del siglo XVI en que, temeroso de ser atacado, el sultán Salah Arraez traspasó su custodia a los turcos. Como era de esperar, las incursiones piratas volvieron a la costa levantina española. El peligro que para el tráfico comercial suponía el peñón en manos de los piratas hacía necesaria su conquista.

La presencia de sus odiados enemigos otomanos a tan escasa distancia de las costas españolas movió al emperador Felipe II a ordenar su reconquista. En esta ocasión, y después de una fallida intentona en 1563, la empresa llegó a buen fin. El 6 de septiembre de 1564, García Álvarez de Toledo y Osorio, marqués de Villafranca y virrey de Cataluña, con numerosos navíos y 13.000 hombres, recupera el peñón para España. El grabado adjunto de 1570 (figura 2), reproduce el peñón en aquellos tiempos.

El peñón se ha mantenido ininterrumpidamente bajo soberanía española desde aquel año de 1564, aunque fue asediado en numerosas ocasiones, en 1577, 1680, 1701, 1755, 1781 y 1790, pero todas ellas consiguió resistir. Sufrió una epidemia de peste en 1743 y otra de fiebre amarilla, en 1851. A pesar de todo ello, el peñón resistió todos estos infortunios, incluso varias sublevaciones de los prisioneros... y de los soldados que lo custodiaban.

En 1871 se elaboró en las Cortes un proyecto para abandonarlo y dinamitarlo, pero también a ello sobrevivió. Durante las guerras contra Abd el Krim (guerra del Rif), sus tropas cayeron en tromba sobre el peñón, debiendo la población civil y militar ser abastecida por submarinos de la Armada Española. El primer ataque fue en marzo de 1922, y continuaron en días posteriores, fracasando todos los intentos de invasión. Información detallada de estos acontecimientos se encuentra en De Mesa (2000).

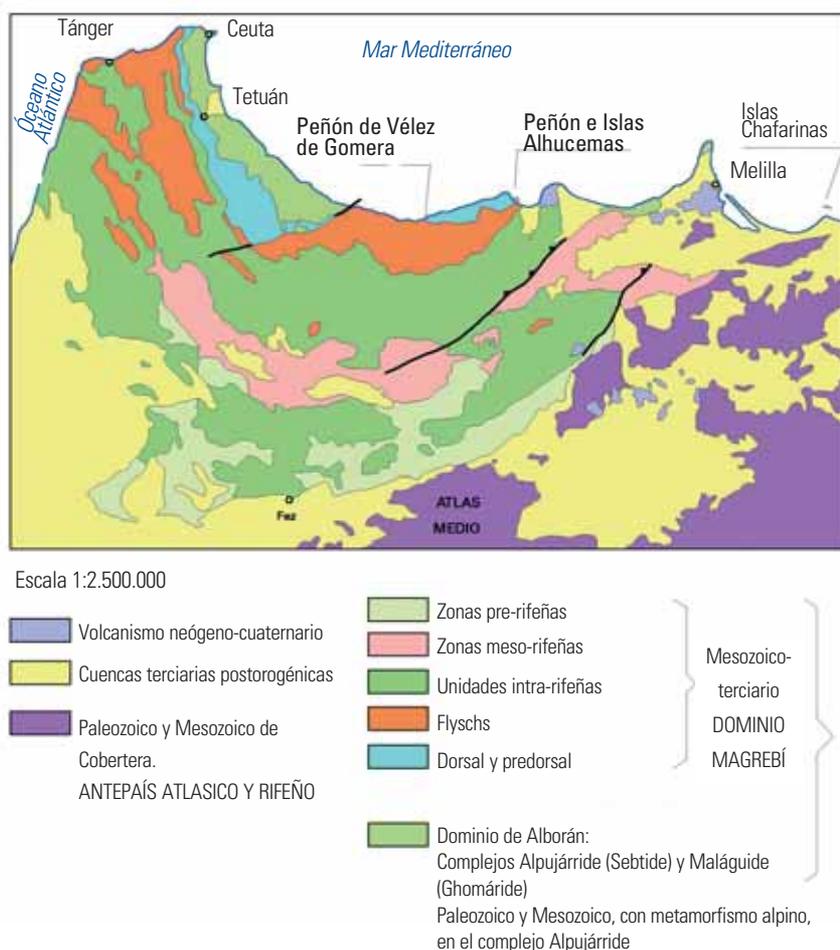


Figura 3. Esquema geológico regional de la Cordillera del Rif.

Situación geológica y breve sinopsis de la Cordillera del Rif

La Cordillera del Rif, que forma el relieve principal del norte de Marruecos, constituye, junto con las Cordilleras Béticas del sur y sureste de España, una misma unidad orográfica (sólo interrumpida por el estrecho de Gibraltar) y geológica: la Cordillera Bético-Rifeña. Así pues, en las sierras béticas, las alineaciones orográficas predominantes de dirección ENE-OSO desde las islas Baleares, Alicante y Murcia, van girando progresivamente en la región gaditano-malagueña y cruzan perpendicularmente el Estrecho con direcciones aproximadamente N-S, girando nuevamente al sur de Tetuán hasta recobrar las direcciones E-O o ENE-OSO desde la mitad oriental del Rif y hasta Melilla. El giro que experimentan las alineaciones montañosas de la Cordillera Bético-Rifeña en la región próxima al estrecho de Gibraltar es lo que se denomina el Arco

de Gibraltar, un rasgo geográfico, y sobre todo geológico, mayor.

En la Cordillera del Rif se distinguen fundamentalmente unas Zonas Internas o Dominio de Alborán, y unas Zonas Externas o Dominio Magrebí. Las primeras se localizan en las áreas costeras mediterráneas y en el basamento del mar de Alborán, siendo comunes con las de las cordilleras béticas. Las Zonas Externas se sitúan al sur de las anteriores (figura 3).

Al sur de las Zonas Externas del Rif se disponen cuencas terciarias de antepaís (Fez, Tánger, etc.), cuyo significado geológico es equivalente al que tiene el valle del Guadalquivir respecto a las Zonas Externas béticas en la península ibérica. El antepaís rifeño aflora algo más al Sur (en la meseta marroquí) y Sureste (en el Atlas). La Cordillera del Atlas, constituida por un zócalo hercínico recubierto por una cobertera mesozoica discordante, es una cordillera de bloques,

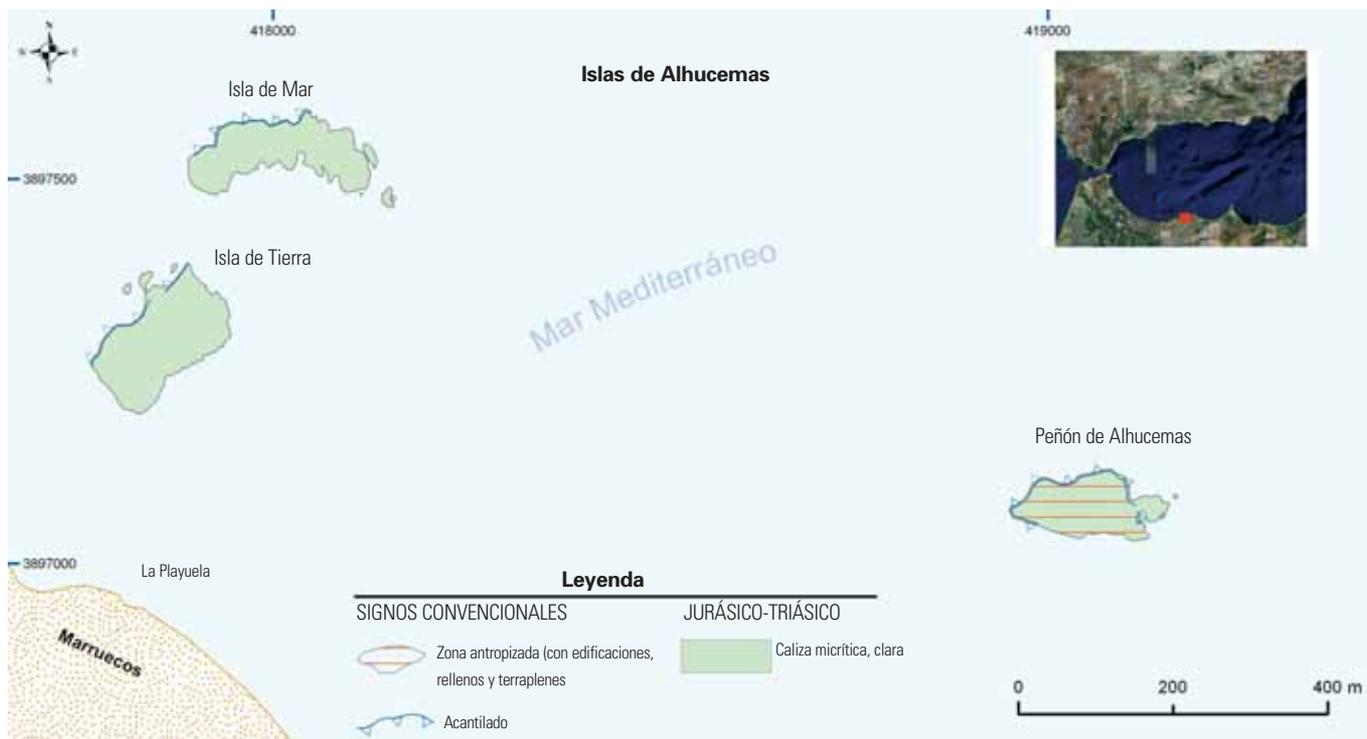


Figura 4. Mapa geológico de las islas Alhucemas (fuente: Plan Magna, IGME).

elevada mediante fallas inversas de dirección NE-SO.

En la parte oriental de la Cordillera del Rif existe un volcanismo neógeno, mayoritariamente de tendencia calcoalcalina y, a veces, con términos potásicos. Su edad es mioceno superior-plioceno, y es semejante al de cabo de Gata y Mazarrón-Cartagena, en las Cordilleras Béticas.

Las Zonas Internas o Dominio de Alborán

El Dominio de Alborán se supone que constituye un dominio cortical desplazado desde áreas más orientales, que cabalgó durante el mioceno sobre las Zonas Externas béticas y magrebí (Balanyá y García-Dueñas, 1988; García-Dueñas et al., 1992), correspondientes a los paleomárgenes mesozoico-cenozoicos de las placas ibérica y africana, respectivamente. Estructuralmente, entre el Dominio de Alborán y los dominios Sudibérico y Magrebí se encuentran las Unidades del Surco de Flyschs (Didon et al., 1973).

El Dominio de Alborán está formado por materiales polimetamórficos paleozoicos y triásicos, organizados en unidades

tectónicas superpuestas, algunas de las cuales representan segmentos importantes de corteza y manto sublitosférico (peridotitas) (Balanyá et al., 1993, 1997). Estas unidades se han agrupado clásicamente en tres complejos principales, distinguibles por su evolución tectonometamórfica y por su litoestratigrafía. Enumerados en orden ascendente, estos complejos son: Complejo Nevado-Filábride (que no llega a aflorar en el Rif), Complejo Alpujárride (denominado Sébtide en el Rif) y Complejo Maláguide (Ghomáride, en el Rif).

Dentro del Dominio de Alborán ha sido incluido también (Balanyá y García-Dueñas, 1986, 1987), el Complejo de la Dorsal, que aflora en la periferia del Arco de Gibraltar, cabalgado por los anteriores.

Las Zonas Externas o Dominio Magrebí

Están constituidas por un conjunto de unidades de cobertera, que poseen sucesiones mucho más potentes que las sudibéricas y presentan, localmente, metamorfismo de grado bajo (Frizon de Lamotte, 1985).

Transversalmente de Sur a Norte, es decir, desde el antepaís hacia el

Mediterráneo, se distinguen las siguientes zonas paleogeográficas y tectónicas: pre-Rif, meso-Rif e intra-Rif, de características y significado análogas a las del prebético, subbético y penibético, en la Cordillera Bética. Así, el pre-Rif presenta series menos potentes y pelágicas, y menor grado de despegue tectónico que las otras dos zonas, así como pasos laterales a la cobertera mesozoica del antepaís rifeño. El meso-Rif presenta un ligero metamorfismo, sobre todo en la unidad de Tamsaman. El intra-Rif presenta, como características principales, foliación frecuente, asociada a los pliegues, y un alto grado de aloctonía de varias de sus unidades, que en su desplazamiento lateral llegan a sobrepasar el meso-Rif y situarse tectónicamente sobre el pre-Rif.

Antecedentes sobre el conocimiento geológico de Alhucemas y Vélez de la Gomera

El primer trabajo, y probablemente único, de índole geológica sobre las islas Alhucemas y el peñón de Vélez de la Gomera es el de Fernández Navarro que, aunque realizado en el verano de 1905, no pudo ser editado hasta 1908. En él se ofrecen unas primeras descripciones



Figura 5. Vista aérea (desde helicóptero) del peñón de Alhucemas.



Figura 6. Vista aérea (desde helicóptero) del peñón de Alhucemas.

sobre la litología constituyente, y otros aspectos geográficos generales.

Posteriormente, se realizaron los primeros estudios geológicos sobre el entorno de las Alhucemas coincidiendo con el establecimiento del protectorado español en el norte de África, siendo publicado un detallado estudio petrológico de todo el protectorado por Marín (1917).

Más tarde, Blumenthal et al. (1930) y Marín y Fallot (1933), tratan sobre diversos aspectos de la cordillera del Rif, elaborando esquemas de la misma en 1937.

Las primeras investigaciones geológicas españolas del Rif, en relación con el periodo del protectorado, finalizan en los años 50 del pasado siglo, con la publicación del Mapa Geológico de

Marruecos y su memoria explicativa (Marín, 1952, 1956).

Finalmente, a escala de toda la cordillera y en tiempos recientes, hay que destacar el Mapa Geológico de la Región Rifeña a escala 1 / 500.000 (Suter, 1980), y el de Marruecos, a escala 1 / 1.000.000 (1985), publicados por la Dirección de Geología, del Ministerio de Energía y Minas del Reino de Marruecos.

Islas Alhucemas

Constituyen un conjunto de tres islotes, el peñón de Alhucemas (Al Hoceima vendría del árabe Al Khozama, que significa espliego) y los islotes de Tierra y de Mar. El conjunto está situado en la parte occidental de la bahía de Alhucemas, frente a la costa mediterránea de Marruecos, a unos 85 km de Melilla y a unos 145 km de Ceuta (figura 4). Su posición geográfica es de 35° 10' latitud Norte, y 3° 52' de longitud Oeste.

La bahía de Alhucemas, en la que desemboca el río Nekor, posee una gran playa arenosa y algunas instalaciones turísticas, así como la población que le da nombre, Al-Hoceima, en su extremo occidental. Por todo ello, supone una particularidad en el contexto costero nort-marroquí, generalmente poco poblado, abrupto y acantilado, sobre todo al oeste de dicha bahía.

El peñón de Alhucemas es un macizo rocoso de pequeño tamaño, situado a 750 - 500 m de la costa marroquí (figuras 5 y 6). Los marroquíes lo llaman Adgiar en Nekor, peñón de Nekor, el nombre de un antiguo emir local. Sus dimensiones son escasas, comportando una parte superior notablemente plana y perímetro totalmente acantilado. Mide unos 170 m de largo por 86 de ancho, una extensión superficial aproximada de 0,15 km² y una altitud máxima de 45-15 m. Llegó a tener más de 500 habitantes (e incluso una junta de arbitrios), en su mayoría pescadores, que fueron abandonándola poco a poco tras el fin del protectorado español en Marruecos. Actualmente, tiene como población estable un destacamento militar de regulares de



Figura 7. Vista aérea (desde helicóptero) de los islotes de Mar (derecha) y de Tierra (izquierda).



Figura 8. Costa de la isla de Mar. Al fondo, el peñón de Alhucemas.

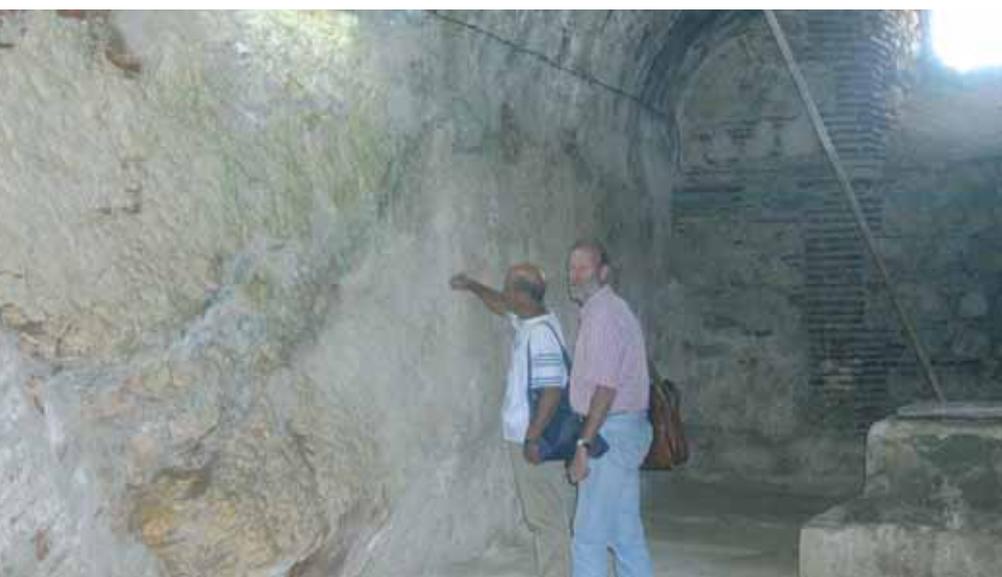


Figura 9. Aspecto masico de las calizas en un subterráneo del peñón. En la foto, los autores Antonio Pineda y Ángel Martín-Serrano (de frente).

Melilla y es el punto de amarre de varios cables submarinos unidos a Melilla, Ceuta y la península ibérica.

La torre de Alhucemas, el punto más destacado de su perfil, son los restos de una iglesia erigida allí dedicada a San Agustín y San Carlos, nombre de los navíos del conde del Montesacro con los que ocupó la isla en 1673.

Los islotes de Tierra y Mar (fue el cementerio del peñón) están deshabitados, y fueron cedidos por Marruecos en 1957, tras acceder este último a la independencia. Se localizan a tan sólo 230 y 430 m, respectivamente, de la costa (figuras 4 y 7). Son menos abruptos que el peñón de Alhucemas, aunque de dimensiones similares, con superficies más redondeadas, laderas más tendidas y pequeños acantilados sólo en sus fachadas noroccidentales. El islote de Tierra asciende hasta unos 11 m mientras que el de Mar (figura 8) no supera los 4 m de altura.

Respecto a recursos hidrogeológicos, existen algunos pozos antiguos, probablemente usados en pasadas épocas de asedio. En la actualidad, el suministro de agua se realiza mediante buques cisterna.

Su geología

- *Rasgos geológicos del entorno.* La bahía de Alhucemas presenta una constitución geológica diferente, según se trate de su parte occidental o de la oriental. La parte occidental está formada por el extremo oriental del macizo de Bokoya, predominantemente carbonatado, paralelo a la costa, de unos 40 km de largo, 8 de ancho, y perteneciente al Complejo de la Dorsal Interna. En la parte oriental se encuentra el macizo volcánico neógeno de Ras Tarf, constituido fundamentalmente por andesitas, que es el más occidental y antiguo de todos los localizados en la cordillera del Rif. Como es de esperar por su situación occidental en la bahía, las Alhucemas constituyen la prolongación oriental de estructuras y litologías carbonatadas, de edad triásico-jurásica, del Complejo



Figura 10. Vista aérea (desde helicóptero) del peñón de Vélez.



Figura 11. La Isleta.

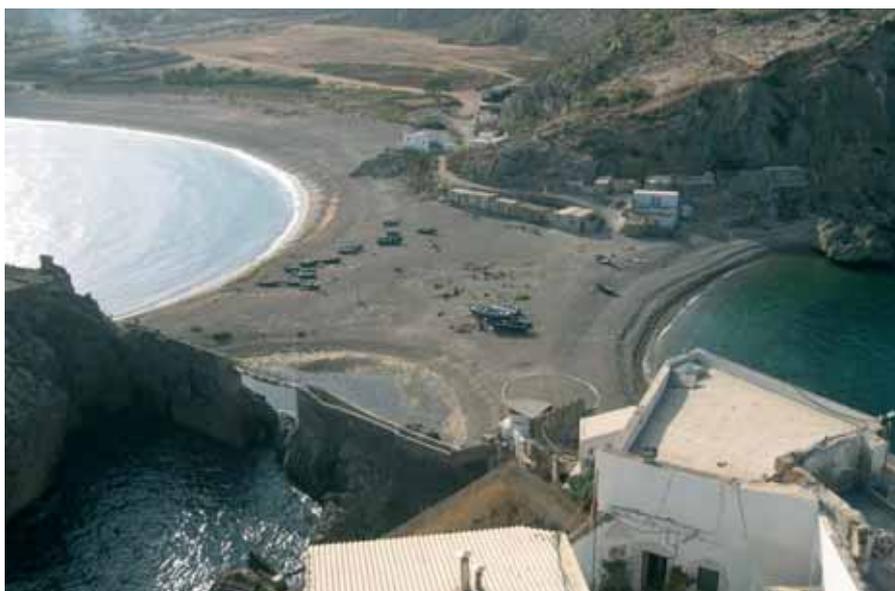


Figura 12. Vista del istmo arenoso desde el peñón. Al fondo, la costa marroquí.

de la Dorsal Interna. Forman, por tanto, restos de las mismas, aislados de la costa próxima y entre sí por la erosión marina litoral.

- **Litología.** Los tres islotes de Alhucemas están constituidos por calizas micríticas de color crema claro y aspecto masivo, en las que es difícil observar la estratificación original. Presentan frecuentes venas carbonáticas de espesor centi-decimétrico y, a simple vista, se observan numerosos restos fósiles. Al microscopio, se trata de *wackestones* o *packstones* brechificados, con foraminíferos, peloides, ostrácodos, escasas secciones de moluscos, briozoos y de placas de equinodermos, así como probables espículas de esponjas. La brechificación es de origen sin-sedimentario, pudiendo reflejar momentos de exposición subaérea o etapas sumergidas de no sedimentación, con saltos o cambios bruscos en el nivel energético deposicional. Estos materiales se han empleado localmente, por la autosuficiencia que está obligado a mantener el peñón, para la construcción de edificios, muros y muelles-escolleras.
- **Estructura tectónica.** El carácter masivo de estas calizas impide observar la estratificación (figura 9). No obstante, en el peñón de Alhucemas parecen insinuarse estratificaciones N 75° E, buzando 75° SSO. En el continente, la terminación oriental del macizo de Bokoya (Dorsal Interna), con la que se correlacionan las calizas de Alhucemas, presentan vergencias al Norte y Nor-Noroeste, es decir, buzamientos más frecuentes al Sur y Sur-Sureste.
- **Aspectos geomorfológicos.** El modelado dominante en los islotes es la erosión litoral, que genera acantilados, cuyo socavamiento los vuelve inestables, y puede inducir desprendimientos, cuyos bloques se acumulan al pie de los acantilados. Ya Fernández Navarro (1908) indicó la existencia de posibles grandes cavidades debidas al proceso de socavamiento y los consiguientes efectos

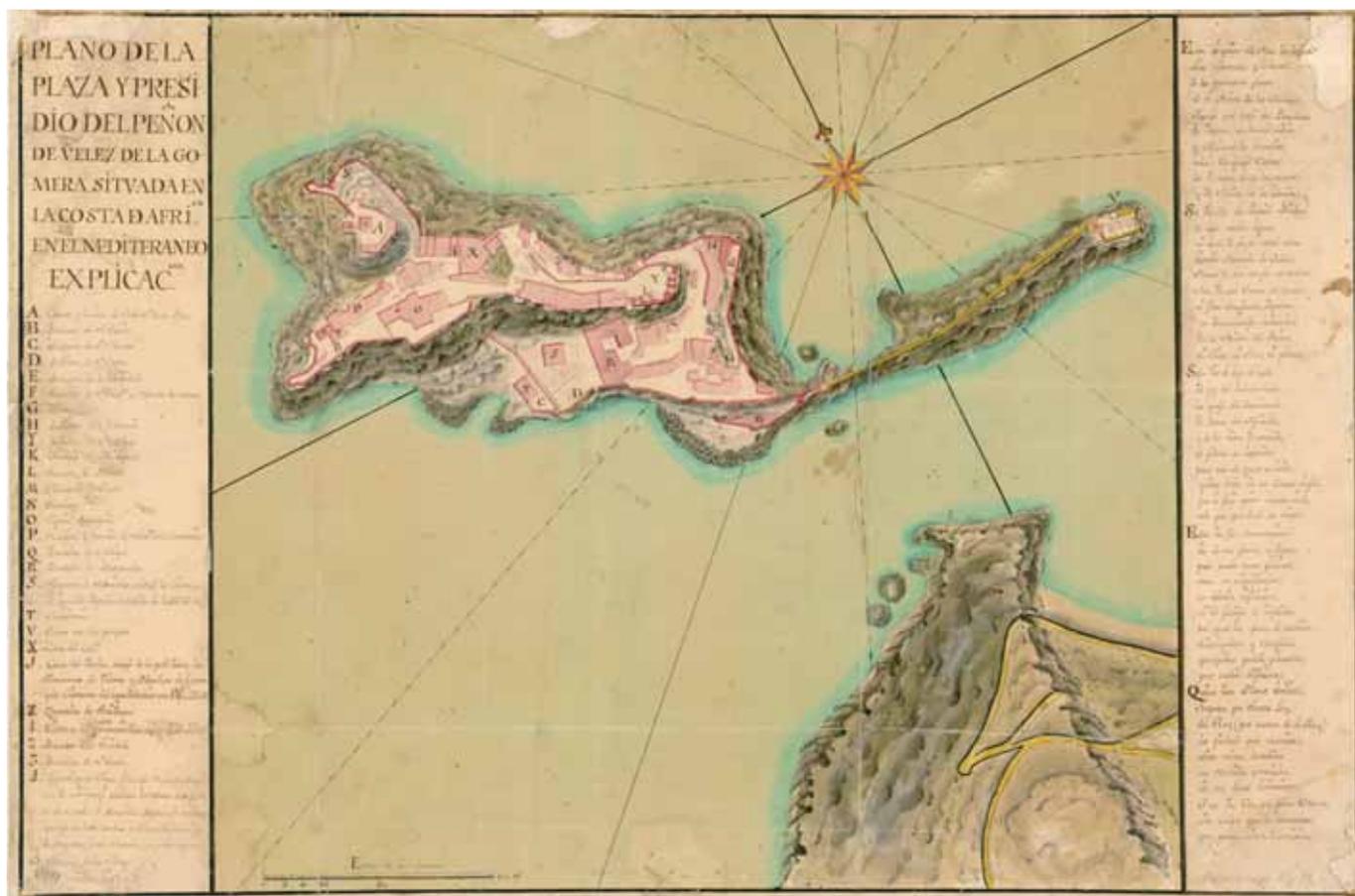


Figura 13. Mapa antiguo del peñón de Vélez (hacia 1720). (Fuente: España, Ministerio de Defensa. Archivo cartográfico y de Estudios Geográficos del Centro Geográfico del Ejército.)

Leyenda del mapa: A. Corona y hermita de Nuestra Señora de la Liña; B. Baluarte de San Julián; C. Baluarte de Santo Thomas; D. Baluarte de San Juan; E. Baluarte de la Trinidad; F. Baluarte de San Juan y repuesto de armas; G. (ilegible); H. Baluarte de San Antonio; I. Baluarte de San Miguel; K. Guardia del Lunzepam; L. Repuesto de Bolbora; M. Almacén de (ilegible); N. Santiago; O. Iglesia Parroquial; P. Hospital y hermita de Nuestra Señora de la Concepción; Q. Cuarteles de la Tropas; R. Cuarteles de los Desterrados; S. Almacén de (ilegible), y debajo la Cisterna del agua España de Cabida de (ilegible); T. Carpintería; U. (ilegible) con su proyecto; X. Casa del Gov.; J. Casa del (ilegible), debajo de la (ilegible) los almacenes de (ilegible) y (ilegible) de Guerra y dos Cisternas del agua (ilegible); Z. Carteles de Artilleros; 1. Cisterna del Gov. (ilegible); 2. Baradero de la Trinidad; 3. Baradero de San Juan; 4. (ilegible), 5. Ataques de los Mozos.

“bufadero”, durante los grandes temporales. En concreto, describe el accidente ocurrido en 1883, conocido con el nombre de “El Fuelle”, en el que se levantó el pavimento de una calle, junto a una chimenea de mampostería adosada a una pared. También describe el fenómeno denominado “El Cascabel”: durante los fuertes temporales de levante se siente sonar en el interior del islote como una piedra suelta que fuese zarandeada por las olas, y que probablemente corresponda a un bloque desprendido en el interior de una cavidad de socavación. No todo el modelado que hay en las Alhucemas es destructivo. Las escasas profundidades existentes entre la isla de Tierra y el continente, del orden de varios metros, indican que puede estar generándose un tómbolo, como el que se formó, a principios del pasado siglo, en el peñón de Vélez de la Gomera.

Peñón de Vélez de la Gomera

Hoy en día, este peñón, situado a 80 km al oeste de Alhucemas, constituye una península localizada en el norte de África, a medio camino entre Ceuta y Melilla, de las que está separado por 119 y 122 km, respectivamente. En su entorno, la costa es notablemente abrupta, acantilada y escasamente poblada. Existen pocas y pequeñas playas, generalmente asociadas a la desembocadura de barrancos. Inmediatamente al sureste del peñón se encuentra la playa del Fuerte, en la desembocadura del río Támeda (ensenada de Bades).

Su posición geográfica es 35º 11' 39" de latitud Norte, y 04º 13' 04" de longitud Oeste. El peñón está formado por dos relieves rocosos principales, alargados y alineados en dirección aproximadamente ONO-ESE: uno, occidental, denominado

isla de San Antonio, o peñón de Vélez de la Gomera propiamente dicho (figura 10), y otro, oriental, denominado la Isleta, unidos entre sí por un minúsculo puente de madera (figura 11). La isla de San Antonio tiene unas dimensiones de 350 x 130 m y la Isleta, de 140 x 50 m, culminando a 90 y 25 m, respectivamente. La bahía septentrional entre ambos recibe el nombre de El Charcón, mientras que la localizada al oeste de la isla de San Antonio (y al sur del faro) es el Charcón de la Virgen. Estos relieves están unidos a la costa (al antiguo cabo de La Puntilla) por un istmo arenoso, de unos 80 m de anchura mínima (figura 12).

Según documentos de planos antiguos (figura 13), datos cartográficos (véase Fernández Navarro, 1908) y fotográficos (figura 14) ambos relieves constituían, hasta los años 30 del siglo XX, un islote

a tan sólo 100 m de la costa. En 1934, durante una tempestad, se formó el actual istmo arenoso, aunque no faltan referencias de que el terremoto de 1930 fue el causante de la unión.
<http://www.geocities.com/aec1537/presidios>

En la actualidad, la frontera entre España y Marruecos en el peñón de Vélez de la Gomera está en la mitad del istmo, hasta la que acuden frecuentemente soldados españoles para tomar el sol o varar barcas (figura 15). Es, por tanto, una frontera que no necesita de patrullas militares y a la que, sin embargo, acuden algunas veces a la semana médicos españoles de la guarnición del peñón para pasar consulta a los rifeños que lo necesiten.

Respecto a recursos hidrogeológicos, existen algunos pozos antiguos, probablemente usados en pasadas épocas de asedio. En la actualidad, el suministro de agua se realiza mediante buques cisterna.

Su geología

- *Rasgos geológicos del entorno del peñón.* El peñón de Vélez de la Gomera se encuentra junto al extremo occidental del macizo de Bokoya. Este macizo, como ya se ha dicho anteriormente, es de naturaleza predominantemente carbonatada, se dispone paralelamente a la costa y tiene unos 40 km de largo y 8 de anchura máxima. Geológicamente, pertenece al Complejo de la Dorsal Interna.

El peñón es la prolongación occidental de las estructuras y litologías aflorantes inmediatamente al este de la ensenada de Bades siendo, al igual que el peñón de Alhucemas, un resto de las mismas, aislado por la erosión marina litoral. Está constituido, pues, por litologías carbonatadas (figura 16), reflejando su morfología de conjunto la disposición estructural de las mismas: orientación general N 110°-145° E y buzamiento generalmente al Sur.

- *Litología.* Las litologías dominantes en el peñón de Vélez de la Gomera son las dolomías y las calizas de color oscuro con frecuentes venas centimétricas



Figura 14. Vista aérea del peñón de Vélez, antes de estar unido a la costa marroquí (hacia los años 20 del siglo XX).



Figura 15. Vista del istmo arenoso desde la Isleta. La frontera está representada simbólicamente por dos postes metálicos y un cable.

blanquecinas de carbonatos. Muestran a veces aspecto masivo (figura 17), disponiéndose en otras ocasiones según bancos de espesor decimétrico, con estratificación bien marcada. Al microscopio, las dolomías constituyen *packstones* que suelen presentar laminación o brechificación. La laminación está definida por la alternancia de bandas de peloides y bioclastos totalmente micritizados, y de

bandas puramente micríticas, de 0,2-0,1 mm, respectivamente, de tamaño de grano más frecuente. Esta alternancia en bandas, conservada a pesar de la dolomitización posterior del conjunto, refleja secuencias claras de variaciones energéticas durante la sedimentación. La brechificación se presenta rellena de un cemento esparítico de mayor tamaño de grano. En conjunto, son rocas pobres en inclusiones, habiéndose observado tan

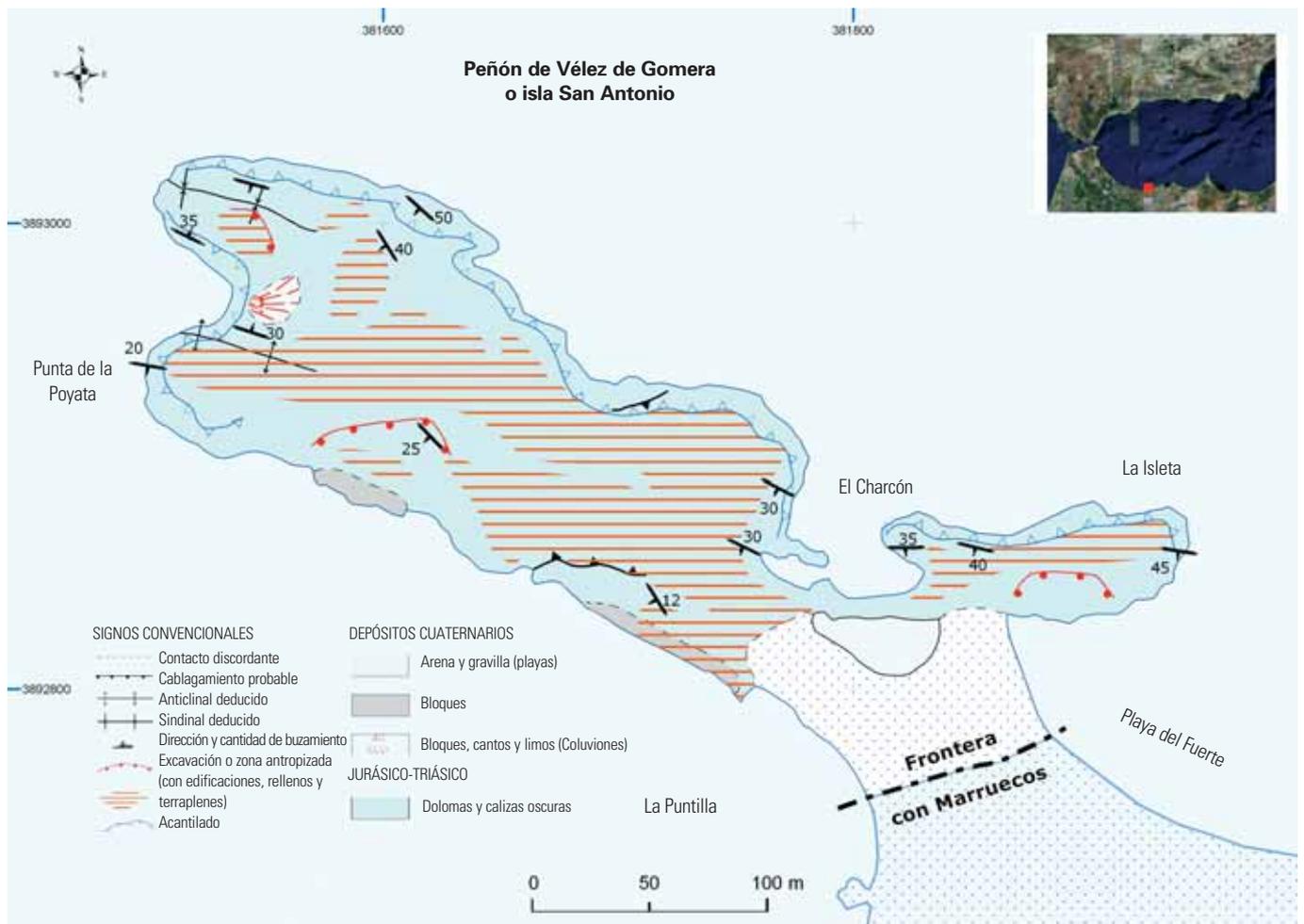


Figura 16. Mapa geológico del peñón de Vélez (fuente: Plan Magna, IGME).



Figura 17. Aspecto masivo de las calizas del peñón.

sólo cristales opacos atribuibles a pirita y manchas ferruginosas pulverulentas, esporádicas. A pesar de que las dolomías y calizas del Complejo de la Dorsal presentan, en diversos puntos de la Cordillera Bético-Rifeña, manifestaciones de sustancias metálicas (plomo, hierro, etc.), no se conocen tales en el peñón de Vélez de la Gomera. Por otro lado, las dolomías y calizas del peñón se han empleado localmente para la construcción de edificios, muros y muelles-escolleras del propio peñón (figura 18), habiéndose extraído fundamentalmente de la cantera que hay en la cara sur del mismo. La serie estratigráfica visible alcanza un espesor del orden de 70 m. Por comparación con litologías semejantes del macizo de Bokoya (Complejo de la Dorsal), se les supone depositadas en un contexto de plataforma carbonatada, de edad Triásico superior – Jurásico inferior.

- **Estructura tectónica.** La mayor parte del peñón y la Isleta presentan una estructura, en general, monoclin con orientación ONO-ESE (coincidente con la elongación general del macizo calcáreo) y buzamientos al Sur. Los buzamientos parecen ser mayores en la parte norte del peñón (50°) que en la sur (12° - 25°). Tan sólo en la parte norte (en la zona del faro, al este y norte del Charcón de la Virgen) se encuentran buzamientos locales al Norte, de lo que se deduce que entre esta zona y la anterior existe una charnela anticlinal. En sentido ESE, hacia la zona del helipuerto, este eje bien se amortigua o bien su prolongación no se observa, dada la carencia de afloramientos debido a la intensa antropización. Otras estructuras tectónicas observadas son cabalgamientos y pequeñas fallas y diaclasas (figura 19). Los cabalgamientos se localizan en las vertientes norte y sur del peñón,

propiamente dicho. Junto al camino de la vertiente norte se observa un plano orientado N 70° E, buzante 65° S. En la vertiente sur, no lejos de la línea de costa, se presenta una banda calcarenítica de unos 3 m de espesor que, probablemente, corresponde a una zona de falla, orientado N 25° E y buzante 28° O. Las pequeñas fallas y diaclasas se presentan típicamente en la Isleta, con orientaciones N 50° a 100° E, buzantes 65° N. Asimismo, se observan estrías inclinadas 20° N en un plano de falla orientado N 110° / 82°.

La estructura de conjunto del peñón y la presencia de los cabalgamientos mencionados son aproximadamente congruentes con vergencias al NE.

- *Las formaciones cuaternarias.* Se pueden distinguir coluviones, desprendimientos y playas.

– Los coluviones se presentan en el extremo occidental, al sur del faro y por encima del acantilado existente, allí donde la pendiente, de relativamente menor grado, ha favorecido su acumulación. Son depósitos de espesor métrico, constituidos por bloques de tamaño generalmente decimétrico a semimétrico, de dolomías y calizas, y fragmentos de origen antrópico, en una matriz de cantos y, menos frecuentemente, de limos. Los bloques y cantos son anguloso-subangulosos, como corresponde a su escaso transporte.

– Los desprendimientos, debidos al colapso de partes inestables del acantilado, se localizan en dos puntos concretos de la costa meridional y están constituidos por bloques de tamaño métrico-semimétrico de dolomías y calizas. Los bloques desprendidos son posteriormente retrabajados y, en parte, acumulados por las corrientes marinas litorales, y también por la acción antrópica, habiendo sido aprovechados para la construcción de pequeñas escolleras.

– Las playas están compuestas por arenas gruesas y gravillas redondeadas, poligénicas, de 2-3 cm de tamaño máximo. Conforman el istmo que une actualmente el peñón

a la costa y proceden de la playa existente en la cercana ensenada de Buades. A su vez, los materiales de esta ensenada provienen de los aportes del río Támeda, lo que justifica su naturaleza litológica variada.

- *Aspectos geomorfológicos.* No existen contrastes litológicos que influyan en la morfología del peñón. Tampoco su estructura (monoclinal, generalmente buzante al Sur) condiciona su morfología, probablemente debido al carácter masivo de las dolomías y calizas, con bancos bien individualizados sólo en contados casos. Siendo el peñón un resto aislado por la erosión marina, el modelado dominante en el mismo es precisamente la erosión litoral (modelado destructivo) que genera acantilados, con socavación en su base. La progresión del fenómeno vuelve inestables los acantilados e induce finalmente fenómenos de ladera (desprendimientos de bloques y modesto desarrollo de coluviones). Los bloques se acumulan en la línea de costa, al pie de los acantilados. El fenómeno de socavación basal de los acantilados y sus consiguientes efectos “bufadero” ha sido descrito gráficamente por Fernández Navarro (1908), indicando que “a todo el peñón se le siente



Figura 18. Vista lateral del peñón, desde el istmo. Se puede ver la construcción de muros y fortificaciones.



Figura 19. Falla, en la costa sur del peñón.

estremecer durante las tempestades como si le afectara un terremoto. En la cantera de la Isleta y frente a los restos de un antiguo desembarcadero hay a bastante altura unas grietas por donde, aun en tiempo de calma, sopla el mar con un ruido de fuelle, percibiéndose bien la salida del aire sin más que poner en ellas la mano”.

Por el contrario, en la zona del istmo, el modelado litoral ha sido y es constructivo. No obstante, hay que resaltar la forma bifurcada del tómbolo, debido a la penetración del oleaje de temporales entre la Isleta y el peñón propiamente dicho. El modelado antrópico es importante (rellenos y terraplenes), como corresponde a un territorio tan exiguo, siempre muy ocupado por instalaciones,

construcciones y accesos a las mismas. A la escala del peñón son cartográficamente destacables aquellos elementos que representan alteraciones o modificaciones del relieve, y de la morfodinámica, muy importantes, tales como los frentes de cantera o excavación. Además, se han marcado en el mapa las zonas antropizadas (con edificaciones, rellenos y terraplenes), que cubren la mayor parte del territorio. En el momento actual, la morfodinámica más perceptible, además de la mencionada construcción del tómbolo y al menos a escala humana, es precisamente la derivada de la intervención antrópica, que ha determinado zonas fuertemente

modificadas (excavaciones y terraplenamientos), amén de numerosas construcciones en toda la parte superior del peñón.

A más largo plazo, es decir, a escala de tiempo geológico, la tendencia del peñón es a ser destruido por la erosión marina, con relativa mayor rapidez en su cara norte, donde los temporales se dejan sentir más fuertemente (posible destacado). La destrucción se realiza por un proceso causa-efecto combinado de erosión litoral – fenómenos de ladera: el socavamiento en la base de los acantilados genera inestabilidad suprayacente y consiguientes desprendimientos. En la cara sur, más protegida de los temporales, se seguirá

favoreciendo el crecimiento del tómbolo. Los aportes del Támeda transportados por las corrientes litorales oeste-este contribuirán a su crecimiento, sobre todo por el lado oriental.

Agradecimientos

El presente trabajo no habría sido posible sin la estimable ayuda y apoyo del Ministerio de Defensa que, a través de la Comandancia Militar de Melilla, proporcionó el apoyo logístico para el transporte de los miembros del equipo de trabajo a todos y cada uno de los peñones e islotes.

Bibliografía

- Balanyá, J.C. y García-Dueñas, V. (1986). Grandes fallas de contracción y extensión implicadas en el contacto entre los dominios de Alborán y Sudibérico en el Arco de Gibraltar. *Geogaceta*, 1, 19-21.
- Balanyá, J.C. y García-Dueñas, V. (1987). Les directions structurales dans le Domaine d'Alboran de part et d'autre du Déroit de Gibraltar. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 304, Série II, 929-932.
- Balanyá J.C. y García-Dueñas, V. (1988). El Cabalgamiento cortical de Gibraltar y la tectónica de Béticas y Rif. // *Congreso Geológico de España*, Simposium sobre Cinturones Orogénicos, 35-44.
- Balanyá, J.C.; Azañón, J.M.; Sánchez-Gómez, M. y García-Dueñas, V. (1993). Pervasive ductile extension, isothermal decompression and thinning of the Jubrique unit in the Paleogene (Alpujarride Complex, western Betics Spain). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 316, Série II, 1595-1601.
- Balanyá, J.C.; García-Dueñas, V.; Azañón, J.M. y Sánchez-Gómez, M. (1997). Alternating contractional and extensional events in the Alpujarride nappes of the Alboran Domain (Betics, Gibraltar Arc). *Tectonics*, 16, 226-238.
- Barrera, J.L. y Pineda, A. (2006). Islas Chafarinas. La geología de un archipiélago deseado por todos. *Tierra&Tecnología*, Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, Madrid, 30, 13-30.
- Blumenthal; Fallot y Marín (1930). Comparaison stratigraphique entre l'extrémité occidentale des zones betiques et penibetiques d'Andalousie et le Nord de l'arc rifain. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 191, 382-384.
- De Mesa Gutiérrez, J.L. (2000). Asedio y defensa del Peñón de Vélez de la Gomera, 1922, *Serga*, Madrid, 5, 52-60.
- Didon, J.; Durand-Delga, M. y Kornprobost, J. (1973). Homologies géologiques entre les deux rives du déroit de Gibraltar. *Bulletin de la Société Géologique de France*, XV (2), 79-105.
- Fernández Navarro, F. (1908). Datos geológicos acerca de las posesiones españolas del norte de África. *Mem. Real. Soc. Esp. Hist. Nat.*, V, Mem. 6ª, 283-312.
- Frizon De Lamotte, D. (1985). La structure du Rif Oriental (Maroc). Tesis Doctoral, Univ. Pierre y Marie Curie, 436 pp.
- García-Dueñas, V.; Balanyá, J.C. y Martínez-Martínez, J.M. (1992). Miocene Extensional Detachments in the Outcropping Basement of the Northern Alborán Basin (Betics) and their Tectonic Implications. *Geo-Marine Letters*, 12, 88-95.
- Marín, A. (1917). Estudio petrográfico de las rocas hipogénicas de Marruecos. *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, XXXVIII, 263-360.
- Marín, A. (1952). Mapa geológico de Marruecos a escala 1:400.000.
- Marín, A. (1956). Memoria explicativa del mapa geológico de la zona del Protectorado español de Marruecos. Memoria y Mapa a escala 1:400.000.
- Marín, A. y Fallot, P. (1933). Sur la constitution d'ensemble de la chaîne du Rif espagnol de Ceuta a Punta Pescadores. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 196, p. 871.
- Mariñas, E. (1998). Las Plazas Menores de soberanía española en África. *Militaria*, revista de cultura militar, nº 12. Servicio de publicaciones de la UCM.
- Pineda, A. (2003). Mapa geológico y memoria de las islas Alhucemas y peñón de Vélez de la Gomera, a escala 1:10.000. (Plan Magina) IGME (inédito).
- Suter, G. (1980). Carte Géologique de la Chaîne Rifaine (escala 1/500.000). Carte Géologique du Maroc, 245a. Service Géologique du Maroc.

El mercurio de Almadén.

Una muerte anunciada

Desde la década de 1970 y hasta el cierre de las minas de Almadén, el mercurio ha cotizado a la baja en el mercado internacional a consecuencia de haber sido acusado de ser un grave contaminante. Después de haber resistido esta grave crisis durante 30 años, nuestra empresa minera no ha tenido más remedio que cerrar sus instalaciones y reconvertirlas en el Parque Minero de Almadén.

Texto | Ángel Manuel Hernández Sobrino. Geólogo.
Fundación Almadén – Francisco Javier de Villegas.

Palabras clave
Almadén, Parque Minero, Mercurio.

Después de 2.500 años de actividad casi ininterrumpida, las minas de Almadén han clausurado, de forma seguramente definitiva, su actividad. La explotación minera finalizó en el año 2001 con el cierre de la mina de Almadén y la transformación del cinabrio en mercurio acabó en 2003, cuando se tostó la última tonelada de mineral. La crisis que había comenzado en la década de 1970 como consecuencia de los envenenamientos ocurridos en Japón e Irak por el uso indebido de este metal, ha proseguido a lo largo de todos estos años debido a los ataques continuos que los ecologistas siguieron realizando contra el mercurio. El resultado ha sido que, nuestras minas, las más importantes del mundo, han terminado por cerrar. Pero vayamos por partes.

La Naturaleza es la encargada de aportar al ecosistema el mercurio, procedente en su mayor parte de la desgasificación del manto terrestre en forma de exhalaciones en algunas erupciones volcánicas. En ciertos casos favorables, estas exhalaciones pueden quedar atrapadas dando lugar a yacimientos de mercurio, como es el caso de Almadén. Tarde o temprano, parte del mercurio puede entrar en el ciclo biológico pasando al agua, a la atmósfera o a los suelos, y fijarse en las plantas o animales, pudiendo llegar, en definitiva, al hombre. Se ha calculado en 150.000



Figura 1. Paisaje característico de Almadén. Dehesa de Castilseras, antigua Encomienda de la Orden de Calatrava.

toneladas anuales las que se suman al entorno de manera natural.

Este aporte de metal lleva sucediendo desde el origen del planeta y, por esta razón, el hombre y todos los demás seres vivos han estado siempre sometidos a una cantidad determinada de mercurio a su alrededor. Se calcula, por ejemplo, que en los océanos del planeta hay más de 100 millones de toneladas de mercurio, unas 125 veces la cantidad extraída de minas por el ser humano en toda su historia. También se ha calculado el aporte anual antropogénico en unas 20.000 toneladas, cuyas fuentes mayoritarias son la minería y metalurgia de metales no férricos y la

combustión de carbón y petróleo. Esto no implica que podamos seguir aportando mercurio a nuestro antojo al medio ambiente, pero significa que el mercurio siempre ha estado ahí y su presencia natural no nos ha afectado nunca. Un uso adecuado de él no tiene, pues, por qué motivar efectos negativos.

El mercurio, ni héroe ni villano

Decir que el mercurio es tóxico es una verdad a medias. El uso que se le ha dado en ocasiones es lo que lo ha hecho tóxico y hasta mortal. Todos los elementos del sistema periódico son venenos potenciales y, sin embargo,



Figura 2. Vista general de Almadén. En primer término las instalaciones mineras y metalúrgicas.

forman parte del medio que nos rodea y nuestra química está basada en ellos. Malas aplicaciones hechas por el hombre son lo que los hace contaminantes, peligrosos o mortales. De nada han valido los numerosos artículos que varios autores hemos publicado en diversas revistas técnicas explicando los errores y falsedades divulgados sobre el mercurio. Los medios de comunicación buscan, sobre todo, noticias sensacionalistas, para terminar fijándose generalmente en el aspecto más negativo de las mismas. Cuando apareció en el periódico de mayor tirada de España la noticia de que "una sola gota de mercurio contamina 600.000 litros de agua", millones de lectores tuvieron un nuevo motivo para preocuparse. De poco sirve que el mercurio no se disuelva en agua por lo que es imposible que la contamine.

El anterior es sólo un ejemplo del estilo tremendista de tratar los temas relacionados con el medio ambiente. La E.P.A. (Environmental Protection Agency) realizó en Almadén, hacia 1980, un estudio epidemiológico para intentar esclarecer la influencia del mercurio sobre la población. El resultado del

A pesar de éste y otros estudios efectuados en la zona de Almadén, este metal ha continuado sometido a una operación de acoso y derribo hasta conseguir el cierre de la mayoría de las minas del mundo

mismo fue que no existía ningún efecto sobre ella ni tampoco sobre la vegetación o la fauna de la comarca (figura 1). Como el resultado era favorable al mercurio, no se le dio mayor difusión, pero me imagino lo que hubiese pasado si el resultado hubiera sido el contrario.

A pesar de éste y otros estudios efectuados en la zona de Almadén, entre ellos el realizado por investigadores suecos que intentaban ligar el mercurio

con alguna forma de cáncer, este metal ha continuado sometido a una operación de acoso y derribo hasta conseguir el cierre de la mayoría de las minas del mundo.

Los envenenamientos ocurridos en Japón e Irak entre 1953 y 1971 han sido utilizados para crear en la opinión pública un rechazo indiscriminado hacia cualquier uso del mercurio, llegando incluso a su prohibición en algunos países. Pero lo peor de todo es que este histerismo ha contagiado a muchos políticos de los países desarrollados que ahora creen que el mercurio es tóxico en cualquier lugar y condición. Datos alarmistas procedentes de Estados Unidos que indican que el 20% de las gestantes de dicho país tiene elevados contenidos de mercurio en la placenta y que 650.000 de ellas podrían tener hijos con algún defecto físico importante, no hacen sino complicar las cosas. Según estos datos, no hay explicación posible para tantas generaciones de almadenenses nacidos cerca de las minas y de los hornos de mercurio (figura 2).

La Comunidad Europea no se ha contentado con forzar el cierre de las minas de Almadén sino que ha prohibido la comercialización de nuestro metal a partir del año 2011, y va a dedicar una ingente cantidad de dinero a guardar todo el mercurio sobrante en un depósito de seguridad. Muchos de nosotros pensamos que el almacenamiento debiera realizarse, con las adecuadas medidas de seguridad, al aire libre o en alguna de nuestras explotaciones subterráneas abandonadas, pues al fin y al cabo casi todo el mercurio utilizado en Europa procede de Almadén. Pero curiosamente, aquellos países europeos que han denostado al mercurio durante décadas desean ahora albergar el almacén de seguridad. El mundo al revés, esta propuesta es sólo comparable al de un país totalmente contrario a la energía nuclear que se ofreciera a acumular en su suelo los residuos radiactivos de otras naciones.

La conservación del medio ambiente es un reto importante y no debemos permitir



Figura 3. Baritel de San Andrés con su malacate de caballerías. Construido a mediados del XVIII, forma parte de la visita al interior de la mina.

la degradación de nuestro planeta. El control y la limitación del uso del mercurio, cuando éste sea potencialmente dañino, es lógico y exigible, pero no podemos aceptar la prohibición total de su empleo. El mercurio sigue siendo un metal muy útil, con numerosos usos y aplicaciones que no tienen competencia en coste y eficacia. De hecho, continúa utilizándose en la mayoría de los países, que ahora se ven obligados a comprarlo a un precio muy superior. El cierre precipitado de las minas de Almadén ha provocado que la cotización internacional del frasco (34,5 kg de metal) haya subido de 150 dólares en el año 2002 a 900 en el 2007. El cierre de nuestras minas ha permitido a otros países productores, como Kirguizistán, aumentar considerablemente su producción, parte de la cual será adquirida por naciones de la Comunidad Europea que han forzado el cierre de Almadén.

Conservación del patrimonio

Almadén no se rinde y lucha ahora por la conservación y puesta en valor de su patrimonio. Clausurada la actividad

minero-metalúrgica, las minas de Almadén están transformándose en la actualidad en un Parque Minero que se ha inaugurado en enero de 2008. El Parque Minero de Almadén ofrecerá en breve a sus visitantes un recorrido por las instalaciones mineras y metalúrgicas, que incluye, aparte de dos museos, una visita guiada a las labores subterráneas de los siglos XVI-XVIII (figura 3). Pero el patrimonio cultural de Almadén no acaba en el recinto del Parque Minero. En el pueblo se encuentran edificios singulares vinculados a la minería, como son la Academia de Minas (figura 4), la Plaza de Toros (figura 5), originalmente residencia de mineros y hoy convertida en hotel, y el Real Hospital de Mineros (figura 6), donde se halla el Museo del Minero y el Archivo Histórico de las Minas de Almadén.

En este esfuerzo de reconvertir Almadén en un atractivo destino turístico y cultural, el Consejo del Patrimonio Histórico Español ha acordado proponer a Almadén, junto a Idrija (Eslovenia)



Figura 4. Academia de Minas. Edificada en 1781, es la escuela de minas más antigua de España y la cuarta del mundo.

Clausurada la actividad minero-metalúrgica, las minas de Almadén están transformándose en la actualidad en un Parque Minero que previsiblemente será inaugurado a finales de 2007

y San Luis de Potosí (México), como candidata transnacional a la lista de patrimonio mundial de la UNESCO. Según la propuesta, Almadén, Idrija y San Luis de Potosí son referentes de la interdependencia y el intercambio establecidos por el mercado del mercurio y de la plata entre España y la América Colonial.



Figura 5. Plaza de Toros. Construida a mediados del XVIII; su forma hexagonal la convierte en única.



Figura 6. Real Hospital de Mineros. También levantado a mitad del XVIII para curar a los mineros de sus enfermedades y accidentes.

Aunque la conservación del medio ambiente es importante, la Humanidad debe dirigir sus principales esfuerzos a combatir el hambre y la pobreza

Y para terminar, una reflexión. Debemos ir olvidando ese absurdo temor a una catástrofe ambiental inminente de proporciones incalculables, preconizada por los gurús ecologistas. Aunque la conservación del medio ambiente es importante, la Humanidad debe dirigir sus principales esfuerzos a combatir el hambre y la pobreza. Mi opinión es que en los países desarrollados hemos avanzado mucho en los últimos años en la conservación del medio ambiente. Nuestra experiencia histórica reciente nos demuestra que sólo cuando somos suficientemente ricos comenzamos a preocuparnos por los problemas ambientales. Nuestra principal obligación es ayudar a las naciones del tercer mundo a alcanzar la prosperidad. De esta forma, los países en desarrollo podrán entrar en la economía global y entonces es cuando comenzarán a preocuparse por el medio ambiente. Como dice un amigo mío: "si uno se acuesta con el estómago vacío, su único pensamiento es cómo llenarlo al día siguiente".

Bibliografía

- Aliseda, J. A. (1987). El mercurio y el medio ambiente: Una situación geológica, no un problema industrial. *Jornadas sobre tecnologías limpias*. Rande (Pontevedra).
- Goldwater, L. J. (1972). *Mercury: a history of Quicksilver*. York Press, Baltimore (USA).
- Hernández, A. (1992). Coyuntura actual del mercado del mercurio. *Minería y Siderurgia* (segunda época, nº 8): 35-42.
- Hernández, A. (1993). El mercurio y el medio ambiente. *Ingeopres*, (7): 42-45.
- Hernández, A. (2004). El problema del mercurio. *Energía y Minas*, (1):13-17.
- Lomborg, B. (2003). *El ecologista escéptico*. Espasa Calpe, S.A. Pozuelo de Alarcón (Madrid).
- Van Wambeke, L. (1976). *Le mercure: Production, consommation et demande future dans le monde et dans la communauté européenne*. Comisión des Communautés Europeennes. 106 pp.

La contaminación del agua subterránea por prácticas ganaderas

La ganadería, principalmente la intensiva, genera un gran volumen de residuos animales que pueden constituir un foco contaminante para el medio ambiente y las aguas subterráneas. Conocer cuáles son las características físico-químicas de dichos residuos, su gestión actual y los posibles tratamientos es el objeto del presente artículo.

Texto | Marc Martínez Parra, hidrogeólogo, IGME

Palabras clave

Ganadería intensiva, purín, balsa, contaminación, agua subterránea.

La actividad ganadera produce residuos animales que, en volúmenes y concentraciones importantes, pueden degradar el medio ambiente. A grandes rasgos, existen dos tipos de ganadería: extensiva e intensiva.

La *ganadería extensiva* afecta a especies capacitadas para el aprovechamiento de los recursos naturales. Son razas autóctonas de rumiantes (bovinos, ovinos y caprinos), equinos y porcinos, como el cerdo ibérico. La dispersión del ganado hace que la contaminación sea difusa y relativamente baja. Puede tener efectos beneficiosos para el medio ambiente, al extender semillas, alimentar aves, etc. (Sierra, 1995).

La *ganadería intensiva* es la principal productora de contaminación, tanto en el suelo, en el agua superficial y subterránea, como en la atmósfera, además de producir contaminación acústica y paisajística. Es un tipo de contaminación puntual cuyo potencial es muy importante. En general, las zonas de este tipo de producción no pueden absorber el reciclado de la producción de residuos (Torres, 1995). La ganadería corresponde al sector vacuno, porcino y avícola (*figura 1*).

En general, las deyecciones corresponden al 8-10% del peso vivo del animal (Torres, 1995).

En España se producen un total de 130 MT anuales de estiércol. El sector porcino



Figura 1. No es agua, es una balsa de purines.

mantiene 2,5 millones de madres reproductoras y 22 millones de cabezas, sólo por detrás de Alemania en la UE, con un 20% de la cabaña porcina (Inf. Veterinaria, 2001).

La definición de las excretas y residuos de origen animal varían según los autores. Así, Navarrete (1990) define *lisier* como la mezcla de heces y orines diluida con agua, *estiércol sólido* como la mezcla de heces sólidas y semisólidas con la cama de los animales, mientras que el *estiércol líquido* es muy parecido al lisier, pero sin agua. Los *purines* son orines descompuestos, diluidos con agua (*figura 1*). Sin embargo, Danés *et al.* (1995) consideran al purín porcino como las deyecciones animales (orina y excrementos sólidos) con restos de cama,

alimentos y agua en cantidades variables, que resultan del sistema productivo de los animales y que presentan consistencia fluida o pastosa. Principalmente se aplica purín al sector porcino. Por último, hay que indicar que como *gallinaza* se define al residuo de las aves.

La producción anual en España de purín es de 2-2,5 m³/individuo; en Castilla y León es de 5-9 L/cabeza/día (Alonso, 1997).

Los problemas medioambientales que generan los purines en los países con fuerte producción porcina en Europa (Alemania, Holanda, Dinamarca y Portugal) dieron origen a la Directiva 91/676/CE para la protección de las aguas continentales de la contaminación

producida por nitratos. En ella se establece un nivel máximo de vertido de nitrógeno al suelo de 170 kilogramos por hectárea y año. En algunas zonas españolas el valor supera los 500 kg/Ha.

En España, los problemas se han generado en zonas con gran concentración de ganadería intensiva. La mayor parte de las áreas contaminadas se encuentran en Castilla-La Mancha, Castilla y León, Andalucía, Cataluña (principalmente en las provincias de Lleida y Girona) y Galicia. En el año 2002, España producía de 40 a 50 MT de purines. Un ejemplo del efecto de la contaminación ganadera se encuentra en Cataluña. A principios del siglo XXI, Cataluña presentaba un importante problema de contaminación por purines.

En julio de 2002, la Comisión Europea acusó a las autoridades catalanas de no tomar las medidas necesarias para evitar los problemas generados por el exceso de residuos de nitratos y por no informar sobre la toxicidad del agua de consumo humano. El problema de la contaminación por purines afectaba a 26 de las 41 comarcas catalanas, especialmente en municipios del Empordà (Consumaseguridad, 2002a). Ese mes se publicó que, para reducir la contaminación, el Gobierno catalán había firmado un convenio con varias organizaciones ganaderas catalanas con el objetivo de facilitar el abandono voluntario de las granjas de cerdos que fueran contaminantes. Las primeras indemnizaciones irían destinadas a las zonas más contaminadas y se alargarían

durante un periodo de cinco años (Consumaseguridad; 2002b). En octubre de 2002, más de 300 municipios catalanes estaban afectados por la contaminación por purines (Consumaseguridad, 2002c). En el año 2004, el Consejo Comarcal de La Garrotxa aprobó una nueva limitación de purines para uso agrícola (Consumaseguridad, 2004).

En diciembre de 2005, una sentencia de la Audiencia Provincial de Barcelona condenó a un ganadero catalán a un año de prisión y a una multa de nueve mil euros por el vertido ilegal de purines desde su explotación a un arroyo próximo, entre los años 2001 y 2002 (Audiencia Provincial de Barcelona, 2005). Dicha sentencia sienta jurisprudencia (Hidalgo, 2006).

Tabla 1. Composición de residuos ganaderos (sobre materia seca) (Costa-Batllo, 1995)

	Purín engorde	Purín ciclo completo	Estiércol conejo recogido en fosa y compactado	Estiércol conejo apilado cada día y compactado	Estiércol vacuno Torre Marimon
% Materia seca	8,5	5,2	37,9	35,6	30
% Materia orgánica	73,7	66,3	65,1	58,5	58,4
% N orgánico	3,3	2,7	2,4	1,7	2,6
N-NH4 ppm	44.400	62.500	100	2.171	3.200
% P ₂ O ₅	5,8	6,1	4,1	3,4	2,9
% K ₂ O	5	5,9	1,7	3,4	2,8
Fe ppm	1.006	1.207	3.800	3.500	6.400
Cu ppm	753	678	58	76	75
Zn ppm	600	807	3.041	2.538	341
Mn ppm	320	303	419	418	352

Composición química de los residuos animales

Está condicionada por el tipo de ganado y la alimentación recibida. Originan una mezcla de compuestos nitrogenados, compuestos responsables de la DBO y microorganismos patógenos. También aportan fósforo, potasio, sulfatos, boro, metales pesados (Fe, Cu, Zn, Mn, Cd, Pb), así como antibióticos y desinfectantes.

En las tablas adjuntas (*tablas 1, 2 y 3*) se aportan las principales características químicas de su composición. La dieta

Tabla 2. Cantidades estimadas de abono orgánico producido y su composición (Gilbertson *et al.*, 1979 en Díaz-Fierros y Núñez, 1996)

	Vacuno (453 kg)	Bovino (453 kg)	Porcino	Ovino	Gallina x 100	Pollo x 100	Pavo x 100
Prod. fresco (tm/año)	13,5	6,1	2,1	0,6	3,5	2,3	9,2
Prod. seco (tm/año)	1,7	0,7	0,2	0,2	0,9	0,5	2,2
N	55,6	27,8	14,5	7	42,5	35,3	137,6
P	9,3	8,1	3,3	1,6	18,1	9,8	38,2
K	44,5	17,6	5,2	4,9	18,2	11,5	44,9
Ca	32,5	5,2	5,1	0,4	77,2	41,4	161
Na	9,9	2,6	11,3	0,3	5,8	4,1	16,2
Mg	6,5	1,9	0,8	0,3	8,2	4,1	16,1
Fe	0,7	0,9	0,1	0,2	1,7	5,3	20,6
Zn	0,1	0,09	0,3	0,02	0,3	0,1	0,5
Mn	0,1	0,09	0,9	0,02	0,4	1,5	6,2
Cu	0,04	0	0,04	0,00	0,1	0,04	0,09

Tabla 3. Composición de las heces, lisier y estiércol, en gr/kg (modificado de Navarrete, 1990)

Especie	Tipo deyección	Kg/día	MS	N total	N amoniacal	P ₂ O ₅	K ₂ O	C ₂ O	MgO	Acidez (pH)
Bovino mayor	Lisier	45-55	100-160	3,5-4,5	0,5-1,7	1,6-2	2,5-6	3-4	1,3-1,6	6,7-6,9
	Estiércol		220	4,6	0,5	3	6	6	1,4	7,9
Bovino menor	Lisier	5,8	88	1,8	0,2	0,6	0,7	4	1,6	7,6
Cerdos 100 kg	Heces	3,3	230	5		3	3			
	Lisier		50	4,5	3	2,3	3	3		7
Ovino	Heces	2,5	300	8		4,5	4,8			
	Lisier		250	8		8	9,5	12,5	4	
Aves	Lisier	0,2	150	13		11	6	15	1	
Conejos	Lisier	0,2	400	12		10	7	15		7,2

tiene importancia, ya que existen variaciones del tipo de explotación (engorde, cría, leche...) o de la época del año. El contenido en agua determinará el tipo de acumulación que recibirá; si es sólido puede acumularse en la cuadra o sobre el terreno; con más líquido se acumulan en receptáculos, teóricamente impermeabilizados que reciben, además de las deyecciones, las aguas de lavado y arrastre de las cuadras; si son abiertos recibirán las aguas pluviales (Díaz-Fierros y Núñez, 1996). El tiempo de almacenamiento influye en su poder fertilizante y carga contaminante.

En el caso de los cerdos, el purín es muy líquido, rico en N, pobre en P, K y alto en DBO (hasta de 40.000 ppm) y DQO (Puertas, 1995). Varía su composición con el grado de humedad y la composición del pienso (Costa-Batllo, 1995) (tablas 1,2,3 y 4).

El purín aporta como especies nitratos, fósforo, potasio, cobre y zinc, además de contaminación microbiana. Sus efectos sobre el suelo y agua son nefastos: fitotoxicidad, intoxicación de los animales, eutrofización de las aguas. Son los residuos que más carga contaminante tienen y su utilización directa, sin tratamiento previo, no debe realizarse, especialmente en áreas hidrogeológicamente vulnerables (Navarrete, 1990).

El abono sólido es menos contaminante que el líquido, que se esparce con cisternas, penetrando fácilmente en

el suelo, alimentando las escorrentías superficiales; la fracción sólida o semi-líquida puede originar un encostramiento superficial que disminuye la permeabilidad del suelo.

Contaminación de las aguas subterráneas

La mayor parte de la contaminación es de carácter orgánico y bacteriológico, procedente del vertido de residuos animales o de su aplicación como abonos. Se produce un incremento en agua y suelo en la concentración de nitratos y otros elementos, como cobre, hierro, cromo, cadmio y otros metales, fósforo y potasio (Alonso, 1997), además de los microorganismos patógenos. Su poder contaminante estriba en el desequilibrio con que el medio recibe la introducción de materias orgánicas, inorgánicas y microorganismos (Navarrete, 1990).

El purín aporta como especies nitratos, fósforo, potasio, cobre y zinc, además de contaminación microbiana. Sus efectos sobre el suelo y agua son nefastos: fitotoxicidad, intoxicación de los animales, eutrofización de las aguas

Tabla 4. Composición media del purín porcino estudiado en tres explotaciones (Fernández *et al.*, 1995)

Parámetros generales		Parámetros generales	
Densidad (mg/L)	10.111	Ca ²⁺ (mg/L)	129,6
PH	8	Mg ²⁺ (mg/L)	68
DQO (mg/L)	13.186	Mn (mg/L)	9,2
Ortofosfatos (mg/L)	14,6	Cu (mg/L)	0,35
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	929,7	Fe (mg/L)	12,13
NO ₃ ⁻ (mg/L)	0,96	Zn (mg/L)	7,49
NO ₂ ⁻ (mg/L)	0,96	Cd (µg/L)	2,65
NH ₄ ⁺ (mg/L)	238,1	Pb (µg/L)	70,9
K ⁺ (mg/L)	4,5	p-Cresol (mg/L)	6,1
Na ⁺ (mg/L)	273	Etil-fenol (mg/L)	1,73
B (mg/L)	0,67	Indol	Trazas

Tabla 5. Análisis de las aguas de dos zanjas someras excavadas en dos balsas en desuso para secado de purines en Murcia (abril 1999)

	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₃ ⁻	Na ⁺	Mg ²⁺
Zanja 1	8.100	9.000	690	23	1.300	6.633	1.320
Zanja 2	15.700	12.900	974	0	1.700	11.158	2.019
	Ca ²⁺	K ⁺	pH	Conductividad	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	SiO ₂
Zanja 1	336	1.571	8,3	48.355	0	0	0,9
Zanja 2	583	2.371	8,1	76.455	0	0	0,7

Los microorganismos asociados a estos residuos y que pueden aparecer en las aguas subterráneas son protozoarios (*Cryptosporidium*), bacterias coliformes, *Pseudomonas*, *Clostridium*, estreptococos, enterobacteriáceas y mixobacterias (*Myxococcus*, *Cytobacter* y *Polyangium*).

Esta contaminación se ve favorecida, a su vez, por falta o insuficiencia de la impermeabilización de las instalaciones, aplicación en terrenos permeables, que favorecen su infiltración, aplicación continuada sobre un mismo terreno y su aplicación en grandes volúmenes sobre pequeñas superficies.

Son buenos indicadores de esta contaminación los nitratos y estreptococos fecales. Otros iones, como el potasio, son adsorbidos en la zona no saturada.

Como indican Díaz-Fierros y Núñez (1996), existen escasos datos relacionados, siendo en su mayoría dispersos. Se han realizado numerosos estudios en Galicia, donde se ha determinado que en un 80% de muestras de aguas subterráneas (fuentes y pozos) son bacteriológicamente no aptas para el consumo, considerándose la principal fuente de contaminación la infiltración de purines y lixiviados de pozos negros (Molinero *et al.*, 1999), presentando en ocasiones, también, contenidos altos en nitratos. López *et al.* (1994 a, b) realizaron un estudio en Tierra Chá (Galicia), en 65 pozos, determinándose presencia de coliformes y estreptococos fecales en más del 50%, aunque tan sólo un 11% superaban los 50 mg/L NO₃⁻. Esta contaminación puede deberse a que la capacidad de autodepuración en la zona vadosa puede quedarse reducida con una climatología como la gallega, de nivel piezométrico poco profundo. También en

Huesca (Gracia *et al.*, 1995) se observó en una fuente de aguas, debajo de una instalación porcina, un contenido de 7,6 de DQO, 49,2 mg/L NO₃⁻ y 20 mg/L Cu.

Otro ejemplo de contaminación se aporta en el análisis del agua contenida en dos zanjas de 1-2 m de profundidad, perforadas en balsas, presuntamente impermeabilizadas por los purines y en desuso, sobre un terreno conglomerático rico en arcillas en la región de Murcia (tabla 5, figuras 2 y 3).

Según los análisis de la tabla 5, los contenidos en nitratos superan los 1.000 mg/L, siendo aguas de elevadísima conductividad, con contenidos en K, que generalmente se fija en el terreno, superiores a los 1.500 mg/L.

En una población de Cuenca, se instaló una granja avícola en los años 1999-2000 a unos 375 m aguas arriba de la captación de abastecimiento



Figura 2. Corte de una balsa de purines en la que se observa la infiltración de los mismos en un medio permeable (conglomerado inconsolidado). En la esquina inferior izquierda se sitúa un martillo de geólogo como escala (círculo rojo).



Figura 3. Balsa de purines inactiva con el purín seco y agrietado. En la fosa excavada se observa el líquido muestreado.



Figura 4. Evolución del contenido de nitratos en el agua del abastecimiento de una población de Cuenca. Se puede observar el incremento a partir de la instalación de una granja avícola-ganadera.

municipal. Posteriormente se amplió a vacuna entre los años 2002-2003 coincidiendo con un incremento del contenido de nitratos en las aguas de abastecimiento urbano, en torno a un 30% (figura 4). La formación acuífera se localiza a 23 m de profundidad, bajo arcillas y limos que teóricamente deberían proteger a la formación acuífera (figura 5).

Como técnica de estudio el empleo del isótopo ^{15}N permite diferenciar entre el nitrógeno de origen atmosférico, empleado para la elaboración de abonos inorgánicos del que tiene origen en las excretas animales. Así, en las zonas con aguas superficiales o subterráneas con altos contenidos en nitratos se puede emplear esta técnica para determinar el origen de la contaminación (figura 6) (Kendall, 1998).

Gestión de los residuos

Los volúmenes de residuos ganaderos en España superan las 100 MT/año, siendo los porcinos de 25 MT (Bigeriego, 1995). Los porcinos son los más problemáticos ya que se ha incrementado con la ganadería intensiva los efluentes, bien por el mayor consumo de agua para un engorde rápido, y por las condiciones higiénicas, con limpieza de agua a presión (Bigeriego, 1995).

Para hacer una gestión adecuada de los residuos se deben considerar como aspectos de interés un almacenamiento adecuado, una reducción en la producción de los mismos y un conjunto de tratamientos. En Cataluña se contempla que las instalaciones ganaderas deben disponer de un plan de gestión con un estudio validado por las oficinas comarcales del Departamento de Agricultura, Ganadería y Pesca, conjuntamente con el de Medio Ambiente (figura 7).

Asimismo, la gestión adecuada debe partir de un correcto emplazamiento inicial, desde el punto de vista hidrogeológico, de la explotación



Figura 5. Captación municipal, al fondo de la imagen, la granja y en la vaguada es donde se vierten los residuos vacunos.

ganadera. Las instalaciones no deben situarse sobre terrenos permeables o en la zona no saturada de los acuíferos. La existencia de captaciones de aguas subterránea sin aislamientos adecuados puede favorecer la contaminación a través del espacio anular si está mal construido. También es preciso disponer de suficiente información geológica del subsuelo, para conocer la existencia de acuíferos no

Los volúmenes de residuos ganaderos en España superan los 100 MT/año, siendo los porcinos de 25 MT

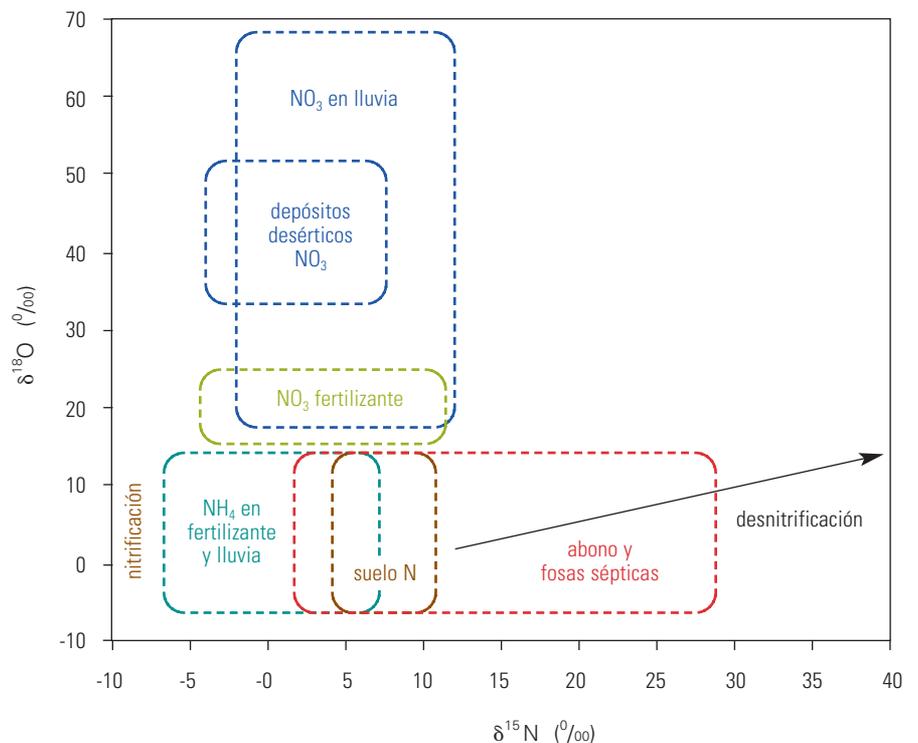


Figura 6. Representación gráfica $d_{18}\text{O}-d_{15}\text{N}$ procedente del NO_3 con la distribución por orígenes (Kendall, 1998).

Un almacenamiento adecuado debe estar preparado para evitar infiltraciones hacia las aguas subterráneas; debe ser de obra o impermeabilizado con lámina plástica, arcilla u otro material que garantice la estanqueidad, como se hace con otros residuos como las vinazas



Figura 7. Portada de folleto divulgativo elaborado por la Generalitat de Catalunya sobre la gestión de purines.



Figura 8. Excavación en materiales arcillosos cuaternarios bajo los que se encuentran formaciones de conglomerados y gravas con mayor permeabilidad.

aflorantes, al encontrarse cubiertos por otros sedimentos. Resulta fundamental la permeabilidad de los materiales con los que se hacen los refuerzos y motas para evitar reboses. Es recomendable que también estén impermeabilizados y tener suficiente altura para evitar los derramamientos a causa de las lluvias (figuras 8, 9, 10).

Tipo de almacenamiento

El almacenamiento en general se realiza junto a los puntos de producción. En ellos los residuos se comportan diferentemente según su origen. Así, el lisier y los purines sufren fermentación anaerobia, con incrementos de pH, compuestos malolientes y no sedimentan. El estiércol sólido sufre fermentación aerobia.

Una mala práctica habitual es depositar los residuos directamente sobre el suelo, sin medida de aislamiento alguna (figura 11). Asimismo, los sistemas de recogida (canalizaciones) no deben tener pérdidas (figura 12).

No existe una norma establecida en cuanto a construcción de almacenamientos. Según Danés *et al.* (1995) el Departamento de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya recomienda que los materiales

de construcción deben garantizar la impermeabilidad.

Los usuarios de la región de Murcia los almacenan mediante estanques o fosas de gran profundidad (hasta 5 m) y superficie reducida, de fermentación anaerobia y con problemas de olores, o bien en balsas irregulares de gran extensión para favorecer la evaporación y secado, aunque también se producirá infiltración, puesto que no suelen estar impermeabilizadas (figuras 13, 14 y 15).

Un almacenamiento adecuado debe estar preparado para evitar infiltraciones hacia las aguas subterráneas; tiene que ser de obra o impermeabilizado con lámina plástica, arcilla u otro material que garantice la estanqueidad, como se hace con otros residuos como las vinazas (figuras 16, 17 y 18). Asimismo, la fosa debe ser estanca y tener suficiente capacidad de almacenamiento para evitar desbordamientos; así, la Confederación Hidrográfica del Duero solicita una capacidad equivalente a lo producido en un mes (Alonso, 1997). En Cataluña, según su Código de Buenas Prácticas Agrarias, los depósitos, fosas, balsas y estercoleros deben permitir una autonomía de 4-6



Figura 9. Explotación ganadera sobre formaciones carbonatadas jurásicas en la provincia de Cuenca.

meses y estar impermeabilizadas. El rebose de las balsas y fosas a causa de las lluvias se traduce en un desparrame de sustancias contaminantes que se pueden infiltrar fácilmente en el subsuelo.

La Directiva Marco 1999/31 CE y su trasposición a la española, relativa al vertido de residuos, indica que la permeabilidad de la barrera geológica para residuos peligrosos debe ser $k \leq 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ y un espesor $\geq 5 \text{ m}$ y, para no peligrosos, de $k \leq 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ y un espesor $\geq 1 \text{ m}$. Si se considera a estos residuos como peligrosos, la legislación es clara en cuanto a las medidas protectoras a tomar. Asimismo, debe añadirse un sistema de impermeabilización exigido para sustancias peligrosas, una barrera geológica artificial ($\geq 0,5 \text{ m}$), si la natural no cumple, y una capa de drenaje $\geq 0,5 \text{ m}$.



Figura 10. Explotación ganadera al fondo y, en primer plano, unas areniscas aflorantes que constituyen un acuífero de interés local. Los vertidos que se produzcan en su superficie accederán rápidamente a la formación acuífera.



Figura 11. Restos de depositar residuos ganaderos en el suelo.

Sin embargo, existe ambigüedad legal en cuanto a la obligación de impermeabilizar balsas y fosas. Según la anterior Ley de Aguas 29/1985 y el RD 849/1986, se entendía que no es necesaria su impermeabilización si se aportaba un estudio, realizado por un técnico competente, que demuestre la inocuidad del vertido a las aguas subterráneas. En el texto refundido de la Ley de Aguas 1/2001 y el RD 606/2003 el vertido se autoriza si un estudio hidrogeológico demuestra su inocuidad. Sin embargo, no se indican qué parámetros se deben cumplir para que se considere adecuado el emplazamiento: tipo y rango de permeabilidad del medio subyacente, profundidad del techo del acuífero o importancia de la formación acuífera para su explotación. Los informes remitidos a la Administración hidráulica

suelen mostrar una inocuidad que los técnicos en la Administración que las evalúan suelen poner en duda.

Reducción en la producción

Para la reducción del volumen de residuos se plantean distintos métodos:

- Control en el crecimiento de la cabaña (tabla 6) (Costa-Batllo, 1995).
- Control en la nutrición de los animales: con ello se reduciría el aporte de N, K, Cu, Zn, el gasto de agua de bebida no aprovechada o también pienso con enzimas y fitasas (reduce agua, N y P excretados), (Puertas, 1995).
- Mejora en las instalaciones. Para reducir líquidos conviene mejorar el sistema de bebederos: el de cazuela puede reducir hasta un 20% el consumo (Torres, 1995); también

Tabla 6. Propuesta de la UE para el control en el crecimiento de la cabaña ganadera (Costa-Batllo, 1995)

Tipo de cabaña	Nº máximo de animales productores de residuos/Ha (no acumulables)
Vacas lecheras	2
Ganado vacuno joven o para carne	4
Porcino engorde	16
Cerdas con lechones	5
Pavos, patos	100
Gallinas ponedoras	133
Gallinas jóvenes	285



Figura 12. Debe cuidarse el estado de las conducciones, puesto que pueden producirse derrames accidentales.

influye el diseño de los comederos o la ventilación adecuada, que evita duchas en verano. Usar agua a presión de bajo caudal para lavar las instalaciones y separar las aguas de lluvia de las deyecciones.

Tratamientos adecuados

Se puede establecer un conjunto de tratamientos, considerando asimismo pretratamientos y postratamientos. Se han desarrollado diferentes sistemas, basados en procesos químicos, físicos y biológicos, cuyo resumen se aporta en las tablas 7, 8 y 9.

Como pretratamientos se utilizan la separación sólido-líquido (tabla 7) y los fluidificantes, que reducen los sólidos orgánicos más gruesos y los desodorizantes, que reducen los malos olores (Danés *et al.*, 1995).

Los tratamientos pueden ser físico-químicos o biológicos (tabla 8). Los biológicos emplean la flora microbiana de los purines junto a la fauna bacteriana para la degradación, reducción y asimilación de la carga contaminante.

El secado, por simple exposición al sol, se utiliza en la región de Murcia, mediante balsas someras de desecación de purines, de grandes

superficies y profundidades inferiores a 0,5 m, de fermentación aerobia.

La digestión anaerobia es uno de los tratamientos de mayor interés, puesto que genera *biogás*, una fuente de energía alternativa utilizable en la granja. Se basa en la degradación de la materia orgánica del purín por acción de microorganismos. Es menos eficiente que la digestión aerobia en la reducción de parámetros contaminantes. Se emplean unos digestores discontinuos o continuos, y dentro de estos últimos de mezcla total, de contacto o con filtros anaerobios. Además de los digestores, se emplean también *balsas* (con una profundidad mínima de 3 m) y *balsas de digestión potenciadas* con catalizadores biológicos. Los sistemas físico-químicos sólo eliminan el sólido en suspensión, necesitándose



Figura 13. Vertido de purines sobre depósitos cuaternarios.

Como pretratamientos se utilizan la separación sólido-líquido y los fluidificantes, que reducen los sólidos orgánicos más gruesos y los desodorizantes, que reducen los malos olores

para el tratamiento del efluente los sistemas biológicos como el desarrollo de bacterias específicas aerobias y anaerobias o la fabricación de compost mediante fermentación aeróbica de la mezcla de purín con otros residuos de menor grado de humedad (Bigeriego, 1995).

En la actualidad existen 20 plantas de purines en funcionamiento y bastantes proyectadas. Así, la planta de Juneda (Lleida), en funcionamiento desde 2001, trata 110.000 T/año y, la de Coren (Orense), desde 2007, trata 150.000 T/año. Estas plantas se concentran en Cataluña, Aragón, Galicia y Murcia, principalmente. Se basan en la digestión anaerobia y cogeneración, por lo que las empresas eléctricas tienen gran interés en su puesta en marcha: Así, IBERDROLA puso



Figura 14. Balsa de gran extensión y poca profundidad rellena de purines. Se emplean, principalmente en zonas con muchas horas de sol, para favorecer la evaporación y secado de los purines.



Figura 15. Fosa de purines excavado en formaciones cuaternarias.



Figura 16. Dos fosas, una sin impermeabilizar y la otra con impermeabilización de hormigón.



Figura 17. Explotación ganadera que vierte los residuos en balsas con impermeabilización de material plástico.

en funcionamiento en 2006 tres plantas que generarán una potencia eléctrica de 37,5 MW. Estas plantas resuelven el problema de los excedentes de purines, en zonas calificadas como vulnerables a la contaminación por nitratos, y sus efluentes no son contaminantes; se obtiene un producto sólido y seco, fácilmente transportable: fertilizante comercializable para suelo agrícola, las instalaciones utilizan un combustible limpio, el gas natural y se obtiene un máximo aprovechamiento energético (Inf. Veterinaria, 2001).

Como postratamientos se emplean el lagunaje y el filtro verde. El lagunaje se basa en el empleo de balsas que siguen procesos aerobios si su profundidad es inferior a 1,5 m, anaerobios si superan los 3 m, o con ambos procesos si se encuentran entre 1,5-3 m, generándose dos ambientes: aerobio arriba y anaerobio abajo (Ulloa, 1993). Se usan microorganismos y plantas (algas, macrofitos) para los procesos. Este tratamiento también puede ser integral. El filtro verde se basa en el vertido de residuos procedentes de tratamientos biológicos en el suelo, con determinadas especies de árboles, como cultivos silvícolas (chopos) y otros tipos de vegetación.

En algunos países se ha tratado, como posibilidad, el empleo de la fracción sólida del purín, con diferentes grados de digestión o adición de nutrientes, como alimento para el ganado (Díaz-Fierros y Núñez, 1996).

Como métodos informáticos, el INIA presentó en 2001 el programa EGPE (EcoGestión Purines y Estiércol) un modelo matemático que facilita la gestión de residuos ganaderos, especialmente purines y estiércol. Estima riesgo ambiental por aplicación o emisión. Existen dos versiones: EGPE-Visual: para personas sin experiencia y EGPE-Pro para comprobar la calibración en cada zona específica (Vega *et al.*, 2001).

Códigos de buenas prácticas agrarias

Con el fin de reducir y prevenir la contaminación de las aguas por nitratos originarios de fuentes agrarias, para proteger la salud humana y ecosistemas acuáticos, se elaboró la *Directiva 91/676/CEE relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura*, que luego se ha incorporado a la normativa española a través del *RD 261/96 de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias*.

Esta norma establece en su artículo 5 que las comunidades autónomas establecerán un Código de Buenas Prácticas Agrarias (CBPA) que los agricultores podrán poner en práctica de forma voluntaria. Sin embargo, las recomendaciones provenientes de dichos códigos de buenas prácticas agrarias difieren en cada comunidad.

Habitualmente, los CBPA contienen los siguientes puntos: tipo de fertilizantes nitrogenados, valor agrícola de los fertilizantes químicos nitrogenados, época de aplicación del abonado, aplicación de fertilizantes en terrenos con pendiente, terrenos hidromorfos, inundados, helados o cubiertos de nieve, o en tierras cercanas a cursos de agua, residuos animales y vegetales, almacenamiento de estiércoles, medidas para evitar la contaminación de las aguas por nitratos debido a la mala utilización del agua de riego y otras prácticas agrarias. Lo que varía es el desarrollo de estos puntos. Así, en Extremadura (24/11/1998) se establecen los factores para la correcta aplicación de los purines: deben estar descompuestos, aplicarse durante las labores de barbecho, rotarse las parcelas, no aplicarse en épocas de lluvia y disponer los estercoleros de una plataforma impermeable, pero no se describen los tanques de almacenamiento.

Tabla 7. Tipos de pretratamiento (Danés *et al.*, 1995)

Tipo de retratamiento	Características	Eliminación de carga contaminante	Inconvenientes
Separación por reja o tamiz	Distintos tipos (vibratorio, tambor o rotativo, filtro-prensa) Uso de mallas de 0,1-1 mm de paso	DQO 60-70% Sólidos totales 25-40%	El de tambor es caro
Centrifugación	Aparatos de diferentes marcas	DQO 40-60%	
Filtración	Mediante membranas	DQO 75% Sólidos en suspensión y Bacterias 100%	No hay experiencia real con purín, sólo en laboratorio INIA

Fuente: datos procedentes de Bigeriego, (1995).

Tabla 8. Tipos de tratamientos (con datos de Danés *et al.*, 1995; Bigeriego, 1995 y ADEBIOTEC <http://www.adenilo.com/index2.php>)

Tipo de retratamiento	Características	Eliminación de carga contaminante	Inconvenientes
FÍSICO-QUÍMICO			
Secado	Evaporación natural forzada por equipos o naturalmente	Se reduce un 20%	Alto coste energético Infraestructura
Centrifugación	Aparatos de diferentes marcas Utilización de floculantes y agentes coagulantes	DQO 50-90% Materias en suspensión 60-95%	Precisa de eliminación previa de sólidos Altos costes de mantenimiento Coste reactivos
Acidificación–deshidratación	Acidificación del purín y posterior secado natural		Coste reactivos
Térmico	Vapor de alta presión separa los elementos volátiles de los sólidos		
Electro-coagulación	Se pasa el purín entre dos placas de hierro mientras se inyecta una corriente de baja tensión. Se flocula el purín		
BIOLÓGICO			
Aerobio	Aireación con diferentes aparatos	DQO 74-94%	Requiere energía Altos costes de mantenimiento Retirada periódica fangos
	Fabricación de compost		
Anaerobio	Degradación de la materia orgánica por microorganismos Generación de calor CO ₂ , CH ₄ Aparición de biogás como fuente de energía	Para filtro anaerobio, entre un 55-65%	Precisa técnico cualificado Mantenimiento y gestión

En la Comunidad Valenciana (29/3/2000) el CBPA es muy poco preciso en cuanto al almacenamiento de estiércoles. En la designación de zonas vulnerables (10/4/2000), en las de cultivos intensivos, el almacenaje

mínimo debe ser de tres meses en depósitos impermeables. Deben disponer de un plan de gestión con los datos de explotación agrícola (cultivos, superficie y tipo de fertilizante). La dotación máxima es

de 210 Kg N/Ha en zonas vulnerables y en zonas no vulnerables se aplican las dosis recomendadas.

En la región de Murcia, el CBPA (15/4/1998, revisado en diciembre de

2003) recomienda que los tanques de almacenamiento de purín se diseñen con capacidad suficiente para recoger, al menos, los productos generados en cada explotación durante tres meses. El volumen de efluentes a almacenar en las explotaciones ganaderas vendrá determinado por la especie, número de animales, edad, orientación, tipo de alimento, estado fisiológico, régimen de explotación, manejo, etc. Los tanques de almacenamiento deben ser impermeables.

En Cataluña (22/10/1998) proponen, dentro del apartado de capacidad y diseño de depósitos de residuos ganaderos, que sean estancos, con una capacidad mínima de 4-6 meses, dependiendo del tipo de residuo. Para ubicar los depósitos de purines, se debe seleccionar con cuidado el terreno, estar recubierto el interior por material impermeable, del cual se debe vigilar su deterioro y las agresiones mecánicas que sufra.

En Andalucía (12/12/1997), el Código considera que se deben adecuar las instalaciones ganaderas, mejorar la gestión y almacenamiento de residuos y la alimentación del ganado. Da unas recomendaciones sobre uso, vertido directo, dimensiones sin especificar y define unas recomendaciones para ganado bovino y porcino. Las instalaciones para el ganado vacuno deben disponer de una solera exterior estanca para evitar la lixiviación del nitrógeno procedente de la deyección, mientras que para el porcino se seguirán en general actuaciones para evitar la contaminación nítrica procedente de purines, tales como bancos de estiércol que se distribuirán bajo demanda agrícola, técnicas de depuración y tratamiento, adecuada alimentación, disminuyendo el contenido del nitrógeno de la dieta. En el caso de explotaciones extensivas no estabuladas, se evitará la permanencia de los animales en densidades importantes, sobre superficies no estancas. En periodos de invernada al aire libre es deseable desplazar regularmente el área de alimentación.

En general, un CBPA debe incidir en mejorar las instalaciones, situarlas en un entorno geológico adecuado, reducir el volumen de residuos mediante una mejor gestión e incidiendo en la alimentación del ganado. Específicamente, en cuanto a las instalaciones que pudiesen ocasionar afección a las aguas subterráneas, no se debe verter directamente sobre el suelo y cursos de agua, evitar escorrentías, tener suficiente capacidad de almacenamiento, cubrir los depósitos o dejar suficiente margen para evitar desparrames por lluvia y no aplicar los residuos en época lluviosa.

La legislación ganadera

La legislación no contempló inicialmente a estos residuos de manera específica, sino que quedaban incluidos dentro de directivas comunitarias o Reales Decretos sobre residuos en general. Un resumen de las principales normativas europeas y españolas se recoge en la tabla 9.

No existe legislación específica sobre los residuos ganaderos en la Unión Europea. Así, las *Directivas 80/68/CEE relativa a la protección de aguas subterráneas contra la contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas* y *91/689/CEE relativa a residuos peligrosos*, no contemplan a los residuos ganaderos como tales. La primera considera "sustancia II" entre otras a "amoniacales, nitritos, Cu y Zn" y la segunda tampoco los contempla, pero sí a los compuestos de Cu, Zn y nitratos, como "sustancias IB". La *Directiva 31/1999/CE* contempla que se evite cualquier "contaminación importante", procedente de un conjunto de actividades, entre las que se encuentra la industria intensiva de aves de corral (>40.000 cabezas) cerdos de cría (>2.000) o cerdos (>750).

La *Directiva 91/676* de la Unión Europea sobre la protección de las aguas continentales contra la contaminación por nitratos, así como en el *Reglamento 2078/92* sobre métodos de producción

agraria compatibles con la protección al medio ambiente, y en su posterior transposición a la legislación española a través del *Real Decreto 261/96* sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias, desarrolla el concepto de Zona Vulnerable, que es aquella superficie cuya escorrentía o filtración afecta o puede afectar a la contaminación por nitratos de las aguas. Por tanto, son aguas subterráneas que superan una concentración de nitratos de 50 mg/L y cuyas aguas superficiales se encuentran en estado de eutrofización o superan una concentración de nitratos de 50 mg/L (Inf. Veterinaria, 2001). También considera fertilizante a cualquier sustancia con componentes nitrogenados y comprende el estiércol, entre otros. Define como estiércol a los residuos excretados por el ganado o las mezclas de desechos y residuos excretados por el ganado, incluso transformados. Cada comunidad autónoma elaborará un CBPA que los agricultores y ganaderos podrán poner en práctica de forma voluntaria, con la finalidad de reducir la contaminación producida por los nitratos de origen agrario.

El *RD 261/96* establece que la cantidad de estiércol aplicado anualmente no puede sobrepasar los 170 kg de nitrógeno por hectárea en las Zonas Vulnerables o los 210 kg en el resto. En España, las Zonas Vulnerables se localizan en determinadas comarcas de las comunidades de Andalucía, Aragón, Asturias, Castilla y León, Castilla-La Mancha, Cataluña, Galicia, Murcia y Valencia. Esta problemática y su correspondiente regulación normativa suponen para el sector ganadero una limitación importante para su desarrollo y crecimiento. En las zonas designadas como vulnerables, cada comunidad autónoma establecerá programas de actuación con el objeto de prevenir y reducir la contaminación causada por los nitratos de origen agrario.

Respecto la legislación española, la *Ley 29/1985* de Aguas y el *RD 849/1986*, ya derogados, establecían que los vertidos se autorizarían "si el estudio hidrogeológico previo demostrase su inocuidad". La *Ley*

10/1998 de los residuos, excluye a los residuos ganaderos "cuando se utilicen en el marco de las explotaciones agrarias, en lo regulado en el RD 261/1996", ya comentado anteriormente. Sin embargo, la acumulación de los residuos ganaderos en una explotación intensiva no es una actividad agrícola y, por tanto, puede aplicarse dicha Ley. La eliminación de los residuos se contempla en el Anexo IIA de la Decisión 96/350/CE. Para esta eliminación, según la Ley 10/1998, "las autorizaciones de las actividades de eliminación de residuos determinarán los tipos y cantidades de residuos, las prescripciones técnicas, las precauciones que deberán adoptarse en materia de seguridad, el lugar donde se vayan a realizar las actividades de eliminación y el método que se emplee".

La Ley 54/97 y el RD 2818/98 del Régimen Especial establecen un sistema de incentivos para la construcción de plantas de tratamiento de purines, reduciendo su presencia en las zonas de mayor concentración de granjas, y obteniendo energía eléctrica, comercializable por las compañías eléctricas.

El RD 324/2000 (con modificaciones en el RD 3483/2000) estableció las normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas, en especial a la ganadería intensiva. Se establecieron el número máximo de cabezas de ganado (720) variables hasta un 20% según las comunidades autónomas. Las explotaciones deberán disponer de balsas cercadas e impermeabilizadas, natural o artificialmente, que eviten el riesgo de filtración y contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, con un tamaño para poder almacenar la producción de tres meses de estiércoles.

El RDL 1/2001, Texto Refundido de la Ley de Aguas, deroga la Ley 29/1985 y todas aquellas de igual o inferior rango que se opongan al mismo, y considera en el artículo 97 "queda prohibido... toda actividad susceptible de provocar la contaminación... y, en particular, acumular residuos sólidos, escombros o sustancias, cualquiera que sea su naturaleza y el lugar en que se



Figura 18. Balsa impermeabilizada para residuo de vinazas con geotextil.

depositen, que constituyan o puedan constituir un peligro para la contaminación de las aguas o de degradación de su entorno” y aunque si se efectúa sobre el terreno, en el artículo 102 “cuando el vertido pueda dar lugar a la infiltración o almacenamiento de sustancias susceptibles de contaminar los acuíferos o las aguas subterráneas, sólo podrá autorizarse si el estudio hidrogeológico previo demostrase su inocuidad”. Estos vertidos deben estar autorizados y tienen un plazo de vigencia de cinco años, renovable sucesivamente, si cumplen lo establecido.

La Ley 16/2002, de prevención y control integrados de la contaminación, introduce el concepto de *Autorización Ambiental Integrada* como la resolución

del órgano competente de la comunidad autónoma por la que se permite, a efectos de la protección del medio ambiente y de la salud de las personas, explotar la totalidad o parte de una instalación, bajo determinadas condiciones destinadas a garantizar que la misma cumple el objeto y las disposiciones de la ley.

Para poder otorgar la autorización se deberá tener en cuenta que las instalaciones adopten medidas preventivas a la contaminación, evitar la producción de residuos y mantener una adecuada gestión, así como medidas medioambientales tras el cese de la explotación. Deberán disponer de Autorización Ambiental integrada las explotaciones porcinas destinadas a la cría intensiva de cerdos que dispongan

de más de 2.000 emplazamientos para cerdos de cría (de más de 30 kg) y 750 emplazamientos para cerdas.

El RD 606/2003 Reglamento del Dominio Público Hidráulico en su Sección 4- Vertidos a las aguas subterráneas indica que es preciso un estudio hidrogeológico previo para evitar introducción de sustancias peligrosas, si las sustancias no son peligrosas, para demostrar su inocuidad.

Por último, el RD 479/2004, por el que se establece y regula el Registro General de Explotaciones Ganaderas. Se aplicará a los animales de producción pertenecientes a las siguientes especies: bóvidos, porcinos, ovinos, caprinos, équidos, aves de corral, conejos, abejas, especies peleteras y cinegéticas.

Tabla 9. Principales decretos, leyes y directivas catalanas, españolas y europeas donde se contemplan los residuos ganaderos

NORMATIVA EUROPEA	
Directiva 75/442/CE	Relativa a los residuos
Directiva 80/68/CEE	Relativa a la protección de aguas subterráneas contra la contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas
Directiva 91/676	Sobre la protección de las aguas continentales contra la contaminación por nitratos
Directiva 1991/689/CEE (modificada en 94/31/CE)	Relativa a residuos peligrosos
Directiva 96/61/CE	Relativa al vertido de residuos
Directiva 31/1999/CE	Relativa a la prevención y control integral de la contaminación
NORMATIVA ESPAÑOLA	
Ley 29/1985	Ley de Aguas
RD 849/1986	Reglamento del Dominio Público Hidráulico
RD 484/1995	Sobre medidas de regulación y control de vertidos
RD 291/1996	Sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias
Ley 10/98	De los residuos
RD 2818/98	Régimen Especial que establece un sistema de incentivos para la construcción de plantas de tratamiento de purines
RD 324/2000 (modificado con los RR DD 3483/2000 y 1323/2002)	Por la que se establecen normas básicas de ordenación de explotaciones porcinas
RDL 1/2001	Texto refundido de la Ley de Aguas
Ley 16/2002	De prevención y control integrados de la contaminación
RD 606/2003	Reglamento del Dominio Público Hidráulico
RD 479/2004	Por el que se establece y regula el Registro general de explotaciones ganaderas
NORMATIVA AUTONÓMICA CATALANA	
Decret 220/2001	De gestión de residuos ganaderos
Decret 205/2000	De zonas vulnerables y no vulnerables para fertilización con compuestos nitrogenados

Como decretos autonómicos y locales sólo se ha encontrado información proveniente de Catalunya. En el *Decret 220/2001*, de gestión de los residuos ganaderos, se establece que las explotaciones ganaderas deberán disponer de un plan de gestión de los residuos, realizado por un técnico

competente y presentado y validado por las oficinas comarcales del Departamento de Agricultura, Ganadería y Pesca, conjuntamente con el de Medio Ambiente. No incide directamente en solicitar la impermeabilización pero indica que se han de utilizar procedimientos que no pongan

en peligro la vida humana y el medio ambiente, por contaminación del agua. Asimismo, deja abierta la posibilidad a entes locales en incrementar las restricciones, previo aviso a los departamentos pertinentes.

Bibliografía

- Alonso, A. (1997). Generación de purines y contaminación de las aguas. *Revista Técnica del Medio Ambiente* (mayo-junio). 33-42.
- Audiencia Provincial de Barcelona (2005). Sentencia de la Audiencia Provincial de Barcelona, Sección 6ª, del 29 de diciembre de 2005, dictada en el Procedimiento Abreviado número 121/2004.
- Bigeriego, M. (1995). Depurado, reciclado y reutilización de purines. *1º Congreso Nacional de Veterinaria y Medio Ambiente*. 131-140.
- Consumaseguridad.com (2002a). Noticias: La contaminación por purines en Cataluña será estudiada por el Tribunal de Luxemburgo. http://www.consumaseguridad.com/web/es/sociedad_y_consumo/2002/07/02/2535.php
- Consumaseguridad.com (2002b). Noticias: Cataluña reduce el número de cerdos para evitar la contaminación por nitratos. http://www.consumaseguridad.com/web/es/sociedad_y_consumo/2002/07/18/2748.php
- Consumaseguridad (2002c). Noticias: Más de 300 municipios catalanes están afectados por la contaminación de purines. http://www.consumaseguridad.com/web/es/sociedad_y_consumo/2002/10/28/3861.php
- Consumaseguridad.com (2004). Noticias: Cataluña limita los purines para uso agrícola. http://www.consumaseguridad.com/web/es/sociedad_y_consumo/2004/07/30/13647_print.php
- Costa-Batllori, P. (1995). Explotaciones ganaderas intensivas y Medio Ambiente. *1º Congreso Nacional de Veterinaria y Medio Ambiente*. 33-42.
- Danés, R.; Molina, V.; Prats, I.; Alamos, M.; Boixadera, J. y Torres, E. (1995). *Manual de gestió del purins i de la seva reutilització agrícola*. Generalitat de Catalunya: Departaments d'Agricultura, Ramaderia i Pesca, de Medi Ambient i Junta de Residuos: 128 pp.
- Díaz-Fierros, F. y Núñez, A. (1996). La contaminación de las aguas en España con origen en actividades ganaderas. En *Prácticas agrarias compatibles con el medio natural. El agua*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
- Fernández, C.; De la Torre, A. I.; Carbonell, G.; Muñoz, M. J. y Tarazona J. V. (1995). Evaluación toxicológica del riesgo medioambiental ligado al vertido de purines. *1º Congreso Nacional de Veterinaria y Medio Ambiente*: 291-295.
- Gracia, J. L.; Jaime, J.M., Cabrizo, M. E.; Beltrán, J.; Mercado, M. y Cortina, P. (1995). Problemática del estiércol líquido porcino en la Ribagorza Oriental. *1º Congreso Nacional de Veterinaria y Medio Ambiente*: 327-339.
- Hidalgo, J. R. (2006). Juicio al vertido de purines. www.consumaseguridad.com/web/es/normativa_legal/2006/01/23/22088.php
- Información veterinaria (2001). La problemática ambiental de los purines. Información veterinaria nº 227. <http://www.colvet.es/infovet/jul01/temas.htm>
- Kendall, C. (1998). Tracing nitrogen sources and cycling un catchments. In: *Isotope tracers in catchment hydrology*. C. Kendall and J. J. McDonnell (Eds.). Elsevier Science B.V. Amsterdam: 519-576.
- López, E.; Núñez, A. y Díaz-Fierros, F. (1994a). Contaminación biótica y abiótica de pozos en una zona ganadera. *Análisis y evolución de la Contaminación de las Aguas Subterráneas*. (T. I.): 379-392.
- López, E.; Núñez, A. y Díaz-Fierros, F. (1994b). Estudio piloto de la transmisión en una zona de vadosa de contaminantes procedentes de purín de vacuno. *Análisis y evolución de la Contaminación de las Aguas Subterráneas* (T. I.): 393-407.
- Molinero, J., Soriano, G. y Samper, J. (1999). Calidad y contaminación de las aguas subterráneas en Galicia: situación actual y estudio de detalle en la cuenca del Valiñas. *Jornadas sobre la contaminación de las aguas subterráneas: un problema pendiente*. IGME. Madrid: 255-261.
- Navarrete, P. (1990). Incidencia de las prácticas agrícolas en la calidad del agua. Fertilizantes. Ganadería. Tema 5ª del Área VII "Contaminación del agua". *XXIII Curso Internacional de Hidrogeología Aplicada*. ITGE-ETSIM. Madrid.
- Puertas, J. A. (1995). Problemática de los purines en la región de Murcia. *1º Congreso Nacional de Veterinaria y Medio Ambiente*: 111-119.
- Sierra, I. (1995). Ganadería extensiva y medio ambiente. *1º Congreso Nacional de Veterinaria y Medio Ambiente*: 21-32.
- Torres, E. (1995). Minimización de la carga contaminante y manejo de los purines en la explotación. *1º Congreso Nacional de Veterinaria y Medio Ambiente*: 121-129.
- Ulloa, J. J. (1993). El lagunaje. En: *Tratamiento de aguas residuales, basuras y escombros en el ámbito rural*. Serie técnica. Ed. Agrícola Española: 69-105.
- Vega, M. M.; Carbonell Pablos, M. V.; Ramos, G.; Fernández, C.; Ortiz, J. A. y Tarazona, J. V. (2001). Evaluación ambiental de residuos porcinos y gestión agrícola de purines mediante el modelo informático EGPE. *Investigación Agraria: Producción y Sanidad Animal*, 16(1): 165-180.

CENIEH Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana

Un nuevo centro de referencia para la prehistoria

El nuevo Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH) se está formando en Burgos, con el objetivo de ser un centro de excelencia dedicado a las nuevas competencias que han venido animando el mundo de la paleoantropología y la prehistoria en los últimos decenios, tanto a nivel nacional como internacional. El CENIEH se articula como un centro multiinterdisciplinar, donde se integran distintos sectores científicos con significativas contribuciones de las Ciencias de la Tierra y sus aplicaciones en los ámbitos antropológico y arqueológico.

Texto | José María Bermúdez de Castro, CENIEH; Alfredo Pérez-González, CENIEH; Diego E. Angelucci, CENIEH; Josep María Parés, CENIEH

Palabras clave

Evolución humana, CENIEH, prehistoria, geología del Cuaternario y geocronología.

La investigación sobre la evolución humana ha experimentado un notable impulso en las últimas décadas, tanto en España como en otros países. El planteamiento actual para analizar y comprender nuestros antepasados se funda sobre una aproximación interdisciplinar, para asegurar una visión rigurosa y al mismo tiempo contextual de las sucesivas etapas de la evolución de los homínidos. Estos son algunos de los principios que sostienen la filosofía del CENIEH, que pretende convertirse en un centro de referencia a nivel mundial dentro de unos años. Entre las disciplinas que integran el abanico conceptual y metodológico del nuevo centro, las Ciencias de la Tierra mantienen un papel destacado (*figura 1*).

El nuevo centro, que se ha establecido por razones históricas y científicas en Burgos (véase más abajo), se plantea como finalidad última realizar investigaciones en el ámbito de la evolución humana, promoviendo no sólo el incremento del conocimiento científico sobre nuestros antepasados, sino también la sensibilización y transferencia de conocimientos a la sociedad. Las tareas que el CENIEH se propone son numerosas, a partir de la recogida directa de datos en el campo, a través de investigaciones y



Figura 1. Bifaz encontrado en el yacimiento de la Sima de los Huesos (SH) de la sierra de Atapuerca. SH ha proporcionado más de 6.000 restos fósiles humanos del Pleistoceno medio (c. 500.000 años de antigüedad) y representa uno de los sitios más importantes de Eurasia para el estudio de la evolución humana. Este bifaz es la única herramienta encontrada en SH. Se trata de una pieza excepcional, fabricada cuidadosamente con un canto de cuarcita roja de una gran dureza y sin trazas de uso. Su presencia en el yacimiento encaja muy bien con la hipótesis de acumulación antrópica intencionada de cadáveres en SH o en otra cavidad próxima, cuyo interés para las investigaciones sobre el comportamiento de especies humanas pretéritas es extraordinario. Por ese motivo, el CENIEH adoptó un logo basado en este hallazgo trascendental de los yacimientos de la sierra de Atapuerca.

prospecciones, pasando por la realización de un conjunto de análisis científicos en los futuros laboratorios y la restauración y conservación de colecciones paleontológicas y arqueológicas, hasta la obvia publicación y divulgación de los resultados.

El CENIEH se constituyó el 10 de marzo de 2004, fecha en que el BOE y el BOCyL publicaron la firma de un convenio para la constitución del Consorcio para la Construcción, Equipamiento y Explotación del CENIEH. Esta fecha representa el comienzo oficial de las actividades del centro, pero también constituye el punto de convergencia de un recorrido plagado de numerosos acontecimientos, hallazgos, eventos culturales y publicaciones científicas que han marcado la comunidad científica española (y también internacional) a lo largo de los últimos treinta años.

La creación del CENIEH: un largo recorrido

La idea de constituir un centro de investigación sobre prehistoria y evolución humana nace en el seno del Equipo Investigador de Atapuerca (EIA) en los años ochenta del siglo XX, cuando el proyecto de investigación sobre los yacimientos de esta sierra burgalesa estaba bajo la dirección de Emiliano Aguirre. Debido a las circunstancias históricas de la ciencia española de aquellos años se pensaba en un proyecto modesto, quizá un laboratorio de campo con algunos investigadores y técnicos y en las proximidades de los propios yacimientos de la sierra de Atapuerca. A pesar de que hoy en día la idea nos puede parecer poco ambiciosa, en esos momentos sonaba casi a utopía la posibilidad de mantener una pequeña plantilla de científicos dedicados al estudio de la evolución humana. Los acontecimientos acaecidos en España durante buena parte del siglo XX habían liquidado la posibilidad de que nuestro país se sumara a los progresos en este ámbito de la ciencia de Alemania, Italia, Francia, o el Reino Unido, entre otros.

Los años noventa fueron extraordinariamente pródigos en hallazgos en los yacimientos de Atapuerca y en

resultados científicos por parte del EIA. En 1997, este equipo fue galardonado con el Premio Príncipe de Asturias, lo que fue crucial para los acontecimientos que se fueron precipitando desde entonces. La Junta de Castilla y León incrementó sus ayudas a las excavaciones anuales y, en 2000, se creó la Fundación Atapuerca con fondos públicos y privados. Como consecuencia, los resultados fueron cada año mejores y la influencia social de Atapuerca fue creciendo con rapidez. Los miembros del EIA seguían madurando la idea de crear un centro de investigación porque, en aquel momento, se disponía de un patrimonio arqueológico y paleontológico extraordinario y, sobre todo, el potencial en recursos humanos había crecido de manera exponencial.

Así llegamos al verano de 2000, cuando el recién elegido alcalde de Burgos, Ángel Olivares, mantuvo su primera reunión oficial en su despacho del ayuntamiento de la ciudad con los tres directores del EIA, Juan Luís Arsuaga, José María Bermúdez de Castro y Eudald Carbonell. Olivares mostró su gran interés en apoyar de manera firme y decidida todo lo que estaba sucediendo en Atapuerca y de ese modo nació el compromiso del Ayuntamiento de impulsar la construcción de un gran museo de la evolución humana y un centro de investigación.

Habrían de pasar los cuatro años de aquella legislatura para que las ideas fueran poco a poco tomando forma. Finalmente, esas ideas cuajaron en un ambicioso proyecto cultural que se desarrollaría en el llamado Solar de Caballería, a escasos 200 metros en línea recta de la Catedral de Burgos. Juan Navarro Baldeweg fue el arquitecto elegido para diseñar y llevar a cabo el proyecto. El Solar de Caballería, que en otros tiempos albergó un convento y unas instalaciones militares, se usaba entonces como un gran recinto de 24.000 metros cuadrados para el aparcamiento de autobuses y vehículos privados. El espacio permitía la construcción no sólo del museo y el centro de investigación, sino de un auditorio y palacio de congresos, equipamientos que no podían faltar en una ciudad como Burgos, que se asomaba con cierta timidez a los

retos del siglo XXI. Faltaba únicamente la financiación del proyecto.

En 2003, el entonces Ministerio de Ciencia y Tecnología y la Junta de Castilla y León decidieron aunar esfuerzos para acometer juntos el desarrollo del proyecto del centro de investigación. A tal efecto, se nombró por parte de las dos instituciones una comisión presidida por Gonzalo León, en la que se encontraban los responsables políticos implicados en el proyecto y varios científicos expertos en prehistoria y evolución humana: Valentín Villaverde Bonilla, Alfredo Pérez-González, Germán Delibes de Castro, José María Bermúdez de Castro y Jordi Agustí. Después de cuatro meses de intensas y productivas reuniones, se redactó una memoria que contenía los elementos básicos de la estructura científica y administrativa del futuro Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana, CENIEH. Esa memoria se publicó íntegramente el 27 de marzo de 2004 en el BOE y en el BOCyL, como resolución de 10 de marzo de 2004 de la Secretaría General de Política Científica, en la que se daba cuenta del convenio suscrito por el Ministerio y la Junta de Castilla y León para la constitución del Consorcio encargado de construir, equipar e iniciar el funcionamiento del CENIEH.

La memoria redactada por aquella comisión era muy detallada y contenía el compromiso de contratación de un elevado número de científicos y técnicos, así como del personal de gestión necesario para el funcionamiento del CENIEH. En ella se contemplaba el desarrollo de numerosas líneas de investigación punteras e innovadoras en paleoecología, paleobiología, geología y prehistoria, incluyendo laboratorios modernos y técnicas de estudio que permitieran abordar cualquier proyecto de carácter interdisciplinar. Los fondos destinados a este gran proyecto eran generosos y permitían abordar todos los gastos que pudieran producirse entre esa fecha y el 31 de diciembre de 2007, incluyendo la propia construcción de un edificio emblemático, que formaría parte del complejo arquitectónico diseñado por Juan Navarro. El día 5 de noviembre de 2004 se puso en marcha oficialmente el Consorcio con la primera reunión de su comisión ejecutiva y su consejo rector bajo la



En la actualidad está en marcha la construcción del edificio que albergará las instalaciones del CENIEH, mientras que un grupo todavía reducido de científicos y técnicos lleva a cabo sus investigaciones en una sede provisional de la ciudad de Burgos. La realización de las obras y el equipamiento de mobiliario, laboratorios y equipos científicos debería finalizar antes del verano de 2008, por lo que quizá en el último trimestre de 2008 será el momento en el que los miembros del CENIEH ocuparán las instalaciones definitivas. El edificio se ha diseñado con sobriedad y con la pretensión de insertarse de manera discreta en el conjunto de la ciudad. No obstante, la magnitud de la obra (que como decíamos más arriba incluye un gran centro de interpretación sobre evolución humana, el palacio de congresos y el auditorio), su luminosidad y marcado carácter vanguardista e innovador harán que este edificio no pase inadvertido para los visitantes de Burgos y será un punto de referencia de la arquitectura española. El edificio consta de cinco plantas y cuenta con unos 6.000 metros cuadrados útiles. Los espacios se han diferenciado bien para albergar las colecciones de prehistoria, los laboratorios y los gabinetes para los científicos, además de amplios espacios para el personal de gestión y los servicios del centro (figuras 2a y 2b).

La estructura científica del CENIEH

La filosofía que ha guiado la elaboración del modelo científico del CENIEH ha sido la búsqueda de la excelencia a través de la formación de grupos de investigación competentes en algunas de las diversas líneas de trabajo que actualmente se desarrollan en el ámbito de la evolución humana. Aunque el CENIEH es un organismo público, las diferentes posiciones tanto de científicos y técnicos como de gestión se obtienen por concurso de méritos, sin que ello conlleve la entrada en el cuerpo de funcionarios del Estado. Los contratos son indefinidos, es decir, los miembros del CENIEH podrían realizar su carrera científica y técnica en el centro, pero la prolongación de dichos contratos está sujeta a las evaluaciones periódicas realizadas por científicos

Figura 2. (a) Las obras del complejo del Solar de Caballería en octubre 2007, enmarcadas por las cúpulas de la Catedral de Burgos. El CENIEH se localiza al lado izquierdo del conjunto (flecha negra), mientras que el impresionante armazón metálico en el centro de la imagen (flecha roja) representa el esqueleto del futuro centro de interpretación sobre evolución humana. (b) Fotografía tomada en junio de 2007, en el que puede verse el estado de las obras del futuro edificio del CENIEH. El cartel a la derecha de la imagen ilustra la maqueta de todo el complejo del Solar de Caballería.

presidencia de la ministra de Educación y Ciencia, María Jesús Sansegundo, y en la que se nombraron el presidente de la comisión ejecutiva con funciones de gerencia, Enrique Plaza Fernández-Villa, y el primer director científico, José María Bermúdez de Castro.

Aquella primera reunión fue trascendental para el futuro desarrollo del CENIEH, ya que el secretario general de Política Científica del MEC, Salvador Barberá Sáenz, expresó su interés por asimilar la estructura científica de este centro nacional a otros

recién constituidos en Cataluña, que habían recibido la calificación de "centros de excelencia". Esa primera decisión supuso el reto de revisar en su integridad la memoria redactada en 2004, después de visitar y examinar la estructura de centros como el CRG (Centro de Regulación Genómica de Barcelona), el Consorcio para la Construcción del Síncrotrón de Barcelona y el ICIQ (Institut Català d'Investigació Química de Tarragona). El resultado de esta revisión, que constituye la actual estructura del CENIEH, se expone en el epígrafe siguiente.

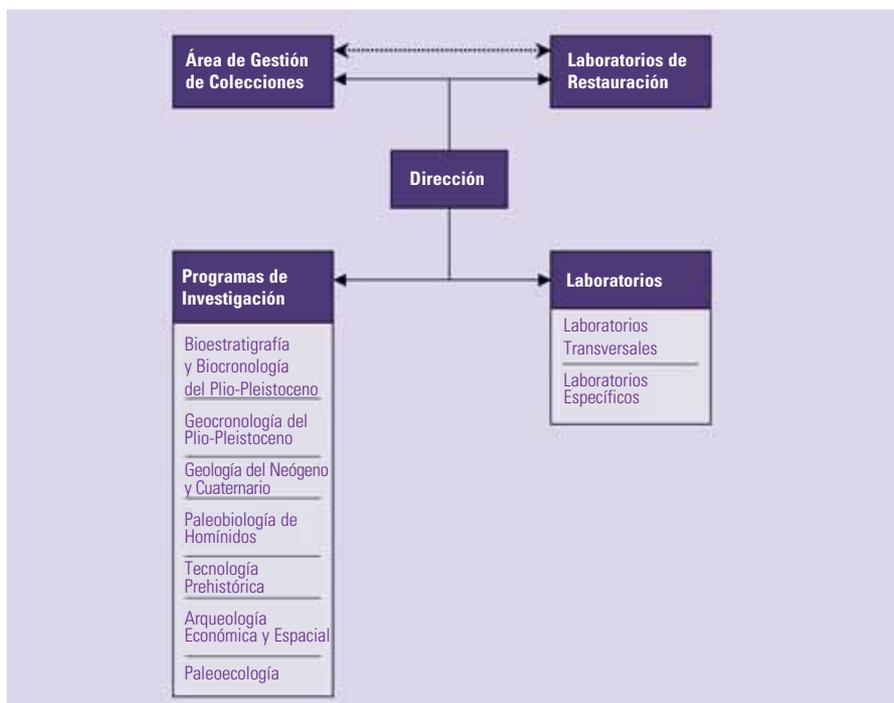


Figura 3. Esquema de la organización científica del CENIEH.



Figura 4. Maxilar de unos de los individuos (el llamado "Chico de la Gran Dolina") identificados en el hipodigma de fósiles humanos obtenidos del nivel TD6 del yacimiento de la Gran Dolina, en la Trincheras del Ferrocarril de la sierra de Atapuerca. Se trata de una de las piezas más importantes de las colecciones que custodiará y gestionará el CENIEH.

externos de reconocido prestigio internacional.

El CENIEH se estructura básicamente en siete programas científicos que incluyen uno o más grupos de trabajo (figura 3). Cada grupo desarrolla su propia línea de investigación, que se enraza en los ámbitos científicos relacionados con el estudio de la evolución de los homínidos.

Hasta el momento se han activado tres de los siete programas previstos. El Programa de Paleobiología de Homínidos, coordinado por José María Bermúdez de Castro, lleva a cabo investigaciones sobre los fósiles de homínidos con el objetivo de obtener información sobre la biología de las especies pretéritas. La taxonomía y la filogenia de esas especies forman parte de los objetivos del programa,

con el objetivo de proponer escenarios evolutivos coherentes con los datos que se manejan. En su estructuración interna, el programa incluye tres grupos de trabajo: Antropología Dental (figura 4), Paleofisiología y Sociobiología de Homínidos y Paleoneurobiología de los Homínidos. Los programas de Geología del Neógeno y el Cuaternario y de Geocronología del Plio-Pleistoceno han comenzado en septiembre de 2007 y se presentarán a continuación.

Los restantes cuatro programas se abrirán entre 2008 y 2009, con vista a completar el esqueleto estructural del CENIEH, siendo ellos los de:

- *Bioestratigrafía y Biocronología del Plio-Pleistoceno*, centrado en el estudio taxonómico y filogenético de micro y macrovertebrados —en particular de aves y mamíferos— con el objetivo de obtener información sobre la bioestratigrafía continental y biocronología del Neógeno y el Cuaternario.
- *Paleoecología*, que desarrollará estudios sobre la distribución y abundancia de las especies fósiles en relación con los factores bióticos y abióticos, la estructura de las comunidades biológicas y la paleoclimatología.
- *Arqueología económica y espacial*, que se enfocará a las cuestiones relacionadas con la subsistencia, demografía, organización social y modo de vida, ocupación del espacio y estrategias económicas de los homínidos del pasado.
- *Tecnología prehistórica*, que va a dedicar sus esfuerzos al estudio de los procesos técnicos y tecnológicos relacionados con la producción de útiles líticos, piezas cerámicas y otros materiales utilizados en la prehistoria, así como al análisis de las materias primas empleadas y la utilización y conservación de los objetos, incluyendo también una línea de investigación de arqueología experimental.

El programa Geología del Neógeno y el Cuaternario

La actuación de las Ciencias de la Tierra en el CENIEH se incluye en el desarrollo de dos programas que se han abierto en septiembre de 2007 y que se encuentran, por lo tanto, en

sus primeras fases de actividad en el momento de redactar estas líneas. Se trata de los programas de Geología del Neógeno y el Cuaternario y de Geocronología del Plio-Pleistoceno, coordinados por dos de los autores de esta contribución (D.E.A. y J.M.P., respectivamente). Estos dos programas se harán cargo de una serie de laboratorios, tanto específicos como compartidos entre los dos programas y otras áreas.

El programa de Geología del Neógeno y el Cuaternario tiene como objetivo esencial investigar los yacimientos arqueo-paleontológicos y su entorno desde una perspectiva geológica y proporcionar apoyo a los trabajos de prospección y excavación arqueológicas. En este sentido, el programa se configura como de ámbito esencialmente geoarqueológico, si nos ceñimos a la definición de geoarqueología como investigación arqueológica realizada empleando los métodos y conceptos de las Ciencias de la Tierra y que pretende, entre otras cosas, reconstruir el contexto —es decir, la matriz espacio-temporal— en que se hallan los restos arqueológicos. Desde luego, el papel de las Ciencias de la Tierra en el contexto arqueológico no se limita tan sólo a esto: como tuvo ocasión de escribir Andrew C. Renfrew, la arqueología —la prehistórica en particular— recoge la mayoría de sus datos a partir de excavaciones, lo que conlleva que cada cuestión arqueológica nazca como cuestión geoarqueológica. No sorprende entonces que, en la planificación de la estructura de un centro dedicado a la evolución humana, se haya puesto énfasis no sólo en las disciplinas más directamente relacionadas con este campo (como antropología, paleobiología o paleoecología), sino también en las contribuciones y aplicaciones de las geociencias, que pueden aportar informaciones valiosas para, entre otros:

- Comprender los procesos de formación de las estratificaciones arqueopaleontológicas.
- Estudiar el medio ambiente y el paisaje del pasado y sus modificaciones a lo largo del tiempo.
- Analizar las interrelaciones entre dinámicas naturales y culturales, así como la utilización de los recursos naturales y los resultados del impacto antrópico.
- Determinar la proveniencia de las materias primas usadas por los homínidos y la tecnología de manufactura de materiales y objetos arqueológicos.

En última instancia, la geoarqueología se configura entonces como la disciplina de frontera entre el mundo geológico y el sistema antrópico, procurando comprender las interrelaciones entre factores culturales y naturales a lo largo de la evolución humana.

En su articulación interna, el programa se organiza según las cinco temáticas principales de la Geología del Cuaternario y la Geoarqueología (sedimentos y estratificaciones; suelos; modelado; yacimientos; objetos arqueológicos), quedando estructurado en las líneas de investigaciones que se presentan a continuación.

Estratigrafía y medios sedimentarios del Cuaternario

Esta línea de investigación se propone realizar el estudio de los sedimentos neógenos y cuaternarios bajo una óptica estratigráfica y sedimentológica, con especial atención en los depósitos de medios continentales y costeros. Se ocupa también de la reconstrucción de secuencias, con la finalidad de poner los vestigios prehistóricos en su contexto estratigráfico y cronológico relativo y determinar las dinámicas de los medios sedimentarios cuaternarios, para alcanzar interpretaciones paleogeográficas, paleoambientales y paleoecológicas. Las herramientas metodológicas utilizadas son, en su mayoría, las clásicas de la sedimentología y estratigrafía, tales como: prospección de campo y levantamiento de secciones estratigráficas; análisis, clasificación y correlación estratigráfica; reconstitución de secuencias de alta resolución a escala regional y local; análisis de facies; análisis de la sedimentogénesis y diagénesis sedimentaria; estratigrafía secuencial; caracterización físico-química y geoquímica de sedimentos.

Edafología, paleoedafología cuaternaria y micromorfología

El análisis de suelos y paleosuelos, de su características, organización y distribución,

de los procesos de formación edafogenética, así como la reconstrucción del contexto edafoestratigráfico y la clasificación de perfiles de suelo, son los principales objetos de interés de esta línea de investigación. Estas tareas se desarrollan desde un punto de vista edafológico y paleoedafológico, para reconstruir el significado paleoclimático y paleoambiental de los procesos edafogenéticos neógenos y cuaternarios. Los métodos usados son los derivados de la edafología: levantamiento y prospección de campo; caracterización físico-química de suelos y horizontes de suelos; clasificación edafológica; *land evaluation*; análisis micromorfológico, ultramicroscópico y edafoquímico.

Geomorfología y dinámica cuaternaria

En esta línea de investigación se elaborará la tarea de analizar la organización del modelado del paisaje, determinar su evolución dinámica, reconstruir los procesos morfogenéticos y sus interrelaciones con los cambios climáticos y enmarcar los yacimientos arqueopaleontológicos en su contexto físico y ambiental. La aproximación es geomorfológica, con utilización y aplicación de un SIG para el análisis de paleopaisajes y para la producción de soportes cartográficos, bases de datos e información morfométrica. Las herramientas metodológicas abarcan también la prospección geomorfológica de campo, reconstitución paleogeográfica y paleoambiental, lectura e interpretación de fotografías aéreas y de imágenes de satélite y producción de DEM.

Geoarqueología de yacimientos cuaternarios

Si los puntos anteriores representan, de alguna forma, ámbitos de conocimiento tradicionales de la Geología del Cuaternario que se renuevan e implementan también gracias a la aplicación de herramientas cada vez más exactas y potentes, esta otra línea de investigación se plantea como una novedad, procediendo de los impulsos más recientes de la geoarqueología. La cuestión de la génesis de los sedimentos antrópicos



Figura 5. Ejemplos de la diferenciación de facies y materiales que pueden formar una estratificación arqueológica. (a) Parte del perfil del suelo neolítico de Encosta de Sant'Ana (Lisboa, Portugal), caracterizado por la presencia de artefactos líticos (en la parte baja de la imagen se ve un núcleo en sílex) embalados en una matriz edafogénica afectada por bioturbación, acumulación de carbonato de calcio y otros procesos posdeposicionales (escala=10 cm). (b) Paleosuperficie antrópica del Paleolítico superior final, c. 11.500 años ^{14}C , de Abrigo Dalmeri (Trento, Italia), con excelentes condiciones de conservación de los materiales arqueológicos (ancho visible c. 50 cm). (c) Estratificación neolítica del Mirador de Atapuerca (Burgos), formada por depósitos de residuos quemados acumulados durante la utilización del yacimiento como cueva-redil (foto EIA; escala 2 m).

ha sido tradicionalmente solucionada con modelos sencillos e inmediatos —utilizando conceptos como “nivel de ocupación”, “hoguera”, “conchero”, “concentración de artefactos”, etc.— que revelan la dificultad en concebir la complejidad de los procesos de formación en contexto arqueológico, donde se unen, sincrónica o diacrónicamente, dinámicas naturales y antrópicas que “crean” y modifican el registro arqueopaleontológico. El abanico de características que podemos apreciar en las estratificaciones arqueológicas es muy amplio: de horizontes de suelos prácticamente homogéneos donde se hallan vestigios dispersos a profundidades diferentes, pasando por paleosuperficies bien conservadas y elevada riqueza arqueológica, hasta potentes conjuntos de depósitos rítmicos con elevadísima variabilidad vertical y lateral (figura 5). El problema de cómo explicar e interpretar los sedimentos arqueológicos surge por la falta de instrumentos metodológicos, ya que herramientas tradicionales como, por ejemplo, el análisis de facies o la clasificación edafológica encuentran, en estos materiales, elementos atípicos que encajan con dificultad en su categorización. Una vez más, hace falta una aproximación interdisciplinar donde converjan aptitudes tan dispares como las estratigráficas, sedimentológicas, edafológicas, geoquímicas, etc. asociadas con modelos

interpretativos arqueológicos y antropológicos. Esta aproximación es la que regirá esta línea de investigación, que se propone descifrar los procesos de formación de las sucesiones arqueopaleontológicas, con la finalidad de comprender las interacciones dinámicas entre procesos naturales y antrópicos y alcanzar interpretaciones sobre la integridad de las asociaciones arqueopaleontológicas, su tafonomía y grado de conservación, y su representatividad. Desde el punto de vista metodológico, además de las técnicas tradicionales de campo y laboratorio, se utilizarán para esta tarea técnicas microscópicas y ultramicroscópicas, así como técnicas de química analítica y geofísica.

Materias primas y materiales antrópicos y arqueológicos

Esta última línea de investigación se ocupa del estudio de materiales antrópicos y arqueológicos bajo una perspectiva arqueométrica. Esta aproximación se plantea determinar el tipo y la procedencia de las materias primas utilizadas en la prehistoria, caracterizar de manera completa la física y química de los objetos arqueológicos y sus características de alterabilidad y conservación y establecer los procesos técnicos y tecnológicos de producción de artefactos, a través de la

utilización de métodos de caracterización petrográfica (figura 6), análisis geoquímico y microscópico.



Figura 6. Artefacto lítico en lámina delgada: se pueden reconocer las caras dorsal (arriba) y ventral (abajo) de la lasca/base positiva, obtenida a partir de sílex y cortada en sección aproximadamente transversal. Abric de la Catiuera (Tarragona), nivel 2B (Epipaleolítico), XPL, ancho de la base: 8 mm (los colores de interferencia anómalos se deben al elevado grosor de la lámina).

Las líneas de investigación descritas arriba se apoyan en un conjunto de laboratorios, algunos de ellos compartidos con otros programas del CENIEH, a saber: laboratorio transversal de preparación de muestras y especímenes, separación de minerales para análisis físico-químicos, de rayos X, geoquímicos y de geocronología y preparación de láminas y probetas para microscopía óptica y micromorfología; laboratorio de análisis de sedimento y suelos, donde se realizan los principales análisis físico-químicos; laboratorio de geoquímica y arqueometría, que incluirá equipamiento para difracción y espectrometría de fluorescencia de rayos X,

espectrometría infrarrojo y plasma de acoplamiento inductivo; unidad de topografía, cartografía y SIG; unidad transversal de microscopía óptica, utilizada por todos los programas del centro y que contará con microscopios estereoscópicos, de polarización y con focal láser; unidad transversal de microscopía electrónica y microanálisis, también a utilizarse de forma transversal. La instalación de los laboratorios empezará en 2008, fecha en que el CENIEH se trasladará de sus sedes provisionales al edificio definitivo.

El programa Geocronología del Plio-Pleistoceno

El objetivo fundamental del programa de Geocronología del CENIEH es llevar a cabo y focalizar las tareas conducentes a la ordenación temporal en yacimientos arqueológicos y paleoantropológicos. El desarrollo de estudios cronométricos y cronoestratigráficos en dichos yacimientos, neógenos o pleistocenos, conlleva el establecimiento de infraestructura analítica necesaria para la determinación de edades numéricas. El programa de geocronología ha de servir también para coordinar y potenciar nuevas líneas de investigación cronoestratigráficas y cronométricas, en general. Se contempla un departamento que desarrolle su propia investigación y que abastezca las necesidades y solicitudes de grupos o personas del país o extranjero. En este sentido, es importante resaltar que si bien algunas de las técnicas cronológicas del CENIEH existen ya en otros centros nacionales, nuestro objetivo es disponer de un centro que aglomere los principales métodos de cronología del Neógeno y el Cuaternario, y diseñarlos específicamente para problemas arqueológicos. Más importante, el centro será novedoso en cuanto a ofrecer la realización sistemática de varias técnicas de datación simultáneas de un mismo yacimiento. De otro lado, se implantarán nuevas técnicas cronométricas que no existen en nuestro país y que, sin embargo, tienen un gran valor desde el punto de vista arqueológico. Se incluyen las siguientes unidades de investigación, que corresponden a su vez a métodos de datación absoluta: Luminiscencia (térmica, óptica e infrarrojo), resonancia paramagnética electrónica, series del uranio-torio, núclidos

cosmogénicos, trazas de fisión y arqueomagnetismo.

La ordenación temporal de eventos y cuerpos sedimentarios no se puede realizar de forma aislada. Será muy importante también el integrar los aspectos cronológicos en un marco más amplio medioambiental. No tiene mucho sentido el estudiar y extraer implicaciones de dataciones de localidades fosilíferas sin emplazar estas en un contexto global. En los últimos años, hemos visto numerosos estudios que documentan, por ejemplo, de qué forma el clima ha condicionado migraciones. Es bien conocido que los registros marinos de variabilidad climática en el continente africano documentan un cambio hacia condiciones más áridas a partir de los 2,8 millones de años, cambio que probablemente es el resultado de la iniciación de los ciclos glaciales en el hemisferio norte. En consecuencia, hay que dar gran importancia a la implementación y refinamiento de las escalas cronológicas-patrón para el Plioceno y Pleistoceno, desde los vértices geológico, bioestratigráfico, cronométrico, medioambiental y paleoclimático.

Series de uranio

La datación mediante series de uranio se basa en el decaimiento de isótopos que son a la vez los productos del decaimiento de uno de los isótopos del elemento uranio. La denominación de "series de uranio" se refiere pues a que cada uno de los isótopos hijo es un miembro de una cadena de decaimiento o serie, que empieza con ^{238}U o bien con ^{235}U . Cada serie finaliza con un isótopo estable de plomo, ^{206}Pb y ^{207}Pb respectivamente. La desintegración de los isótopos de uranio a isótopos estables de plomo también constituye la base de un método de datación radiométrica pero, dada la lenta producción de plomo, a partir de uranio, el método no es aplicable a la escala temporal arqueológica. En cambio, la vida media de varios de los isótopos hijo del uranio es mucho más corta y, por lo tanto, estas son útiles para cronologías del Cuaternario. La parte analítica conlleva espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo, con multi-colectores (MC-ICP-MS, acrónimo del

inglés *multiple-collector inductively coupled plasma mass spectrometry*) y un laboratorio, incluyendo sala blanca, para la preparación de muestras.

Núclidos cosmogénicos

La Tierra está constantemente bombardeada por rayos cósmicos de alta energía cuyo origen se encuentra predominantemente en explosiones de supernovas en nuestra galaxia y en el Sol. La interacción de estos rayos cósmicos con los componentes de la atmósfera produce rayos secundarios de nucleones y muones. Al llegar a la superficie de la Tierra, estas partículas de alta energía penetran la superficie varios metros. Las consecuentes interacciones nucleares producen una serie de núclidos cosmogénicos. Por ejemplo, las reacciones de fragmentación de átomos como el silicio y el oxígeno del cuarzo producen isótopos inestables como el ^{10}Be y ^{26}Al . No ha sido hasta el desarrollo de los espectrómetros de aceleración de masas (AMS) que las técnicas basadas en núclidos cosmogénicos como el ^{10}Be , ^{26}Al y ^{36}Cl han ganado gran popularidad. Ello se debe a las pequeñas cantidades de núclidos cosmogénicos que son producidos en los minerales terrestres. Considérese que la producción de dichos núclidos cosmogénicos es, a nivel del mar y a una latitud de unos 60° , de 5.1 ± 0.3 átomos/gramo de cuarzo/año para el ^{10}Be y de 31.1 ± 1.9 átomos/gramo de cuarzo/año para el ^{26}Al . En el campo de ciencias del Cuaternario, estas técnicas han ganado aceptación muy rápidamente, al permitir la determinación de la antigüedad de superficies geomórficas, la cuantificación de procesos geomórficos en general y la antigüedad de enterramiento —este último de gran interés en arqueología—.

Métodos de datación mediante cargas atrapadas (ESR, TL, OSL)

Las llamadas técnicas de datación por cargas atrapadas incluyen resonancia paramagnética (o del espín) electrónica (ESR, acrónimo se su denominación inglesa *electron spin resonance*) y luminiscencia (TL y OSL, del inglés *thermoluminescence* y *optically stimulated luminescence*). Los dos métodos han jugado sin duda un papel vital en el establecimiento de cronologías en

arqueología y, en general, en el Cuaternario. Esto es especialmente cierto para periodos de tiempo que otros métodos “clásicos”, como el ^{14}C , no alcanzan. Habitualmente, ESR se utiliza para la datación de esmalte dental y TL u OSL en sedimentos y artefactos líticos quemados y cubren un espectro de pocos miles a unos dos millones de años.

El principio general de los métodos de cargas atrapadas es la acumulación de electrones y huecos en defectos cristalinos de minerales, por efecto de una débil radiación natural. Los electrones de los átomos constituyentes de sólidos como cristales ocupan ciertos niveles de energía (estados cuánticos). El estado fundamental —de menor energía—, en el que se encuentran los electrones, se denomina banda de valencia. La siguiente banda de energía permitida se denomina banda de conducción. Con determinada estimulación externa, electrones de la banda de valencia pueden ser lanzados a la banda de conducción.

Es necesario que exista en primer lugar un proceso para la “puesta a cero el reloj”, bien por calentamiento (por ejemplo cerámica o sílex quemado), bien una precipitación mineral (por ejemplo una formación espeleotémica), o bien por exposición a luz natural (por ejemplo granos de cuarzo en la arena de playa). Todos estos procesos, en principio, liberan cualquier electrón previamente atrapado, blanqueando de esta forma el mineral. Inmediatamente después de esta “puesta a cero del reloj”, nuevos electrones y huecos son atrapados en defectos cristalinos debido a radiación natural de pequeñas concentraciones de uranio, torio y potasio. En consecuencia, con el transcurso del tiempo, y si la radiación natural no cesa, la intensidad de la señal natural (ESR o luminiscencia) aumenta. El objetivo básico en el laboratorio es precisamente determinar la intensidad de la señal natural al recoger la muestra. Para ello, la muestra se irradia con dosis de valor conocido progresivamente más elevadas, generando así mayor número de electrones atrapados y, en consecuencia, una intensidad de la señal cada vez mayor. La intensidad de la señal medida se representa en función de la dosis aplicada y, a partir de los datos, se determina, por extrapolación, la dosis equivalente para una intensidad de la señal inicial cero. El tiempo transcurrido desde el blanqueo o puesta a cero viene dado

por el cociente entre la dosis equivalente (DE) y la tasa de dosis.

Trazas de fisión

Las llamadas trazas o huellas de fisión son zonas de intenso daño formadas por el paso de fragmentos de fisión a través de un sólido. Dado que la fisión espontánea del ^{238}U ocurre a un ritmo conocido, la edad de un mineral puede determinarse a partir de la concentración en uranio y del número de trazas de fisión. La fisión del átomo de ^{238}U produce la eyección de dos núcleos-hijo (los llamados fragmentos de fisión) en sentido contrario y libera energía. La circulación de esas dos partículas arranca electrones de átomos y, después de su paso, dejan una zona de iones positivos que se repelan entre sí. En consecuencia, la fisión provoca a lo largo de su trayecto un defecto en la estructura cristalina debido a repulsiones electrostáticas. Dicha traza o huella latente es observable mediante microscopía. Las longitudes son de 10 a unas 20 micras y el diámetro no supera típicamente las 0,01 micras. La larga vida media del ^{238}U requiere una concentración relativamente alta de uranio a fin de generar una densidad de huellas que puedan contarse con certeza, idealmente del orden superior a diez por centímetro cuadrado. Esto se da típicamente en materiales con una edad de más de cien años con una concentración de uranio $>1\text{ppm}$.

El número de huellas dependerá de la concentración inicial de uranio y del tiempo. La puesta a cero del reloj cronométrico ocurre por calentamiento del mineral en cuestión y es de unos $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ para el apatito, unos $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ para el circón y de unos $380\text{--}420\text{ }^{\circ}\text{C}$ para la esfena. Las huellas de fisión se observan en minerales que típicamente contienen uranio, como el circón, apatito, esfena y vidrio.

Arqueomagnetismo

La base de los métodos arqueo y paleomagnetismos estriba en las propiedades ferromagnéticas de algunos minerales, principalmente óxidos de hierro, que son capaces de orientarse según el campo magnético en el momento de su formación y permanecer así “bloqueados” hasta el presente. Mediante la determinación de la orientación de los minerales ferromagnéticos,

es posible inferir propiedades del campo geomagnético en el pasado (posición del polo geomagnético y, en ciertos casos, magnitud del campo). Mediante la comparación de los resultados con escalas patrones se puede hacer una estimación sobre la edad del depósito en estudio.

El conjunto de cambios temporales del campo geomagnético es conocido como variación secular, los cuales, de estar calibrados temporalmente, pueden utilizarse como una herramienta de cronología en materiales arqueológicos, bien con base en la orientación o en la intensidad del campo. De todas formas, la propiedad intrínseca más característica del campo geomagnético es, sin duda, los cambios o inversiones de polaridad. La historia de las inversiones de polaridad está bien establecida para los últimos 190 millones de años a partir del registro de las anomalías magnéticas oceánicas y ocurren a un promedio de una cada medio millón de años. El cambio de polaridad geomagnética más reciente y globalmente observado ocurre a los 0,78 Ma y se conoce como Límite Matuyama/Brunhes (LMB), que coincide con el Límite Pleistoceno inferior/ medio. Con posterioridad a esta fecha, hay por lo menos tres periodos cortos de inversión conocidos (Mono Lake, Lachamps y Blake a 28, 41 y 115 ka, respectivamente) y posiblemente algunas más excursiones geomagnéticas.

Conclusión

El CENIEH ha nacido con el objetivo de convertirse en un referente internacional en el ámbito de la prehistoria y la evolución humana. La situación actual de la ciencia española, y en particular de dicho ámbito científico, invitan al optimismo. Si durante años las investigaciones sobre prehistoria tuvieron un alcance muy limitado y se redujeron a grupos muy concretos especialmente en Cantabria, Cataluña y el País Vasco, debido sin duda a la influencia de Francia, en la actualidad la producción científica se encuentra al mismo nivel que en este último o en el Reino Unido. Proyectos como el del CENIEH permiten dar soporte tanto a investigadores españoles con una destacada proyección en sus respectivas líneas de trabajo como a buenos investigadores de otros países. La mutua influencia será muy beneficiosa para todos.

¡Atención!

Cimentación en ejecución

En este artículo se pretenden plasmar algunos contratiempos que se pueden ocasionar en el proceso de ejecución de excavaciones y cimentaciones. Problemas geotécnicos derivados de anomalías encontradas durante las excavaciones del terreno no esperadas o por cimentar en terrenos difíciles, en especial con pendientes o en laderas. Igualmente se mostrarán descuidos o errores constructivos.

Texto | Carlos J. de Miguel Jiménez de Embún, geólogo,
Departamento de Control Geotécnico INTEINCO S.A.
carlosj.demiguel@gmail.com

Palabras clave
**Cimentación, geotecnia, excavaciones,
pantallas, losas, zapatas.**

En el contenido del artículo se recogen distintos casos de problemas geotécnicos, algunos de ellos derivados de malas prácticas constructivas, agrupados según el proceso constructivo y el sistema de cimentación. Con ello se quiere poner de manifiesto los errores que a veces se cometen para evitar peligros y posibles colapsos.

Excavaciones

Al comenzar una obra, lo primero que se realiza es la excavación del solar, pudiéndose encontrar con sorpresas no detectadas previamente en el reconocimiento del terreno.

En obras urbanas, especialmente en los cascos antiguos de las ciudades, es común la aparición de galerías, antiguos pozos y bodegas realizados a lo largo de la historia de la ciudad (*figura 1*).

A veces, ocurre lo mismo con espesores importantes de rellenos antrópicos no detectados previamente. En muchas ocasiones, las zonas de nueva ocupación de las ciudades sirvieron como escombreras de las edificaciones realizadas en su interior. Este es el caso mostrado (*figura 2*).

Incluso puede aparecer, como se observa en la *figura 3*, una galería de una antigua mina de sílex realizada a mano. Esta galería presentaba bastante estabilidad sin ningún tipo de entibación o sujeción.



Figura 1. Antigua galería.

Siguiendo con las excavaciones y cimentaciones de edificaciones en el ámbito urbano, mostraremos algunas curiosidades debidas a malas prácticas constructivas y algún obstáculo no esperado, diferenciado por distintos elementos constructivos.

Lo más recomendable cuando hay edificios medianeros o viales, o cuando la excavación excede de los 4 m, es la ejecución de una pantalla continua o discontinua para su contención.

Pero también es habitual, para evitar esta afección, realizar la excavación mediante bataches. Los bataches tienen como objeto efectuar la excavación en pequeños

tramos, con una separación de 2 a 2,5 m y, con edificaciones medianeras, no se debe dejar nunca al descubierto la cimentación colindante. En la *figura 4* se muestra cómo un batache dejó al descubierto la zapata completa del edificio medianero. En este caso el batache no debería haber descubierto más de la mitad de la zapata de dicha edificación.

Deslizamientos de taludes

Si los taludes generados por la excavación son de mucha altura, se hace necesario estudiar la estabilidad de los taludes originados de acuerdo con su estratigrafía y parámetros geotécnicos (cohesión, ángulo de rozamiento y densidad).



Figura 2. Rellenos antrópicos.

En la *figura 5* se puede ver el desprendimiento de un talud de excavación que produjo la caída de la acera y afectó a las instalaciones de servicios. El armado del muro estaba en ejecución y quedó destrozado.

En las zonas de nueva urbanización suelen disponerse bajo las aceras las canalizaciones de instalaciones entre camas de arenas sueltas o en zanjas con rellenos no compactados, cuya estabilidad es mucho más deficiente que el resto del terreno, siendo habituales los desprendimientos de estas zonas.

También se pueden ilustrar distintos ejemplos de deslizamiento de ladera producidos en taludes de excavación tanto en suelo como en roca por no atender al riesgo potencial (*figuras 6, 7 y 8*). El análisis de estabilidad de taludes y laderas requiere un estudio específico en el que se modelicen los distintos tipos de rotura atendiendo a la estratigrafía del terreno utilizando métodos de cálculo de equilibrio límite o tensodeformacionales.

Entre los condicionantes geotécnicos existentes a la hora de cimentar se encuentra la fuerte pendiente del terreno, siendo muy común en las zonas costeras interiores.

Para poder cimentar en estas condiciones se recurre a una cimentación escalonada, como

la mostrada en la *figura 9*, que favorece la disminución del riesgo de deslizamientos.

También se realizan terraplenados y desmontes para posteriormente rellenar y confeccionar una plataforma donde se ubicará la edificación. Estos terraplenes se contienen con distintos tipos de muros. Uno de los más comunes es mediante el muro de escollera.

Los muros de escollera deben ir cimentados en un sustrato resistente y seguir unas recomendaciones en su ejecución en cuanto

al trabado de los bloques, contrainclinación, tolerancia entre bloques o colocación de material filtrante en el trasdós. Si no se tienen en cuenta algunos de estos aspectos, la estabilidad del muro estará en peligro y, con ello, toda la obra.

En las *figuras 10, 11, 12 y 13* se puede observar la caída de un muro de escollera y las líneas de rotura producidas en el terreno. El riesgo aumenta en este caso cuando la caída de los bloques pudiera afectar a edificaciones colindantes.

El relleno del trasdós del muro después de unas lluvias intensas cambió sus condiciones, asentando y aumentando el empuje sobre el muro provocando la caída del muro y el asiento de la cimentación del edificio situado en el trasdós.

En el siguiente, se descalzó el pie de la ladera sobre la que se emplazaba la vivienda, dando origen a un deslizamiento del terreno. En la fotografía se observan las grietas o marcas de los círculos de deslizamiento en cabeza. Estos movimientos del terreno pueden producir grandes destrozos en edificaciones ya terminadas (*figura 14*).

Pantallas

Durante la construcción de pantallas discontinuas de pilotes, también son frecuentes los errores constructivos.



Figura 3. Galería minera antigua.



Figura 4. Batache dejando al descubierto una zapata.



Figura 5. Batache que deja al descubierto una zapata del edificio colindante.



Figura 6. Desprendimiento de un talud durante la ejecución del armado del muro.



Figura 7. Deslizamiento de un talud en suelo.

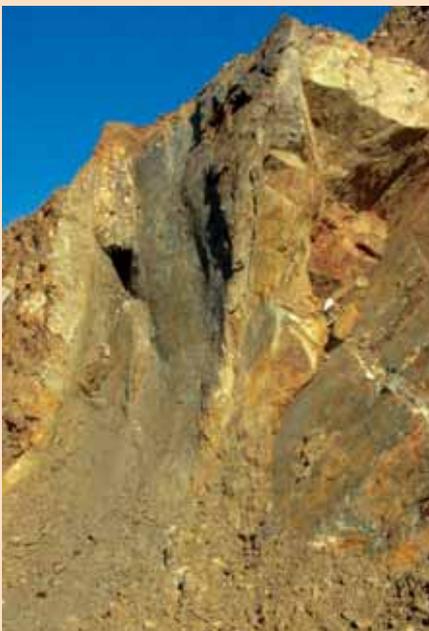


Figura 8. Desprendimiento de un talud en roca.



Figura 9. Cimentación escalonada en una ladera de fuerte pendiente.

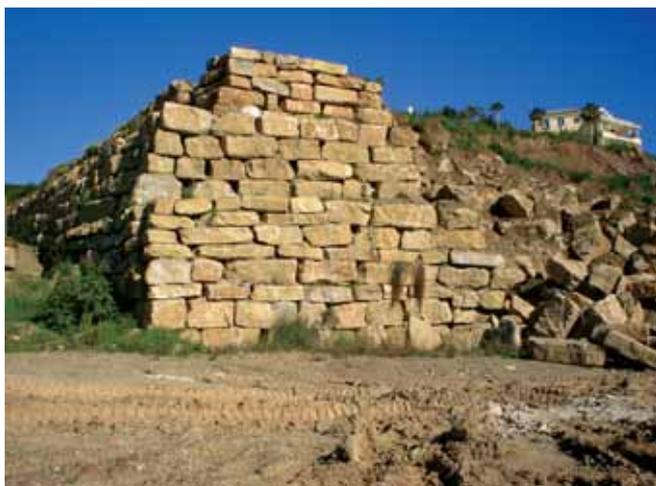


Figura 10. Muro colapsado.



Figura 11. El mismo muro de la figura anterior, visto desde el lateral.

Lo muestran las siguientes fotografías. Una vez ejecutados los pilotes de una pantalla, estos se arriostran mediante una viga de coronación antes de proceder a la excavación. Las dimensiones y armado de la viga de coronación viene condicionada por los esfuerzos a los que están sometidos. En esta pantalla no se ha dispuesto viga de coronación (figura 15).

En la figura 16, un pilote de la pantalla ha atravesado una cimentación antigua.

Para garantizar la estabilidad de la pantalla en fase de excavación y antes de que se ejecuten los forjados que la arriostren se recurre a la ejecución de anclajes, normalmente activos (ejercen

una acción estabilizadora desde el primer momento de su puesta en obra). Una vez ejecutados los forjados estos anclajes se destensarán.

Entre las partes en la que se subdivide un anclaje, la cabeza del mismo tiene la función de transmitir el esfuerzo a la pantalla. La cabeza desde la que se tensa y fija el cable apoya en la pantalla en una placa de reparto que suele ser metálica. La placa de apoyo debe nivelarse bien a la pantalla mediante mortero. La siguiente placa de reparto no está colocada adecuadamente (figura 17).

En la fotografía de la figura 18 se observa un pilote de la pantalla sin hormigonar. Ante la dificultad de perforar la roca, los pilotes de esta pantalla ni siquiera se han

terminado (figura 19) y uno de ellos se ha desviado en su ejecución.

Zapatas

En la figura 20 se muestra el descalce de una zapata ejecutada al borde de un talud de excavación. A consecuencia de unas lluvias intensas el agua lavó los finos del terreno, lo que produjo un deslizamiento del mismo.

Sobre un talud en roca las zapatas también pueden deslizar. En este ejemplo se produjo una rotura en cuña, siendo el deslizamiento paralelo a la línea de intersección entre dos discontinuidades del macizo rocoso. Este deslizamiento (figura 21) provocó el descalce de la cimentación, apareciendo daños en la fábrica de ladrillo. El desencadenante de estos descalces suelen ser los cambios de las propiedades geomecánicas del suelo o roca debido a la entrada de agua. Para evitar estos sucesos conviene realizar un muro de contención lo antes posible con unas medidas de drenaje adecuadas.

El apoyo de esta zapata se produce en un terreno con pendiente y con cimentaciones a distintas alturas siendo obviamente deficiente y no ofreciendo garantías (figura 22).

A continuación se muestra el pilar de una zapata que está claramente descentrado (figura 23).

En el caso de la figura 24, no se cumple el recubrimiento mínimo de la armadura



Figura 12. Marcas de deslizamiento en el trasdós de un muro de escollera.



Figura 13. Caída de bloques de escollera en el frente del muro.



Figura 14. Destrozos provocados por un deslizamiento en una vivienda.



Figura 15. Pantalla sin viga de coronación.



Figura 16. Pilote atravesando una cimentación antigua.



Figura 17. Placa de reparto mal colocada.



Figura 18. Pilote sin hormigonar.



Figura 19. Pilotes sin terminar.



Figura 20. Descalce de zapata.



Figura 21. Deslizamiento que descalza la cimentación.



Figura 22. Apoyo deficiente de la zapata.



Figura 23. Pilar descentrado sobre zapata.



Figura 24. Ausencia de recubrimiento en la armadura de la zapata.



Figura 25. Cajeados sobre un relleno incompetente.



Figura 26. Introducción errónea de una lámina de porexpán para evitar la expansividad.



Figura 27. Losa en voladizo.

de la zapata quedando la armadura literalmente empotrada en el terreno sin el recubrimiento mínimo y sin garantías de durabilidad.

En la fotografía de la *figura 25* se pueden realizar dos comentarios. El cajeadado y apoyo de la zapata corresponde a un relleno sobre el que no se debe cimentar en ningún caso. Además, el área de influencia de la zapata afecta al muro contiguo. Este muro de pequeñas dimensiones tendría que estar dimensionado para soportar la sobrecarga lateral.

Para evitar la expansividad de un terreno existen distintas recomendaciones, pero ninguna de ellas es introducir una lámina de porexpán debajo de la zapata. Podría ser peor el remedio que la enfermedad e inducir a asentamientos no admisibles (*figura 26*).

Losas

En la *figura 27*, la losa de la vivienda se ha quedado en voladizo y con un apoyo deficiente en un muro de escollera cuya función no es la de servir de apoyo a una estructura. Además, la losa tendrá apoyos diferenciales, desconociendo el comportamiento de la interacción suelo-estructura-muro. De la misma manera, el

muro no presenta garantías de cara a su estabilidad ya que, como se ha dicho anteriormente, el muro debe presentar una contrainclinación y el trabado de los bloques y su apertura deben cumplir unas especificaciones determinadas.

La losa de la *figura 28* se ha fisurado antes de continuar con la ejecución de la estructura.

Conclusiones

Ante todo lo aquí expuesto se puede concluir que, en algunos casos, las patologías derivadas de la cimentación pueden surgir en el mismo inicio de la obra y, en otros, manifestarse incluso sin que se haya terminado ni siquiera la cimentación.

Salvo las deficiencias de ejecución, muchas causas de estas problemáticas se pueden evitar estudiando adecuadamente el terreno mediante un buen estudio geotécnico recopilando los antecedentes de la zona. Otras, como la aparición de galerías, pozos o cimentaciones antiguas requerirían un reconocimiento tan exhaustivo que en la práctica no es habitual realizar dado el carácter puntual y de muestreo de un estudio geotécnico. Por ello, siempre es conveniente que un técnico experto compruebe las



Figura 28. Losa fracturada.

excavaciones y las condiciones de cimentación antes de ejecutarla. Lo que invertamos en ello nos puede salvar de grandes problemas que requieren a posteriori siempre un coste elevado y tienen una difícil solución.

Agradecimientos

A Begoña Muñoz Martín, jefe del departamento de Control Geotécnico por sus sugerencias, comentarios y revisión del texto.

Facilitando las cosas 3

Cálculo gráfico de volúmenes de cuerpos definidos por cuatro planos

En proyección estereográfica es sencillo y rápido representar planos y líneas en el espacio y medir sus relaciones angulares. Por ello, puede utilizarse con construcciones auxiliares para el dibujo de unidades de rocas definidas por planos, manteniendo sus proporciones y relaciones geométricas reales. Ello permite medir con facilidad el volumen y el área de las caras de estos cuerpos.

Texto | Carlos Manera Bassa, geólogo,
MMInstrumentos, S.L.

Palabras clave
Cálculo volumen, proyección estereográfica, mecánica de rocas.

Una operación relativamente frecuente es el cálculo de volúmenes de suelos y rocas en excavaciones, yacimientos minerales, canteras, zonas de prestamos en obras lineales, etc. El procedimiento habitual suele ser la realización de plantas y secciones transversales en número suficiente para cubicar adecuadamente la unidad objeto de estudio.

En muchas ocasiones, el volumen que se necesita obtener está definido por planos con diferentes orientaciones en el espacio; la cara de la excavación, fracturas, planos de estratificación, contactos litológicos. En mecánica de rocas, se utiliza profusamente la proyección estereográfica bien como herramienta de cálculo en sí misma o como ayuda para realizar otras construcciones gráficas con proyecciones ortogonales, Goodman (1976). Se utilizan frecuentemente métodos gráficos, partiendo de representaciones estereográficas, para definir y medir unidades de roca que pueden movilizarse en túneles (Hoek et al., 1980) y desmontes. Esos tipos de análisis, rápidos y sencillos, pueden aplicarse a muchas otras situaciones, como por ejemplo, al estudio de la forma y volumen de bloques *in situ* de rocas ornamentales.

El método parte de un dibujo en proyección estereográfica. Su interés radica en su sencillez y los reducidos elementos que se precisan para realizarlo: papel, lápiz, una falsilla estereográfica, tabla de senos-cosenos, regla, escuadra y cartabón. Los datos de partida que se precisan son los datos estructurales habituales en los reconocimientos geológicos. Este procedimiento permite visualizar la unidad de roca que se está midiendo, aspecto siempre de primera importancia.

Cualquier cuerpo convexo, cerrado, definido por caras planas puede descomponerse en pirámides, que pueden analizarse posteriormente de forma individual. En las pirámides, todas las caras son planos con orientaciones en el espacio diferentes. Pueden definirse también otros poliedros con una o varias caras paralelas entre sí, es decir, con el mismo plano repetido.

Se trata pues, como método básico, del cálculo del volumen y áreas de las caras de una pirámide. El procedimiento lo aplicaremos a la geometría general más sencilla: una pirámide irregular de base triangular, tetraedro irregular. Un tetraedro consta de cuatro caras triangulares, seis aristas y cuatro vértices; cada arista está definida y compartida por dos caras del tetraedro.

El procedimiento general es el siguiente:

- Dibujo del cuerpo, tetraedro, en su posición (orientación) real en el espacio.
- Medida, en ese dibujo, de los elementos que se precisen para calcular su volumen o el área de su superficie.
- Cálculo de su volumen o área, en la escala del dibujo.
- Obtención de la relación de escalas cuerpo real/dibujo.
- Con la relación de escalas cuerpo real/dibujo y el volumen o área ya calculado en el dibujo, obtención del volumen o área real del cuerpo.

El dibujo del tetraedro lo realizaremos en planta utilizando como herramienta la proyección estereográfica. Obtendremos con esa herramienta también los ángulos que se precisan en los cálculos subsiguientes.

El modus operandi se expone mediante un ejemplo con un caso muy común: el cálculo del volumen de una "cuña" de roca definida por dos discontinuidades en el talud de un desmonte.

La "cuña" del ejemplo está definida por cuatro planos: el del talud T, dos discontinuidades mecánicas, planos

Tabla 1. Datos de los planos del ejemplo

Denominación	Dir. de buz	Buz
T	1	281
A	2	256
B	3	25
C	4	269

A y B y la superficie superior del terreno que asimilaremos a un cuarto plano C. En la tabla 1 se indican las orientaciones de los cuatro planos que definen la cuña del ejemplo. Los planos se definen por su orientación en el espacio: dirección de buzamiento y buzamiento. En las figuras de esta nota se emplea el hemisferio inferior en las representaciones; el diámetro de la falsilla estereográfica empleada en los dibujos originales es de 180 mm.

Los pasos del cálculo son los siguientes:

1. Dibujo en proyección estereográfica (figura 1), de los cuatro planos 1, 2, 3, 4. En ese dibujo se obtienen las intersecciones de los cuatro planos, puntos 12, 13, 14, 23, 24, 34. Esos puntos se corresponden con las direcciones e inmersiones (ángulo con la horizontal) de las seis aristas que definen la cuña: tres están en el plano T del talud; 12, 13 en la cara del talud y 14 línea de coronación del talud; dos en el plano del terreno 23 y 24 y la intersección o eje de la cuña 23 en el interior del terreno.
2. Dibujo de las líneas que enlazan las intersecciones con el centro de la proyección (figura 2). Esas líneas, aristas, son las líneas base del dibujo. Sus direcciones en el papel de la proyección son sus direcciones reales en planta de las aristas. Su inclinación en el espacio es la inmersión de cada línea en el dibujo, dato que podemos medir directamente en la falsilla estereográfica. Las direcciones de las aristas, como están definidas en el papel, se puede dibujar —en el mismo papel del dibujo estereográfico— en planta, sin dificultad, como se indica a continuación.

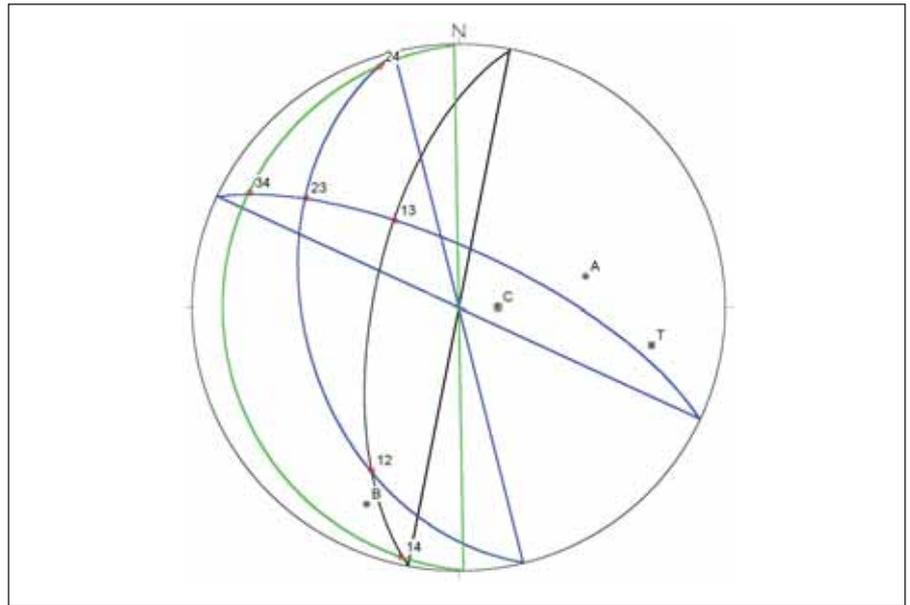


Figura 1. Representación estereográfica de los planos.

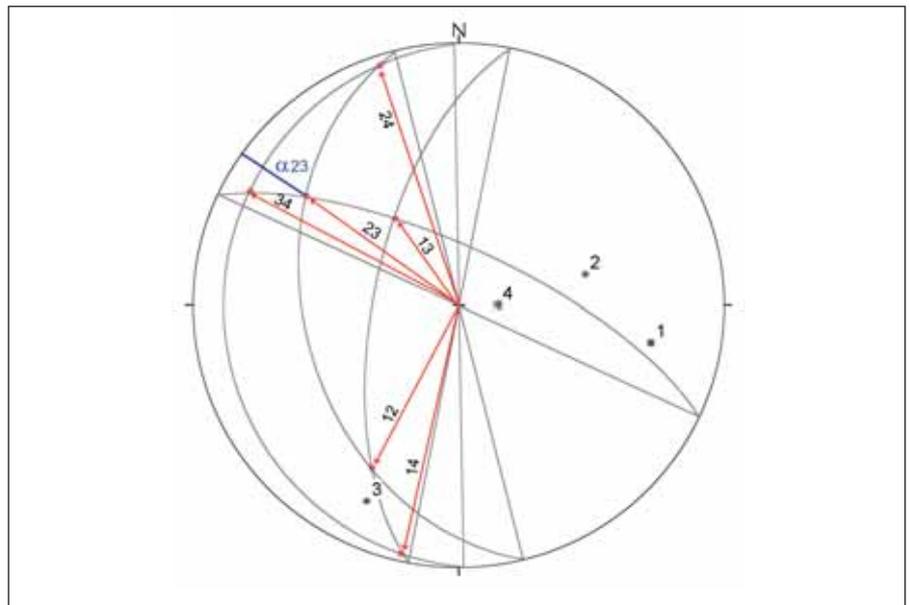


Figura 2. Líneas de intersección de los planos.

3. Partiendo del punto de intersección de los planos 2 y 3 —extremo de la intersección de la cuña— (figura 3) punto M, prolongar esa intersección hasta un punto del borde del papel: punto arbitrario N.
4. Desde el punto N se dibujan dos líneas paralelas a las dos aristas 24, 34 del plano del terreno.
5. Desde el punto M, extremo de la intersección (u otro arbitrario cualquiera que queramos de esa línea), dibujar dos líneas paralelas a las aristas situadas en la cara del talud 12 y 13 hasta que

corten a las líneas 24 y 34 ya dibujadas en el paso anterior. Obtendremos así los puntos P y Q que, con los dos anteriores M y N, forman los vértices de la pirámide (figura 3).

6. Desde cualquiera de los dos puntos P o Q obtenidos en el paso anterior, trazar una línea paralela a la intersección 14. Dicha paralela debe enlazar los dos puntos P y Q. El mejor o peor encaje de este paso nos proporciona una referencia de la bondad o exactitud del dibujo realizado.

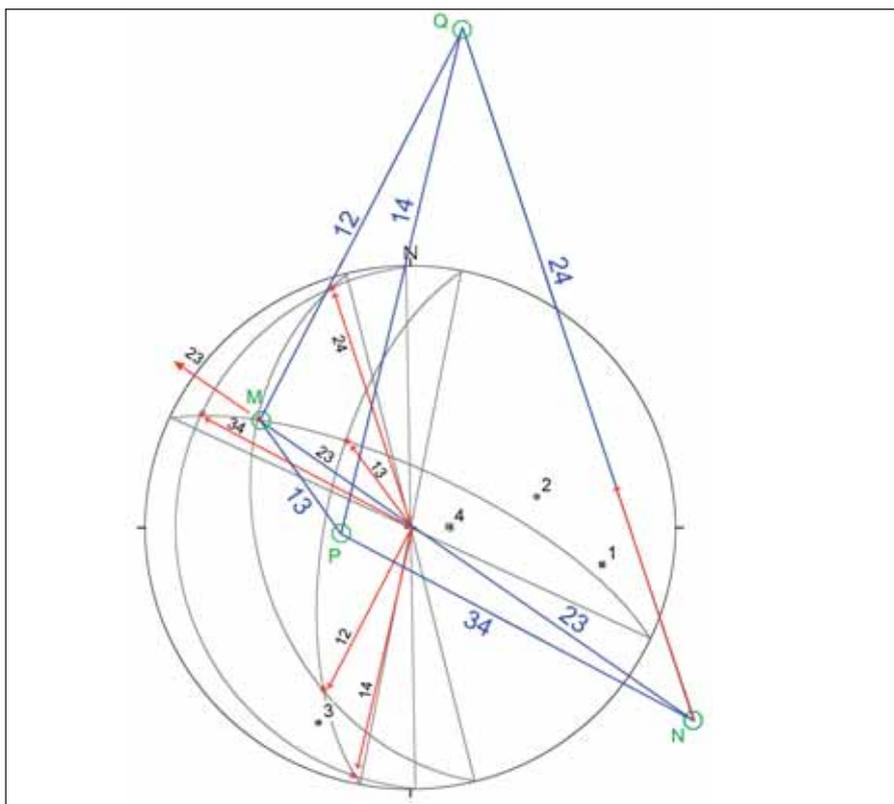


Figura 3. Dibujo de la pirámide.

7. Medida de las inmersiones y longitudes en el papel de las seis aristas de la pirámide y cálculo de las longitudes reales de las aristas en el espacio. Disponemos (figura 3) de un dibujo en planta de la cuña. Su tamaño es el que nos ha salido en milímetros en el papel, dado que no hemos fijado la distancia inicial entre los puntos de partida del dibujo M y N, si bien puede hacerse también de esa forma. En el dibujo en proyección estereográfica podemos medir el ángulo de inmersión de todas las aristas; por ejemplo el de la arista 23 es $\alpha_{23}=29^\circ$ (figura 2). Igualmente, podemos medir en el papel en milímetros las longitudes "en planta" de todas las aristas; la longitud de la arista 23 es $23'=180$ mm. Sus longitudes reales, las que tienen en el espacio, se obtienen del coseno del ángulo de inmersión de cada arista:

$$23 = \frac{23'}{\cos(\alpha_{23})}$$

donde 23' es la longitud en milímetros de la arista en el dibujo en planta, α_{23}

el ángulo de inmersión de esa arista y 23 la longitud real en milímetros en el espacio de la arista.

En la tabla 2 se indican los valores obtenidos por este procedimiento de todas las aristas.

Tabla 2. Ángulo de inmersión y tamaño en milímetros de cada arista			
Artista	Inmersión (°)	Longitud de la artista (mm)	
		En el papel	En el espacio
12	30	149	172,050
13	56	48	85,838
14	3	176	176,242
23	29	180	205,804
24	4	247	247,603
34	10	137	139,113

8. Cálculo del área de las caras. Conocidas las longitudes de los tres lados (a, b, c) de un triángulo, su área es inmediata partiendo del semiperímetro del triángulo.

$$p = \frac{a+b+c}{2}$$

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$$

Tabla 3. Áreas de las caras de la pirámide en mm²

Plano	Lados triángulo	Semi-perímetro	Área (mm ²)
1	12,13,14	217,065	7.234,986
2	12, 23, 24	312,729	17.502,988
3	13, 23, 34	215,378	4.513,414
4	14, 24, 34	281,479	11.952,437

9. Cálculo del volumen de la pirámide en mm³. El volumen de una pirámide es un tercio del área de su base por su altura.

Como base de la pirámide puede emplearse cualquier cara, dado que la pirámide analizada es un tetraedro. Por ser la mas cómoda, emplearemos la cara C terreno, plano 4. Su área ya la hemos calculado (tabla 3).

La altura de la pirámide, considerando como base el plano 4, es la distancia del punto M extremo de la intersección 23 medida normal a su base, plano 4, es decir, en el dibujo estereográfico: medida en el plano que contiene a los puntos M y el polo del plano 4. Lo anterior es así por ser perpendicular al plano C, cualquier plano que contenga el polo de ese plano. Nos interesa concretamente el que contiene a la intersección 23. Se traza dicho plano en el papel del dibujo, traza que pasa por M y C. Se mide "en dicho plano" el ángulo entre la intersección 23 y el plano C (figura 4), su valor es, en nuestro ejemplo, 20°.

La altura de la pirámide en milímetros es:

$$h = \text{arista } 23 * \text{seno}(\beta)$$

$$h = 205,804 * \text{seno}(20) = 70,3890 \text{ mm}$$

El volumen en mm³ es pues:

$$V = \frac{1}{3} * h * S$$

$$V = \frac{1}{3} * 70,389 * 11.952,437 = 280.440,029 \text{ mm}^3$$

10. Cálculo del volumen en m³ y las áreas de las caras en m². Para esta operación se necesita la relación que

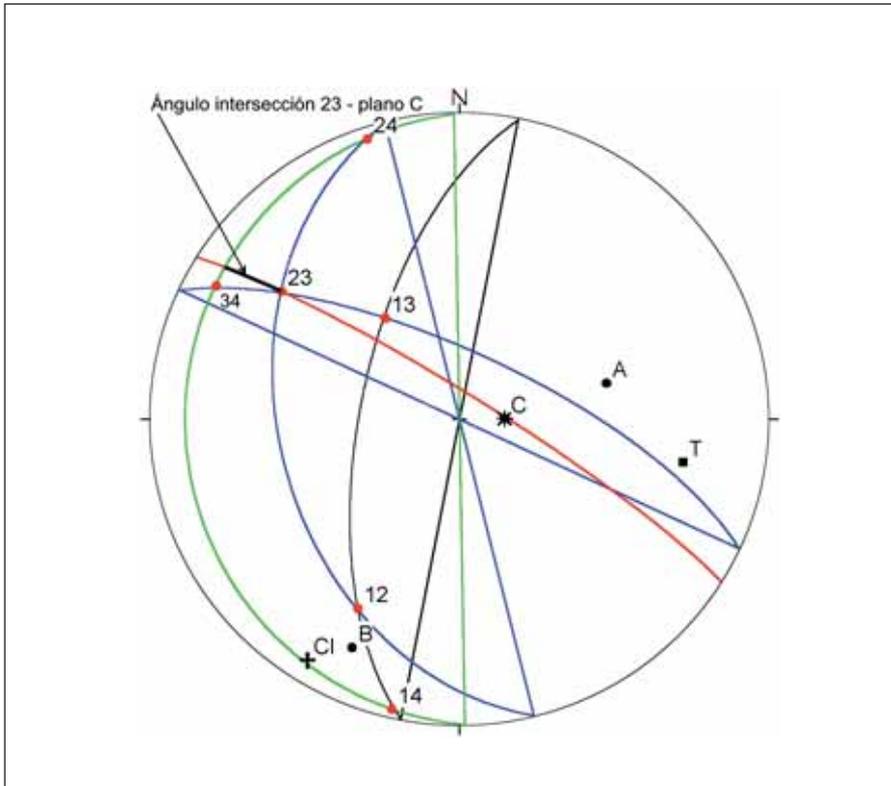


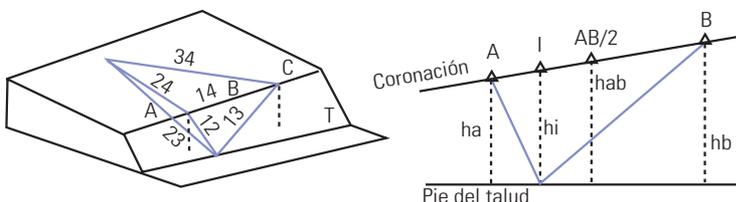
Figura 4. Ángulo en un plano perpendicular a C de la arista a 23.

VOLUMEN DE UNA CUÑA DE ROCA DEFINIDA POR CUATRO PLANOS

Planos	Denominación	DirBuz	Buz
Talud	T	1	281
Plano derecho	A	2	256
Plano izquierdo	B	3	25
Terreno	C	4	269

Aristas (2)	Denominación	Dirección	Inmersión	Longitud (m)
Talud-derecho	TA	12	207,786	30,082
Talud-izquierdo	TB	13	323,644	55,870
Talud-terreno	TC	14	192,408	2,822
Derecho-izquierdo	AB	23	305,557	29,418
Derecho-terreno	AC	24	341,870	3,582
Izquierdo-terreno	BC	34	298,448	10,486

Caras	Denominación	Área (m ²)
T	ST S1	772,602
A	SA S2	1.729,948
B	SB S3	466,848
C	SC S4	1.129,829



Altura del talud (m)		
En A	ha	27
En B	hb	
En I	hi	
En AB/2	hab	

Volumen de la cuña (m ³)
8.188,725

Figura 5. Inmersión y longitudes de aristas, áreas de las caras y volumen de la pirámide. Los datos de entrada son los sombreados.

existe entre las dimensiones reales en el terreno y las del dibujo. Para obtener esa relación de escalas lo más cómodo es emplear la dimensión de una de las aristas.

Si en el terreno conocemos, por ejemplo, que la altura del talud en el extremo derecho de la cuña es de 27 m; altura del talud en el punto de salida en la coronación del talud del plano A, arista "12". La longitud de esa arista de la cuña en metros será:

$$12 = \frac{h}{\text{Seno}(\alpha_{12})}$$

$$12 = \frac{27}{\text{Seno}(30)} = 54 \text{ m}$$

La relación de la escala en metros de esa arista (54 m) a la escala en milímetros en el modelo (172,050 mm tabla 2) es:

$$k_e = \frac{54}{172,050} = 0,313862$$

Para pasar: de los valores de las aristas en milímetros a su valor en metros hay que multiplicar por Ke; de las áreas de las caras en mm² a su valor en m² por K²e y del volumen de mm³ a volumen en m³ por K³e. En la tabla 4 se indica el resultado de esos cálculos.

Tabla 4. Longitudes de las aristas, áreas de las caras y volumen de la pirámide

Arista	Longitud (en el papel) (mm)	Longitud (en el terreno) (m)
12	172,050	54,000
13	85,832	26,941
14	176,242	55,315
23	205,804	64,594
24	247,603	77,713
34	139,113	43,662
Plano (mm ²)	Área (m ²)	Área
1	7.234,985	712,711
2	17.502,988	1.724,203
3	4.513,413	44,612
4	11.952,437	1.177,423
Cuña (mm ³)	Volumen (m ³)	Volumen
1.234	280.440,108	8.670,707

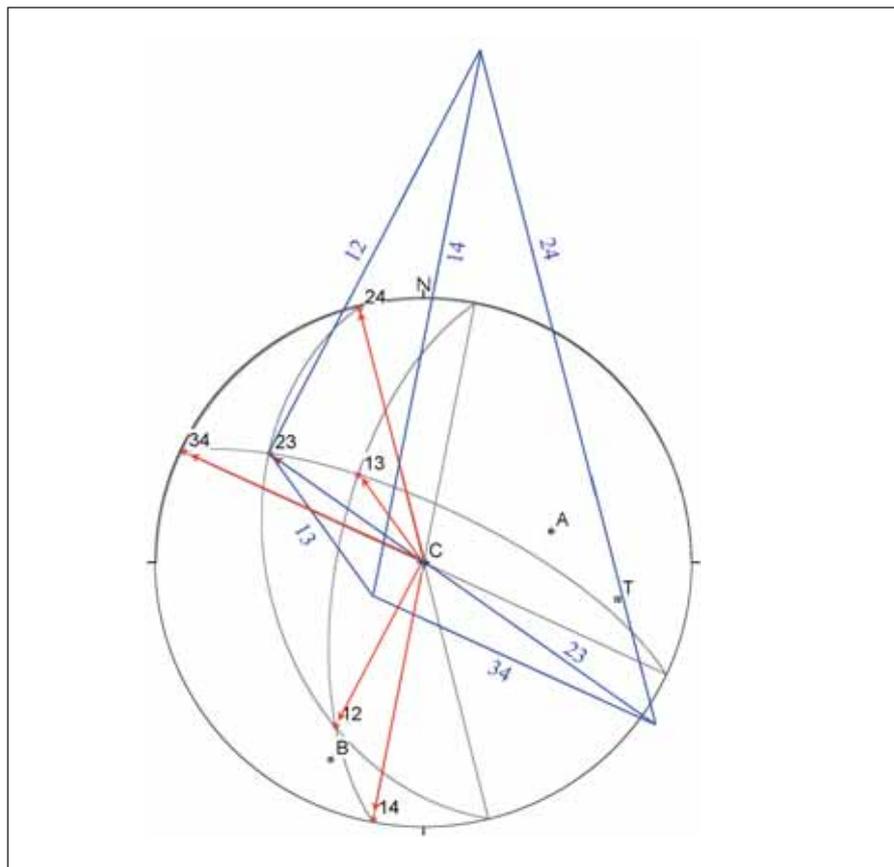


Figura 6. El plano C es horizontal, esa cara se encuentra en el plano del papel.

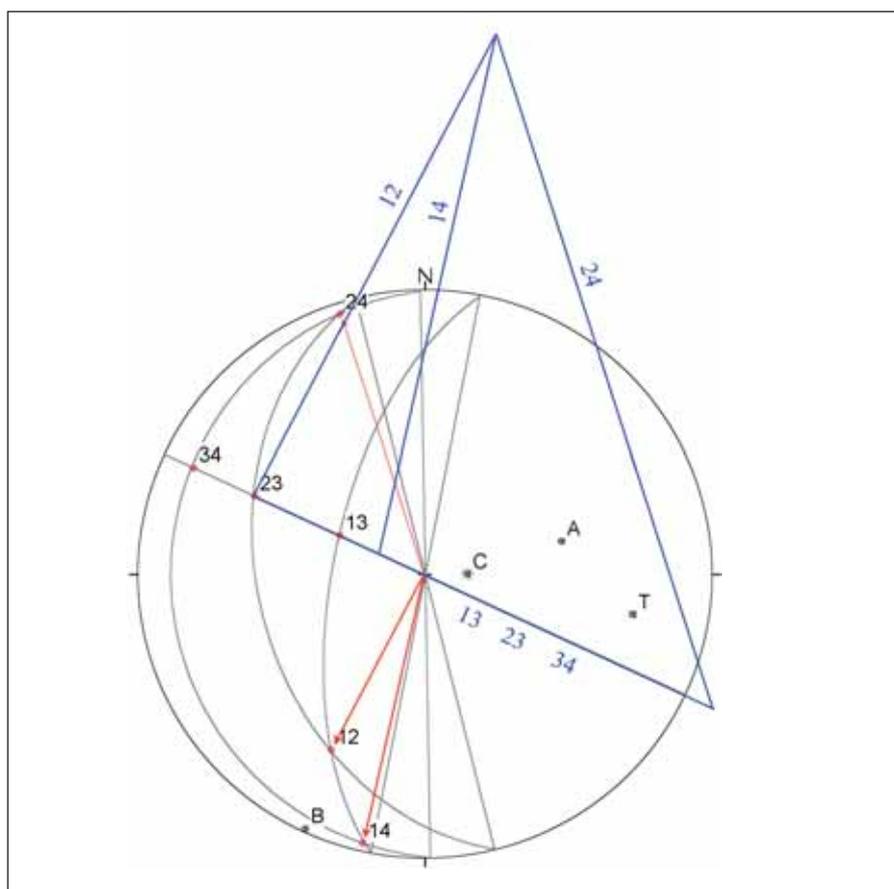


Figura 7. Un plano B es vertical.

La dimensión del elemento medido en el terreno para definir el factor de escala es, en muchos casos, sólo aproximado

Todos los cálculos pueden realizarse numéricamente mediante una hoja de cálculo, si bien, en ese caso, se pierde la visualización del bloque. Se incluye el mismo ejemplo resuelto de esa forma en la figura 5. Dicha hoja de cálculo puede descargarse del minisite del autor en la página web del ICOG.

La exactitud respecto a la realidad en el terreno del cálculo gráfico (figura 3) o numérico (figura 5) dependen en primer lugar de la exactitud de los datos de partida. La orientación de los planos obtenidos con brújula de geólogo tiene una determinada exactitud (Manera, 2005). La dimensión del elemento medido en el terreno para definir el factor de escala es, en muchos casos, sólo aproximado. En general, la metodología de trabajo en campo hace que se utilicen datos de exactitud limitada. En el dibujo no puede apreciarse más de 0,5 mm en las longitudes que se miden en el papel y 0,5° en los ángulos medidos en proyección estereográfica. La diferencia en el volumen obtenido en el ejemplo por los dos procedimientos es de 481,98 m³, un 5,6% mayor en el cálculo gráfico respecto al numérico. El cálculo numérico proporciona una mayor "apariciencia" de calidad, formalmente es más exacto, dado que una variación en un grado en rumbo o buzamiento en los datos de partida de un plano origina variaciones significativas en el volumen. En función de la exactitud y consistencia que consideremos tienen los datos de partida empleados y del objeto final para el que se realice el cálculo se debe ser crítico y considerar, en cualquier caso, la

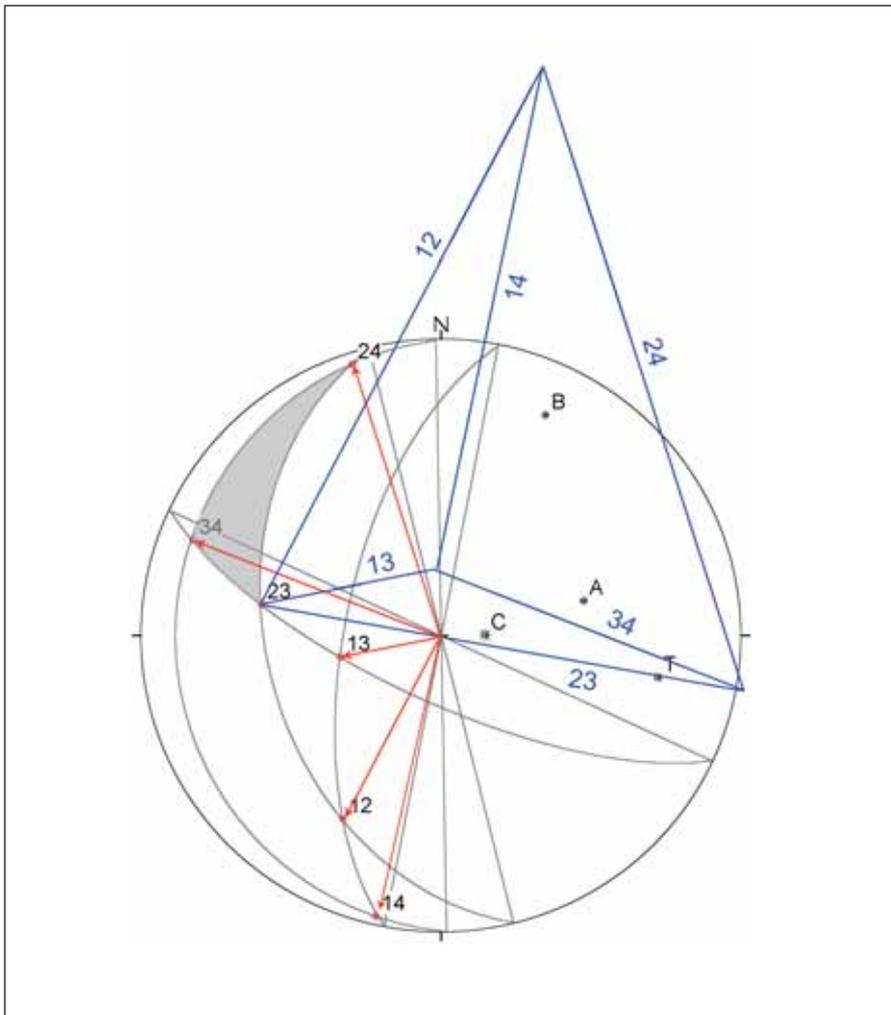


Figura 8. Dos planos B y C buzando en el mismo sentido.

Si un plano es horizontal, ese plano coincide con el plano del papel en la proyección estereográfica: luego sus intersecciones con los restantes planos, son horizontales

Si un plano es vertical (figura 7) es más cómodo utilizar esa cara vertical como base de la pirámide, pues así la altura de la pirámide se mide directamente en el papel: la distancia normal al vértice opuesto al plano vertical.

Si dos planos buzando en el mismo sentido (figura 8) la situación es similar al caso general de la figura 3.

En el paso 2 del ejemplo se ha utilizado la intersección de la cuña, arista 23, como línea base del dibujo. La construcción gráfica del bloque puede hacerse independientemente de la proyección estereográfica trazando una línea paralela a la arista que utilizemos como origen del dibujo fuera del diagrama estereográfico. La elección de esa línea de partida tiene por objeto no confundirse de pirámide: los cuatro planos dividen la esfera de proyección en 8 triángulos esféricos (8 pirámides) opuestas dos a dos. Si se marca inicialmente cuál es el triángulo esférico que queremos calcular, se identifican mejor las posiciones en el espacio de las aristas que forman el bloque de roca y evitaremos posibles confusiones.

necesidad o no de mayorar o minorar el resultado obtenido por el factor que se estime oportuno.

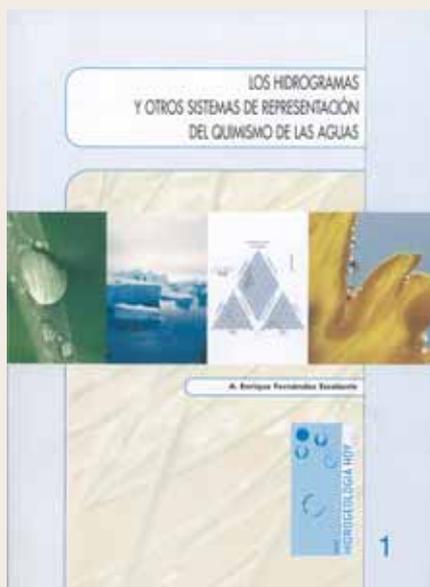
Para aclarar alguna duda que pueda surgir en el dibujo, se incluyen gráficamente tres casos particulares, con el plano C horizontal, plano del terreno horizontal; con un plano vertical y con dos planos buzando con el mismo sentido, caso de una cuña inversa en un desmonte.

Si un plano es horizontal, en el ejemplo (figura 6) el plano 4 es horizontal, ese

plano coincide con el plano del papel en la proyección estereográfica: luego sus intersecciones con los restantes planos, líneas 23, 24, 34, son horizontales y coinciden con las direcciones de los planos 1, 2 y 3. En estas condiciones, la base de la pirámide se encuentra en el plano del papel y puede medirse su área en mm^2 directamente calculando su área con mayor rapidez: un medio de la longitud de cualquier arista, la 24 por ejemplo, por la altura, distancia normal al vértice opuesto.

Bibliografía

- Goodman, R. E. (1976). *Methods of geological engineering*. West Publishing Co. Minesota.
- Hoek. E. y Brown, E. T. (1980). *Underground excavations in rock*. Institution of Mining and Metallurgy. London.
- Manera, C. (2005). *Facilitando las cosas 1*. Exactitud de las medidas de planos y líneas realizadas con brújula de geólogo. *Tierra y Tecnología*, 25, 92-95.



A. Enrique Fernández Escalante

Septiembre de 2006

ISBN 978-84-6113-906-4

Los hidrogramas y otros sistemas de representación del quimismo de las aguas

El libro titulado *Los hidrogramas y otros sistemas de representación del quimismo de las aguas*, así como otros pertenecientes a la serie Hidrogeología hoy, obedece a la iniciativa de su autor —el Dr. A. Enrique Fernández Escalante— que reúne una fuerte experiencia laboral debido a su actividad profesional en el Grupo Tragsa y otras tres empresas previas.

La obra resume muy acertadamente todas las herramientas relacionadas con el quimismo de las aguas, que pueden ser utilizadas en los estudios tradicionales de las aguas subterráneas y superficiales: los índices hidrogeoquímicos, clasificaciones de aguas, hidrogramas (representaciones gráficas) y mapas de isocontenidos. Esta publicación posibilita conocer las oportunidades que nos brindan estas técnicas, especialmente las representaciones gráficas, para la investigación hidrogeológica planificada y rigurosa. Puede ser de gran utilidad para estudiantes de Ciencias Ambientales, Geología, ingenierías y otras titulaciones. Sin duda, profesionales de consultorías encontrarán en esta obra un elenco muy completo de los más importantes y difundidos sistemas de visualización y presentación de los datos químicos.

Este relator —profesor en la Universidad Complutense de Madrid— piensa utilizar con sus alumnos los problemas resueltos que contiene que se constituyen en una buena ayuda, en realidad una prueba irrefutable, para comprobar si los conceptos que contiene el libro han sido correctamente comprendidos. Auguro un futuro profesional lleno de satisfacciones para el autor de la obra, a juzgar por la trayectoria, plena de esfuerzo y entusiasmo que A. Enrique viene poniendo en todo su desempeño laboral.

F. Villarroya



A. Enrique Fernández Escalante

Septiembre de 2006

Coordinador A. Enrique Fernández Escalante, 2006

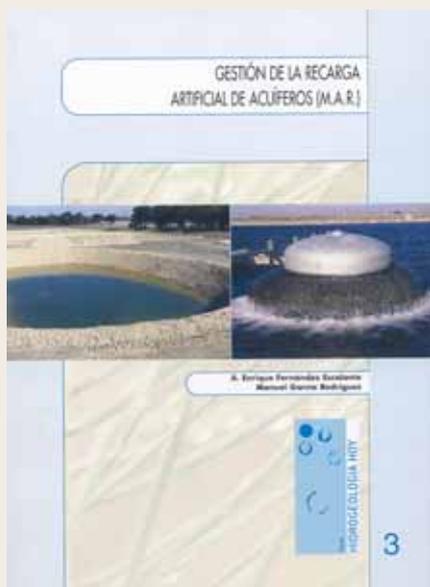
ISBN 978-84-6113-907-1

Calidad de las aguas en función de su uso

El texto titulado *Calidad de las aguas en función de su uso* pertenece a la serie Hidrogeología hoy.

Si en algo se caracteriza la nueva directiva “hija” de la Directiva Marco del Agua dedicada a las aguas subterráneas es la calidad del agua. En realidad, la Directiva de Aguas Subterráneas se ciñe al aspecto de calidad y no entra en los aspectos de cantidad. Pues bien, la obra que nos presenta el Dr. A. Enrique entra de lleno en abordar esta temática. Reúne muy condensadamente y acertadamente cuanto pudiera ser necesario a día de hoy sobre los estándares de calidad para diferentes usos. Si bien la vigencia de estos límites y valores umbral irán variando en el futuro a medida que se vaya implementando la Directiva. Sin embargo, el *background* que ofrece el libro de Fernández Escalante continuará vigente. Considero que el libro resultará de interés a cuantos estudiosos de las aguas (estudiantes, gestores, consultores) puedan estar interesados en el seguimiento y cumplimiento de las normas. Es de agradecer que el libro nos presente en sus 157 páginas un compendio de normas que de otra forma habría que buscar de forma dispersa en diversas referencias. En este libro se analizan las principales disposiciones legales sobre el tema en el Estado español y en el ámbito de la CE. A lo largo del texto se han intercalado varias tablas y comparativas, que permiten comparar los límites establecidos relativos a la concentración máxima admisible de las distintas sustancias en los últimos años. También se incluyen valores específicos para los estándares de calidad precisos para determinados usos.

F. Villarroya



A. Enrique Fernández Escalante y Manuel García Rodríguez
 Octubre de 2006
 ISBN 978-84-61113-769-5

Gestión de la recarga artificial de acuíferos (M.A.R.)

El libro *Gestión de la recarga artificial de acuíferos (M.A.R.)*, así como otros pertenecientes a la serie Hidrogeología hoy obedece a la iniciativa de sus autores —Dr. Manuel García Rodríguez y Dr. A. Enrique Fernández Escalante—. El primero es profesor de Geología en la Universidad Alfonso X el Sabio, y el segundo es hidrogeólogo con una ya amplia experiencia en Tragsatec S.A. y otras empresas. La experiencia de ambos se ve reflejada en esta obra.

Realmente la recarga artificial, salvo en círculos muy concretos, es una gran desconocida en nuestro país incluido el propio colectivo de investigadores de aguas subterráneas. El libro que comentamos nos acerca a esta técnica y nos abre los ojos a esta herramienta hasta ahora poco utilizada en España. Sin embargo, como dicen en el texto los autores, es una herramienta que tendrá un mejor futuro debido a las necesidades hídricas —en cantidad y calidad— que plantea el cambio climático. El libro recoge una parte de la tesis doctoral del Dr. A. Enrique por lo que su lectura muestra la impresión de que se cuentan en primera persona unas experiencias reales vividas y practicadas en el terreno y esto refuerza y realza la validez de este trabajo. Recomiendo vivamente su lectura a aquellos que están trabajando en esta temática y también a aquellos que por primera vez se aproximan a la recarga artificial.

Me consta que Fernández Escalante no ha escatimado esfuerzo personal e incluso económico para asistir a los foros más importantes (Adelaida, Berlín...) en donde últimamente se han discutido en sendos congresos las técnicas de recarga artificial. Por eso, la bibliografía manejada en el libro y la visión que ofrece está actualizada con los criterios más avanzados que se manejan hoy en día sobre la recarga artificial.

F. Villarroya



A. Enrique Fernández Escalante
 Noviembre de 2006
 ISBN 978-84-61113-768-8
Resúmenes y pedidos:
<http://www.metodografico.com/shg.htm>

Técnicas de tratamiento de suelo y acuífero (S.A.T.) aplicadas a la gestión de la recarga artificial

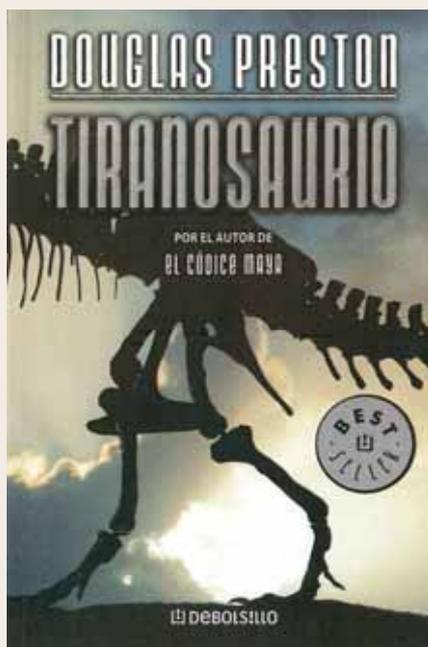
El libro titulado *Técnicas de tratamiento de suelo y acuífero (S.A.T.)* aplicadas a la gestión de la recarga artificial pertenece a la serie Hidrogeología hoy.

Junto con otro libro de esta misma serie titulado *Gestión de la recarga artificial de acuíferos (M.A.R.)*, se basa en la experiencia que el autor ha adquirido en su trabajo profesional y que fue reflejado, en parte, en su extensa tesis doctoral. En palabras propias de Fernández Escalante se formula una pregunta y su respuesta que justifican la relación entre estas dos obras: “Uno de los principales problemas que se han presentado si existe agua en suficiencia para la recarga artificial es: ¿cómo aumentar la velocidad de infiltración de agua en el acuífero? Una posible solución es la adopción de Técnicas de Tratamiento de Suelo y Acuífero”. Se trata de experiencias y herramientas en las que hay todavía escaso bagaje en España. El autor hace una apuesta importante por ellas y nos las presenta muy documentadamente. Todo aquel lector interesado en su temática encontrará en este libro una muy importante contribución que podrá ampliar con la extensa bibliografía que la acompaña.

Finaliza el libro con una serie de recomendaciones de índole práctico relativas a:

- Criterios a tener en cuenta en el diseño de los dispositivos de recarga artificial.
- Estudio de las alternativas aplicables para cada acuífero que se pretenda recargar, en función de sus características hidrogeológicas, de modo realista y aplicado.
- Criterios para la elaboración de Estudios y Evaluaciones de Impacto Ambiental en instalaciones de recarga artificial, así como normas para la elaboración de Programas de Vigilancia y Control.

F. Villarroya



Douglas Preston

Junio de 2007

ISBN 978-84-8346-366-6

(vol. 658/2)

Tyrannosaur Canyon

Así se titula en inglés esta novela de Douglas Preston, autor de *best sellers*. La editorial española DeBOLSILLO ha publicado con el título *Tiranosaurio* esta historia de ficción que gira en torno a descubrimientos casuales de carácter científico (serendipias), donde los protagonistas son de carne y hueso y también plumas.

Preston se adentra audazmente en la paleontología de los vertebrados, en los métodos científicos actualmente utilizados en la investigación de restos fosilizados. Sin duda con acierto, nos mantendrá enganchados al hilo argumental, pero sin cansarnos, puesto que sabe que los temas excesivamente técnicos y científicos pueden llegar a aburrirnos. Al contrario, no ocurre así, sólo porque va alternando acontecimientos, entrelazando personajes y tramas, hasta el desenlace, bastante coherente, por otro lado.

Robbie, la hembra de tiranosaurio, protagonista involuntaria, por supuesto, responde al prototipo actual que se tiene de esta especie: carnívoro de los más feroces del Cretácico, que se ha erigido desde siempre como especie protagonista de los cuentos y no tan cuentos sobre dinosaurios.

Aparte de la trama novelesca, muy bien desarrollada, me ha llamado la atención el paralelo con otro autor de *best sellers*, Michael Crichton (recuerden sus *Parque Jurásico* y *El mundo perdido*). Destacan ambos por el dominio, a veces pedante en el caso de Crichton, de la jerga tecnológica (por eso lo llaman el padre del *technothriller*). Pero para desarrollar un concepto de novela científica se hace necesario el uso de estos artilugios narrativos, aunque sea a costa de algún que otro bostezo del lector. Preston no peca de excesivo en este particular, habiéndome gustado esta novela tanto como *Neandertal*, de la que es autor John Darnton, cuya prosa es igualmente ágil.

Lo que más me ha gustado ha sido el detalle de contar las peripecias de un animal que vivió hace 65 millones de años, mediante un lenguaje sencillo, contando "su historia" tal y como se la ha imaginado el autor, que muy bien podría ser cierta. Gusta apreciar las explicaciones de los mecanismos de funcionamiento de una máquina de matar (yo preferiría decir "máquina de sobrevivir") a lo largo del final de la era de los dinosaurios. ¡Y quién le iba a decir a Robbie que iba a acabar como virtual modelo competidor de la ya eterna Sue, el tiranosaurio fósil mejor conservado conocido!

A estas alturas ya podemos hacernos la sempiterna pregunta sobre la posibilidad de una realidad del tipo de la narrada en el libro. Aquello acerca de que los dinosaurios puedan momificarse es un hecho (existen algunos casos, aunque escasos), así como del plumaje en los dinosaurios, que cada vez tiene mayor cuerpo científico. Lo de las esférulas intracelulares (partículas venus) es aún ciencia ficción. No desvelaré más detalles para los interesados en leer esta novela. Sólo decir que hay una cosa que sí es cierta y es la bajez del ser humano, que no es más que su humanidad, traducida en su debilidad ante las circunstancias. Espero que los paleontólogos y científicos en general no sean como los dibuja Preston, pero creo que me equivoco, dada la alta densidad de ególatras que pululan por el mundo académico e institucional. Y de todos esos humanos imperfectos, yo me quedaría con Stem, hombre al filo de la navaja gracias a cuyo idealismo se moverán por la novela el resto de los personajes, incluida la tiranosaurio.

Eduardo Rebollada Casado

(eduardo.rebollada@agex.org)

Geólogo



Alberto Gomis y Jaime Josa

2007

ISBN 978-84-00-08517-9



Bibliografía crítica ilustrada de las obras de Darwin en España (1857-2005).

El gran interés suscitado por las obras de Darwin explica que estas se hayan editado en casi todas las lenguas y en repetidas ocasiones. Pero a diferencia de lo acontecido en otros países, no teníamos aún en España un trabajo específico y detenido que abordara las ediciones de las obras de Darwin en nuestro país. Llenar este vacío es el objetivo primordial del presente libro y hay que decir en seguida que la meta ha sido lograda sobradamente. Estamos ante una investigación monumental, hecha con sumo rigor y amplísima documentación, perfectamente estructurada en su configuración como texto. Sorprende la exhaustividad y calidad de las fuentes consultadas. Los que nos dedicamos a estos quehaceres historiográficos sabemos muy bien el tiempo y la épica que hay detrás de este tipo de investigaciones. La búsqueda de un escueto y simple dato, de los muchos que circulan en el libro, puede suponer gran cantidad de horas y peripecias sin cuento.

Una de las aportaciones principales de la obra de A. Gomis y J. Josa es la mención y análisis de la edición en 1857 del *Manual de investigaciones científicas*, edición muy poco conocida, que incluye una sección de “Geología” de Darwin. A lo largo de la “Bibliografía”, los distintos títulos están ordenados de acuerdo con la aparición de la primera edición inglesa de la obra. En la primera parte de la ficha figura la descripción bibliográfica; en la segunda, el aparato crítico, y, en la tercera, los repertorios donde aparece citada, por un lado, y las bibliotecas donde se encuentra, por otro. De este modo, el libro pone al alcance de los estudiosos no sólo las obras de Darwin que se han publicado en España, sino también los protagonistas que las han hecho posible (autores de estudios introductorios, traductores, editores, impresores, diseñadores de portadas, ilustradores, etc.). Muy útil resulta en este sentido la inclusión, al final del volumen, de un índice de editoriales y obras publicadas por cada una de ellas, y de manera más extensa, un índice biográfico de todos estos protagonistas. De ahí que la información al respecto sea muy completa.

Por lo que concierne al aspecto formal de la obra, es preciso indicar que la edición es verdaderamente primorosa y se ve que ha estado muy cuidada. Los autores agradecen en este sentido la labor llevada a cabo por Miguel Ángel Puig-Samper, actual director del Departamento de Publicaciones del CSIC. Y por lo que atañe a las ilustraciones, son una auténtica delicia, no sólo para el bibliófilo —faceta en la que los autores destacan por su pericia y entusiasmo—, sino para cualquier lector sensible.

La obra que comentamos constituye, en suma, una excelente base para los futuros investigadores en este campo de la historia de la ciencia española y, por supuesto, para análisis desde perspectivas metodológicas tales como la teoría de la recepción o la línea más actual del *transfer* cultural, que pone especial énfasis en las instancias de mediación. Grande ha de ser, pues, la gratitud de los especialistas en la materia y en general de los historiadores de la ciencia española a la ardua tarea realizada por Alberto Gomis y Jaime Josa.

Diego Núñez