



Ilustre Colegio  
Oficial  
de Geólogos

# Tierra y Tecnología

REVISTA DE INFORMACIÓN GEOLÓGICA • Nº 31 • SEGUNDO SEMESTRE 2007

## El abrazo sublime

- La ministra de Vivienda, distinguida por el ICOG
- La geología en la ley de costas
- Las galerías de agua en Tenerife
- El carbón tiene futuro
- Torrubia Vs. Feijoo

# **The Third International Professional Geology Conference (3rd IPGC)**

**"Global Geoscience Practice, Standards, Ethics, and Accountability"**

**INITIAL CALL FOR PAPERS**



**INITIAL CALL FOR PAPERS**

**September 21-25, 2008, Flagstaff, Arizona, USA**

**Sponsored by: AIPG, CCPG, EFG, ASBOG,  
DPA-AAPG, GSA, AWG, NAU and ...**

## **Technical Sessions:**

- 1. "Training, Credentials and Continuing Professional Development of the Global Professional Geoscientist" (AIPG-sponsored)**
- 2. "Professional Ethics and the Global Geoscientist" (CCPG-sponsored)**
- 3. "Expanding International Influence and Reach; Overcoming Challenges and Mapping Successful Strategies" (EFG-sponsored)**

**For proper routing, submit extended abstract (800 words) for 20-minute oral presentation or poster session to: [aipg@aipg.org](mailto:aipg@aipg.org) (Word documents or PDF format, please).**



# Tierra y Tecnología

REVISTA DE INFORMACIÓN  
GEOLÓGICA  
Nº 31 • PRIMER SEMESTRE 2007

## Ilustre Colegio Oficial de Geólogos

### ADMINISTRACIÓN Y REDACCIÓN

AVDA. DE REINA VICTORIA, 8-4º B  
28003 MADRID  
TEL.: (34) 91 553 24 03

### COMITÉ EDITORIAL

EDITOR PRINCIPAL  
J.L. BARRERA MORATE

### COLABORADORES

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

### CORRESPONSALES

LUIS ALFONSO FERNÁNDEZ PÉREZ (ASTURIAS)

[HTTP://TIERRA.REDIRIS.ES/TT](http://tierra.rediris.es/tt)

WEBMASTER: ENRIQUE PAMPLIEGA

### DISEÑO

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

ISSN: 1131-5016

DEPOSITO LEGAL: M-10.137-1992

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

FOTO PORTADA: ALFRED HITCHCOCK POSANDO PARA LA  
FOTO DE MODACON INA, HOLLYWOOD, 1962. TOMADA  
DEL ÁLBUM JEANLOUP SIEFF POR LA LIBERTAD DE  
PRENSA  
FOTÓGRAFO: JEANLOUP SIEFF

# Sumario

- 2 • EDITORIAL
- 3 • IMPOSICIÓN DE LA INSIGNIA DE ORO A LA MINISTRA DE VIVIENDA
- 9 • LA GEOLOGÍA EN LOS DESLINDES DE LA LEY DE COSTAS
- 19 • LAS GALERÍAS DE AGUA EN TENERIFE
- 27 • UTILIDAD DE LAS FORMACIONES DE BAJA PERMEABILIDAD
- 39 • HISTORIA DEL EDIFICIO DEL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA
- 53 • EL CARBÓN TIENE FUTURO
- 57 • DESCONTAMINACIÓN DE SUELOS Y AGUAS SUBTERRÁNEAS
- 63 • COMPETITIVIDAD Y ESTRATEGIA DE CRECIMIENTO DE LAS EMPRESAS DE EXPLORACIÓN DE HIDROCARBUROS
- 71 • ORGANISMOS DE CONTROL TÉCNICO, OCT
- 75 • EL ABRAZO SUBLIME
- 79 • EL LÍMITE DE PLACAS SCOTIA-ANTÁRTICA: TECTÓNICA RECIENTE Y ACTIVA EN UNA ZONA DE TRANSCURRENCIA CORTICAL
- 88 • LOS MINEROS DEL AZOGUE
- 89 • SE PRESENTA EN ALMADÉN EL LIBRO ‘LOS MINEROS DEL AZOGUE’
- 91 • TORRUBIA VS. FEIJOO, EL DILUVIO Y EL INICIO DE LA GEOLOGÍA EN ESPAÑA
- 98 • GEOLOGÍA MARINA
- 99 • LA ARENISCA DE VILLAMAYOR (SALAMANCA)
- 101 • ¿HA SIDO LA MINERÍA EL MOTOR DEL PROGRESO ECONÓMICO EN ESPAÑA?
- 103 • COMIENDO TIERRA
- 107 • EL PARQUE NATURAL DE ARRIBES DEL DUERO

## 50 años de la licenciatura en CC Geológicas en Madrid

Corría el año 1953 cuando se creó la licenciatura de Ciencias Geológicas en Madrid. Unos naturalistas “geólogos”, entre los que estaba el entonces sacerdote Emiliano Aguirre, habían promovido ante el Ministerio de Educación la creación, en Madrid, de dicha licenciatura separada de la de Ciencias Naturales. Es decir, Ciencias Naturales se dividía en dos licenciaturas: Geológicas y Biológicas, aunque por tradición ambas aparecen reunidas en la Sección de Naturales. La licenciatura recién creada no fue Facultad propia pues se constituyó como una sección de la Facultad de Ciencias. La Facultad como tal surgió en 1974 de la división de esa misma Facultad.

Desde aquellos tiempos, muchas cosas han cambiado radicalmente, como el panorama social y político de entonces. 1953 fue el año en que el Estado español firmó el famoso Concordato con la Santa Sede, y el de los “Pactos de Madrid” que comprendían un acuerdo de defensa para la construcción y el uso de bases militares en España, un acuerdo de ayuda económica y otro más sobre ayuda para la defensa mutua. En fin, el año que España se hizo más católica que en la época de Felipe II y más proamericana de lo que había sido nunca. El hundimiento del *Maine* en la guerra de Cuba quedaba lejos.

La primera promoción de geólogos madrileños se licenció en 1957, el mismo mes que SEAT sacó a la calle el famoso Seiscientos. En junio de este año 2007 se cumplen, por tanto, los 50 años de esa promoción por la llamada, en aquellos tiempos, Universidad Central; lo de Complutense vino en 1975, con la Democracia. Pero si la carrera duraba cinco años ¿cómo se dice que la primera promoción salió en 1957? Pues sí, señores. Ciertamente, la carrera duraba esos años pero cuando se creó la licenciatura, los alumnos que habían cursado 1º de Naturales pasaron a segundo de Geológicas o Biológicas. Así de sencillo.

El paisanaje de Geológicas también era muy distinto al de hoy. Alumnos encorbatados, alumnas con faldas, curas con sotana y monjas con toca. El respeto al catedrático era casi reverencial y la asistencia a clase una obligación inexcusable. Pocos repetían, terminaban sus carreras en los cinco años reglamentarios, y las asignaturas optativas de libre designación no existían. Con ello, se lograba que las promociones estuvieran compuestas por grupos cerrados y constantes de alumnos

durante toda la carrera. Hoy, la frontera entre promociones es tan difusa que casi hay tantas promociones como alumnos. Sólo los fríos números de la Secretaría dicen que cada año sale una nueva promoción, pero nadie sabe quiénes la constituyen. La mayoría de aquel alumnado, sobre todo los religiosos, orientaba sus estudios a la enseñanza; el ejercicio profesional era minoritario y el plan de estudios era básicamente de contenido científico. Con el paso de los años, el alumnado fue creciendo, aparecieron los alumnos extranjeros —no del programa Erasmus, evidentemente—, muchachos de Oriente Medio (palestinos, sirios y jordanos, entre otros) o africanos que querían formarse en España. Sin embargo, los Planes de Estudio seguían contemplando un contenido eminentemente científico. Pocas voces pedían una reforma del Plan que incluyera asignaturas “prácticas”, es decir, aquellas que proporcionaran conocimientos para ejercer la profesión en la empresa. El cuadro de profesores tenía un perfil investigador con muy poca o nula experiencia en empresa.

A partir de los años setenta, la cosa fue cambiando algo. Las cátedras se convirtieron en departamentos y los presupuestos para investigación fueron haciendo su aparición. Paralelamente, hubo profesores que fueron orientando sus trabajos hacia aspectos aplicados de la Geología, lo que no dejó de verse como una insolencia por algunos colegas que lo consideraban un “desvarío”.

La verdad es que las cosas han ido cambiando para mejor o peor, según el observador. El alumnado de hoy, comparado con el de hace años, es un poco friqui; ya no termina en cinco años, se pasa siete en el centro; estudia menos pero se mueve más, hasta hay algunos que se van de Erasmus... que no está mal. Pero el contenido profesional de la carrera tiene que actualizarse. No se ajusta, en ocasiones, a la demanda del mercado. Bien es verdad que desde hace años se vienen realizando prácticas de empresa, pero el Plan de Estudios sigue siendo, en parte, una asignatura pendiente.

Paradójicamente, ante esa demanda del mercado, la matrícula de Geológicas va disminuyendo de forma dramática, en parte debido a la aparición del título en Ingeniería Geológica. Pero no nos engañemos, la Geología no sólo es una Ciencia, es también una forma de ganarse la vida... si se enseña a aplicarla. Felicidades a la Facultad y que cumpla muchos más.

# Imposición de la insignia de oro del ICOG a la ministra de Vivienda, M<sup>a</sup> Antonia Trujillo

El pasado 26 de marzo, en el acto de inauguración de las *V Jornadas sobre Estudios Geotécnicos y Cimentaciones en el CTE*, organizadas por el ICOG, el CEDEX y la AIGE, con la colaboración del Ministerio de Vivienda, el presidente del Colegio, Luis Suárez, le impuso a M<sup>a</sup> Antonia Trujillo la insignia de oro del ICOG.

Texto | José Luis Barrera

M<sup>a</sup> Antonia Trujillo fue nombrada ministra de Vivienda el 18 de abril de 2004. Desde que llegó al Ministerio, retomó con urgencia algunos de los desarrollos legislativos que estaban pendientes de las legislaturas anteriores, como el Código Técnico de la Edificación (CTE). El CTE da cumplimiento a los requisitos básicos de la edificación establecidos en la Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación (LOE), con el fin de garantizar la seguridad de las personas, el bienestar de la sociedad, la sostenibilidad de la edificación y la protección del medio ambiente. Desde el primer momento, y debido a los contactos que este Colegio profesional tuvo con diversos miembros de su gabinete, como el secretario general o los directores generales de Arquitectura y Urbanismo, la ministra fue consciente de la necesidad de realizar estudios geotécnicos obligatorios en las fases de cimentación de edificios. Para ello, consideró que el Colegio Oficial de Geólogos, a través de una Comisión Técnica, debía intervenir en la redacción del capítulo dedicado a las cimentaciones. Después de varias



Figura 1. Mesa presidencial. De izquierda a derecha: Luis Suárez, M<sup>a</sup> Antonia Trujillo y Ángel Aparicio.

reuniones técnicas entre la comisión del Colegio encargada de estos temas y el equipo del Ministerio, se llegó a un acuerdo que quedó plasmado en el texto que figura actualmente en el capítulo 3 (DB-SE-C) del Código Técnico. No se puede negar que esta inclusión ha supuesto un gran avance para

nuestra profesión y un mayor reconocimiento profesional de los geólogos dedicados a la geotecnia. Una actitud similar de colaboración abierta ha tenido la Ministra y su equipo respecto a la inclusión de los Riesgos Naturales en la Ley del Suelo. Reconocían con ello la necesidad de



Figura 2. Luis Suárez imponiendo la insignia de oro a M<sup>ª</sup> Antonia Trujillo.



Figura 3. La Ministra firmando en el libro de Honor del ICOG.

utilizar los conocimientos geológicos (específicamente los mapas de riesgos) para la ordenación del territorio, y evitar catástrofes como la de Biescas, en 1996.

Esa clara y decidida necesidad de contar con la Geología en todo aquello que afecte a las actuaciones sobre el terreno es una constante en la actuación de la ministra. No lo había sido, de manera errónea, en gobiernos anteriores, donde la rutina e inercia en la ejecución de obras impidió cualquier intento de mejorar y actualizar las intervenciones técnicas en el subsuelo, con la incorporación de estudios geológicos específicos. Por todas estas razones, la Junta de Gobierno del ICOG consideró a M<sup>ª</sup> Antonia Trujillo merecedora de la insignia de oro del Colegio.

#### Acto de imposición

El acto de imposición tuvo lugar en el salón de actos del edificio ZETA del CEDEX, en el Parque del Retiro de Madrid. La ministra llegó hacia las 9:30 de la mañana, acompañada de su jefa de Gabinete y de su jefe de Secretaría. En la puerta la recibieron el presidente y vicepresidente del ICOG, Luis Suárez y José Luis Barrera, respectivamente, acompañados de otros miembros de la Junta de Gobierno. A continuación, y antes de entrar en el salón de actos, el director del CEDEX, Ángel Aparicio, le dio la bienvenida a la ministra y la acompañó hasta el estrado. En el salón esperaban los alumnos del curso, unos 70, miembros de la Junta de Gobierno del ICOG e invitados. La mesa presidencial estaba constituida por M<sup>ª</sup> Antonia Trujillo, Luis Suárez y Ángel Aparicio (*figura 1*). En primer lugar, el director del CEDEX saludó a los asistentes y dio la palabra a Luis Suárez. Terminado su discurso, le impuso la insignia de oro a la ministra (*figura 2*) quien a continuación tomó la palabra.

Al finalizar el acto, Luis Suárez le hizo entrega a la ministra de un obsequio como recuerdo del acto, la cual firmó en el Libro de Honor del ICOG (*figura 3*).

# Discurso del presidente del ICOG

Buenos días:

Sra. ministra de Vivienda, Sr. director general del CEDEX, señoras y señores.

Con su permiso y de todos los asistentes, vamos a iniciar el acto de presentación de las *V Jornadas sobre Estudios Geotécnicos y Cimentaciones en el CTE* organizadas por el ICOG, el CEDEX y la AIGE, con la colaboración del Ministerio de Vivienda.

Es un honor para el ICOG y para las entidades organizadoras, contar con la presencia de la Sra. ministra de Vivienda, y en nombre de estos organismos quiero agradecer personal e institucionalmente su participación en este acto.

Así mismo, debo expresar nuestra gratitud por su participación en estas Jornadas a la Conserjería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid y a los organismos autónomos dependientes del Ministerio de Educación y Ciencia, el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

El primer rasgo que quiero destacar de estas Jornadas, como es criterio permanente de actuación del ICOG, es su carácter pluridisciplinar, abierto y plural, tanto de profesores como moderadores y alumnos.

Así, en estas Jornadas participan como profesores 10 geólogos, 10 ICCP, 4 arquitectos, 2 abogados y 1 físico, cuya característica común es su participación decisiva en la elaboración del Documento Básico Seguridad Estructural-Cimientos del CTE, desde finales de la década de los noventa.

Hemos considerado oportuno organizar estas Jornadas en esta semana, con el objetivo de poner en valor el CTE y, en concreto, los estudios geotécnicos y las cimentaciones, ante los profesionales de la geología y la geotecnia y los ciudadanos, dado que el próximo jueves 29 de marzo, día en que se van a clausurar estas Jornadas, los estudios geotécnicos y cimentaciones del CTE serán obligatorios y exigible a todos los profesionales.

Desde la entrada en vigor de la LOE, el Ministerio de Fomento, hoy Ministerio de Vivienda, ha estado trabajando en la elaboración del CTE, constituyendo el ICOG una Comisión Técnica compuesta por Manuel Regueiro, Calos Duch, Ramón Pérez Mir y Luis Suárez, que se han integrado en la Comisión constituida en el CEDEX para la elaboración del Documento Básico de Seguridad Estructural-Cimientos.

Desde la institución del Ministerio de Vivienda en abril de 2004, se ha producido un impulso sustancial en el diálogo y reconocimiento mutuo entre los altos cargos del Ministerio de Vivienda y los responsables del ICOG, labor que ha culminado con

la aprobación del Documento Básico de Seguridad Estructural-Cimientos, en el cual se recogen en buena medida las propuestas que el ICOG ha realizado.

Como siempre, el ICOG realiza sus actuaciones en clave mediadora. Nosotros antepoemos a los ciudadanos en nuestras gestiones ante los poderes públicos. Ello nos obligan a realizar una permanente labor didáctica acerca de la importancia que para los ciudadanos tienen los estudios geotécnicos en los edificios y en las infraestructuras en general.

Desde el punto de vista de los ciudadanos, el capítulo 3 Estudio Geotécnico del CTE, se pueden reseñar los siguientes puntos importantes.

- 1º "La autoría del estudio geotécnico corresponderá al proyectista o a cualquier técnico competente, o en su caso el Director de Obra y contará con el preceptivo visado colegial", así lo tipifica el capítulo 3 Estudio Geotécnico del CTE. Esto supone que los geólogos como técnicos competentes, de acuerdo con el artículo 21 de los Estatutos del ICOG, pueden, junto con otros técnicos, ingenieros o arquitectos, realizar o firmar estudios geotécnicos de la edificación. Con ello, el ciudadano queda defendido de la realización de estudios geotécnicos por parte de personas no competentes, que firman estudios geotécnicos con la antifirma de Jefe de Laboratorio, Gerente, sin competencia profesional para su realización.
- 2º Con el visado de estudios geotécnicos, por parte del colegio profesional correspondiente, los ciudadanos quedan protegidos en cuanto a la calidad y legalidad formal del estudio geotécnico, ya que los colegios profesionales, antes del visado de cada estudio geotécnico, deberán comprobar el cumplimiento del capítulo 3 Estudio Geotécnico del CTE. Así mismo los colegiados quedan protegidos por un Seguro de Responsabilidad Civil desde 300.000 €, por todos los estudios geotécnicos visados en el ICOG.
- 3º La regularización de los estudios geotécnicos en el CTE supone establecer unas reglas de juego de competencias claras, entre los diferentes profesionales, geólogos, arquitectos e ingenieros en la realización de los estudios geotécnicos, dado que en el CTE se especifican los reconocimientos del terreno y el contenido del estudio geotécnico mínimo que deberán llevarse a cabo.
- 4º En el apartado Prospecciones del capítulo 3 Estudio Geotécnico del CTE se establece que las prospecciones de los estudios geotécnicos "se llevarán a cabo de acuerdo con el R.D. 1627/1997, por el que se establecen disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en las obras de construcción". Ello implica que las prospecciones de los estudios geotécnicos de la edificación deberán tener en cuenta las disposiciones de seguridad y salud laboral. Esto significa que los diferentes técnicos podrán ocuparse como responsables de la seguridad y salud de las prospecciones, así como de otras labores complementarias de campo como la cartografía, testificación, toma de datos, que mejorarán la calidad de los estudios

geotécnicos y minimizarán los riesgos de los trabajos de prospección.

- 5º Cumplir el capítulo de estudios geotécnicos supondrá a medio plazo una disminución del coste de la edificación. La puesta en valor de los estudios geotécnicos del terreno a que obliga el CTE, supondrá un incremento en la calidad y coste importante. Hasta el doble coste de medio. Pero esta puesta en valor de los estudios geotécnicos llevará aparejada que las cimentaciones se diseñen con coeficientes de seguridad técnicos y no con coeficientes de ignorancia del terreno, lo que genera que las cimentaciones estén actualmente sobredimensionados. Si se diseñan con coeficientes adecuados ahorran importantes costes a los ciudadanos.

Bien, el CTE está vigente y es de obligado cumplimiento, pero esto no es la meta, es el punto de partida.

Los geotécnicos, los agentes de la edificación, las OCT, los directores de obra, los promotores, tenemos que haber hecho ya los deberes antes del 29 de marzo de 2007, cuando dejará de ser voluntaria la aplicación del CTE en los estudios geotécnicos de edificios.

El ICOG ya ha hecho los deberes en este año de la aplicación voluntaria del CTE. ¿Cuáles han sido nuestros trabajos?

- 1º Realización de un programa informático que establezca los reconocimientos del terreno previstos en el CTE, en función del tipo de construcción, grupo de terreno, superficie y profundidades a investigar.
- 2º Hemos realizado una normativa que desarrolla el R.D. 1629/1997 que establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las prospecciones geotécnicas para estudios geotécnicos.
- 3º Implementación de un servicio de control de la aplicación del CTE en los departamentos de visados de la sede central y de las Delegaciones del ICOG, mediante una lista de chequeo y dos cursos de formación para los responsables de los departamentos de visados del ICOG.
- 4º Hemos mantenido nuestras propuestas de colaboración con el Ministerio de Vivienda en el desarrollo del Capítulo 3 Estudio Geotécnico del Documento Básico de Seguridad Estructural - Cimientos, y en la Comisión de Sostenibilidad, Innovación y Calidad de la Edificación, en lo referente a Estudios Geotécnicos y Acreditación de Laboratorios.
- 5º Estamos gestionando con el Ministerio de Vivienda el establecimiento de mapas geotécnicos de los municipios de más de 50.000 habitantes, que desarrollen los grupos de terreno establecidos en el CTE.
- 6º Hemos elaborado un documento de Preguntas más Frecuentes (FAQ) para formación de profesionales.
- 7º Se han realizado 16 jornadas, talleres, seminarios, geoforos, cursos de formación y difusión del Documento Básico de Seguridad-Cimientos en Madrid, La Coruña, Zaragoza, Barcelona, Bilbao y Oviedo.

Todas estas actividades que hemos y estamos realizando se van a recoger en un Convenio de Colaboración que estamos consensuando con el Ministerio de Vivienda para que estas labores se extiendan a todos los profesionales y ciudadanos.

El CTE es nuestro Código, porque es el Código de todos, de los responsables del Ministerio de Vivienda, las comunidades autónomas, los organismos, agentes y corporaciones que hemos aportado nuestro saber hacer. Es, por tanto, el Código Técnico de la Edificación de los ciudadanos y para los ciudadanos.

Decía Barrie James, dramaturgo británico, que "la vida es una larga lección de humildad". El CTE es una larga lección de humildad, escuchar a todo quien tenga algo que decir sobre la edificación.

Para concluir, como presidente del ICOG, y en nombre de la Junta de Gobierno, quiero agradecer a la ministra de Vivienda M<sup>a</sup> Antonia Trujillo, al secretario general de Vivienda, Javier Ramos, al director general de Arquitectura y Política de Vivienda, Rafael Pacheco, y al subdirector general de Innovación y Calidad en la Edificación, Javier Serra-Tomé, por el procedimiento de participación de todo el sector en el CTE, plasmada en la colaboración de más de 800 expertos, organismos, comunidades autónomas, corporaciones locales y colegios profesionales, entre ellos el ICOG; que hemos aportado casi 3.000 sugerencias que, en buena parte, han sido incluidas en la redacción final, así como felicitarnos y felicitarnos por el logro conseguido, dado que este Código Técnico de la Edificación constituye la mayor reforma en materia de edificación desde la aprobación de la Constitución, y sitúa a España entre las naciones más innovadoras en materia de edificación, cumpliendo las directivas europeas sobre calidad y eficiencia energética y fomentando la innovación y el desarrollo tecnológico.

Para visualizar este agradecimiento institucional, la Junta de Gobierno del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos (ICOG) y ratificada por la Comisión Mixta de la Junta de Gobierno y Consejo de Delegaciones del ICOG, de acuerdo con el artículo 90, apartado g) de los estatutos del ICOG, aprobados por Real Decreto 1387/2001, de 7 de diciembre, ha acordado conceder a la ministra de Vivienda, M<sup>a</sup> Antonia Trujillo Rincón, la Insignia de Oro del Colegio, en reconocimiento a su concienciación y gestión política en la protección de los ciudadanos, mediante el impulso de los estudios geotécnicos para la edificación en el Código Técnico de la Edificación y de la necesidad de los mapas de riesgos naturales en el desarrollo urbanístico en el proyecto de Ley de Suelo.

Como presidente del ICOG y, en nombre de los geólogos españoles, es un honor imponer en este momento la Insignia de Oro del ICOG a la ministra de Vivienda doña M<sup>a</sup> Antonia Trujillo.

Muchas gracias.

## Discurso de la ministra

Sr. presidente del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos; Sr. director general del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas del Ministerio de Fomento, señoras y señores.

Buenos días a todos.

Se presentan estas *V Jornadas* en el marco de las actividades de difusión del Código Técnico de la Edificación que desde su aprobación, hace un año, viene patrocinando el Ministerio de Vivienda con la colaboración de distintos organismos e instituciones, entre los que destacan los colegios profesionales en su estatutaria obligación de llevar a cabo acciones de post-formación y puesta al día en los conocimientos técnicos de sus colegiados.

Mi Departamento ha puesto especial énfasis en la divulgación del CTE, como también puso un gran esfuerzo en su aprobación, reconduciendo, desde el inicio de nuestro mandato, la propuesta inicial a fin de presentar una norma de aplicación a los edificios considerados como elementos arquitectónicos únicos, constituidos por sistemas y subsistemas dependientes entre sí.

De los primeros borradores del Gobierno anterior en que cada uno de los requisitos básicos (seguridad estructural; seguridad en caso de incendio; seguridad de utilización; protección del medio ambiente; protección contra el ruido; y ahorro de energía y aislamiento técnico) parecían atomizar el proceso de edificación desde el Proyecto, con intervenciones técnicas fragmentarias e independientes de imposible relación, hemos conformado y aprobado una norma, el CTE, no exenta de complejidad, pero equilibrada y conjuntada a los efectos de la mejora de la calidad, la seguridad y la atención a la unidad arquitectónica.

Se trata, pues, de una norma de singular importancia para el sector de la edificación en España y, en particular, para la edificación de uso residencial. Por primera vez, el sector dispone de una norma específica unitaria para todo tipo de edificaciones en la que se recoge, desde un enfoque basado en prestaciones, las exigencias básicas que les son de aplicación y las reglas técnicas que garantizan su cumplimiento.

Es obligado destacar la modernidad de la norma en cuanto a su capacidad de favorecer la innovación y, sobre todo, por su carácter de transversalidad que influirá decisivamente en el incremento de la calidad, y las políticas de sostenibilidad y, ahorro y eficiencia energética a las que con singular disposición se ha comprometido este Gobierno.

En el CTE se unifica la normativa básica que hasta el momento de su aprobación, de manera dispersa, cuando no contradictoria, regulaba el proceso edificatorio en España.



*La ministra, con la insignia del Colegio en la solapa, durante su intervención.*

Mi Departamento ha puesto especial énfasis en la divulgación del CTE, como también puso un gran esfuerzo en su aprobación, reconduciendo, desde el inicio de nuestro mandato, la propuesta inicial a fin de presentar una norma de aplicación a los edificios considerados como elementos arquitectónicos únicos, constituidos por sistemas y subsistemas dependientes entre sí

Un proceso que las nuevas exigencias sociales de mejora de calidad de vida y las nuevas tecnologías que las satisfacen, han producido un efecto de necesaria especialización técnica

y de pluralidad disciplinar profesional en la realización de algunos de sus aspectos específicos.

El conocimiento fiel por parte del proyectista de la estructura geotécnica del suelo es uno de esos aspectos, y la garantía de la fiabilidad y pericia del Estudio Geotécnico, fundamental y obligada en cuanto a la certeza del cumplimiento de las exigencias establecidas en el requisito básico de "Seguridad Estructural".

Estamos hablando de uno de los aspectos que obligan al seguro decenal de los agentes que intervienen en la edificación; estamos hablando de responsabilidades y, en consecuencia, de exigencia social de conocimientos, de ahí la importancia que tienen estas V Jornadas que inauguramos, y cuyo objetivo es proporcionar a los participantes una puesta al día en las técnicas de la ingeniería geotécnica de cimentaciones.

Pero, también, estamos hablando de edificios y, por tanto, de arquitectura, de belleza y tecnología integrada, aplicadas al bien común. Estamos hablando del barrio y de la ciudad. Del territorio y del medio ambiente.

Desde esa perspectiva, la aplicación del CTE es clara y precisa. Y desde luego responde al objetivo marcado. El CTE se destina al edificio, a la obra arquitectónica de manera unitaria bajo la coordinación y responsabilidad del proyectista y del director de obra, con independencia de las responsabilidades directas y propias que asumen otros técnicos intervinientes en aspectos específicos de su especialidad.

El CTE es, por tanto, una norma indivisa dirigida a la mejora de la seguridad, de la calidad y de la defensa del usuario, y desde esa óptica debe aplicarse por todos los agentes.

Mi reconocimiento al Ilustre Colegio de Geólogos y a su presidente, Luis Eugenio Suárez Ordóñez, por su empeño y colaboración en la consecución de estos objetivos desde la aplicación pluridisciplinar de la tecnología que le es considerada: la Ingeniería Geológica y Geotécnica de los cimientos en la edificación, que se integra en el Proyecto Arquitectónico de manera indispensable y necesaria incluyéndose en la componente estructural del edificio, sin la cual no es posible garantizar su estabilidad.

Reconocimiento y agradecimiento que debo ampliar a otros campos de colaboración y apoyo que mi Ministerio viene recibiendo de este Colegio, y a cuya recepción siempre hemos estado abiertos y seguiremos estando. Como con cuantos otros lo realicen.

Entiendo que no es fruto de la casualidad el hecho de que estas V Jornadas finalicen el día en que entra en vigor, en plenitud, el CTE. En particular el Documento Básico de Seguridad Estructural relativo a Cimientos, objeto de las mismas.

Entiendo que no es fruto de la casualidad el hecho de que estas V Jornadas finalicen el día en que entra en vigor, en plenitud, el CTE. En particular el Documento Básico de Seguridad Estructural relativo a Cimientos, objeto de las mismas

Tampoco lo es el hecho de anunciaros que se encuentra en tramitación ante el Consejo de Estado para aprobación de un próximo Consejo de Ministros, el Documento Básico correspondiente a la protección frente al Ruido, de singular importancia por sus efectos transversales con el resto de Documentos que integran el CTE.

Este Documento Básico, junto con el correspondiente a Accesibilidad, ya en preparación, culminan el Código, dando inicio a una nueva etapa de modificaciones y adaptaciones conforme lo demande su puesta en práctica o los avances tecnológicos que el propio Código favorece así lo requieran, y que se irán incluyendo en la estructura del CTE bien por modificación de textos o por homologación Ministerial como Documentos Reconocidos, según corresponda.

Asimismo, mi Departamento continuará su andadura de consolidación con las políticas emprendidas:

- De apoyo y fomento a la vivienda joven en régimen de alquiler, impulsado la creación de nuevas fórmulas de asegurar riesgos en los contratos.
- De casas accesibles, promoviendo la rehabilitación de edificios.
- En lo posible, de seguir batiendo récords históricos anuales respecto al número de viviendas protegidas iniciadas como resultado de la aplicación del Plan de Choque y del Plan de Vivienda 2005-2008.
- De puesta en marcha de la nueva Ley de Suelo como herramienta esencial para mejorar la ordenación y la gestión del suelo, que en estos momentos se encuentra en trámite parlamentario en el Senado y para la que hemos contado con la colaboración del este Colegio de Geólogos.

Hay todavía mucho que hacer, sobre todo si, como es el caso, se tiene la voluntad y la firmeza de hacerlo bien.

Finalmente, quiero cerrar este acto haciendo mención expresa de mi gratitud personal, por la concesión de la Insignia de Oro del Ilustre Colegio de Geólogos, cuyo merecimiento atribuyo plenamente a mis colaboradores. Es parte de vuestra probada generosidad que acepto encantada.

# La geología en los deslindes de la Ley de Costas

## Algunas recomendaciones y ejemplos orientativos

La práctica de los deslindes se encuentra con toda una serie de dificultades dados los diferentes criterios de partida y la variada experiencia y formación de los profesionales, unida a la propia complejidad del medio costero en determinados segmentos en que confluyen características muy diversas.

La limitación de este artículo no impide que se matice la gran importancia que tiene el profundo conocimiento de cada uno de los ambientes costeros, comenzando por los aspectos terminológicos y continuando por los dinámicos, morfológicos y sedimentarios, así como la consideración de la evolución reciente.

**TEXTO** | Germán Flor. Dr. en CC. Geológicas. Profesor titular de Universidad. Departamento de Geología. gflor@geol.uniovi.es. Germán Flor Blanco. Dr. en CC. Geológicas. Departamento de Geología. gfb1976@yahoo.es. Universidad de Oviedo

Palabras clave  
**Deslindes, costas, propuestas geológicas.**

Desde los primeros momentos de la promulgación de la Ley de Costas 22/1988, de 28 de julio (BOE número 181, de 29 de julio) y a la espera del correspondiente Reglamento en su momento: Real Decreto 1471/1989, de 1 de diciembre (BOE número 297, de 12 de diciembre), hemos tenido la oportunidad de intervenir en la problemática de los deslindes costeros, generalmente como peritos de numerosos afectados en las regiones de Galicia, Asturias, Valencia, Alicante y Formentera. También fue incluida una asignatura de Doctorado con esta temática durante algunos bienios y, en la actualidad, se incorporan diferentes cuestiones en el Máster Oficial en Recursos Geológicos y Geotecnia de la Universidad de Oviedo.

La Ley pivota fundamentalmente sobre el Dominio Público Marítimo-terrestre y, de forma más específica, en la fijación de la línea demanial, que servirá de referencia geográfica para establecer las diversas servidumbres legales (capítulo II): *servidumbres de protección, de tránsito, de acceso al mar, etc.* La línea demanial, que busca establecer el límite entre las influencias de los procesos continentales y marinos, muy aproximadamente, y su materialización sobre las morfologías

costeras y, en definitiva, en el plano topográfico de detalle, debe ser definida lo más precisa y rigurosamente posible, ya que se constituye en una de las facetas fundamentales en la resolución de conflictos para los ciudadanos administrados.

Los espacios costeros exhiben una gran complejidad, tanto en lo referente a los procesos dinámicos, que inciden individual o combinadamente: vientos, oleajes, corrientes, mareas, descargas

fluviales, etc., sobre un sustrato rocoso y/o sedimentario: playas, campos dunares, estuarios, rías, lagunas costeras, deltas, etc., como a las subdivisiones morfosedimentarias tan variadas o bien de características mixtas dentro de ellos. Ello obliga a que se deba abordar todo el conjunto de la problemática planteada con un tratamiento científico especializado. Y es que muchas aplicaciones quedan sometidas a un cierto grado de discrecionalidad, lo que puede motivar agravios comparativos

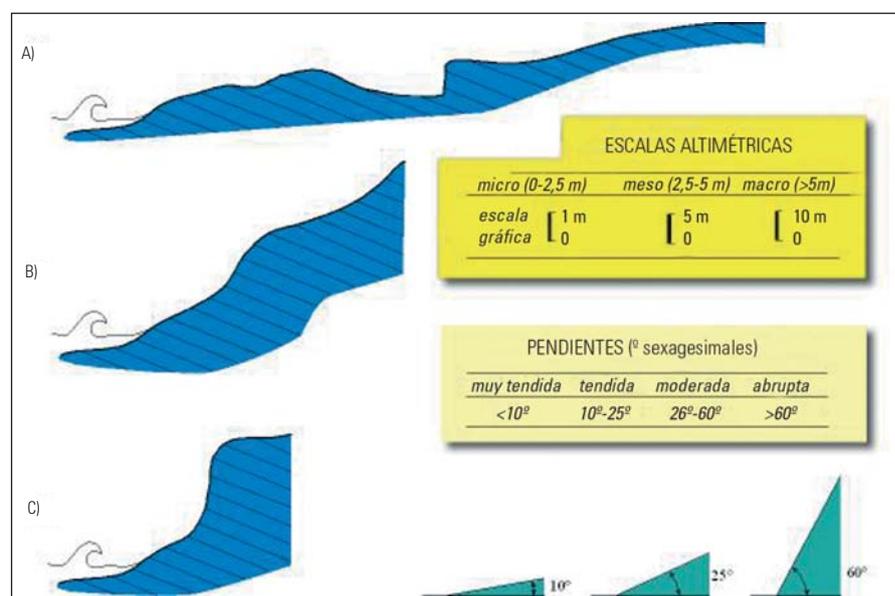


Figura 1. Diferentes tipos de acantilados en función de las escalas altimétricas y de las pendientes.

entre la asunción de criterios diferentes por las demarcaciones periféricas.

Por otra parte, en el procedimiento se imbrican filosofías diferentes como son la fijación de los bienes comunes de los privativos para, de esta manera, llevar a cabo la gestión más correcta, y, por otra, la necesidad de establecer las cotas de mayor protección sobre los espacios costeros de gran fragilidad y, consecuentemente, dotarles del grado máximo de conservación.

### Antecedentes de los comentarios geológicos a la Ley de Costas

Los antecedentes de índole geológica no son numerosos y la temática publicada es muy fragmentaria, lo cual es decepcionante, y ello a pesar de la gran trascendencia social y del gran volumen de proyectos desarrollados.

Cabe destacarse la publicación de Martínez (1991), que hace un repaso de los procesos que afectan a las playas y los impactos ambientales de carácter antrópico en tierra y en el mismo borde costero; algunos ejemplos de playas pertenecientes, fundamentalmente, a la isla de Gran Canaria y al Maresme barcelonés, completan el trabajo relacionado con la problemática geológica de la Ley de Costas.

Fernández Pérez (1995) hace algunas consideraciones generales sobre la costa como un espacio amplio y complejo, cuyos límites se extienden tierra adentro a lo largo de los cauces, siendo el oleaje el agente modelador más importante de la costa. Considera que se deberían tener en cuenta los efectos de la subida del nivel medio del mar, dada la tendencia erosiva que supone.

Más específica y próxima es la aportación de Gracia Prieto y López-Aguayo (1996) que contribuyen con una importante propuesta geomorfológica, cartografía incluida, para el entorno de la bahía de Cádiz, en la que distinguen una gama variada de ambientes sedimentarios costeros, teniendo en cuenta las unidades antropizadas.

Realizan una serie de críticas a diferentes supuestos contenidos en la Ley de Costas y aclaran algunos términos para una mejor comprensión.

En esta misma línea, pero con una marcada componente medioambiental, Martínez (1997) tiene en cuenta las cartografías e historia morfodinámicas, sistemas de información geográfica, clasificación de costas y manejos, procesos y efectos de la erosión. Entra en cierto detalle sobre algunos ambientes costeros: estuarios y deltas, humedales litorales, arrecifes coralinos y relieves cársticos, haciendo una mención sucinta a la Ley de Costas, como aplicación de esta metodología.

Una contribución de carácter geomorfológico es la que abordan Fernández Escalante y García Rodríguez (2004), centrada mejor en la propuesta de una metodología para elaborar un estudio detallado de los ambientes costeros como base necesaria para el establecimiento de la línea de deslinde.

También, Suárez de Vivero (2005) recopila los distintos significados de los componentes que conforman el ámbito costero, y hace una crítica certera de los interrogantes que plantean las indefiniciones sobre el límite marino de las playas y el de las dunas.

Recientemente, Agrados González y Fernández Iglesias (2006) elaboran un documento de gran interés en el que precisan las características de un borde acantilado, incluyendo formas y depósitos asociados, así como el carácter funcional como información necesaria para fijar la línea del dominio público marítimo-terrestre.

En cualquier caso, son necesarios conocimientos profundos sobre la morfología, dinámica y sedimentación costeras en cada ámbito específico para poder deducir los límites referidos en la Ley de Costas. Es sabida la imposibilidad de modelizar todos los ámbitos costeros, sobremanera cuando se imbrican dos o más características distintivas en un sector. Otra cuestión diferente reside

en lo relativo a la conservación del litoral, un aspecto que debería ser considerado independientemente.

### Las imprecisiones geológicas en la Ley

Simplificadamente, la Ley de Costas y su Reglamento hacen referencia a espacios acantilados, que especifica son sensiblemente verticales, perfectamente diferenciados de los ambientes costeros de carácter sedimentario, como playas y dunas, rías, marismas, albuferas, marjales, esteros y, en general, los terrenos bajos. Pero incluyen también otros términos como la ribera del mar y algunas morfologías particulares, como escarpes, bermas de playa, y hacen mención a algunos procesos dinámicos como las mareas vivas equinocciales, olas de temporal, ondas mareales (márgenes de los ríos hasta el sitio donde se haga sensible el efecto de las mareas), filtración del agua del mar, viento marítimo, u otras causas naturales o artificiales.

En cualquier caso, se trata de una terminología sumamente deficitaria, y algunos contenidos en el articulado pecan de indefinición, lo cual puede inducir a sendos errores en el deslinde, como terrenos bajos. Lo mismo puede argumentarse con los límites de la zona marítimo-terrestre en los sistemas dunares a ubicar en las dunas fijadas por vegetación hasta el límite que resulte necesario para garantizar la estabilidad de la playa y la defensa de la costa; esta interpretación queda sujeta a una dosis muy alta de subjetividad, sobre todo en lo referente a este último objetivo sobre la defensa costera.

El término estuario se enmascara dentro del de ría, que tiene unas connotaciones geológicas más amplias, ambos perfectamente diferenciables desde el punto de vista dinámico, geomorfológico y sedimentológico. Las rías, como valles fluviales incompletamente rellenados por sedimentos, incluyen una gama variada de ambientes, desde tramos acantilados, playas con o sin campos dunares, llanuras mareales y marismas e, incluso,

estuarios, como, por ejemplo, es el caso de la ría de Vigo, dentro de la que se desarrolla el estuario de la Ramallosa.

Las lagunas costeras, tanto de costas mareales y no mareales, como saladas, salobres y de agua dulce, deberían haberse concretado más correctamente, para dentro de ellas englobar aquellos ambientes de alcance geográfico más local, como las albuferas o marjales. Asimismo, no se discrimina su carácter continental (exclusivamente de aguas dulces) o costero, quedando sometidas a aportes con una mayor o menor proporción de agua marina.

Las marismas constituyen superficies fangosas vegetadas, mayoritariamente asociadas a diferentes ambientes sedimentarios, que pueden desarrollarse en varios entornos: estuarios, deltas, lagunas costeras, llanuras de marea, etc., junto con otras unidades morfosedimentarias: llanuras fangosas, llanuras arenosas, canales principales y mareales, canales distributarios, deltas mareales, barras horquilladas, playas y dunas estuarinas y deltaicas, etc. Pero tampoco debiera excluir su formación en sustratos rocosos impermeables. Lo mismo cabe decir de los esteros, vocablo que hace mención a canales mareales y unidades asociadas.

Sorprende la importancia que se ha prestado a morfologías sedimentarias menores, algunas inexistentes en muchas playas o solamente construidas en condiciones de equilibrio estacional, como las bermas citadas repetidamente. Esta apreciación, en cuanto a la banalidad de esta estructura morfológica, también es comentada por Gracia Prieto y López-Aguayo (1996).

La aplicación de la normativa a los acantilados presenta el mayor grado de confusión, ya que implícitamente considera la totalidad de las morfologías rocosas pertenecientes al tipo abrupto, sin incluir los acantilados bajos, que requieren otra solución diferente. Tampoco se hace eco de la diferencia entre un acantilado abrupto y una ladera verdadera, ni se detalla, para la

realización de los cálculos de pendientes, si el plano final debe o no incluir los depósitos asociados, en especial los alojados en su base; muchos depósitos de pie, de grandes dimensiones (bloques y megabloques), están ordenados de acuerdo con estructuras de imbricación, claramente debidas a los oleajes de tormenta; ¿debe considerarse como un depósito de una playa todavía en una fase muy incipiente de evolución o es un depósito verdadero de un acantilado?

Quizá, las mayores dificultades aparecen en tramos costeros, donde las unidades costeras se alternan de forma compleja: costas rocosas bajas con depósitos dispersos fuera de la línea del agua que albergan playas de bolsillo con dunas activas o bien dunas fósiles e, incluso, cuando las dunas activas no responden al modelo de cordón dunar.

Se echa en falta la inclusión de ambientes costeros sedimentarios de grandes dimensiones, bien representados en el litoral español mediterráneo, como son los deltas, tanto el amplio del Ebro como los muy numerosos y reducidos de tipo arqueado, muchos de granulometrías superiores dominantes a las fracciones arenosas: Salobreña, Palancia, Mijares, Llobregat, Besós, Blanes, etc. Probablemente, el hecho de estar orlados por playas activas haya aconsejado su exclusión.

En ciertos casos, como los que se evidencian, entre otros, en la isla de Formentera, se tiene la "sensación o sospecha" de que la Administración, ante la perspectiva de conservar campos dunares de un gran interés ecológico, superpone los Proyectos de Deslinde, con lo que deberían constituir Planes de Protección Especial de Espacios Naturales u otras figuras administrativas o legislativas.

### Acantilados

Una de las resoluciones administrativas que generan mayores controversias concurren en los terrenos acantilados, existiendo una tendencia generalizada en los proyectos a ubicar el límite marítimo-

terrestre en la culminación de los mismos, sin aplicar estrictamente el mandato del Reglamento, separando los tramos de planos con inclinaciones superiores e inferiores a 60° sexagesimales. Quizás, ello es debido a la traducción simple e inmediata de la morfología de dicha línea culminante a la del deslinde.

Que duda cabe que tal imperativo legal supone un trabajo de cálculo muy laborioso, particularmente en perfiles costeros con cambios continuos de las pendientes y que la línea resultante dibuje una quebrada sumamente irregular, con líneas que siguen por el borde culminante y por la base acantilada.

La cuestión de mayor complejidad se plantea a la hora de separar, geomorfológicamente, entre un acantilado verdadero y una ladera, si bien su resolución técnica no debería inducir a confusión posible, como se detallará más adelante. El término acantilado debería reservarse para las superficies rocosas en contacto con el mar, de modo que su acción mecánica determine sus peculiaridades geomorfológicas y la evolución del mismo; puede estar directamente conectado a una superficie de abrasión activa en posición sumergida o emergiendo parcialmente en costas mareales y, en su pie, desarrollar hendiduras de abrasión, cuevas, etc. Una ladera en el borde costero representa un espacio, igualmente rocoso, sometido en exclusiva a los agentes continentales, generalmente en segmentos donde en su pie se generan formaciones sedimentarias relacionadas o no con los propios depósitos de la misma.

Algunos geomorfolólogos han subdividido los acantilados, referidos siempre a la porción emergida, dependiendo de los desniveles altimétricos e independientemente de la inclinación integral, en altos, medios y bajos, pero no han aportado cifras limitantes concretas para cada clase. También se han incluido las costas rocosas en dos grandes grupos, acantiladas o abruptas y bajas, en todos los casos sometidas a procesos

erosivos dominantes (Sanjaume, 1985) por la incidencia del oleaje con todo su potencial mecánico.

En función de la experiencia acumulada en trabajos sobre costas rocosas, se proponen en este trabajo tres tipologías morfológicas, atendiendo al criterio mencionado de la diferencia altimétrica: 1) micro (0-2,5 m), 2) meso (2,5-5 m) y 3) macroacantiladas (>5 m), independientemente de la pendiente resultante. Si se considera este último parámetro, teniendo en cuenta, además, la referencia del Reglamento, se sugiere la subdivisión complementaria siguiente (figura 1):

1. Acantilados con pendientes muy tendidas (<10°)
2. Tendidas (10°-25°)
3. De pendiente moderada (25°-60°)
4. Abruptas (>60°).

La resolución de la mayor parte de los Proyectos de Deslinde ha ubicado la línea demanial en la culminación de los planos acantilados, en cierto modo por la implicación morfológica y de evolución que supone este cambio de pendientes. No obstante, si una aplicación del Reglamento es contundente y deja menos margen para la interpretación, ésa es la referente a la pendiente (mayor o menor de 60° sexagesimales), incluyendo las

bermas o escalonamientos existentes antes de su coronación.

Para establecer la línea demanial se siguen criterios, principalmente, geológicos: morfología, depósitos característicos, procesos activos, e incluso se recurre a la distribución biológica, bien sea de especies vegetales o animales. Se tendrán en cuenta:

- 1) la separación morfológica entre un acantilado verdadero y una ladera,
- 2) la existencia de playas verdaderas,
- 3) depósitos costeros de tormenta que no llegan a constituir una playa típica,
- 4) cordón dunar ligado a su playa de procedencia y 5) comunidades marinas de gasterópodos o colonias vegetales halófilas y/o subhalófilas.

1. En microacantilados (0-2,5 m de desnivel altimétrico):

a) Hasta donde llega sedimento transportado en episodios de tormentas ocasionales pero extremas, correspondiente a fracciones arenosas o de otras granulometrías superiores, con un origen costero característico (generalmente, de naturaleza mixta siliciclástica y bioclástica). Puede rellenar, total o parcialmente, determinadas áreas deprimidas irregulares y alcanzar la plataforma

rocosa emergida disponiéndose de forma irregular.

- b) Si se formaran depósitos de playas verdaderas, generalmente como una banda estrecha (unos pocos metros), mediando la plataforma rocosa emergida, la linde deberá incluir hasta donde son activos los sedimentos sometidos a dicha dinámica y hasta la posición de tormentas, procesos que han emplazado los depósitos en esa posición.

- c) Si, como en el caso anterior, se conformara una franja dunar eólica asociada, también activa y con una anchura, por lo general, escasa (métrica), la zona marítimo-terrestre se llevará hasta donde se sitúe el borde activo sedimentario de dicho depósito eólico, es decir, hasta el extremo distal de sotavento.

- d) Si no hubiera ningún tipo de sedimento indicador, bien porque no existe en la franja sumergida o las tormentas son incapaces de hacerlo emerger, el criterio pesará sobre la presencia de determinados organismos de hábitat marino. Así, la linde se ubicará hasta donde se detecten los organismos marinos más alejados de la línea del agua, que soportan periodos prolongados de desecación, como el gasterópodo *Littorina neritoides*, fiel indicador de hasta donde llegan las salpicaduras del oleaje (figura 2A).

- e) Si este tipo de organismos no existiera, la línea se colocará hasta la zona donde llegan las salpicaduras o la masa nebulizada del agua marina por el rompiente del oleaje, que condiciona la presencia de especies vegetales halófilas y/o subhalófilas (figura 2A). Este límite se ubica en posiciones ligeramente más hacia tierra que en el caso precedente.

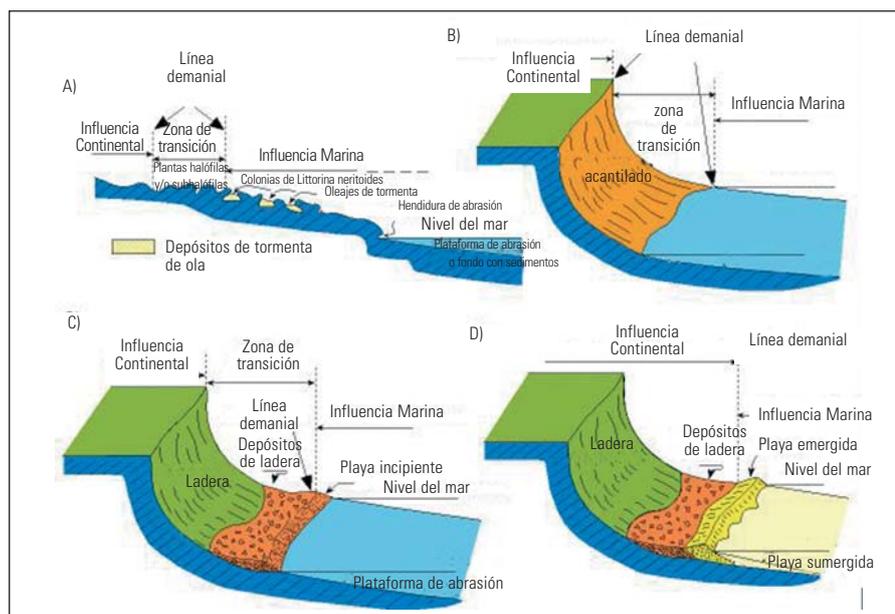


Figura 2. Diferentes posibilidades de transiciones en franjas acantiladas. A) para acantilados de escasa pendiente; B) acantilados con desniveles importantes sin depósitos; C) laderas con depósitos en su base, reservando dentro de la franja demanial los afectados por oleajes; y D) laderas con depósitos típicamente costeros en su pie.

2. En mesoacantilados (2,5-5 m), parte de los criterios definidos en el apartado anterior pueden ser aplicados de igual manera, hecho constatable, mejor y con mayor frecuencia, en aquéllos con menor diferencia altitudinal.

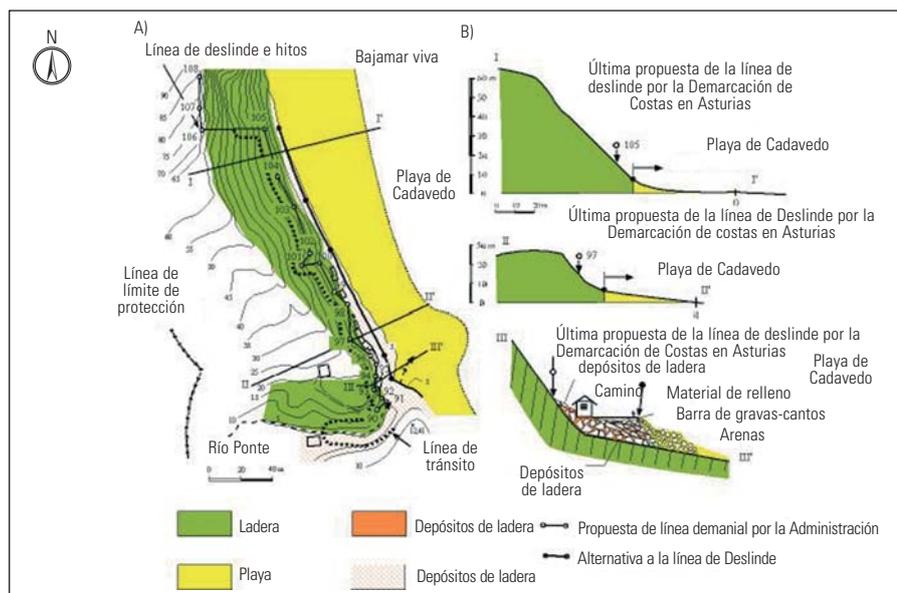


Figura 3. Esquemas pertenecientes a un proyecto de deslinde en la playa de Cadavedo (occidente de Asturias). A) plano topográfico de detalle con las líneas correspondientes y B) perfiles transversales representativos de la franja costera en los que se incluyen los hitos propuestos por la Demarcación de Costas y los solicitados.

3. En meso y macroacantilados de perfil moderado a abrupto, es más representativo el parámetro morfológico.

a) Estaría representado por la culminación de la pared acantilada, siguiendo una línea generalmente irregular, tanto si la pendiente resultante es inferior como superior a los 60° sexagesimales, como fija el Reglamento de Costas. La zona demanial englobará la franja con doble influencia marina y continental, independientemente de la inclinación (figura 2B). Este criterio geomorfológico permitirá aplicar, de forma inmediata, los levantamientos cartográficos que han sido necesarios elaborar para emitir el proyecto provisional de deslinde y su manifestación como línea demanial, únicamente con el requisito de ser trazada como una poligonal. Se evitarían, por tanto, cálculos engorrosos y el diseño de una línea poligonal potencialmente muy quebrada o zigzagueante.

b) Cuando existan depósitos de bloques y megabloques en su pie, producto del reglado en un amplio segmento de la pared acantilada, el límite demanial deberá desplazarse hasta el extremo superior de los fragmentos sedimentarios (figura 2C).

Se justifica por el hecho de que los depósitos del acantilado se alojen en el contacto con el mar y acaban constituyendo una playa, primero muy escasamente evolucionada y formada a partir de megabloques y bloques, algunos con formas paralelepípedicas (lastras), que adquieren una disposición imbricada por los oleajes de tormenta, únicos capaces de removilizarlos. El resto de la pared hasta la culminación funciona como una ladera, justificando su exclusión como zona demanial.

4. En el caso de laderas verdaderas, se debería trasladar la línea marítimo-terrestre al contacto con los depósitos costeros activos, bien sean playas simples o campos dunares activos, en este supuesto en la posición más interna o distal, que se definirán en los dos apartados subsiguientes (figuras 2C y D).

Algunos proyectos como el Deslinde del Dominio Público Marítimo Terrestre del término municipal de Valdés-Deslinde Provisional de 30 de septiembre de 1996, inicialmente consideraba el menor ángulo de 60° para fijar en la base la línea demanial. Posteriormente, ante una alegación en el tramo de Cadavedo, de 24 de febrero de 1998, resuelve, contra toda lógica, un proyecto de deslinde donde la línea demanial se colocaba en el plano acantilado. Tal decisión se basaba en un estudio geológico que proponía se retirara hacia el mar la línea, ya que lo dividía en una extensa vertiente superior y un pequeño escarpe basal; es decir, no tenían en cuenta el contenido del Reglamento que considera como un único plano para los cálculos definitivos (figura 3).

No es habitual que los microacantilados subverticales sean incluidos en los proyectos provisionales como acantilados verdaderos, más aún cuando se extiendan calas o playas de extensión muy

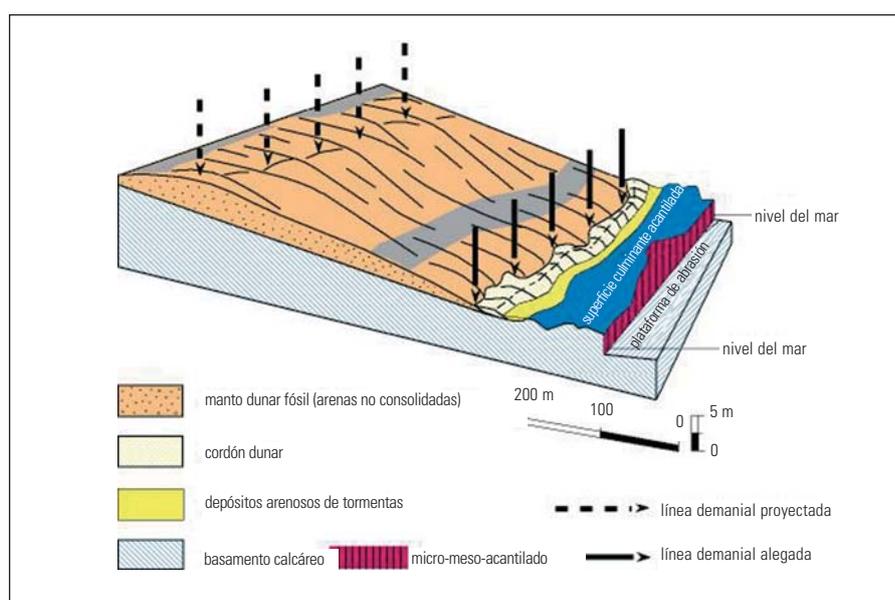


Figura 4. Caso de un deslinde en la costa del Migjorn formentereño en un tramo microacantilado, culminado por una superficie subhorizontal rocosa, que posee en su interior una franja de arenas de tormenta de ola y un cordón dunar, ambos apoyados sobre un manto de dunas remontantes fosilizadas. Líneas demaniales propuestas por la Demarcación de Costas (interna discontinua) y alegada (exterior continua).

reducidas en su base, y su evolución esté dominada por el oleaje. La línea demanial no solamente no ha buscado la intersección del plano culminante o el pie del acantilado, según la aplicación de la inclinación establecida, sino que se ha separado, incorrectamente, desde varias decenas a un centenar de metros de anchura desde dicha culminación, tierra adentro en la horizontal. Es el caso de algunos tramos de la isla de Formentera (figura 4), cuyo sustrato en su mayor parte está constituido por eolianitas (basamento calcáreo) sobre el que se genera una franja de acantilados bajos cuya culminación es una superficie subplana que puede contener un cordón dunar fósil que, a su vez, se apoya sobre un manto eólico de dunas remontantes fijadas, dentro de las cuales se ubican areneros, urbanizaciones, etc., y que en los diferentes proyectos de deslinde ubican la línea demanial a varios centenares de metros de la orilla. Se trata de unas dunas que, una vez incorporadas al continente como mantos remontantes, no cumplen nunca el requisito legal 4.d del capítulo primero del Reglamento. En este supuesto, cabría aplicar la solución propuesta en la figura 1B, en este caso para microacantilados.

Si se aplicara estrictamente el articulado, al ser planos acantilados con pendientes superiores a los 60°, la línea de dominio público se ubicaría en la culminación, pero el hecho de contener cordones dunares no activos en posiciones próximas al acantilado, aunque generados en etapas anteriores, aconseja que la línea de dominio público se sitúe a sotavento de los mismos para preservar estos dominios.

### Playas

En playas simples, se sigue la norma de buscar el límite interno de los materiales sueltos hasta donde llegan los temporales de oleajes mayores conocidos o deducidos, como consecuencia de su sedimentación en las áreas más internas de la playa. No obstante, como este último dato es francamente difícil de recabar en numerosas ocasiones, los proyectos de deslinde suelen abarcar una

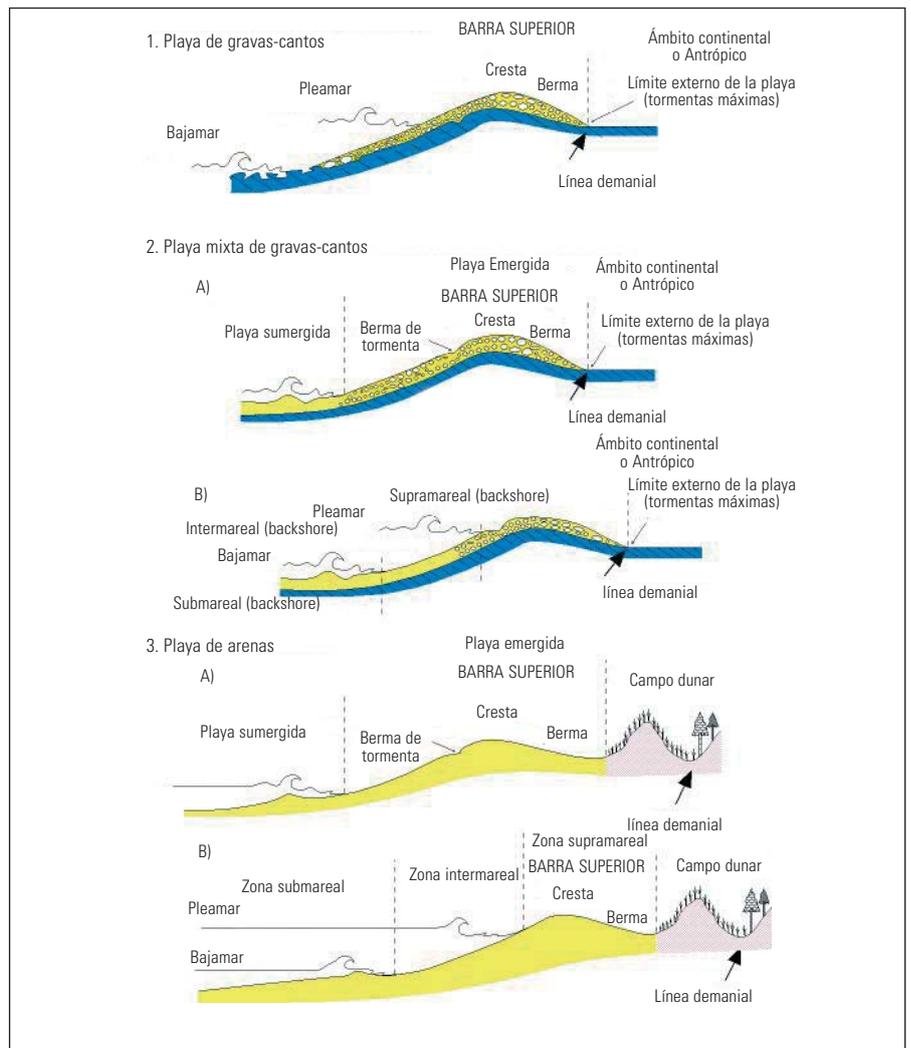


Figura 5. Tipologías de playas de grava-cantos para costas mareales (I), mixtas no mareales y mareales (IIA y B, respectivamente) y arenosas no mareales y mareales (IIIA y B, respectivamente), estas últimas con la posibilidad de generar en la posplaya campos de dunas.

franja horizontal de "seguridad", casi siempre superior a la deducida con el criterio apuntado, lo cual suele entrar en conflicto con los ciudadanos afectados. Geológicamente, la zona de máximo avance o de actividad de las tormentas máximas de oleaje queda netamente definida por los depósitos activos internos que, en el caso de playas de cantos, resulta aún más sencillo de obtener.

La fijación de la línea demanial en las playas tiene la resolución más simple por cuanto el límite de actuación de los temporales puede deducirse con un grado de confianza relativamente elevado. Si el sedimento es arenoso, la realización de catas permitirá correlacionar el sedimento de tormenta con el de la playa de procedencia. Obviamente, se procederá a la toma de muestras en los ámbitos de la playa activa siguiendo perfiles transversales a la línea del agua,

En playas simples, se sigue la norma de buscar el límite interno de los materiales sueltos hasta donde llegan los temporales de oleajes mayores conocidos o deducidos

estableciendo los parámetros granulométricos, incidiendo mejor sobre la media, calibrado y asimetría, así como el contenido carbonatado bioclástico. Si hubiera dudas en cuanto a la procedencia de los sedimentos, se deberían llevar a cabo otros estudios adicionales, como la



Figura 6. Límite interno de un manto de gravas-cantos de tormenta que debería servir para ubicar la línea demanial (azul) en la playa de Cueva (occidente de Asturias) perfectamente extrapolable al resto de la playa.

En el caso de una playa representada por fracciones groseras (gravas, gravillas y cantos, predominantemente), bien sea simple o mixta, es muy habitual que los depósitos de tormentas (lóbulos, abanicos y mantos) se extiendan hacia tierra, permitiendo marcar con precisión el alcance de las tormentas

caracterización de minerales pesados, una manera precisa, aunque laboriosa, de correlación de las áreas fuente del sedimento y de las morfoscopías y morfometrías de los granos de cuarzo.

En el caso de una playa representada por fracciones groseras (gravas, gravillas y cantos, predominantemente), bien sea simple o mixta, es muy habitual que los depósitos de tormentas (lóbulos, abanicos y mantos) se extiendan hacia tierra, permitiendo marcar con precisión el alcance de las tormentas (figuras 5I y IIA y B). También la cartografía simple o, en su caso, la realización de catas con la oportuna realización de cantometrías servirá para determinar el alcance máximo de los

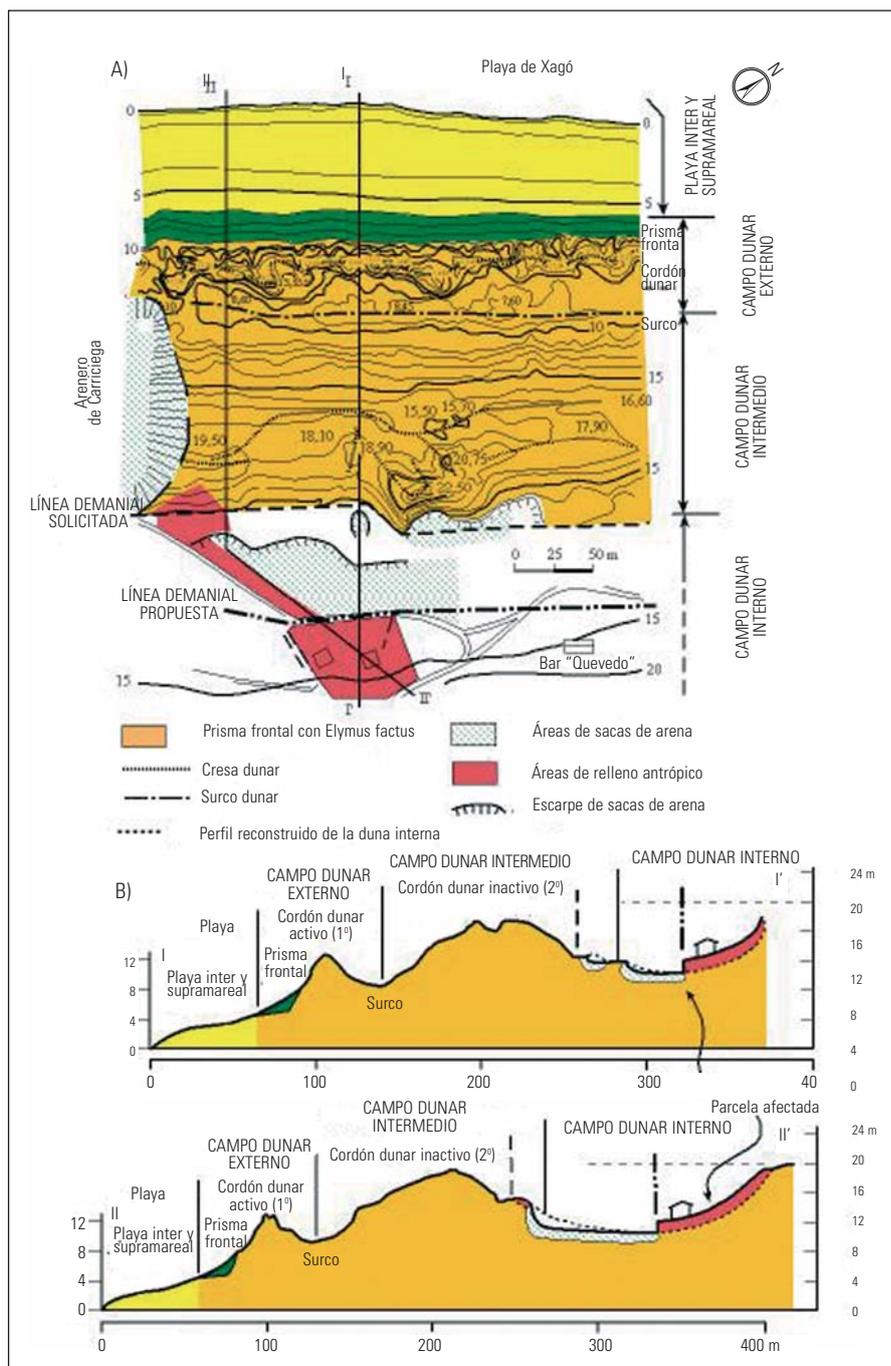


Figura 7. En el campo dunar de Xagó (área central de Asturias), la línea demanial se ha situado incluyendo espacios de propiedad privada donde se habían producido sacas importantes de arenas, ajenas a los residentes, con la consiguiente pérdida de la morfología original.

depósitos de tormenta. En estos casos, los estudios detallados sobre la forma de los clastos, como los trabajos realizados por Martos de la Torre y Flor (2004), centrados en los mantos y lóbulos de tormenta, también permite una mejor resolución de la problemática.

Cabe matizar que los procesos de sedimentación por tormentas se llevan a cabo con la formación de mantos más o menos continuos o lóbulos individualizados; además, en una misma playa, ciertos

segmentos son más proclives a la formación de nuevos aportes sedimentarios. Consecuentemente, es aconsejable marcar la línea demanial desde el límite más interno de los depósitos de tormenta siguiendo una trayectoria paralela a la línea del agua al objeto de garantizar una franja regular donde es más probable tenga lugar la sedimentación futura (figura 6). No obstante, si la superficie de la berma se extendiera hacia posiciones más internas, la cota topográfica inferior podría servir para marcar el ámbito más interno de la playa.

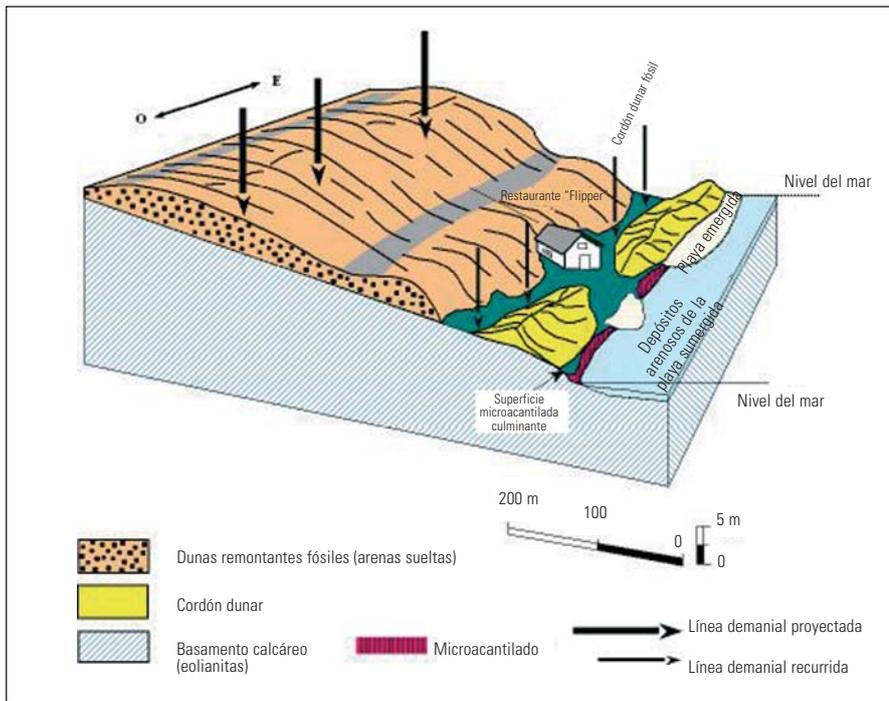


Figura 8. Líneas demaniales propuesta y alegada en un segmento de la playa de Els Arenals en la isla de Formentera.

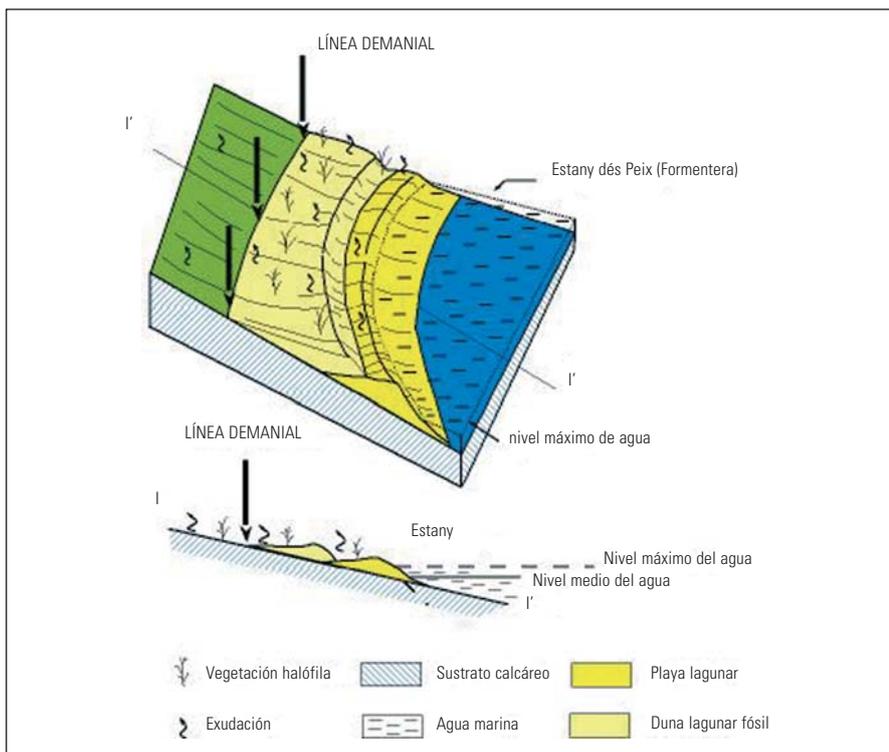


Figura 9. Procesos de exudación en una franja que orla una laguna costera en el NO de la isla de Formentera sobre la que se desarrolla una playa lagunar y su correspondiente duna. En este caso, el límite interno dunar servirá para fijar la línea demanial.

### Dunas costeras

Los problemas más difíciles de resolver suceden cuando la playa se conecta con un campo dunar, ya que hay que tener en cuenta la necesidad de disponer de amplios espacios dunares que sirva de almacén-recurso y garanticen el futuro de una playa en recesión. La geometría imperante de

cordones dunares como tipología más generalizada en contacto con la playa adosada ha sido utilizada como modelo en la aplicación de los deslindes, pero existen numerosas tipologías no solamente de acumulación, sino de erosión exclusivamente y mixtas de sedimentación y erosión (Flor, 2005). En campos dunares donde se han construido varios cordones dunares

En la mayor parte de los deslindes no se ha aplicado un criterio uniforme. En unos casos, la línea se ha situado en el surco interno del primer cordón dunar, y en otros en la cresta del más interno

paralelos, los más internos urbanizados, requieren una mayor atención y sensibilidad en los deslindes.

Como en el caso de playas, suele recurrirse a la realización de catas en las franjas limitantes para llevar a cabo análisis granulométricos, de composición y de las morfometrías y morfoscopías de los granos de cuarzo, existiendo una abundante bibliografía al respecto, particularmente comparándolas con la playa de procedencia; de un modo general, las arenas eólicas son más finas, están mejor clasificadas y tienden a asimetrías positivas y los bioclastos carbonatados son más bajos. Los granos de cuarzo contienen una gran proporción de angulosos, al ser las poblaciones más finas algo o mucho más abundantes y aparecen porcentajes más altos de cuarzos desgastados con texturas mates. No obstante, la práctica demuestra que en la mayor parte de los campos dunares, el transporte que experimentan las arenas desde la playa hasta su sedimentación dunar es relativamente corto, de modo que apenas si se incrementa sustancialmente el número de granos más desgastados y solamente aparecen algunos cuarzos con la típica superficie mate y numerosos brillantes heredados de la playa (incluso en mayor proporción que aquéllos).

## En estuarios, se produce una doble influencia fluvial y mareal, para lo cual la Ley y el Reglamento de Costas han fijado el límite de sus atribuciones hasta donde se hagan sensibles los efectos de las mareas

En la mayor parte de los deslindes no se ha aplicado un criterio uniforme. En unos casos, la línea se ha situado en el surco interno del primer cordón dunar o más próximo a la playa, mientras que en otros campos se ha colocado en la cresta del más interno o en alguna parte de su costado de barlovento. Como mínimo se debería preservar el más externo (*figuras 5 III A y B*). Ni que decir tiene que las fincas urbanizadas suelen constituir una barrera limitante por la cual la Administración tiende a respetar dichas propiedades particulares, de forma generalizada cuando forman parte de grandes urbanizaciones, aunque también hay excepciones.

Un caso particular se ha planteado en el campo de dunas de Xagó (zona central de Asturias), donde la línea demanial se fijó en la franja más interna del campo dunar, incluyendo áreas donde se practicaron sacas intensivas de arena y algunos rellenos antrópicos (*figura 7*). Para este segmento debería haberse fijado en el límite entre los campos intermedio e interno (Flor, 2003), una franja de carácter privado donde se habían realizado sacas de arena por personas ajenas a los actuales propietarios. Esta resolución contraviene el Título II, Capítulo primero, Objetivos y disposiciones generales. 20: "La

protección del dominio público marítimo-terrestre comprende la defensa de su integridad y de los fines de uso general a que está destinado; la preservación de sus características y elementos naturales...".

Esta misma práctica ha tenido lugar en sectores de la isla de Formentera, donde el cordón dunar limitante con la playa puede estar conectado directamente con ella o a través de un microacantilado (*figura 8*). En este litoral, numerosos deslindes han incluido extensas superficies de mantos dunares remontantes, totalmente inactivos y que no podrán ser reutilizados por la playa de procedencia, dentro de los que se han construido urbanizaciones, instalaciones hoteleras, areneros en continua extracción, etc., de forma muy irregular, que suponen agravios comparativos respecto al resto de la costa con esta misma característica morfológica y sedimentaria.

Cuando las dunas tienen una actividad reciente, comportándose como dunas transgresivas, es decir, activándose la sedimentación eólica con una migración neta hacia tierra (complejo interno de Doñana, Valdevaqueros y Bolonia, en Cádiz, etc.), debe analizarse puntualmente la relación causa-efecto que permita dilucidar si tal actividad deriva de un proceso natural o antrópico, a pequeña o gran escala, indirecta o directamente inducido. La línea demanial deberá coincidir con el extremo más interno del avance dunar, más una cierta franja adicional para prevenir futuros avances potenciales, como se ha detallado para los depósitos de tormenta en playas. Si el avance se realiza sobre un campo dunar previo perfectamente vegetado, como los citados, se extenderá la línea demanial a todo el campo.

### Otros ámbitos costeros

En estuarios, se produce una doble influencia fluvial y mareal, para lo cual la Ley y el Reglamento de Costas han fijado el límite de sus atribuciones hasta donde se hagan sensibles los efectos de

las mareas. Cabe deducirse que debe buscarse el punto, siempre en una línea del cauce fluvial, donde alcanzan las pleamares vivas como criterio para fijar la línea del dominio público marítimo-terrestre y, además, para condiciones de estiaje, ya que la onda mareal o mecánica se transmite mucho más aguas arriba, en estas circunstancias. Los fenómenos de resonancia mareal en algunos estuarios, incrementan sustancialmente el rango (hipersincrónicos, según Le Floch, 1961) y esta influencia se deja sentir en tramos muy internos o aguas arriba del curso fluvial, como ha puesto de manifiesto Flor Blanco (2007) en el estuario principal de San Vicente de la Barquera (río Escudo).

Pero la realidad morfodinámica y sedimentaria de los estuarios muestra que la onda mareal es un fenómeno banal en la cola del estuario, mientras que los procesos fluviales ejercen la influencia decisiva en estas áreas.

Esta idea, cuando menos, debería ser tenida en cuenta a la hora de separar los dominios hidráulico y marítimo terrestre, acercándose mejor a este límite hasta donde llega la onda salina en pleamares vivas y estiajes, igualmente. En algunos deslindes se ha tenido en cuenta el alcance de dicha cuña salina, como en el deslinde del río Landro (ría de Viveiro, Lugo).

En lagunas costeras, surgen diferentes problemas que la práctica del deslinde no tiene en cuenta. El factor físico de las aguas, dulces o continentales y marinas o saladas, debe servir de criterio definitivo para la separación de las costeras verdaderas, que reciben el influjo salino, quedando excluidas las de funcionamiento continental.

Desde la perspectiva geológica, no existe duda alguna de que dentro de las lagunas costeras se desarrollan subambientes variados, que deben ser cartografiados detalladamente para individualizar las unidades de carácter salino de las dominadas por la influencia de las aguas dulces o, si se producen exudaciones

salinas, debidas a procesos edáficos, como procesos típicamente continentales.

Cuando se generan playas limitantes internas, hecho muy frecuente, que dependen estrechamente de la acción de los vientos que activan oleajes internos sobre la superficie del agua, cuyas granulometrías son relativamente más finas que las playas expuestas y ocupan una banda muy estrecha (5 a 10 m), se debe aplicar el mismo criterio que el de playas expuestas. Lo mismo cabe decirse cuando se suceden dunas fósiles por detrás de dichas playas lagunares, que

nada tienen que ver con formas activas y que, por tanto, no constituyen reservas sedimentarias para aquéllas.

Puede existir vegetación halófila y subhalófila producto de la exudación en el borde que orla lagunas en climas subáridos, como en Formentera (Estanys d'és Peix y Pudent o Los Flamencos). La Administración parte del supuesto que dicha vegetación se desarrolla por filtraciones o desbordamientos en tormentas de oleaje del agua del mar, por lo que las incluyen en la zona demanial. Pero la realidad demuestra que es más

factible que se produzca una evaporación capilar de la tabla freática de agua dulce, con precipitación de la sal común, cuyo nivel de base se estabiliza en el borde del agua del estanque y, por tanto, se encuentra en una posición subsuperficial en toda la franja limitante. Cuando la exudación se realiza en terrenos no sedimentarios, la línea demanial se ubicará en la línea hasta donde llegan las tormentas de oleaje, del mismo modo que si se desarrolla una playa lagunar pero, si han generado cordones dunares, se llevará a cabo en el límite más interno, como es el caso de la figura 9.

## Bibliografía

- Adrados González, L. y Fernández Iglesias, E. (2006). *Criterios geomorfológicos y botánicos en la identificación del límite marino-terrestre en acantilados silíceos*. Actas de la IX Reunión Nacional de Geomorfología. A. Pérez Alberti y J. López Bedoya, eds. Geomorfología y Territorio, 285-299. Pub. Universidad de Santiago de Compostela.
- Fernández Pérez, J. (1995). *La gestión integral de la costa: hacia una nueva estrategia territorial*. En: Proyectos y Construcción de Playas Artificiales y Regeneración de Playas. M.A. Losada, ed. Ingeniería del Agua, 2 (nº extraordinario), 7-18.
- Fernández Escalante, E. y García Rodríguez, M. (2004). *Aspectos procedimentales de geomorfología litoral. Aplicación práctica de la Ley de Costas en la delimitación del Dominio Público Marítimo-Terrestre (DPMT)*. Revista Tecnología@ y desarrollo, 1, 1-33. Universidad de Alfonso X El Sabio. Madrid.
- Flor, G. (2003). *Modelos evolutivos de los grandes campos dunares de Asturias. El Factor antrópico*. Actas de la II Reunión de Geomorfología Litoral. R. Blanco Chao, J. López Bedoya y A. Pérez Alberti, Eds. Procesos Geomorfológicos y Evolución Costera, 167-181. Pub. Universidad de Santiago de Compostela.
- Flor, G. (2005). *Geología Marina*. Servitec. Oviedo. 644 pp.
- Flor Blanco, G. (2007). *Características Morfosedimentarias y Dinámicas y Evolución Ambiental de los Estuarios de Tina Mayor, Tina Menor y San Vicente de la Barquera (Costa Occidental de Cantabria)*. Tesis Doctoral (inédita). Departamento de Geología. Universidad de Oviedo. 477 pp.
- Gracia Prieto, J. y López-Aguayo, F. (1996). *Estudio Geomorfológico*. En: Estudios para la Ordenación, Planificación y Gestión Integradas de las Zonas Húmedas de la Bahía de Cádiz, 217-231. J. M. Barragán Muñoz, coord. Universidad de Cádiz. Oikos-Tau, S.L., Vilasar de Mar (Barcelona).
- Le Floch, P. (1961). *Propagation de la Marée Dynamique dans l'Estuaire de la Seine et en Seine Maritime*. Thèse Doctorat d'État. Univ. de Paris.
- Martínez, J. (1991). *Los procesos morfodinámicos, la importancia de los mismos en la planificación y gestión del litoral y cómo se contemplan en la Ley de Costas*. En: Seminario sobre la Ley de Costas (Las Palmas, 16-25 de enero de 1990): Ponencias, 53-66. J. Martínez, ed. Aula de Práctica Jurídica del Iltmo. Colegio de Abogados de Las Palmas. Facultad de Ciencias del Mar. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 120 pp.
- Martínez, J. (1997). *Geomorfología Ambiental*. Servicio de Publicaciones. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 196 pp.
- Martos de la Torre, E. y Flor, G. (2004). *Controles morfológicos y sedimentarios en relación con los ciclos estacionales en la playa de cantos de Aramar (Luanco, Asturias)*. Actas de la VIII Reunión Nacional de Geomorfología. G. Benito y A. Díez Herrero, Eds. Contribuciones Recientes sobre Geomorfología, 273-281. CSIC-Centro de Ciencias Medioambientales. Madrid.
- Sanjaume, E. (1985). *Las Costas Valencianas. Sedimentología y Morfología. Sección de Geografía*. Universidad de Valencia. 505 pp.
- Suárez de Vivero, J.L. (2005). *Delimitación y Definición del Espacio Litoral*.  
[http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.usf/Vanexos/IEA-ALA-c1/\\$File/ALA-c1.pdf](http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.usf/Vanexos/IEA-ALA-c1/$File/ALA-c1.pdf)

# Las galerías de agua en Tenerife

Desde hace más de 160 años se perforan en Tenerife túneles o galerías subterráneas en busca del agua almacenada durante siglos, o miles de años, en el acuífero volcánico. Su perforación requiere técnicas especializadas y la circulación por su interior debe ir acompañada de medidas de seguridad para evitar accidentes.

– ¡Agua, señor Fulgencio, ahí viene un chorro precioso!  
 – Tenías que darla, cochina. Ni con sangre pudiste guardártela. Ahora te vaciarán las entrañas y ese será tu castigo.

Quad. Alfonso García Ramos

**TEXTO** | Ricardo Balcells Herrera. Geólogo. Consejo Insular de Aguas de Tenerife.

Palabras clave  
**Galerías, mortalón, acuífero, gases volcánicos, hidrogeología, Tenerife.**

Ante la escasez de recursos hídricos superficiales, las aguas subterráneas han constituido la fuente principal de agua dulce en el archipiélago canario. De todas las islas, es en Tenerife y La Palma donde las obras de captación alcanzan mayor desarrollo, siendo las galerías de agua las infraestructuras emblemáticas y protagonistas indiscutibles de todo el sistema hidráulico, tanto por su compleja construcción como por los caudales que aportan.

Tenerife es la isla de mayor superficie del archipiélago, con 2.034 km<sup>2</sup> y su punto culminante se sitúa en el pico del volcán Teide, a 3.718 m sobre el nivel del mar. Es una isla volcánica oceánica surgida desde el fondo del océano Atlántico, que se formó al crecer y solaparse varios volcanes en escudo. El relieve insular se articula según un sistema de dorsales o ejes estructurales (rifts volcánicos), con la clásica morfología de tejado a dos aguas, que dan a la isla una planta triangular y en cuyos vértices se sitúan los macizos volcánicos más antiguos.

Después de La Palma, Tenerife es la segunda isla más lluviosa del archipiélago, con una precipitación media anual 853 hm<sup>3</sup>/año, lo que equivale a una precipitación territorial media

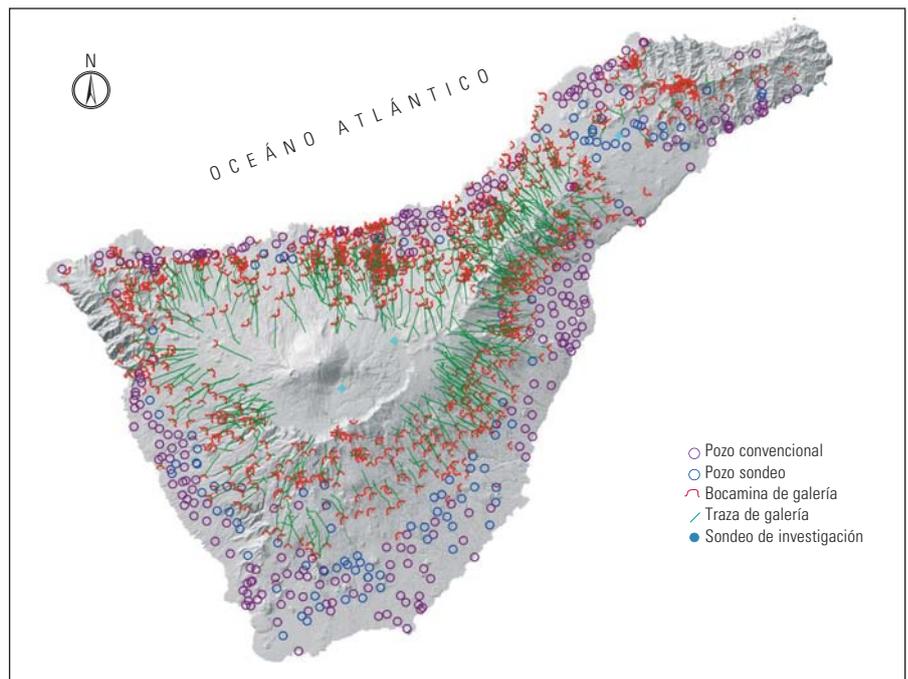


Figura 1. Galerías y pozos de Tenerife. (Fuente: Consejo Insular de Aguas de Tenerife).

de 419 mm/año, siendo, con mucho, las cumbres y las medianías de la vertiente norte donde la precipitación presenta sus máximos valores (500-1.000 mm), mientras que menores promedios anuales de lluvia y sequedad ambiental es lo que caracteriza a las vertientes meridionales. De acuerdo con el último balance hídrico, esta precipitación se reparte de la siguiente manera (tabla 1):

Tabla 1			
Magnitud	hm <sup>3</sup> /año	mm/año	%
Precipitación	853	419	100
Evapotranspiración	470	231	55,1
Escorrentía	20	10	2,4
Infiltración	362	178	42,5



Figura 2. Antigua galería-naciente en Los Realejos, todavía productiva.

Si no hay recursos superficiales suficientes y gran parte del agua que cae sobre la isla se infiltra en el suelo debido a la elevada permeabilidad del terreno volcánico, la opción que les quedaba a sus habitantes, ya desde los primeros asentamientos aborígenes, era obtenerla del interior de la tierra. Al principio, eran los nacientes y fuentes, que brotando de manera natural dotaban a la isla de sus recursos hídricos. Más tarde, a partir de mediados del siglo XIX, con la excavación de galerías subterráneas y pozos, es cuando empezó la verdadera explotación y aprovechamiento de las aguas del subsuelo.

La importancia que las aguas subterráneas tienen actualmente en Tenerife es tal que el 90% de las aguas de consumo son de esta procedencia y, de toda esta agua, las galerías aportan el 63%.

### ¿Qué son las galerías?

Son túneles en fondo de saco de pequeña sección (generalmente entre 1,8 m<sup>2</sup> —las más antiguas— y unos 4 m<sup>2</sup>, las más modernas), con pendientes ascendentes hacia el interior (entre 5 y 7‰) y de longitud variable (decenas de metros hasta más de 6 km, que tienen las más largas en la actualidad). Su finalidad es interceptar los terrenos del acuífero saturados de agua, posibilitando su drenaje y la conducción del agua por gravedad a través de un canal o tubería, hasta la bocamina de la galería, desde donde es conducida por bajantes y canales hacia los centros de consumo.

A lo largo de los años, se ha construido en Tenerife una tupida red de galerías (figura 1), aunque su distribución a lo largo de la isla no es uniforme, así como tampoco la

altura a la que se emboquillan, pues existen galerías desde prácticamente el nivel del mar hasta alturas de más de 2.000 m. La mayoría se sitúan en la vertiente norte y a ambos lados de la dorsal NE. Los lugares más frecuentes para el emboquillamiento de las galerías son los fondos de barranco y acantilados, con el objetivo de que la perforación alcance las zonas más profundas del acuífero con el menor recorrido posible y con una montera suficiente. Las galerías más altas normalmente acaban secándose antes, al quedar colgadas por encima de la zona saturada.

En el Plan Hidrológico Insular de Tenerife se establecen cuatro tipos básicos de galerías dependiendo de sus características constructivas y del aprovechamiento que realizan:

- **Galerías - naciente.** Son el tipo más primitivo de captación que se han perforado en áreas donde existían nacientes naturales. El agua drenada no procede de las reservas, sino de acuíferos colgados cercanos a la superficie topográfica, por lo que su caudal fluctúa con la pluviometría (figura 2).
- **Socavones.** Son galerías de corta longitud (algunos con centenares de metros) que nunca han dado agua.
- **Galerías-pozo o galerías en trancada.** Son obras de pequeña longitud (~500 m) que tratan de captar el agua dulce del acuífero ya en su zona de contacto con el nivel del mar, por lo que se excavan próximas a la línea de costa y a escasa altura sobre él. Su traza es descendente y las aguas alumbradas requieren de elevación por bombeo.
- **Galerías convencionales.** Son perforaciones profundas que drenan o han drenado aguas de la zona saturada

general. Su longitud media varía de unos 3 a 4 km, pero hay bastantes que superan los 5 y pocas los 6 km. Son las más representativas y de ellas proviene la mayor parte del agua disponible.

### El sistema acuífero insular

La gran masa de reservas hídricas de la isla se encuentra en lo que se denomina acuífero profundo o zona saturada general, cuyo principal aporte es la recarga de la lluvia. Su límite superior es la superficie freática (figura 3), la cual, a grandes rasgos, tiene forma de un gran domo o campana que se adapta a la topografía insular, por lo que su altura máxima se encuentra debajo de la zona central de la isla (Las Cañadas), en la actualidad a unos 1.819 m de altura sobre el nivel del mar. El límite inferior del sistema acuífero es el denominado zócalo impermeable, por debajo del cual se estima que no hay reservas hídricas significativas. El zócalo no es homogéneo ni está representado por una unidad estratigráfica definida y sus características dependen de la compactación y alteración del material que lo constituye. A menudo, este zócalo impermeable está constituido por una brecha de tipo debris avalanche, conocida como *mortálón* por los trabajadores de las galerías, resultado de procesos de desestabilización del relieve insular muy comunes a lo largo de la historia geológica de las islas oceánicas como Tenerife. Por encima del acuífero general, existen numerosos acuíferos colgados, originados por la presencia de niveles impermeables dentro de la secuencia volcánica más permeable que, aunque generalmente son mucho menos productivos, en algunos casos han podido constituir reservorios que han aportado caudales importantes y duraderos a lo largo de años.

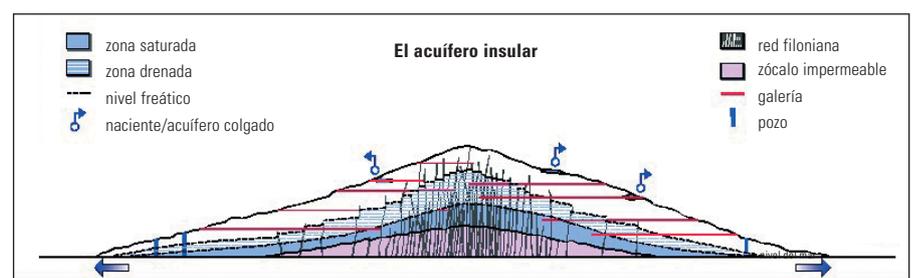


Figura 3. Representación esquemática del acuífero insular de Tenerife. (Fuente: Consejo Insular de Aguas de Tenerife).

Antes de la explotación intensiva de los recursos subterráneos, la recarga de la lluvia compensaba las pérdidas del sistema hidráulico que se producían a través de las surgencias naturales y de los derrames subterráneos hacia el mar. En la actualidad la recarga natural del sistema es insuficiente para compensar el agua drenada por las galerías a través de los años, el equilibrio natural se ha roto y los recursos de agua se encuentran en una situación de agotamiento generalizado, aunque no de modo homogéneo a lo largo de toda la isla. Los contenidos iónicos medios de las aguas subterráneas de Tenerife (ponderados con el caudal) son los que se reseñan en la tabla 2.

### Un poco de historia

Las galerías de agua más antiguas de Tenerife datan de alrededor de 1840 y surgen con las primeras iniciativas organizadas de explotación de las aguas subterráneas de mediados del siglo XIX, con la creación de las llamadas Sociedades de Investigación, Explotación y Aprovechamiento de Aguas Subterráneas.

Los conocimientos hidrogeológicos en la época de las primeras galerías eran muy rudimentarios, por lo que su ubicación en un lugar u otro no obedecía a razones o criterios técnicos determinados, sino que se horadaban en aquellos puntos donde había surgencias naturales de agua; otras veces, el criterio era la simple intuición y la observación. De estas primeras galerías, el geólogo Fernández Navarro (1924) decía "... las hay admirablemente trazadas, demostrando que a veces el instinto del empírico puede suplir sin desventaja al estudio técnico". Así pues, las galerías más antiguas fueron del tipo galería-naciente, pues comenzaron con la excavación de los frentes de los nacientes, manaderos y rezumes naturales con el objetivo de mejorar sus rendimientos, aunque por lo general sin



Figura 4. Sede de una de las comunidades de aguas más antiguas, en Güímar.

lograr aumentos significativos de caudal. En general, estas primeras galerías captaban aguas muy superficiales procedentes de acuíferos colgados, aunque algunas llegaron pronto al acuífero principal y profundo de la isla.

De esta manera, entre 1850 y 1910 surge el 90% de las galerías-naciente, muchas de las cuales, en la actualidad, aún alumbran agua como, por ejemplo, la mayoría de la costa de Los Realejos. También en esta primera época se inicia la perforación de algunas galerías convencionales que, aunque de corta longitud, acertaron ubicarse en las proximidades o en puntos donde la superficie topográfica cortaba el acuífero profundo, normalmente en barrancos muy encajados, aportando, en estos casos, caudales importantes. Por aquella época, la situación de la explotación mantenía aún el equilibrio original del sistema acuífero.

Aquellas primeras galerías, o minas de agua, como también se las conocía, se desarrollaron en la vertiente norte de la isla, donde se encontraba el mayor número de nacientes y los más caudalosos. Es lógico entonces que aparecieran allí las primeras Sociedades de Investigación, como la denominada Las Aguas, en el Realejo Alto, al parecer una

de las más antiguas, aunque también son de aquellos años la Empresa, en La Orotava, El Drago o la Sociedad de Gracia y Perú, en La Laguna. También fueron pioneros en el arte de alumbrar agua los habitantes del valle de Güímar y los de la zona de Granadilla y Guía de Isora, en el sur, cuna de las Sociedades de Añavingo, Río y Badajoz, la Sociedad de Ucanca y Escurriales, etc. (figura 4).

Entre 1910 y 1930 se intensifica la perforación de galerías en toda la isla, fundamentalmente en ambas vertientes de la dorsal NE, prolongándose muchas de las galerías iniciadas en la etapa anterior. Las nuevas galerías ya no se ubicaban en el ámbito de los antiguos manaderos, sino que se perforaba donde se intuía o en las proximidades de otras captaciones que habían tenido éxito, sin mediar más consideración que el beneficio propio.

En este periodo, la actividad extractiva determinó la desaparición de gran parte de los antiguos nacientes naturales e incluso dejó secas perforaciones cortas realizadas años antes, por lo que se comienza a ser consciente de la interconexión de las aguas en lugares próximos y la interferencia que producen algunas de las galerías entre sí. Por estos años también empiezan a producirse las primeras afecciones al acuífero general, pues ya los caudales conjuntos que se extraían iban siendo importantes, ocasionando los primeros abatimientos de la superficie freática, si bien todavía de

Tabla 2

CE μS/cm	Ca <sup>++</sup> mg/L	Mg <sup>++</sup> mg/L	Na <sup>+</sup> mg/L	K <sup>+</sup> mg/L	Cl <sup>-</sup> mg/L	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> mg/L	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/L	F <sup>-</sup> mg/L
1.093	27	42	155	24	89	517	46	12,4	1,5

escasa magnitud y de carácter local. Ello significa, por tanto, que ya se están produciendo extracciones de las reservas almacenadas durante siglos en el acuífero general.

A partir de 1930, un buen número de galerías iniciadas en épocas anteriores conectaron claramente con el acuífero profundo y el abatimiento de la superficie freática comenzaba a ser progresivo. En la dorsal NE, con mayor número de captaciones, la caída del nivel freático llega a sobrepasar los 100 m, pero en el resto de la isla, permanecen inmutables a causa de la fuerte inercia del sistema y la recarga.

Tras la recesión económica general que provoca la Guerra Civil española, en los años cuarenta se reanudan las labores de avance de las galerías ya existentes y la "fiebre del agua" produce definitivamente la expansión de esta actividad a toda la isla. Se inician nuevas obras de perforación y los caudales extraídos muestran una clara línea ascendente.

Se llega así al año 1965 en el que ya se había abierto el 90% de las galerías que existen en la actualidad, y el conjunto de galerías alcanzó el punto culminante de la producción, con cerca de 7.000 L/s (221 hm<sup>3</sup>/año), (figura 5). A partir de ese momento y hasta la actualidad, se inicia la merma, paulatina pero ininterrumpida, de la producción total de las galerías. Sin embargo, este descenso no se verifica con la misma intensidad en todas las zonas, reflejo de la heterogeneidad del subsuelo volcánico, pues dependerá de la presencia del zócalo impermeable y del abatimiento de la superficie freática, el que algunas galerías quedaran colgadas por encima de la zona saturada, etc. Asimismo, la mayor longitud de las galerías supone un empeoramiento de las condiciones físicas y ambientales en su interior que hacen más difícil y costoso el avance, implicando una reducción en el rendimiento de las labores.

El resultado final es que, a lo largo de todos estos años, se han drenado reservas no reemplazables ni a corto ni medio plazo, provocando un descenso medio de más de 500 m en alzado de la superficie freática en zonas como la dorsal NE, y el abatimiento

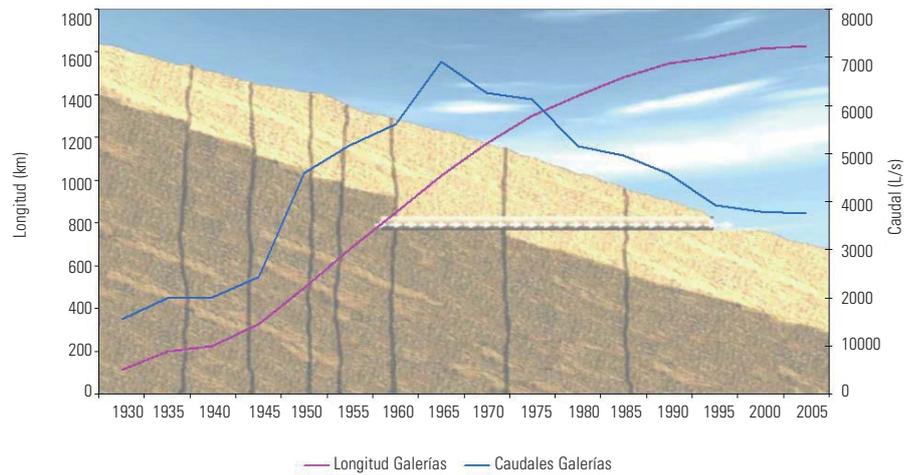


Figura 5. Evolución de las galerías convencionales de Tenerife. (Fuente: Consejo Insular de Aguas de Tenerife).

general de la superficie freática más de 2 km hacia el interior de la isla.

Esta etapa final que marca el declive de las galerías supuso, por el contrario, el auge de los pozos como sistema alternativo y complementario de captación de aguas subterráneas, bien por medio de pozos tradicionales o convencionales de gran diámetro o mediante pozos de tipo sondeo, más baratos y rápidos en su ejecución, aunque no siempre tan productivos como aquellos.

### Las Comunidades de Aguas

El alumbramiento y la explotación de las aguas subterráneas en Tenerife ha sido tradicionalmente una actividad económica en manos privadas bajo la tutela de la Administración, canalizada preferentemente a partir de grupos o sociedades creadas para tal fin.

Con la Ley de 27 de diciembre 1956, sobre heredamientos de aguas del Archipiélago Canario, se regulan estas asociaciones o comunidades de aguas, considerándose las como asociaciones de interés particular; se les dotó de personalidad jurídica propia y se determinó que se constituyeran por escritura pública. Estas sociedades, bien enraizadas en la sociedad tinerfeña, se rigen por unos estatutos y están constituidas por una agrupación de individuos, de todos los estratos sociales, que aportan el capital en forma de cuotas periódicas para hacer frente a los gastos que conllevan las obras de perforación y mantenimiento de la galería.

Los partícipes o condóminos de la comunidad de aguas son los verdaderos titulares de las aguas alumbradas en Tenerife. Una comunidad de aguas puede integrar a otras y ser así propietaria de numerosas galerías.

Como fueron creadas con el fin de alumbrar agua, fundamentalmente para el riego de cultivos, la fijación del número de participaciones se hace de acuerdo a la necesidad de agua que periódicamente requiere la plantación (normalmente plataneras). Si ésta necesita una media de un riego cada 15 días, que equivale a unas 360 horas, se fijó en 360 las acciones o participaciones como cifra básica para dividir el capital de la sociedad. De esta manera, cada acción da derecho a una hora de riego cada 15 días con el caudal total de la captación. Según el caudal que tuviera la galería, se podía aumentar el número de participaciones en múltiplos de 360, por ejemplo, a 720.

### Régimen de aprovechamiento

Las peculiaridades hidrogeológicas del Archipiélago y el particular régimen de explotación y aprovechamiento de las aguas, iba dando lugar a un conjunto de situaciones y singularidades administrativas que se materializaron en la promulgación de numerosas ordenanzas y leyes de aplicación exclusiva en el territorio canario y que suponían excepciones al régimen general previsto en la vieja ley nacional de 1866-1879. Esta especificidad del régimen normativo ha hecho que tradicionalmente se



Figura 6. Alumbramiento de agua en el frente de una galería.



Figura 7. Alumbramiento en la parte inferior del hastial de una galería.

hable incluso del “derecho especial de aguas canario”.

La promulgación en 1985 de una nueva ley de aguas nacional, supuso un sustancial cambio en la concepción sobre la explotación y aprovechamiento de las aguas subterráneas en Canarias. La demanialización de las aguas que introducía dicha ley dio lugar a grandes conflictos sociales en las islas, al ver los propietarios de las aguas peligrar sus negocios e inversiones de años. Tras una primera y efímera ley canaria de aguas (ley de 10 de mayo de 1987, que nunca se aplicó), se llegó al consenso en la actual Ley 12/1990, de 26 de julio, de Aguas de Canarias, que mantiene los derechos adquiridos con las autorizaciones otorgadas con anterioridad a su entrada

en vigor, haciendo que las aguas subterráneas alumbradas sigan teniendo la consideración de aguas temporalmente privadas por un periodo de 50 años.

En la actualidad, ya no se solicitan autorizaciones para abrir nuevas galerías por varias razones, entre las que cabe señalar la elevada densidad de galerías existentes, que hace que haya pocas zonas por explorar sin afectar a aprovechamientos ya existentes, y que se requieren elevadas inversiones económicas para alcanzar la zona saturada (perforación de varios kilómetros en seco) generalmente con un bajo rendimiento. Con el objeto de racionalizar el aprovechamiento se producen, aunque muy tímidamente, algunas fusiones de comunidades de aguas cuyas captaciones están muy próximas.

De las 1.051 galerías que hay perforadas en Tenerife, con una longitud total del orden de 1.705 km, 626 están secas y muchas suelen estar abandonadas al no tener aprovechamientos de agua. Del resto, solamente un número inferior a 30 ó 40 galerías ejecutan labores de perforación regularmente. Entre ellas hay algunas que siguen en la búsqueda de su primer alumbramiento, incluso después de más de 4.000 m de perforación completamente en seco. En otras, aunque no se continúe con la perforación de avance (bien por motivos técnicos, administrativos o económicos), pueden tener alumbramientos y el agua que sale por la bocamina es aprovechada por sus propietarios. En ellas se realizan sólo labores de mantenimiento, tanto en el interior como en el exterior (generalmente limpieza y reparación de las canalizaciones). Algunas de estas galerías, ahora sin laboreo en el interior, en un futuro podrían seguir avanzando si disponen aún de autorización vigente o si se dan las circunstancias administrativas y técnicas suficientes.

### Características de los alumbramientos

Para que una galería alumbrada agua debe llegar a penetrar en la zona saturada (figura 6), pero esto ocurre a menudo tras varios kilómetros de perforación a través de terrenos completamente secos. Antiguamente, sin embargo, cuando se perforaban las primeras galerías, la superficie freática se encontraba más alta, por lo que muchas, con un recorrido de 1.000-1.500 m (o menos, según su ubicación) llegaban a cortarla.

El caudal alumbrado por una galería dependerá de la permeabilidad primaria o secundaria de la roca atravesada y de la carga hidráulica que tenga el terreno atravesado. Es frecuente que se produzca un primer “taponazo” de agua, sobre todo si ésta es de dique, con un caudal muy elevado al principio, para después, poco a poco (días o meses), ir disminuyendo hasta llegar un momento en que se estabiliza, alcanzándose así una situación de cierto equilibrio en el que el acuífero va cediendo el agua que tiene almacenada (figura 7). Con el descenso paulatino de la superficie freática, se va produciendo un agotamiento de los

caudales alumbrados, por lo que el agua, que al principio salía en cantidad de techo y hastiales, queda limitada a la repisa de la galería. En este caso, la galería debe continuar avanzando para mantener o al menos recuperar parte de sus caudales. Aunque no es frecuente, existen algunas galerías, como la galería Barranco de Vergara, en el municipio de La Guancha, una de las que drena el acuífero de la zona central de la isla (acuífero de Las Cañadas), que, sin haber avanzado notablemente en los últimos años, se mantiene con el mismo caudal (más de 200 l/s) desde hace más de veinte años.

Los alumbramientos son de capa, cuando el agua sale de las escorias, grietas, huecos y en general de las partes más permeables de las coladas de lava. Por el contrario, se dice que el alumbramiento es de dique si el agua nace detrás de un dique (*figura 8*), una vez atravesado por la perforación. El efecto de los diques es actuar como pantallas prácticamente infranqueables al paso del agua (a no ser que estén fisurados). Además, tienen el efecto de sobreelevar la superficie freática, aumentando así la carga hidráulica.

Al contrario que en los pozos, una vez que se alumbró agua de capa, resulta ya muy difícil regular el caudal que drenan y el agua sale sin solución de continuidad, hasta su agotamiento. Sin embargo, cuando el agua es de dique, sí es posible controlarlo con llaves y cierres adecuados, si previamente se han realizado catas de reconocimiento de pequeño diámetro, pues en estos casos, el propio dique, aún entero, continúa actuando como cierre natural al paso del agua. Si por el contrario el dique se rompe por la voladura al ir avanzando



Figura 8. Alumbramiento de agua detrás de un dique.

a sección completa, se pierde esa posibilidad de regulación. Además, la salida violenta del agua puede resultar muy peligroso para los trabajadores, pues en ocasiones estos diques están reteniendo una columna de agua de decenas de metros de altura, lo que representa varias atmósferas de presión. La construcción de cierres artificiales (muros de hormigón armados) es también una práctica habitual para regular los caudales, pero su diseño y ejecución no está libre de dificultades técnicas y no siempre ha dado buenos resultados.

El final de la vida útil de una galería puede llegar por dos causas:

- La captación queda colgada por encima de la zona saturada, cuando otras obras situadas a cota inferior provocan el abatimiento local de la superficie freática.
- La captación ha atravesado todo el espesor saturado alcanzando el zócalo impermeable, de modo que ya no se puede reperfilar y el caudal comienza a decrecer logarítmicamente.

### Perforación de galerías

La construcción de una galería es un proceso lento, pues desde que se emboquilla hasta que se alcanza la superficie freática pueden pasar bastantes años. También supone elevadas inversiones económicas, no siempre amortizables a corto ni a medio plazo, o nunca, pues el éxito jamás está asegurado, o la cantidad de agua alumbrada no llega a compensar los gastos ocasionados. Por poner

un ejemplo, en la actualidad 1 kg de dinamita cuesta unos 37 euros y en cada pega se emplean entre 9 y 15 kg para avanzar solo 1 metro. El metro lineal de perforación oscila entre 1.200 y 1.600 euros.

En las autorizaciones otorgadas por la Administración Hidráulica (actualmente el Consejo Insular de Aguas de Tenerife) para la perforación de galerías, sus ramales y subramales, se establece la longitud máxima a alcanzar, así como el rumbo a seguir en cada uno de ellos. Los trabajos son dirigidos por un director técnico o facultativo (ingeniero técnico o superior de Minas), que suele ser el autor del proyecto de perforación de avance. Bajo la tutela laboral de un contratista (o rematador), la piña o grupo de personas que realmente trabajan la galería está compuesta por tres o cuatro personas, una de ellas el cabuquero o artillero, que ejecuta la voladura del terreno.

En un principio las galerías se excavaban a brazo, es decir, con pico y pala, pero la introducción gradual de explosivos y de medios mecánicos, como martillos perforadores, palas cargadoras adaptadas a pequeñas secciones, locomotoras que tiran de un tren de vagonetas para la extracción de escombros y la instalación de sistemas de ventilación forzada, ha facilitado enormemente su ejecución (*figura 9*). No obstante, el trabajo en el interior de una galería sigue siendo penoso y duro, además de no estar exento de riesgos.

Como elementos de la perforación se utilizan martillos neumáticos a rotoperusión accionados por aire

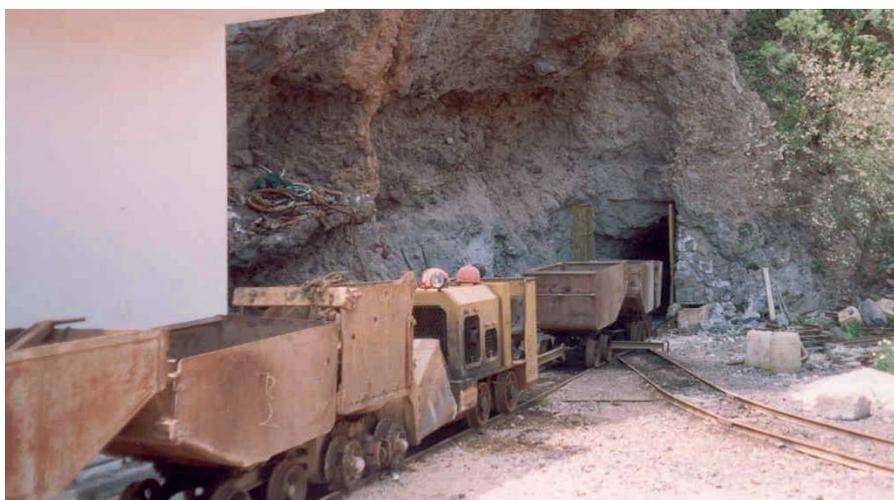


Figura 9. Tren de vagonetas a la entrada de una galería.



Figura 10. Martillo perforador.

comprimido que proporciona un compresor situado en el exterior y que llega al tajo a través de una tubería de acero galvanizado de 6 pulgadas de diámetro, que se va prolongando a medida que avanza la galería (figura 10). Los martillos van equipados con empujador e inyección de agua con el objeto de reducir la producción de polvo y refrigerar las barrenas mientras se trabaja. Como complemento para los trabajos de retoque y saneo, se emplean palas manuales y escalichadores o martillos neumáticos rompedores.

La sección de avance se realiza tradicionalmente por el sistema de "cule en cuña" con potencia de arranque de 0,80 m de media. La longitud de los barrenos o taladros suele ser de un metro, cargándose con cartuchos de dinamita goma 1-ED, cebada con detonadores eléctricos. La intensidad de la corriente eléctrica para iniciar la voladura se genera mediante un explosor conectado a la línea de tiro. Si la traza de la galería discurre por terrenos de escasa resistencia mecánica deben ser reforzados con arcos metálicos o muros de contención a medida que se avanza.

La iluminación en el interior de las galerías se consigue normalmente mediante lámparas de acetileno de llama desnuda, producida por la reacción de carburo de calcio con agua. Puede emplearse también luz eléctrica, si bien la llama de carburo es imprescindible y aconsejable, no solo por la buena luz que da, sino como elemento avisador de la falta de oxígeno.

Los escombros resultantes de la perforación se depositan en



Figura 11. Carros cargados de escombros a la salida de una galería.

la escombrera de la galería, situada a poca distancia de la entrada (figura 11). Próximo a la bocamina, en una caseta, se alojan los motores de la maquinaria de perforación y ventilación y, en una edificación aneja, las dependencias de los trabajadores, cocinas, aseos y dormitorios. Sin embargo, hoy en día, las pistas de acceso y vehículos todo-terreno permiten el acceso rápido a las galerías, no siendo ya necesario pernoctar junto a ellas, salvo en muy pocos casos en que todavía están muy alejadas. Otro elemento propio de las galerías es la tanquilla de aforos, básicamente un vertedero con contracción lateral, que sirve para determinar el agua que en cada momento sale de la galería. La medida es directa a través de una regla graduada en pipas, que es la unidad de medida local de caudal (1 pipa/hora equivale a 480 litros/hora; L/s x 7,5 = pp/h).

### La atmósfera interior de las galerías

Existen galerías en Tenerife con grandes profundidades (longitudes de más de 5.000 ó 6.000 m) que no disponen de ventilación forzada, pues la propia ventilación natural del terreno a través de huecos y grietas provee a la galería de una atmósfera apropiada para el trabajo en su interior. En ellas, mediante grifos acoplados a la tubería del aire comprimido, se ventila la galería unas horas antes de iniciar el trabajo. Otras, sin embargo, atraviesan terrenos demasiado compactos y cerrados,

por lo que los niveles de oxígeno son bajos y requieren sistemas de ventilación forzada muy potentes.

Tenerife es una isla volcánica activa y como tal se registran en ella anomalías térmicas positivas, sobre todo en determinadas zonas, que hacen que las temperaturas en el subsuelo puedan ser muy altas (32-40°C). Además, es frecuente que en numerosas galerías existan emanaciones de CO<sub>2</sub> o de radón, sobre todo en aquellas zonas de volcanismo activo o reciente (por ejemplo, en la dorsal NO, donde ha habido erupciones en los últimos 15.000 años, e incluso históricas, 1492, 1909). Menos frecuente son las galerías en las que se producen emanaciones de SH<sub>2</sub> o incluso de metano, cuyo origen aún no se ha podido precisar, y que parecen localizarse preferentemente en la vertiente sur.

Todos estos factores, junto con una alta humedad ambiental, hacen que las condiciones en el interior de algunas galerías sean poco saludables y a menudo puedan entrañar riesgos, requiriendo adoptar medidas apropiadas de seguridad. No obstante, la atmósfera interior de las galerías varía por las fluctuaciones de la presión atmosférica que, con sus máximos y mínimos diarios (marea barométrica), hace que a determinadas horas del día los gases tiendan a salir del terreno (presión baja), de manera que la galería "tire para afuera", en cuyo caso no es recomendable entrar hasta que las

condiciones se inviertan. La presencia de estos gases y la falta de oxígeno ha ocasionado en ocasiones accidentes mortales por asfixia (como los ocurridos en mayo de 2000 o recientemente, en febrero de 2007, por señalar los más recientes). Para paliar estos inconvenientes, se instalan sistemas de ventilación forzada, compuestos por un motoventilador situado en el exterior, con capacidad para disponer de ventilación impelente o aspirante, además de la conducción de aire comprimido, que como se dijo, con las salidas adecuadas, sirve también para ventilar la galería.

Como medida de seguridad, el acceso al interior de una galería de agua debe realizarse con personal que conoce la galería, normalmente los propios trabajadores. Además es conveniente ir provistos de elementos de seguridad, como dispositivos de respiración autónoma y medidores de los niveles de oxígeno, CO<sub>2</sub> y otros gases. La llama de la lámpara de carburo, además de iluminar, es un elemento de seguridad fundamental, pues es un buen indicador del estado de la atmósfera interior de la galería. Si hay síntomas de que la galería no está en buenas condiciones, el mejor consejo es retroceder y dejarlo para otro día...

### El futuro de las galerías y de las aguas subterráneas en Tenerife

La intensa extracción de agua ocasionada por las galerías a lo largo de los años ha resentido el acuífero. Su carga hidrostática ya no es capaz de generar alumbraimientos tan intensos como en años anteriores. A pesar de ello, como el comportamiento del acuífero no es homogéneo, incluso hoy, en algunas zonas puntuales, se producen alumbraimientos que no dejan de sorprender por su magnitud. Las galerías productivas irán disminuyendo al quedar colgadas por encima de la zona saturada general, pero aún dentro de la tendencia decreciente de los recursos subterráneos que aportan, seguirán constituyendo la principal vía de suministro del agua dulce de la isla, al menos en un futuro más o menos próximo. Igualmente, la calidad del

agua también irá empeorando, al explotarse áreas afectadas por emanaciones de gases volcánicos y aguas con mayor tiempo de residencia en zonas más profundas del acuífero.

### Las galerías como fuente de información geológica del subsuelo

Además de la captación de aguas subterráneas para el abastecimiento de la población, riego y otros usos, la propia existencia de las galerías permite obtener gran cantidad de información geológica e hidrogeológica, pues son excelentes ventanas de observación directa del interior de la isla. Al estar perforadas a diferentes alturas en la vertical del edificio insular permiten obtener una visión, a veces bastante detallada, de la sucesión volcanoestratigráfica de la isla, de los espesores de los materiales emitidos y de estructuras geológicas que pasarían desapercibidas si no fuera por su existencia, pues su expresión

morfológica en superficie ha podido ser borrada, en todo, o en parte, por la erosión o haber sido cubiertas por la actividad volcánica posterior. Un ejemplo: a lo largo de la evolución geológica de una isla volcánica como Tenerife se han producido numerosos procesos de destrucción en masa de enormes porciones de la isla ya emergida (deslizamientos gravitacionales). En el subsuelo, a través de las galerías, ha sido posible reconocerlos, incluso los materiales resultantes de estos procesos (mortalón), como ya hizo hace más de 40 años el geólogo tinerfeño D. Telesforo Bravo, mucho antes de que los modernos sistemas de geología marina confirmaran que partes importantes de las islas yacen ahora en el fondo de la llanura abisal que las rodea. Igualmente, algunas galerías se utilizan para instalar equipos de sísmica y estaciones geoquímicas de gases volcánicos, como sistemas de detección temprana de futuras erupciones volcánicas.

### Agradecimientos

A las Comunidades de Aguas y en particular a los trabajadores de galerías y pozos por su habitual buena disposición y la ayuda que nos prestan en las visitas de trabajo que realizamos a estas obras de captación. Quisiera agradecer también a mis compañeros del Consejo Insular de Aguas de Tenerife, Cecilia García Reino, Juan Jesús Coello Bravo, Isabel Farrujia de la Rosa y Óscar Hernández Pacheco los buenos momentos que pasamos cuando vamos a las galerías y los conocimientos que comparten conmigo.

### Bibliografía

- Braojos, J. J. (1992). *Análisis estadístico de la evolución histórica de los alumbraimientos de agua mediante galerías en la isla de Tenerife*. Informe no publicado anejo al Plan Hidrológico Insular de Tenerife. Cabildo Insular de Tenerife. Área de Infraestructura, 19 p.
- Braojos, J. J.; Farrujia, I. y Fernández, J. (2006). *Los recursos hídricos en Tenerife frente al cambio climático*.
- Fernández Navarro, L. (1924). *Estudios hidrogeológicos en el Valle de La Orotava*. Imprenta A. Romero, Santa Cruz de Tenerife, 95 p.
- García-Ramos, A. (1971). *Guad. Ediciones Nuestro Arte*, Colección de Narraciones, nº 4. Santa Cruz de Tenerife, 171 p.
- Plan Hidrológico Insular de Tenerife (1996). *Decreto 319/1996, de 23 de diciembre, del Gobierno de Canarias. Boletín Oficial de Canarias nº 21, 22 y 23, de 14, 15 y 17 de febrero de 1997*.

# Utilidad de las **formaciones de baja permeabilidad**

## Aplicación y caracterización

Las formaciones geológicas de baja permeabilidad, debido a su escasa capacidad para almacenar y transmitir el agua subterránea, presentan una importante utilidad como barrera geológica natural que circunde el área de almacenamiento de diferentes tipos de residuos, evitando que el agua contaminada pueda entrar en contacto con la biosfera.

**TEXTO** | M. Mejías Moreno, geólogo, C. Fernández-Arrojo, doctora ingeniera de Minas, y M. Marina Rojo, geóloga (Instituto Geológico y Minero de España)

Palabras clave

**Formaciones de baja permeabilidad, ensayos hidráulicos y almacenamiento geológico.**

La hidrogeología moderna, desde su inicio a mediados del siglo XIX, consideró tradicionalmente las formaciones de baja permeabilidad como medios geológicos carentes de interés, desde el punto de vista del abastecimiento de agua potable a la población y del desarrollo de zonas de regadío. De esta manera, en los estudios hidrogeológicos regionales que se llevaron a cabo en España durante la década de los setenta del siglo pasado, englobados la mayoría en el denominado PIAS (Plan de Investigación de Aguas Subterráneas), los afloramientos de estas formaciones se clasificaban como áreas sin acuíferos o con acuíferos de escaso interés, por el contraste con respecto a las formaciones geológicas permeables, capaces de suministrar un importante volumen de agua subterránea a concentraciones de población, zonas industriales o áreas de regadío.

No obstante, la falta de capacidad de estos medios para almacenar o transmitir agua y, por tanto, su escasa aplicación como fuente de recursos hídricos, tiene como contrapartida su utilidad para impedir o dificultar el paso del agua subterránea contaminada hacia formaciones permeables de elevado interés desde el punto de vista de su aprovechamiento hídrico. Así, a partir de mediados de los años ochenta del siglo



Figura 1. Unidad Móvil de Hidrogeología del IGME operando en campo (foto M. Mejías).

XX, se ha producido un creciente interés en la mejora del conocimiento de las formaciones de baja permeabilidad, debido a la mencionada utilidad de este tipo de materiales como barrera geológica natural que circunde el área de almacenamiento de diferentes tipos de residuos, evitando que el agua los pueda poner en contacto con la biosfera.

Probablemente, en España, el hito más reseñable en la mejora del conocimiento y la caracterización hidrogeológica de estos medios de baja permeabilidad se corresponde con los estudios llevados

a cabo por ENRESA (Empresa Nacional de Residuos Radiactivos), en colaboración con otras organizaciones públicas y privadas, durante el final de los años ochenta y la década de los noventa, en relación con los estudios previos al establecimiento de un hipotético almacenamiento geológico profundo de residuos radiactivos de alta actividad, tanto en los aspectos relacionados con el estado del arte como en la metodología de caracterización de este tipo de formaciones geológicas.

Además, la creciente preocupación que despierta en la sociedad los aspectos

Tabla 1. Clasificación de las formaciones geológicas en función de su capacidad para transmitir el agua

<b>Acuíferos</b>	Capacidad de almacenar y transmitir agua	<b>Arenas Calizas</b>
<b>Acuitardos</b>	Capacidad de almacenar agua y transmitirla con dificultad	<b>Limos Arenas finas</b>
<b>Acuicludos</b>	Capacidad de almacenar agua pero no de transmitirla	<b>Arcillas Pizarras</b>
<b>Acuífugos</b>	No puede almacenar ni transmitir agua	<b>Rocas duras no fracturadas</b>

Tabla 2. Clasificación de formaciones geológicas en función de su valor de conductividad hidráulica

Tipo de formación geológica	Conductividad Hidráulica, K (m·s <sup>-1</sup> )
Muy baja permeabilidad	$K < 1 \times 10^{-12}$
Baja permeabilidad	$1 \times 10^{-12} < K < 1 \times 10^{-9}$
Poco permeable	$1 \times 10^{-7} < K < 1 \times 10^{-7}$
Algo permeable	$1 \times 10^{-7} < K < 1 \times 10^{-5}$

relacionados con la protección del medioambiente, y el consiguiente desarrollo de aspectos normativos que den cobertura a este interés social, conlleva la caracterización hidráulica de estos medios en diferentes aplicaciones. Algunas son menos llamativas que las relacionadas con el almacenamiento de residuos radiactivos de alta y media actividad, pero de indudable interés desde el punto de vista industrial y de la protección medioambiental, entre las que cabe mencionar:

- Determinación de la conductividad hidráulica de formaciones geológicas para la instalación de vertederos de residuos.
- Valoración de formaciones geológicas de baja permeabilidad como barrera geológica natural al paso de flujo de agua con contaminantes, procedente del almacenamiento de vertidos mineros.
- Evaluación de la idoneidad de estas formaciones como zócalo de apoyo de escombreras mineras.
- Determinación de la conductividad hidráulica de fracturas en formaciones graníticas con aprovechamiento industrial como roca ornamental.
- Estudios de viabilidad de extracción de gas metano en capas de carbón.
- Determinación de perfiles de conductividad hidráulica en escombreras de explotaciones mineras para determinar la posible existencia de flujos contaminantes hacia el agua subterránea.

- Caracterización hidráulica de formaciones confinantes que actúan como sello en el almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub>.

### Formaciones de baja permeabilidad

Se pueden definir los medios de baja permeabilidad como aquellas formaciones geológicas que no almacenan agua en cantidad apreciable o que solamente son capaces de transmitirla muy lentamente. Esto implica que se correspondan con medios geológicos de baja porosidad eficaz y valores relativamente bajos de permeabilidad o conductividad hidráulica. Responderían, por tanto, a la definición de acuífugos (formaciones que no pueden

almacenar ni transmitir agua) o acuicludos (formaciones con capacidad de almacenar agua pero no de transmitirla), *tabla 1*.

Desde el punto de vista litológico, y de manera esquemática, las formaciones de baja permeabilidad comprenden o están asimiladas a: 1) rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias consolidadas, escasamente alteradas y/o fracturadas; 2) rocas sedimentarias no consolidadas de tipo limo, arcilla y margas; 3) rocas evaporíticas, y 4) rocas volcánicas, en las que su comportamiento como formación de baja permeabilidad depende básicamente de sus características físicas y químicas y del proceso eruptivo. De manera muy general, y según su abundancia relativa en la corteza terrestre, se pueden distinguir tres grupos principales, en sentido amplio: granitos, sales y arcillas.

En función de su valor de conductividad hidráulica, se pueden subdividir en: formaciones de muy baja permeabilidad, con valores de conductividad hidráulica (k) menores de  $1 \times 10^{-12} \text{ m·s}^{-1}$ ; formaciones de baja permeabilidad, con valores de k comprendidos entre  $1 \times 10^{-12} \text{ m·s}^{-1}$  y  $1 \times 10^{-9} \text{ m·s}^{-1}$ ; formaciones poco permeables, con valores superiores a  $1 \times 10^{-9} \text{ m·s}^{-1}$  e inferiores a  $1 \times 10^{-7} \text{ m·s}^{-1}$  y, por último, formaciones algo permeables con valores de k comprendidos entre  $1 \times 10^{-7} \text{ m·s}^{-1}$  y  $1 \times 10^{-5} \text{ m·s}^{-1}$  (Mejías y López-Geta, 2003), como se muestra en la *tabla 2*.



Figura 2. El equipo de profundidad con los obturadores inflados (foto M. Mejías).

### Instrumentación y caracterización hidráulica de las formaciones de baja permeabilidad

El objetivo de la caracterización hidráulica de una formación geológica es la determinación de sus parámetros hidráulicos (especialmente la conductividad hidráulica), la caracterización de las fracturas en su caso y la obtención de los niveles piezométricos en los intervalos ensayados. La testificación hidráulica proporciona valores medios puntuales de conductividad hidráulica en las inmediaciones del sondeo que pueden estar, entre otros, afectados por factores relacionados con los trabajos de perforación, características de la instrumentación utilizada, tiempo de estabilización del nivel, efectos termales y posible incumplimiento de las asunciones definidas para el análisis de los métodos de ensayo aplicados.

La conductividad hidráulica de una formación de baja permeabilidad depende no sólo de las características litológicas y texturales de la roca, sino también de las posibles discontinuidades y fracturas que afecten al medio físico. La testificación geofísica y los posibles ensayos de testigos de perforación que se realicen en laboratorio pueden llevar a conclusiones demasiado optimistas, o poco reales, sobre las características hidráulicas de una formación de este tipo, resultando necesario realizar campañas de testificación hidráulica en sondeos de investigación que permitan obtener los valores "in situ" de los parámetros hidráulicos y la distribución vertical del nivel piezométrico. Así, una formación que en principio puede ser adecuada, según sus características petrofísicas y su geometría, puede presentar ciertas discontinuidades que se comporten como zonas de debilidad y, por tanto, suponer caminos preferentes para el flujo de agua subterránea con posibles contaminantes.

Asimismo, en el desarrollo de modelos matemáticos de flujo y transporte, la conductividad hidráulica es una de las principales incertidumbres respecto de los parámetros que intervienen,

especialmente en los medios fracturados, donde tiende a aumentar su valor según se incrementa el volumen de macizo rocoso estudiado, resultando, en general, más representativo cuando el valor de conductividad hidráulica es obtenido mediante ensayos hidráulicos de larga duración e interferencia. No obstante, la obtención de los parámetros hidráulicos de un medio geológico, aunque éstos puedan tener una representatividad puntual, supone una información esencial para determinar sus propiedades y constituyen datos de entrada básicos en el desarrollo de los modelos matemáticos mencionados.

Las características físicas de los medios de baja y media permeabilidad han llevado al desarrollo de instrumentación específica para la aplicación de los ensayos que permitan la estimación de los parámetros hidráulicos. Para ello, en 1992, el IGME y la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (ENRESA) firmaron un acuerdo específico para el "Estudio Hidrogeológico de Medios de Baja Permeabilidad" cuyos objetivos básicos fueron la formación de especialistas en este tipo de formaciones geológicas y el diseño y construcción de una unidad móvil para su caracterización hidrogeológica. Durante las fases de diseño y construcción de la citada Unidad se contó con el asesoramiento técnico del Swedish Nuclear Fuel and Waste Management (SKB).

Así, la Unidad Móvil de Caracterización Hidrogeológica de formaciones de baja permeabilidad del IGME (UMH) (figura 1) se encuentra operativa desde 1997, habiéndose empleado en diferentes estudios relacionados con las aplicaciones mencionadas en el apartado anterior.

De manera muy resumida, la UMH está constituida por dos camiones todoterreno y un grupo electrógeno (Mejías et al., 2005). El primero, denominado Vehículo Base, incluye el sistema de adquisición e interpretación de datos, el de inflado de los obturadores, el de control del caudal de inyección y el equipo de profundidad, así como un área destinada a montaje

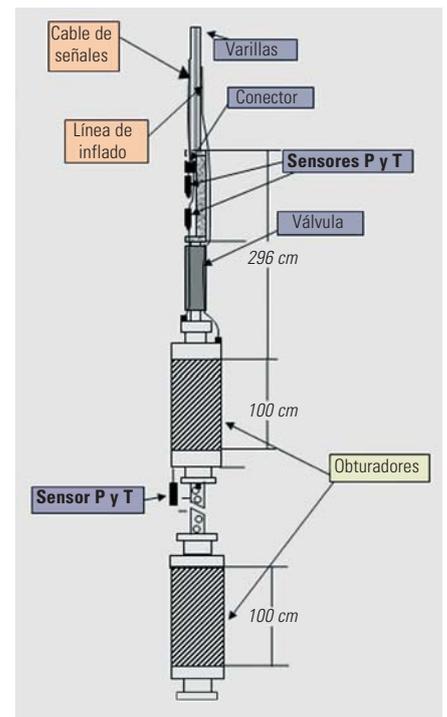


Figura 3. Esquema general del equipo de profundidad.

y mantenimiento de la instrumentación de la UMH. El segundo, Vehículo de Descenso, tiene como misión el posicionamiento del equipo de profundidad hasta la sección de ensayo prevista, la ubicación de los carretes del cable de señales y la línea de inflado de los obturadores y el transporte del varillaje.

El equipo de profundidad está formado por una serie de elementos que permiten aislar, por medio de obturadores (figura 2), la sección de ensayo del resto del sondeo, así como disponer los sensores para registrar los valores de presión y temperatura, tanto en el intervalo aislado como en los intervalos superior e inferior, registrando así los datos de las magnitudes a medir en la sección de ensayo y verificando el aislamiento de ésta de las secciones infra y suprayacente. También incluye la válvula de ensayo hidráulica, que permite la inyección o extracción de agua en la sección de ensayo; permite la conexión de los sensores al cable eléctrico, que conduce las señales obtenidas por los sensores hasta el sistema de adquisición de datos y, por último, incluye una junta de seguridad, por debajo de los sensores y la válvula de ensayo, para recuperar éstos en caso de enganche del equipo de profundidad.

El esquema general del equipo de profundidad, con dispositivo de doble obturador, puede observarse en la *figura 3*.

### Ensayos hidráulicos aplicables y metodología de caracterización

#### Ensayos hidráulicos

Un ensayo hidráulico es un método de análisis utilizado para determinar las propiedades hidráulicas, las condiciones de borde y las relaciones con el medio físico de una determinada formación geológica o de una sección aislada en ésta mediante obturadores. Su análisis se basa en expresiones matemáticas que implican ciertos supuestos y generalizaciones. Para llevar a cabo una correcta interpretación, es preciso prestar especial consideración a las condiciones y limitaciones que llevan consigo los diferentes métodos de análisis.

De forma general, un ensayo hidráulico consiste en aplicar una perturbación controlada en el acuífero o en la sección de la formación a ensayar. Esta perturbación normalmente se basa en el bombeo o inyección de agua desde o en la zona de ensayo. El sondeo donde se realiza esta acción se denomina sondeo activo. El efecto de la perturbación se registra mediante la toma de valores de presión, temperatura y variaciones de caudal.

La interpretación de los datos de presión, temperatura y caudal obtenidos mediante los ensayos hidráulicos, requiere la obtención o estimación de determinadas propiedades físicas de la formación y del fluido, sobre todo en medios de muy baja permeabilidad. La respuesta de presión registrada ante la perturbación producida en la sección de ensayo, además de por las características hidráulicas de la formación, puede estar afectada, entre otros, por factores como: evolución histórica de presión y temperatura en la sección previamente a la realización del ensayo, expansión y contracción termal del fluido, efecto piel, almacenamiento en el sondeo y compresibilidad del equipo utilizado en la realización de los ensayos y tiempo de sellado de los obturadores. Estas características vienen reflejadas en el caso

del fluido por parámetros como: densidad, compresibilidad, viscosidad y coeficiente de expansión termal; algunos de los cuales pueden ser calculados experimentalmente y otros son estimados según la información disponible y corregidos en función de los datos de temperatura y presión obtenidos. Estos parámetros pueden sufrir variaciones que afecten a los valores de presión y caudal registrados durante la fase de realización de los ensayos. Así, por ejemplo, la densidad y viscosidad del fluido pueden ser corregidas para la presión y temperatura registradas durante la realización del ensayo, evitando la influencia de estos parámetros en las variaciones de volumen del fluido de la sucesión de ensayo y en su resistencia al movimiento, cuando los valores muy bajos de conductividad hidráulica así lo requieran.

El ensayo hidráulico más utilizado en hidrogeología es el ensayo de bombeo. Un ensayo de bombeo es, en esencia, un método de análisis de los pozos de captación de aguas subterráneas y del acuífero en que se encuentran. Consiste en bombear el agua de los pozos y sondeos, bien a caudal constante o bien a caudal variable, siguiendo la evolución del nivel del agua tanto en el mismo pozo de bombeo como en otros cercanos, cuando los hubiere.

Las particularidades de las formaciones de baja y media permeabilidad han llevado al desarrollo y aplicación de otros tipos de ensayos hidráulicos que permitan la estimación de los valores de conductividad hidráulica, ya que las técnicas aplicadas tradicionalmente en hidrogeología, los mencionados ensayos de bombeo, producen un agotamiento demasiado rápido de la capacidad máxima del pozo para poder realizar las suficientes medidas con la precisión necesaria, presentan dificultades técnicas para la regulación de caudales muy bajos y se ven dificultados por tiempos de estabilización de nivel muy dilatados.

Por este motivo, se utilizan en su lugar ensayos hidráulicos que conllevan la aplicación de pequeños volúmenes de agua y que pueden realizarse en períodos de tiempo relativamente cortos, en

relación con la lenta evolución de niveles en las formaciones de baja permeabilidad.

Antes de llevar a cabo la ejecución de cualquiera de estos ensayos resulta imprescindible una fase de estabilización del nivel piezométrico lo suficientemente larga para que el nivel recuperado en la sección de ensayo, después de la perturbación sufrida por la introducción de la instrumentación y el inflado de los obturadores, sea el correspondiente al de la presión de la formación, así como el control de los factores anteriormente mencionados que pueden influir en su realización e interpretación.

#### • Ensayo de inyección a caudal constante

En un ensayo de inyección (o bombeo) a caudal constante, el agua se inyecta manteniendo constante el caudal de inyección en el sondeo, o en una sección aislada del mismo mediante obturadores, registrando las variaciones de nivel en función del tiempo.

La representación del cambio de nivel piezométrico ( $H$ ) en función del tiempo es una línea recta en un gráfico semilogarítmico. La conductividad hidráulica de la sección ensayada puede calcularse como:

$$K = 0,183 Q / \Delta H L$$

donde  $\Delta H$  representa el cambio de nivel durante un ciclo logarítmico de tiempo.

#### • Ensayos de inyección a presión (nivel) constante

Cuando un sondeo o sección se ensaya a nivel constante no ocurren efectos de almacenamiento, dado que la presión en el sondeo no varía con el tiempo una vez conseguida la estabilización a la presión de ensayo. Sin embargo, la recuperación subsiguiente puede ser afectada por los efectos de almacenamiento en pozo (*figura 4*).

La solución de la ecuación de la difusividad para el caso de presión constante, fue presentado por Van Everdingen y Hurst

(1949) y Jacob y Lohman (1952). Uraiet y Raghavan (1980) incluyeron el "efecto piel" en esta solución, considerando la región afectada por el efecto piel como una zona anular concéntrica con el sondeo y con una conductividad hidráulica diferente (mayor o menor) que la conductividad de la formación.

Se representa un gráfico semilogarítmico del inverso del caudal en función del logaritmo del tiempo y se obtiene una línea recta (figura 5). La conductividad hidráulica se calcula a partir de la pendiente de la recta mediante la expresión:

$$k = \frac{0,183}{Ho\Delta(1/Q_{(t)})}$$

donde:

$\Delta(1/Q_{(t)})$  = incremento de caudal en un ciclo logarítmico ( $L^3 \cdot T$ )

$Ho$  = presión (L)

$L$  = longitud sección de ensayo (L)

Finalizada la fase de inyección debe registrarse la recuperación durante un periodo de tiempo del mismo orden de magnitud que el periodo de inyección (figura 6).

• *Ensayo de inyección en estado estacionario*

El estado estacionario supone que el flujo de agua es constante en magnitud y dirección en todos los puntos del acuífero y que no cambia con el tiempo. Esta situación se presenta muy raras veces en la práctica. Como aproximación, puede conseguirse un flujo cuasi-estacionario, manteniendo constantes los valores de presión y caudal, durante un periodo limitado de tiempo (Almén et al., 1986).

Bajo condiciones estacionarias, el segundo término de la ecuación de la difusividad es cero, ya que no cambia el nivel. La solución en estado estacionario para una inyección (o bombeo) en una sección confinada del pozo activo puede expresarse por:

$$k = \frac{Q}{\Delta HL} C$$

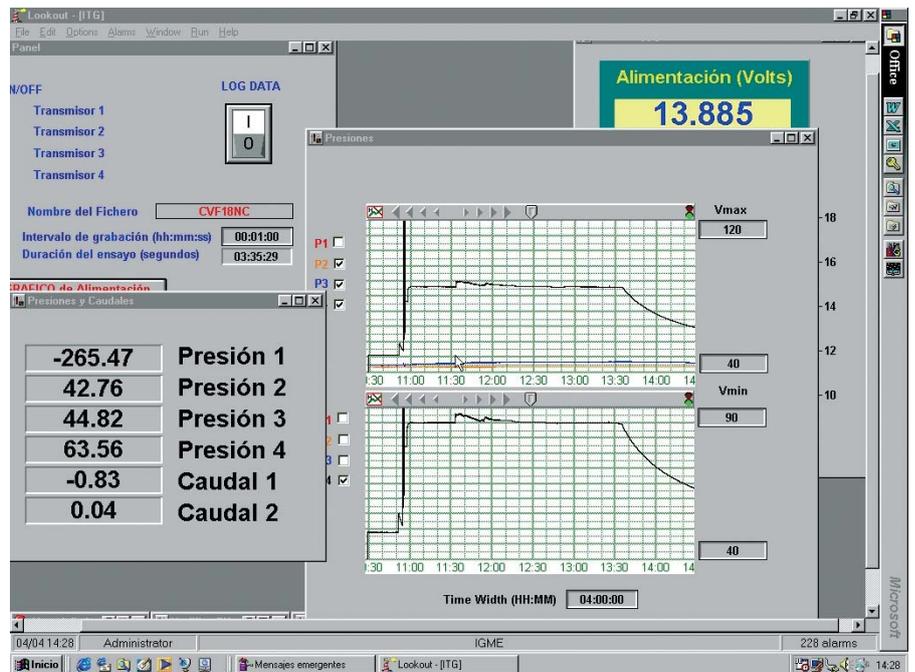


Figura 4. Registro de datos de un ensayo de inyección en régimen transitorio a nivel constante (foto M. Mejías).

Ensayo de inyección en régimen transitorio a nivel constante (CVF229NC)

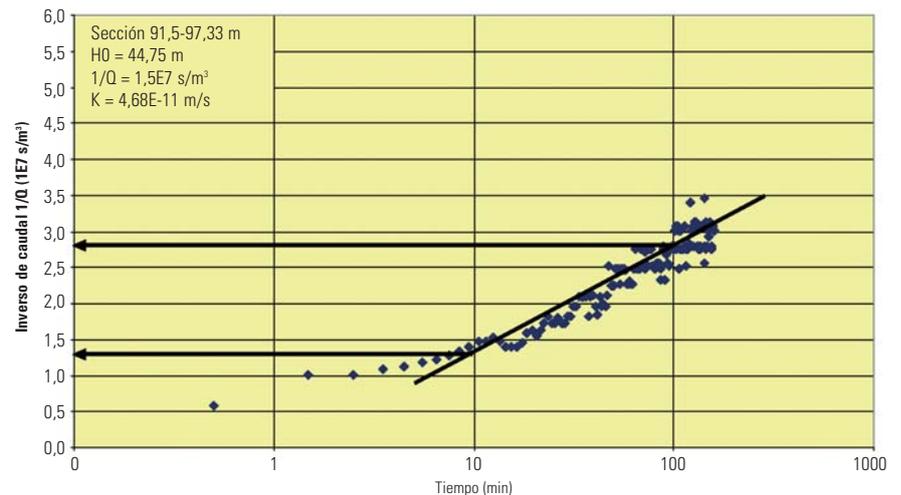


Figura 5. Ejemplo de interpretación analítica de un ensayo de inyección en régimen transitorio a nivel constante (foto M. Mejías).

donde:

$Q$  = caudal en estado pseudoestacionario ( $L^3 \cdot T^{-1}$ )

$\Delta H$  = presión de inyección (L)

$L$  = longitud del intervalo (L)

$C$  = factor de forma adimensional en función de los efectos de flujo

$$C = \frac{1 + \ln(L/2r_w)}{2\pi}$$

$r_w$  = radio del sondeo (L)

Se han propuesto diferentes factores de forma ( $C$ ) semiempíricos para el análisis de medios porosos. Sin embargo, la diferencia entre ellos no es mayor del 30%, por lo que la idoneidad de cada factor no está demostrada. Generalmente con el factor citado se obtienen buenos resultados.

• *Ensayo tipo slug*

Esencialmente consiste en variar bruscamente la presión del tramo de sondeo a caracterizar, extrayendo o inyectando un volumen conocido de agua,

y registrar su recuperación en función del tiempo (Cooper et al., 1967). La curva de recuperación permite evaluar los parámetros hidrogeológicos, transmisividad (T) y coeficiente de almacenamiento (S) de la zona ensayada, en las proximidades del sondeo.

La formulación y fundamentos son muy similares a los ensayos de pulso, variando básicamente en el factor de almacenamiento ( $S_w$ ). En un pulso, dicho almacenamiento está relacionado con la compresibilidad del equipo y la del agua en la zona de test, mientras que en un slug depende de la sección de la tubería de acceso y viene dado por la expresión  $S_w = \pi r_v^2$ . Al permanecer el intervalo abierto durante la recuperación, las variaciones de volumen de agua inyectada/extraída son proporcionales a dicha sección.

La solución viene dada por:

$$\frac{H}{H_0} = F(\alpha, \beta)$$

donde:

$$\beta = \frac{Tt}{r_v^2} \Rightarrow T = \frac{r_v^2}{t} \beta$$

$$\alpha = \frac{r_w^2 S}{r_v^2} \Rightarrow S = \frac{r_v^2}{r_w^2} \alpha$$

La determinación de T y S se realiza por comparación con curvas tipo, bien de manera analítica o mediante códigos de interpretación.

• *Ensayos tipo pulso*

Un ensayo de pulso es la respuesta a la inyección (o extracción) instantánea de un volumen de agua conocido que provoca una sobrepresión (o depresión) en la sección a estudiar. Los fundamentos teóricos tanto para el caso de inyección como para los ensayos de extracción son similares.

La formulación básica fue establecida por Bredehoeft y Papadopulos (1980) al modificar la de Cooper et al. (1967) para

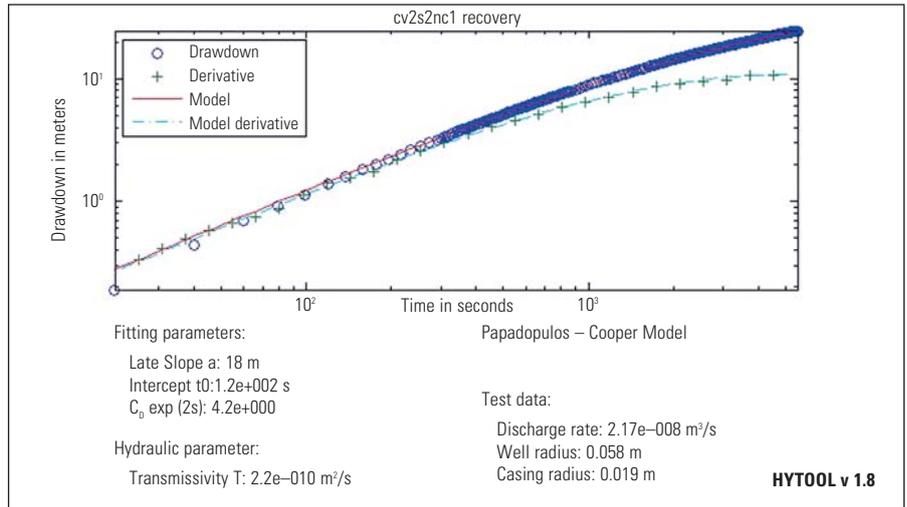


Figura 6. Ejemplo de interpretación automática de la fase de recuperación posterior a un ensayo de inyección a nivel constante, mediante el programa de interpretación Hytool (Renard 2003).

ensayos de slug. Las hipótesis de partida se fundamentan en considerar el medio homogéneo e isotrópico. La sección a testificar actúa a modo de acuífero confinado, el pozo se supone totalmente penetrante y el flujo radial y, por tanto la recuperación se produce en condiciones de confinamiento.

Se considera un volumen  $V_w$  de sondeo, aislado del resto mediante obturadores, y el medio en condiciones de régimen estacionario. Si en estas condiciones se inyecta instantáneamente un volumen  $\Delta V$  de agua, se provoca un aumento de presión en la sección de ensayo igual a (Bredehoeft y Papadopulos, 1980):

$$S_0 = \frac{V}{S_w} = \frac{V}{V_w \rho_w g C_{bw}}$$

En el coeficiente de almacenamiento del sondeo ( $S_w$ ) debe tenerse en consideración el término relacionado con la deformabilidad del equipo ( $S_{we}$ ) (Neuzil, 1982), ya que un error en su estimación repercute directamente en el cálculo de la transmisividad y del coeficiente de almacenamiento de la formación;  $S_{we}$  debe determinarse experimentalmente y es variable según la instrumentación y configuración elegidas (Martínez-Navarrete et al., 1995).

$$S_w = \rho_w g C_{bw} V_w + S_{we}$$

Siendo:

- $\rho_w$  la densidad del agua
- $g$  la aceleración de la gravedad
- $C_w$  la compresibilidad del agua
- $V_w$  el volumen del tramo de test
- $S_{we}$  el término de almacenamiento en sondeo debido a la deformabilidad del equipo
- $r_v$  el radio de la tubería de acceso

La solución al problema viene dado por (Bredehoeft y Papadopulos, 1980):

$$H = s_0 F(\alpha, \beta)$$

siendo  $F$  una función integral tabulada para diferentes valores de  $\alpha$  en función de  $\beta$ .

$\alpha$  y  $\beta$  se definen por las expresiones:

$$\alpha = \frac{\pi r_w^2 S}{V_w C_w \rho_w g + S_{we}} = \frac{\pi r_w^2 S}{S_w}$$

$$\beta = \frac{\pi T t}{V_w C_w \rho_w g + S_w} = \frac{\pi T t}{S_{we}}$$

El valor de  $\alpha$  se puede interpretar como un coeficiente de almacenamiento adimensional (relación entre el almacenamiento del acuífero y el del sondeo) y  $\beta$  como un tiempo adimensional (figura 7).

• *Ensayo Drill Stem Test (DST)*

Un DST es un ensayo hidráulico con al menos dos etapas de inyección o extracción y dos periodos de recuperación (figura 8).

Durante las etapas de inyección o extracción la variación en el nivel de aguas es registrada como un slug test, y en las etapas de recuperación el cambio de nivel es registrado bajo condiciones de confinamiento.

El caudal durante un DST se define como la media del caudal durante el periodo previo de inyección o extracción dividiendo el volumen inyectado/extraído por el tiempo de duración de este periodo, que se toma como tiempo de duración del bombeo, considerándose el caudal constante a efectos del análisis de los periodos de recuperación.

El primer periodo de recuperación es más corto, siendo más fiable la interpretación obtenida en el segundo periodo.

*Rango de aplicación de los ensayos hidráulicos*

Los ensayos de inyección en régimen pseudoestacionario aportan siempre valores de conductividad hidráulica más altos que los conseguidos mediante ensayos de inyección a nivel constante, si bien, salvo alguna excepción, la diferencia no supera un orden de magnitud. Estos ensayos resultan relativamente fáciles de ejecutar e interpretar y son muy apropiados para una fase de reconocimiento general. Su límite inferior óptimo de aplicación es de  $N \times 10^{-10} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , pudiendo alcanzarse, con menor fiabilidad, valores de conductividad hidráulica hasta un orden de magnitud menor.

Los ensayos de inyección a nivel constante aportan valores muy fiables de conductividad hidráulica hasta un límite inferior de  $N \times 10^{-11} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Incluso para valores de un orden de magnitud menor resultan más fiables que los obtenidos por otros métodos, ya que el control sistemático de los valores de caudal,

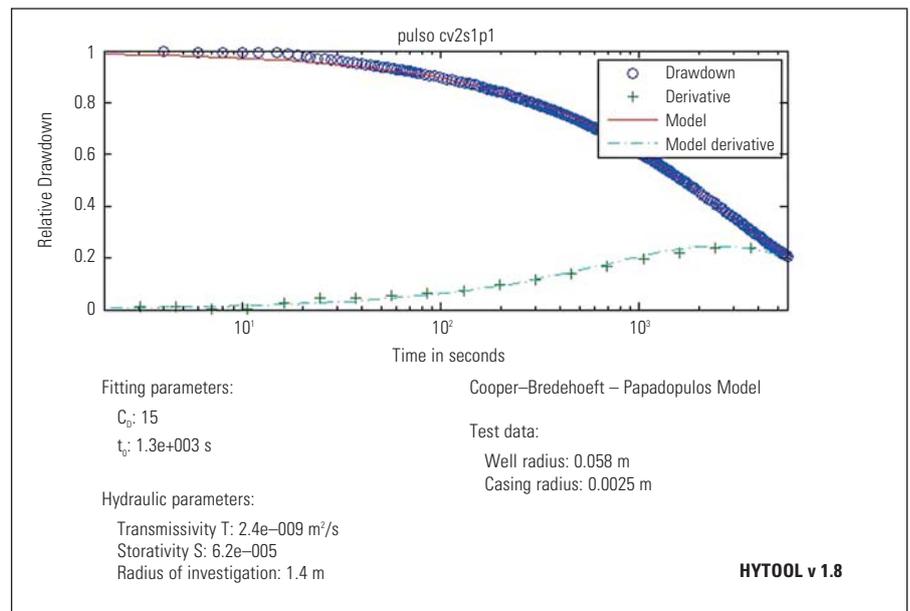


Figura 7. Ejemplo de interpretación automática de un ensayo de pulso mediante el programa de interpretación Hytool (Renard 2003)

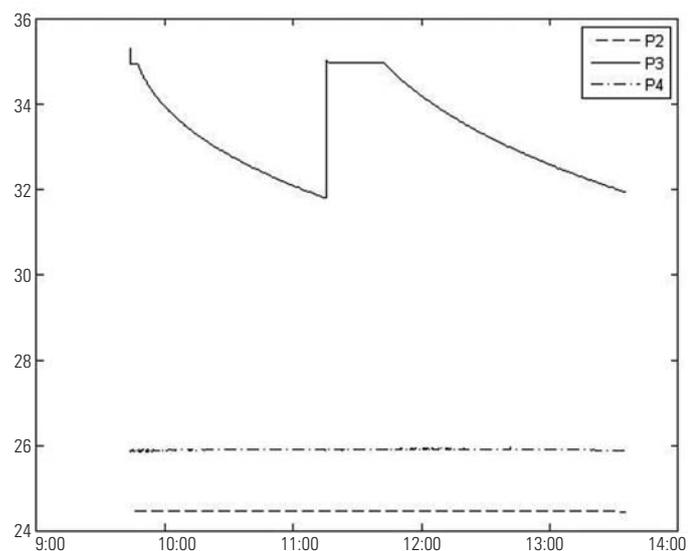


Figura 8. Registro de datos de un ensayo DST.

presión y temperatura en un sistema estanco permite evaluar en todo momento la correcta ejecución del ensayo. El límite superior de conductividad hidráulica es función de la instrumentación, resultando para la desarrollada por el IGME un valor máximo de  $N \times 10^{-6} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (Mejías, 2005).

Para valores de permeabilidad de  $N \times 10^{-12} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  e inferiores, el ensayo de pulso es el más indicado. En ocasiones la interpretación de estos ensayos resulta complicada debido a una serie de factores que pueden afectar

significativamente a la ejecución e interpretación de los mismos, pudiendo dar lugar a errores de hasta dos órdenes de magnitud en los valores de conductividad hidráulica obtenidos. Para evitar en lo posible estas incertidumbres se pueden adoptar una serie de prevenciones como: utilización del valor de compresibilidad experimental del equipo de testificación, minimización del efecto piel, estabilización del nivel de agua, control de los posibles efectos termales y optimización del tiempo de sellado de los obturadores y de accionamiento de la válvula de ensayo.

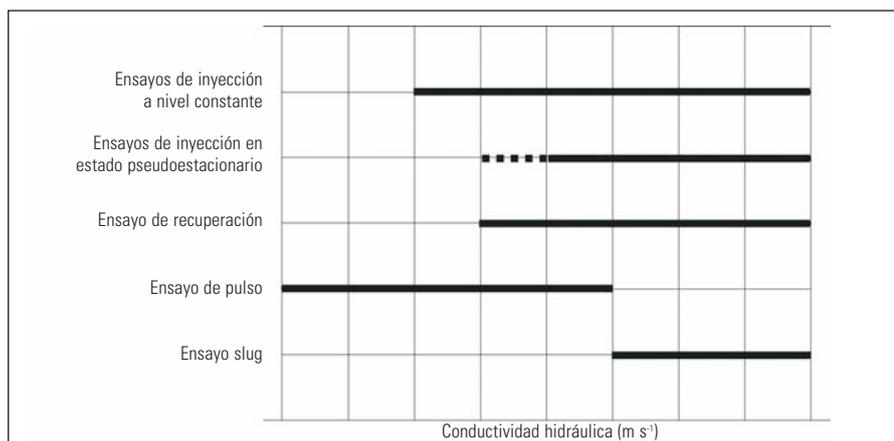


Figura 9. Rango de conductividad hidráulica para los principales tipos de ensayos hidráulicos.

El límite superior de aplicación para este tipo de ensayo corresponde a un valor de permeabilidad de  $N \times 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$ , para valores superiores la recuperación es demasiado corta como para alcanzar una adecuada precisión en las medidas.

Los ensayos tipo Slug tienen un intervalo de aplicación óptimo comprendido entre  $N \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$  y  $N \times 10^{-9} \text{ m s}^{-1}$ , para valores de conductividad hidráulica inferiores a este último los tiempos de recuperación de presión resultan excesivamente elevados.

En la figura 9 se resumen, de manera gráfica, los intervalos óptimos de aplicación de los principales ensayos hidráulicos aplicables en formaciones geológicas de media y baja permeabilidad.

### Interpretación de los ensayos hidráulicos

Tras la publicación de la ley de Darcy en 1856, Dupuit, en 1863, publicó las primeras soluciones analíticas para acuíferos confinados y no confinados. Pero estas soluciones no se utilizaron para la interpretación de ensayos hidráulicos hasta cuarenta años más tarde (Thiem, 1906). Theis (1935) consiguió obtener la solución analítica para estado transitorio, solución que hoy en día conforma la base de la mayor parte de las técnicas de interpretación de ensayos hidráulicos. Esta solución considera el acuífero confinado, infinito, homogéneo e isótropo, y el sondeo totalmente penetrante, con radio despreciable y su eficacia del 100%.

La solución de Theis fue el punto de partida para que la comunidad científica desarrollase estas teorías añadiendo complejidad al acuífero y a las condiciones del sondeo. Se avanzó principalmente en el análisis de la influencia de factores tales como: límites (Theis, 1941), pérdidas no lineales de nivel en el sondeo de bombeo (Jacob, 1947), introducción del efecto piel (Van Everdingen, 1953), efecto de la zona no saturada en acuíferos no confinados (Boulton, 1954), influencia de acuíferos adyacentes (Hantush y Jacob, 1955), sondeos parcialmente penetrantes (Hantush, 1961), sondeos de gran diámetro (Papadopulos y Cooper, 1967), red de fracturas en una matriz porosa, introduciendo el concepto de doble porosidad (Gringarten et al., 1974), etc.

En paralelo con el desarrollo de las soluciones analíticas para los distintos tipos de acuíferos, se comenzaron a desarrollar una serie de técnicas para la interpretación de los datos de los ensayos de campo mediante el ajuste lineal a los resultados obtenidos (Renard, 2005). Estos análisis estaban basados en soluciones asintóticas válidas para datos tomados al final de los ensayos. La solución más utilizada es la asintótica para tiempos elevados de la solución de Theis (Cooper y Jacob, 1946).

Durante los últimos 25 años han emergido una serie de técnicas de interpretación de ensayos en el ámbito de la exploración de hidrocarburos que, posteriormente, se han ido extendiendo a la caracterización hidrogeológica (Horne

1995; Bourdet 2002). Estas técnicas se basan en gráficos que representan la derivada logarítmica del descenso en función del tiempo. La derivada logarítmica es más sensible a variaciones pequeñas del descenso en relación a los gráficos del descenso en sentido estricto (Bourdet et al., 1983), y es constante para tiempos elevados en el caso del modelo de Theis, siendo su expresión proporcional a la inversa de la transmisividad.

Así, el método de interpretación clásico de los ensayos hidráulicos consiste en la superposición gráfica de la curva (de una solución determinada) con los datos de campo sobre ejes logarítmicos o semilogarítmicos, aunque hoy en día existen códigos informáticos con algoritmos para aplicar las distintas soluciones a la interpretación de los ensayos hidráulicos.

A partir de las ecuaciones obtenidas en los distintos tipos de ensayos, se pueden representar los descensos en función del logaritmo del tiempo (ejes semilogarítmicos) o el logaritmo de los descensos en función del logaritmo del tiempo (ejes logarítmicos). Dependiendo del tipo de ensayo y del método de interpretación seleccionado, estas representaciones se podrán extrapolar a una recta. La pendiente de esta recta es utilizada para el cálculo de la conductividad hidráulica. Otro método ampliamente utilizado es, como se ha explicado anteriormente, la representación de la primera derivada del descenso respecto del tiempo.

A partir de los valores de la pendiente y del tiempo inicial ( $t_0$ , obtenido al extrapolar la recta hasta su intersección con el eje de abscisas), se calculan los valores teóricos del descenso  $s$  y de su derivada,  $ds/d\ln(t)$ . De esta forma, se pueden superponer el descenso teórico y su derivada al gráfico original. Esta operación se repetirá, variando los valores de la pendiente de la recta y de  $t_0$ , hasta obtener un buen ajuste.

Una vez efectuado el ajuste a partir de los valores del descenso  $s$  y de  $t_0$  obtenidos,

se calculan los parámetros hidráulicos (conductividad hidráulica, transmisividad, coeficiente de almacenamiento).

### Metodología de caracterización hidráulica

La metodología de caracterización hidráulica puede presentar variaciones en función de los objetivos perseguidos, tipo de formación, características constructivas y disponibilidad del sondeo, información previa e instrumentación empleada.

La metodología de caracterización a aplicar para el reconocimiento general hidrogeológico de un sondeo de reconocimiento en una formación de baja permeabilidad puede sintetizarse en dos fases: de reconocimiento general y de reconocimiento detallado (Mejías et al., 2005).

### Fase de reconocimiento general

Consistirá básicamente en la realización de ensayos de inyección en régimen pseudoestacionario, en secciones de una longitud en torno a un 10-20% del espesor de la formación confinante, con dispositivo doble obturador, y con una duración suficiente para conseguir un estado pseudoestacionario. La duración de la fase de inyección de cada uno de los ensayos estará en torno a 30-40 minutos, seguidos de una recuperación del mismo orden. Los valores de conductividad hidráulica obtenidos no tienen la precisión de los obtenidos mediante los otros tipos de ensayos, pudiendo variar hasta un orden de magnitud respecto a los ensayos de inyección en régimen transitorio. Aún así, se obtiene una estimación bastante precisa del comportamiento de la formación en las proximidades del área ensayada y la distribución de permeabilidades, utilizando tiempos de testificación relativamente cortos.

En esta primera fase también resulta de interés la realización de un ensayo de inyección en régimen transitorio o ensayos tipo pulso o slug a columna completa, con dispositivo de un solo obturador, que aporte una información

general de la permeabilidad de la formación y que sirva como valor de referencia con los resultados obtenidos en cada una de las secciones.

Una vez obtenida esta primera distribución de conductividad hidráulica y junto con la información recabada de los testigos de perforación y la testificación geofísica relativa a orientación, densidad, longitud, apertura, rugosidad y relleno de las posibles discontinuidades y fracturas, así como de los posibles cambios litológicos existentes se procede a establecer las secciones de ensayo a testificar en la segunda fase.

### Fase de reconocimiento detallado

En esta fase la longitud de la sección de ensayo será mucho menor que en la fase anterior, empleándose habitualmente longitudes de ensayo entre 1 y 6 m. En esta fase, la longitud de la sección se encuentra influenciada por el tamaño del área de discontinuidad a caracterizar y por las limitaciones debidas al estado de las paredes del sondeo para obtener un correcto sellado de los obturadores. Deberá, por tanto, conseguirse un equilibrio entre ambas limitaciones que implique la realización del mayor número posible de ensayos con una misma longitud de sección, consiguiendo de esta manera evitar en lo posible reiteradas fases de instrumentación/desinstrumentación del sondeo para modificar la longitud de la sección de ensayo.

Una vez definidas las secciones de detalle a caracterizar, y en función del perfil de conductividad hidráulica obtenido en la primera fase, se procederá a la ejecución de los ensayos hidráulicos. La testificación se realizará con dispositivo doble obturador, con control de la presión en las secciones infrayacente y suprayacente a la sección de ensayo.

La secuencia general de ensayo para una sección dada comienza con la realización de un ensayo de inyección en régimen transitorio a nivel constante o caudal constante (figura 10). En la mayoría de los casos es preferible utilizar el primero debido a que no existen efectos de almacenamiento en el sondeo y la deformación en el equipo se puede considerar despreciable desde el inicio de la medida de variación de caudal, una vez estabilizada la presión. También, a efectos prácticos, resulta más fácil llevar a cabo variaciones muy pequeñas de caudal para mantener constante la presión.

La duración mínima del período de inyección debe estar en torno a 3 horas, de manera que afecte a un volumen mayor de roca y no sólo al área más próxima como ocurre en los ensayos de inyección en régimen pseudoestacionario o en régimen transitorio con tiempos de inyección más cortos. El volumen de roca afectado dependerá de la duración del ensayo y de los parámetros hidráulicos de la formación. Al incrementar el volumen de roca afectado, el valor de



Figura 10. Unidad Móvil de Hidrogeología del IGME realizando un ensayo de inyección en régimen transitorio (foto M. Mejías).

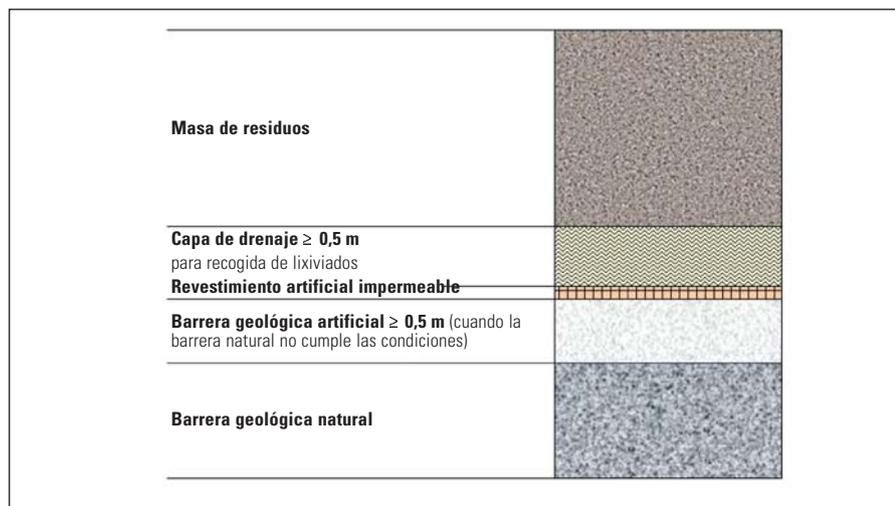


Figura 11. Esquema en la vertical de un vertedero de residuos.

conductividad hidráulica se aproxima más a un valor medio representativo del macizo rocoso ensayado quedando las heterogeneidades de la formación englobadas en un medio poroso y homogéneo equivalente. Si se continúa aumentando el volumen de roca ensayado, llega un momento, variable dependiendo de las características hidráulicas de la formación, en que los parámetros hidráulicos no varían de forma significativa, debiendo valorarse, en función de los objetivos del estudio, el punto de equilibrio entre duración del ensayo y representatividad de los valores. Se puede llegar así a ensayos de larga duración para analizar conectividad de fracturas y condiciones de borde.

Finalizada la fase de inyección, se deberá registrar una fase de recuperación con una duración del mismo orden de magnitud que la fase de inyección. El análisis de la fase de recuperación servirá para comparar los valores de conductividad hidráulica obtenidos en ambas fases y suele aportar información sobre el grado de conexión del sondeo con la formación. También es interesante para verificar el correcto funcionamiento del registro automático de niveles y la detección de posibles fugas en la sarta.

### Aplicación de los medios de baja permeabilidad al almacenamiento de residuos

Al comienzo del artículo se mencionan algunas de las principales utilidades de

los medios de baja permeabilidad. Cada una de ellas requiere ciertas especificidades en función del objetivo. Probablemente, la utilidad más generalizada y con mayor número de actuaciones sea la referida a la instalación de vertederos de residuos.

La política ambiental en España sobre residuos tóxicos y peligrosos viene recogida en la Ley 20/1986, de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos (BOE, 20 mayo 1986) y tiene como principios básicos la prevención de posibles riesgos sobre la salud humana, los recursos naturales y el medio ambiente, mediante la transformación de los mismos en inocuos, evitando la transferencia de la contaminación a otro medio receptor y promoviendo tanto la recuperación de las materias primas y energía en ellos contenida, como el desarrollo de tecnologías que permitan su reutilización, a la vez que disminuyan sus efectos nocivos en el medio y contribuyan por tanto a preservar los recursos naturales. La Ley 20/1986 incluye tanto medidas preventivas en su fase de producción, como la regulación de todas las fases en la gestión, que tiene en cuenta las operaciones de recogida, almacenamiento, transporte, tratamiento, recuperación y eliminación, de forma integrada, en función del destino final más adecuado a las características de cada residuo.

La legislación vigente sobre residuos define algunos de los siguientes términos básicos:

- *Residuo*, según la Ley 10/1998, de 21 de abril, BOE de 22 abril 1998, de Residuos, artículo 3: cualquier sustancia u objeto perteneciente a alguna de las categorías incluidas en el anejo de esta Ley. La Ley 10/1998 es de aplicación a todo tipo de residuos, con las siguientes exclusiones: las emisiones a la atmósfera, los residuos radiactivos, los residuos mineros, los vertidos de efluentes líquidos a las aguas continentales, los vertidos desde tierra al mar y los vertidos desde buques y aeronaves al mar.
- *Residuos urbanos y municipales*, según la Ley 10/1998, artículo 3: los generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas de servicios, así como todos aquellos que no tengan la calificación de peligrosos y que por su naturaleza o composición puedan asimilarse a los producidos en los anteriores lugares o actividades.
- *Residuos inertes*, según el Real Decreto 1481, de 27 de diciembre, BOE de 29 enero 2002, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero, que a su vez transpone la Directiva 1999/31/CE del Consejo, de 26 de abril de 1999, DOCE 182/L, de 16-07-99, relativa al vertido de residuos: son los residuos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas.
- *Residuos Tóxicos y Peligrosos*, según la Ley 20/1986, artículo 2: Los materiales sólidos, pastosos, líquidos, así como los gaseosos contenidos en recipientes, que siendo el resultado de un proceso de producción, transformación y utilización o consumo, su productor destine a abandonar y contengan en su composición alguna de las sustancias y materiales que figuran en el anexo de la presente Ley en cantidades o concentraciones tales que representen un riesgo para la salud humana, recursos naturales y medio ambiente.
- *Eliminación*, según la Ley 20/1986, artículo 2: todo procedimiento que, como el vertido controlado, la incineración sin recuperación de energía, la inyección en el subsuelo y el vertido al mar, no implique aprovechamiento alguno de los recursos.

- *Almacenamiento*, según el Real Decreto 833/1988, de 20 de julio, BOE de 30 julio 1988, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos: el depósito temporal de residuos, con carácter previo a su valorización o eliminación, por tiempo inferior a dos años o a seis meses si se trata de residuos peligrosos, a menos que reglamentariamente se establezcan plazos inferiores. En la Ley 10/1998, artículo 19, se precisa que el depósito de residuos en cualquier lugar durante períodos de tiempo superiores a los señalados para el almacenamiento, será considerado como una operación de eliminación.
- *Almacenamiento subterráneo*, según el Real Decreto 1481/2001, que transpone la Directiva 1999/31/CE: es una instalación para el almacenamiento permanente de residuos situada en una cavidad geológica profunda, tal como una mina de sal o de potasio.
- *Vertedero*, según el Real Decreto 1481/2001, que transpone la Directiva 1999/31/CE: consiste en un emplazamiento de eliminación de residuos que se destine al depósito de los residuos en la superficie o subterráneo.

Cada vertedero puede clasificarse en una de las siguientes clases (Real Decreto 1481/2001, que transpone la Directiva 1999/31/CE): vertedero para residuos peligrosos, para residuos no peligrosos y para residuos inertes.

En el Real Decreto 1481/2001, que transpone la Directiva 1999/31/CE, se determinan los requisitos generales para todas las clases de vertederos. Para ello, deberán tomarse en consideración, entre otras, la existencia de aguas subterráneas, aguas costeras o reservas naturales, las condiciones geológicas e hidrogeológicas de la zona, así como las características del vertedero y las condiciones meteorológicas, con objeto de controlar el agua de las precipitaciones que penetre en el vaso de vertedero, de impedir que las aguas superficiales o subterráneas penetren en los residuos

vertidos, y de recoger y tratar las aguas contaminadas y los lixiviados.

La protección del suelo, de las aguas subterráneas y de las aguas superficiales, deberá realizarse mediante la combinación de una barrera geológica y un revestimiento inferior durante la fase de explotación, y mediante la combinación de una barrera geológica y un revestimiento superior durante la fase pasiva o posterior a la clausura. Se considera que existe barrera geológica natural cuando las condiciones geológicas e hidrogeológicas subyacentes y en las inmediaciones de un vertedero tienen la capacidad de atenuación suficiente para impedir un riesgo potencial para el suelo y las aguas subterráneas, es decir cuando se puede verificar la existencia de una formación de baja permeabilidad que impida el flujo de agua subterránea con contaminantes.

Así, la normativa vigente determina que la base y los lados de un vertedero consistirán en una capa mineral que cumpla unos requisitos de permeabilidad y espesor cuyo efecto combinado en materia de protección del suelo, de las aguas subterráneas y de las aguas superficiales sea por lo menos equivalente al derivado de los requisitos siguientes (*figura 11*):

- Vertederos para residuos peligrosos:  
K "  $1,0 \cdot 10^{-9}$  m/s; espesor  $\geq 5$  m.
- Vertederos para residuos no peligrosos:  
K "  $1,0 \cdot 10^{-9}$  m/s; espesor  $\geq 1$  m.
- Vertederos para residuos inertes:  
K "  $1,0 \cdot 10^{-7}$  m/s; espesor  $\geq 1$  m.

Cuando la barrera geológica no cumpla de forma natural las condiciones antes mencionadas, podrá completarse de forma artificial o reforzarse por otros medios que proporcionen una protección equivalente. El espesor de una barrera geológica artificial no deberá ser inferior a 0,5 m. Además de las barreras geológicas mencionadas deberá añadirse un sistema de impermeabilización y de recogida de lixiviados bajo la masa de residuos, de manera que se garantice que la acumulación de lixiviados en la base del vertedero se mantiene en un mínimo.

## Conclusiones

Se pueden definir los medios de baja permeabilidad como aquellas formaciones geológicas que no almacenan agua en cantidad apreciable o que solamente son capaces de transmitirla muy lentamente.

La baja capacidad de los medios de baja permeabilidad para transmitir agua tiene la utilidad de dificultar el paso de agua contaminada hacia acuíferos permeables con interés respecto a su aprovechamiento hídrico.

Por tanto, la caracterización de los medios de baja permeabilidad presenta una importante utilidad como barrera geológica natural que circunda el área de almacenamiento de diferentes tipos de residuos, evitando que el agua lixiviada pueda entrar en contacto con la biosfera. Debido al interés social que estos aspectos han generado, se han desarrollado aspectos normativos para dar cobertura a la protección del medio ambiente.

Una de las aplicaciones principales es la referida a la instalación de vertederos de residuos. En el Real Decreto 1481/2001 se determinan los requisitos generales para todas las clases de vertederos, normalizando la conductividad hidráulica que deben presentar las formaciones geológicas sobre las que se quiera ubicar el vertedero.

Otras utilidades están relacionadas con la actividad industrial, como son los estudios de viabilidad de extracción de gas metano en capas de carbón, los estudios de caracterización hidráulica de formaciones confinantes que actúan como sello en el almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub>, la determinación de la conductividad hidráulica de fracturas en formaciones graníticas con aprovechamiento industrial como roca ornamental y la valoración de formaciones geológicas de baja permeabilidad como barrera geológica natural al paso de flujo de agua con contaminantes, procedente del almacenamiento de vertidos mineros.

Las características físicas de los medios de baja permeabilidad han llevado a desarrollar una instrumentación específica

para la aplicación de los ensayos hidráulicos. Así, desde 1997, se encuentra operativa la Unidad Móvil de caracterización Hidrogeológica del IGME (UMH), diseñada para la realización de ensayos hidráulicos en medios de baja permeabilidad.

Un ensayo hidráulico es un método de análisis utilizado para determinar las propiedades hidráulicas y las condiciones de borde de una determinada formación geológica. Consiste en la aplicación de

una perturbación controlada en un acuífero o en la sección de la formación a ensayar y en la observación de la evolución de una serie de factores tras la perturbación. Tiene, entre otros objetivos, la determinación de los parámetros hidráulicos (como son la conductividad hidráulica, la transmisividad, y el coeficiente de almacenamiento), mediante la interpretación de los datos de presión, caudal y temperatura respecto al tiempo, obtenidos en los ensayos hidráulicos.

Los principales tipos de ensayos hidráulicos que pueden llevarse a cabo en estos medios de baja permeabilidad son: ensayo de inyección a caudal constante, ensayo de inyección a presión (nivel) constante, ensayo de inyección en estado pseudoestacionario, ensayo tipo Slug, ensayo tipo Pulso y Drill Stem Test (DST). Estos ensayos se interpretan mediante el ajuste de los valores obtenidos a los valores de descenso y tiempo que se calculan teóricamente. A partir de este ajuste se podrán determinar los parámetros hidráulicos.

## Bibliografía

- Almén, K.E., Andersson, J.E., Carlsson, L., Hansson, K. y Larsson, N.A. (1986). Hydraulic testing in crystalline rock. A comparative study of single-hole test methods. *Technical Report 86-27 SKB*, Uppsala, 183 pp.
- Boulton, N.S. (1954). The drawdown of the water table under non steady conditions near a pumped well in an unconfined aquifer. *Proc Institution Civil Eng*, 3, 271-281.
- Bourdet, D. (2002). Well test analysis. *Elsevier*, Amsterdam.
- Bourdet, D., Whittle, T.M., Douglas, A.A. y Pirard, Y.M. (1983). A new set of type curves simplifies well test analysis. *World Oil*. 95-106.
- Bredehoeft, J.D. y Papadopoulos, I.S. (1980). A method for determining the hydraulic properties of Tight formations. *Water Resources Research*, 16(1), 233-238.
- Cooper, H.H. y Jacob C.E. (1946). A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history. *Transactions American Geophysical Union*. 27, 526-534.
- Cooper, H.H., Bredehoeft, J.D. y Papadopoulos, I.S. (1967). Response of a finite-diameter well to an instantaneous charge of water. *Water Resources Research*, 3(1), 263-269.
- Darcy, H. (1856). Les fontaines publiques de la ville de Dijon. *The public fountains of the city of Dijon*. Victor Dalmont, Paris.
- Dupuit, J. (1863). Etudes théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux dans les canaux découverts et à travers les terrains perméables. *Theoretical and practical studies of water flow in open channels and through permeable terrains*. Dunot, Paris.
- Gringarten, A., Ramey, H.J.J. y Raghavan, R. (1974). Unsteady-state pressure distributions created by a single infinite conductivity vertical fracture. *Soc Petrol Eng J*. 14, 347.
- Hantush, M.S. (1961). Drawdown around partially penetrating well. *Proc. Am. Soc. Civil Eng*. 87, 83-98.
- Hantush, M.S. y Jacob, C.E. (1955). Nonsteady radial flow in an infinite leaky aquifer. *Transactions American Geophysical Union*. 36, 95-100.
- Home, R. (1995). *Modern well test analysis*, 2nd edn. Petroway, inc., Palo Alto.
- Jacob, C.E. (1947). Drawdown test to determine effective radius of artesian well. *Am. Soc. Civil Eng, Trans*. 112, 1047-1064.
- Jacob, C.E. y Lohman, S. (1952). Nonsteady flow to a well of constant drawdown in an extensive aquifer. *Transactions American Geophysical Union*, 33(4), 559-569.
- Martínez-Navarrete, C., Grima, J., Mejías, M. y Gómez, J.A. (1995). Celda de presión para ensayo de componentes de un equipo de testificación hidráulica. Especificaciones técnicas y ensayos. *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, XIX, 209-222.
- Mejías, M. (2005). Hydraulic testing of low-permeability fractured rocks: methodology and comparative analysis. *7th Hellenic Hydrogeology Conference & 2nd Workshop on the Hydrogeology of Fissured Rocks*. Atenas. Stournaras, G.; Pavlopoulos, K. Y Bellos Th. (ed). V. II: 151-158.
- Mejías, M. y López-Geta, J. A. (2003). Instrumentation and methodology for the hydraulic characterization of fractured rocks. *International Conference on groundwater in fractured rocks, Praga, IHP-VI, series on groundwater*, 7, 275-276.
- Mejías, M., Bellido, F., Lombardero, M. y Armendáriz, M. (2005). Metodología para la caracterización hidráulica de formaciones de baja permeabilidad. Aplicación a un sondeo de reconocimiento perforado en materiales graníticos en el sector oriental del Sistema Central. *Boletín Geológico y Minero*, 116(1): 79-95.
- Neuzil, C.E. (1982). On conducting the modified slug test in tight formations. *Water Resources Research* 18(2), 439-441.
- Papadopoulos, I.S. y Cooper, H.H.J. (1967). Drawdown in a well of large diameter. *Water Resour Res*. 3, 241-244.
- Renard, P. (2003). Hytool 1.2 - Users manuals. Technical report. University of Neuchâtel, Switzerland. 9 pp.
- Renard, P. (2005). The future of hydraulic tests. *Hydrogeological Journal*, 13, 259-262.
- Theis C.V. (1935). The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. *Transactions American Geophysical Union*. 2, 519-524.
- Theis C.V. (1941). The effect of a well on the flow of a nearby stream. *Transactions American Geophysical Union*. 22, 734-738.
- Thiem, G. (1906). *Hydrologische methoden (Hydrological methods)*. Gebhardt, Leipzig. 56 pp.
- Uraiet, A.A. y Raghavan, R. (1980). Unsteady flow to a well producing at constant pressure. *J. Pet. Tech*. Oct 1980, 1803-1812.
- Van Everdingen, A.F. (1953). The skin effect and its influence on the productive capacity of a well. *Petrol Trans, AIME*. 198, 171-176.
- Van Everdingen, A.F. y Hurst, W. (1949). The Application of the Laplace Transformation to flows problems in reservoirs. *Transactions, AIME* 186, 305-324.

# Historia del edificio del Instituto Geológico y Minero de España

El Instituto Geológico y Minero de España tiene una larga historia de más de 150 años de investigaciones geológicas y mineras en el territorio nacional. Heredero de la Comisión para la Carta Geológica de Madrid y General del Reino, creada en 1849 y refundada en 1870, su trayectoria ha sido recogida múltiples veces y destacada con motivo del 150 aniversario de su creación. Sin embargo, los aspectos históricos se han centrado preferentemente en los trabajos geológico-mineros y en sus personajes, pero nunca han sido objeto de atención los edificios en los que la institución tuvo sus diferentes ubicaciones, especialmente el que constituye su sede principal desde 1926.

**TEXTO** | Isabel Rábano, directora del museo del IGME (i.rabano@igme.es), Pilar Rivas, historiadora y archivera de la Fundación COAM (privas@coam.org), Teresa Reñé, historiadora del arte (Teresa.Rene@bne.es)

**FOTOS** | Pedro López

Palabras clave

**Arquitectura madrileña, Edificio singular, Bien de Interés Cultural, Historia de la Geología, Instituto Geológico y Minero de España.**

Como resultado de la investigación del escaso archivo histórico conservado en el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), así como de una búsqueda realizada en todos aquellos archivos susceptibles de conservar información del Organismo, se ha realizado un trabajo de investigación y un libro sobre el edificio y la evolución del barrio en el que se enclava (Rivas Quinzaños y Reñé Sagristá, 2006), que incluye la primera biografía del arquitecto Francisco Javier de Luque y López, quien proyectó y construyó el edificio de la calle de Ríos Rosas nº 23 (figura 1). Aún con todo, la investigación es incompleta, debido a la desaparición de documentación clave, hacia mediados del siglo XX, que, por aquel entonces, nadie en el Organismo creyó oportuno conservar.

El edificio del IGME goza de unas condiciones específicas de protección. Fue declarado Bien de Interés Cultural con la categoría de Monumento por la Comunidad de Madrid (R.D. de 27 de febrero de 1998; BOCM de 13 de marzo), y está catalogado como edificio singular



Figura 1. El Instituto Geológico y Minero de España, en su actual sede de la calle Ríos Rosas, visto desde el edificio de Telefónica.

con máxima protección en el Plan General de Ordenación Urbana de Madrid de 1995.

## 1849: La Comisión del Mapa Geológico de España

El Ministerio de Comercio, Instrucción y Obras Públicas, creado en 1847, asumió

las competencias sobre agricultura, industria y comercio, minas, ganadería, caza y pesca, montes, caminos y canales, bolsas, ferias, escuelas, colegios y universidades. Juan Bravo Murillo, entonces ministro del ramo, buscó la forma de fortalecer el campo de la geología en nuestro país que hasta el

momento estaba muy poco desarrollado. Así, consiguió que se creara la Comisión para la Carta Geológica de Madrid y General del Reino, por Real Decreto de 12 de julio de 1849, dependiendo de su Ministerio. La Comisión inició sus actividades intentando llevar adelante el programa científico que le había sido consignado en el decreto fundacional, dividida en cinco secciones a cargo de otros tantos vocales responsables. Para ello se seleccionaron científicos de la talla de José Subercase, destinado para la Sección de Geografía Meteorológica; Fernando Cutolí y Lagoanere, ingeniero de Minas que se hizo cargo de los Estudios Mineralógicos; el doctor en medicina Vicente Cutanda, responsable de la Flora Matritense, y Mariano de la Paz Graells y Casiano de Prado que se ocuparon de las secciones de Fauna y de Geología y Paleontología, respectivamente.

La Comisión estableció su sede en la calle Florín nº 2 (hoy Fernánflor), en el mismo edificio que ocupaban la Dirección General de Minas y la Escuela de Ingenieros de Minas. Ambas instituciones estaban instaladas en el Palacio del Duque de San Pedro (figura 2), en la mencionada calle con vuelta a la carrera de San Jerónimo; la primera, desde 1833, y la Escuela de Minas, desde 1835, cuando fue trasladada a Madrid desde Almadén. El Palacio del Duque de San Pedro ocupaba toda la manzana número 270 del antiguo casco madrileño. Su situación en el conjunto de la ciudad era privilegiada por su cercanía con el Congreso de los Diputados, que estaba todavía en construcción, y se encontraba a unos metros del museo del Prado y del Paseo del Prado, lugares de paseo de los madrileños. Además, la Carrera de San Jerónimo era una de las vías principales de comunicación entre la Puerta del Sol, el Palacio Real y el Paseo del Prado.

La Comisión abandonó este emplazamiento entre 1859 y 1861, coincidiendo con su integración en la Junta General de Estadística, instalándose en dependencias del Ministerio de Fomento, cuya sede se encontraba en el ex Convento de la Trinidad Calzada, en la calle de Atocha



Figura 2. Palacio del Duque de San Pedro. Charles Clifford. 1853 (Biblioteca Nacional).

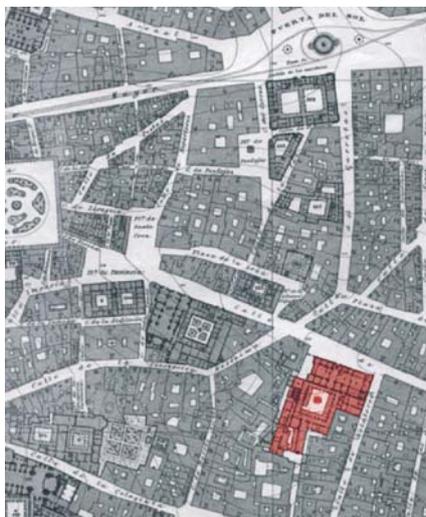


Figura 3. Detalle de la planta del exconvento de la Trinidad Calzada, sede del Ministerio de Fomento hacia 1860-1870. Hoja Kilométrica 7 F (IGN).



Figura 4. Fachada del Palacio Revillagigedo hacia 1923.

12-16 (figura 3). Permaneció en este edificio hasta 1870, fecha en la que la Comisión se refundó por Real Decreto de 28 de abril, siendo ministro de Fomento José Echegaray. La Comisión volvió a adquirir independencia y se trasladó a su tercera sede (figura 4), en el Palacio del Conde de Revillagigedo, en la calle de Isabel la Católica nº 25.

Las noticias sobre la labor llevada a cabo por la Comisión durante estos años las conocemos a través del ingeniero de minas Manuel Fernández de Castro, nombrado director de la misma en 1873, cargo en el que permaneció durante veintidós años, hasta su fallecimiento en 1895 (Ayala Carcedo, 1995). Fernández de Castro impulsó definitivamente los trabajos de la Comisión, formada a partir de este momento sólo por personal del Cuerpo de Ingenieros de Minas, amparado por las nuevas leyes mineras y la liberalización de la investigación en el sector que propició el nuevo gobierno del Sexenio Revolucionario. Desde el principio, concentró los esfuerzos en los estudios geológico-mineros provinciales que estaban aún sin realizar o que había que perfeccionar, y que favorecieron la confección del primer Mapa Geológico Nacional a escala 1:400.000, en 1889. También promovió la publicación sistemática de estos resultados en forma de memorias y bosquejos o mapas geológicos. Creó dos nuevas series de



nuevo Plan de Ordenación, debía ser expropiado y derribado. Ante la posibilidad de que en un breve plazo el Instituto se encontrara sin lugar en donde instalarse, el director general de Agricultura, Minas y Montes del Ministerio de Fomento, autorizó a Adaro para buscar terrenos adecuados donde construir la nueva sede.

Al elegir el solar se tuvo en cuenta la ubicación de la Escuela de Ingenieros de Minas, por dos motivos: el primero por la relación existente entre el profesorado de la Escuela y los miembros del Instituto, establecida desde la creación de la Comisión, ya que ambos compartían el mismo edificio y algunos ingenieros del Instituto también eran docentes en la Escuela (Sánchez Lozano, 1917). La segunda razón fue que en la calle de Ríos Rosas el precio de los terrenos era más económico por ser una zona periférica del Ensanche que estaba casi deshabitada (Rivas Quinzaños y Reñé Sagristá, 2006). En abril de 1915 se iniciaron los primeros contactos para la compra entre Luis de Adaro y doña Rafaela Prieto y Leyva, viuda de Farelo, propietaria de un solar contiguo al de la Escuela de Minas, en la calle de Ríos Rosas.

Ya adquiridos los terrenos, era necesario buscar un arquitecto que diseñara el edificio. Previamente, el director general de Agricultura, Minas y Montes dispuso que el director del Instituto y el presidente del Consejo de Minería formularan, en el plazo de ocho días, un avance de proyecto para el edificio. Sólo cinco días más tarde, lo recibió en su despacho, elaborado de común acuerdo y con la cooperación del personal facultativo del Instituto. El *Avance de un Proyecto para la construcción de un edificio destinado al Instituto Geológico de España* está firmado por José M<sup>o</sup> de Madariaga, presidente del Consejo de Minería, y Rafael Sánchez Lozano, director del Instituto, con fecha de 13 de abril de 1918 (figura 6). Es un documento importante porque demuestra no sólo el gran interés desde la dirección del Instituto y de la cúpula directiva del Ministerio, sino porque en él estuvieron implicados otros miembros del Instituto, dando las



Figura 7. Francisco Javier de Luque y López (1871-1941) (AMV, Colección Guinea).

directrices para la nueva sede. Lo que se deseaba era construir un edificio como se había hecho en "... los principales museos geológicos del extranjero" (Madariaga y Sánchez Lozano, 1918). Por tanto, lo que queda claro en ese texto es que uno de los motivos por lo que se deseaba el nuevo edificio es que el Instituto contara con un museo adecuado para exponer las valiosas colecciones de minerales, rocas y fósiles que desde la creación de la Comisión se habían ido acumulando, y las donaciones de gran interés que había recibido. Otro motivo era que necesitaban tener unas instalaciones modernas y adecuadas para despachos, laboratorios, bibliotecas y distintos departamentos. Pero el motivo fundamental, ya mencionado, era que el viejo caserón de la calle de Isabel la Católica era inadecuado, no pertenecía al Instituto y además iba a ser derribado.

El 4 de mayo de ese mismo año, el director general de Minas dio el visto bueno al *Avance* redactado por Madariaga y Sánchez Lozano, autorizando a este último para que encargara el proyecto definitivo del edificio. Ese mismo mes se aprobó que Francisco Javier de Luque y López fuera el arquitecto que redactase el proyecto y llevase la dirección facultativa.

#### El arquitecto del nuevo edificio: Francisco Javier de Luque

Francisco Javier de Luque (Sevilla, 1871-Madrid, 1941) (figura 7), arquitecto cuya obra ha sido poco conocida y prácticamente ignorada por la

historiografía, obtuvo los títulos de licenciado en Ciencias Físico-Matemáticas en Sevilla (1893) y el de arquitecto en Madrid (1899). Aunque empezó su actividad profesional siendo profesor de la Escuela de Ingenieros Industriales de Bilbao, el hecho de ser miembro del equipo ganador del Concurso Nacional de Proyectos para la construcción de la Catedral Nueva de Vitoria, hizo que se dedicara por entero a la Arquitectura. Se trasladó a Vitoria y emprendió la construcción de la Catedral Nueva con su compañero y amigo Julián Apraiz (1876-1962). En esa ciudad residió desde 1909 a 1914, llevando las obras de la catedral y construyendo edificios tanto para el obispo como para la burguesía alavesa. Fue nombrado vocal de la Comisión de Monumentos de Álava, presidente del Real Ateneo Científico y Literario de Vitoria, etc. A su regreso a Madrid, se incorporó a la docencia universitaria en la Escuela Superior de Arquitectura, primero como interino, después como profesor numerario y, desde 1915, como catedrático de Mecánica Racional y Construcción. Ese mismo año se le encargó la continuación de las obras de la nueva Residencia de Estudiantes (iniciadas por Antonio Flórez), en su calidad de técnico de la Sección de Construcciones Civiles del Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes. Desde entonces, y hasta el final de su vida, fue responsable de la conservación y restauración de todos los edificios de ese ministerio y construyó edificios públicos como el Ministerio de la Marina, el tercer pabellón del Instituto Escuela —hoy Instituto Isabel la Católica—, el Instituto Cajal —hoy Escuela de Obras Públicas— y el Instituto Geológico y Minero de España.

Esclarecida su biografía y enmarcado al personaje en el tiempo que le tocó vivir —un periodo de grandes cambios tanto desde el punto de vista histórico y social como de la historia de la Arquitectura española— se hace difícil enmarcarlo en una corriente estilística concreta. Algunos especialistas integran la obra de Luque entre las arquitecturas tradicionales, con supervivencias conservadoras. Creemos que su trayectoria profesional le llevó a utilizar estilos distintos dentro de la corriente ecléctica más radical para adaptarse a los

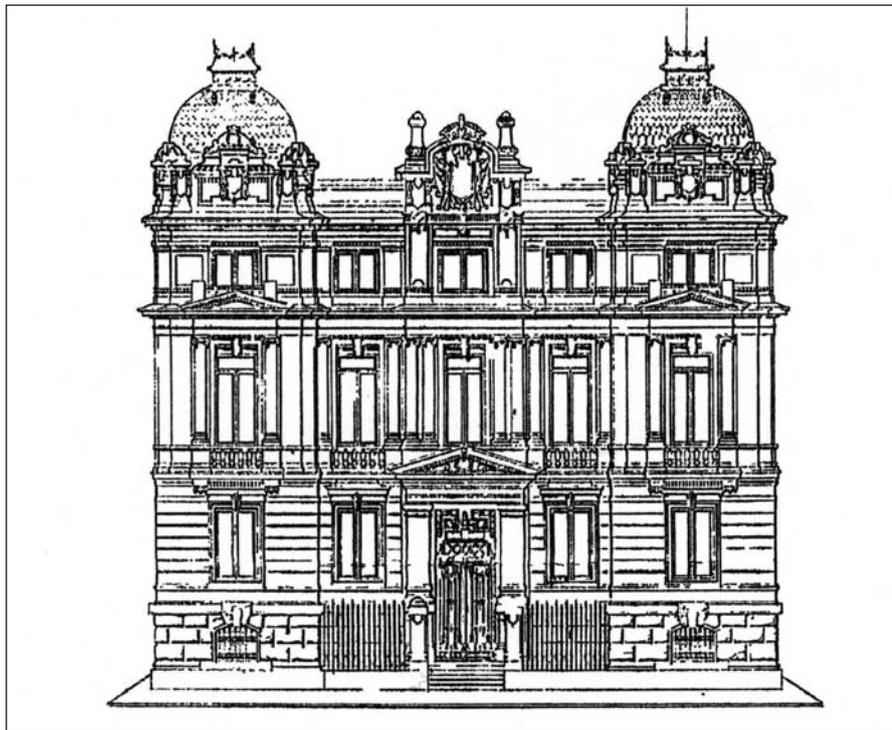


Figura 8. Fachada principal del proyecto de Francisco Javier de Luque, 1918 (AH.IGME).

gustos de sus clientes y, sobre todo, a los imperativos de la propia administración para la que trabajó durante toda su vida y que, en un momento dado, lo sustituyó por arquitectos ya adscritos al Movimiento Moderno, que él no comprendió.

En ningún documento consta cuál fue el motivo por el que se eligió a Francisco Javier de Luque para proyectar el edificio del Instituto Geológico. Posiblemente se debió a su vinculación con el Servicio de Construcciones Civiles del Ministerio. Por otro lado, Luque también era catedrático de la Escuela de Arquitectura de Madrid

y era una figura de prestigio reconocido entre los arquitectos.

El 31 de mayo de 1918 el Director del Instituto hizo oficial el encargo del proyecto que presentó siete meses después (figura 8). Aunque las obras no se iniciaron hasta 1921. La novedad más importante introducida en el diseño de Luque fue la concepción de una gran sala rectangular de colecciones, que ocupa toda la altura del edificio, en la que se instaló el museo. En el *Avance*, en cambio, se disponían dos salas pequeñas de colecciones comunicadas entre sí en la planta baja, aunque es previsible que las dos salas encima de ellas sin

identificar estuvieran destinadas para ampliar esas instalaciones. En términos generales, Luque aceptó casi todas las indicaciones prescritas en el *Avance*, pero introdujo cambios sustanciales que dieron a su proyecto una mayor racionalidad y monumentalidad en la distribución, potenciando las zonas del museo, vestíbulos, escalera y galería principal, así como a todos los elementos singulares del conjunto.

Tanto en el *Avance* como en el proyecto se sitúan los despachos y oficinas del personal del Instituto en la parte delantera con fachada a la calle de Ríos Rosas, mientras la zona de colecciones está localizada en la parte trasera. Luque proyectó el edificio en tres bloques perfectamente definidos y diferenciados, que se pueden ver claramente en la sección del proyecto (figura 9). La parte delantera aparece bien estructurada, dando mayor relevancia y empaque a la entrada y a la escalera monumental que trata como una pieza independiente, frente al resto que estaba destinado a despachos y oficinas. También modifica la situación de los patios en la parte frontal. La zona de las colecciones —museo— aparece separada claramente por dos patios gemelos que dan paso a la gran sala de colecciones que revaloriza, potenciando su importancia y desarrollo en la parte intermedia, separándola de la calle Cristóbal Bordiú con un gran patio en toda la anchura del edificio. En esta última calle coloca una entrada secundaria dedicada a almacenamiento y zona de descarga de material en planta baja y distribuye las plantas altas sobre ella con viviendas para los empleados del Instituto. Esta parte trasera no responde

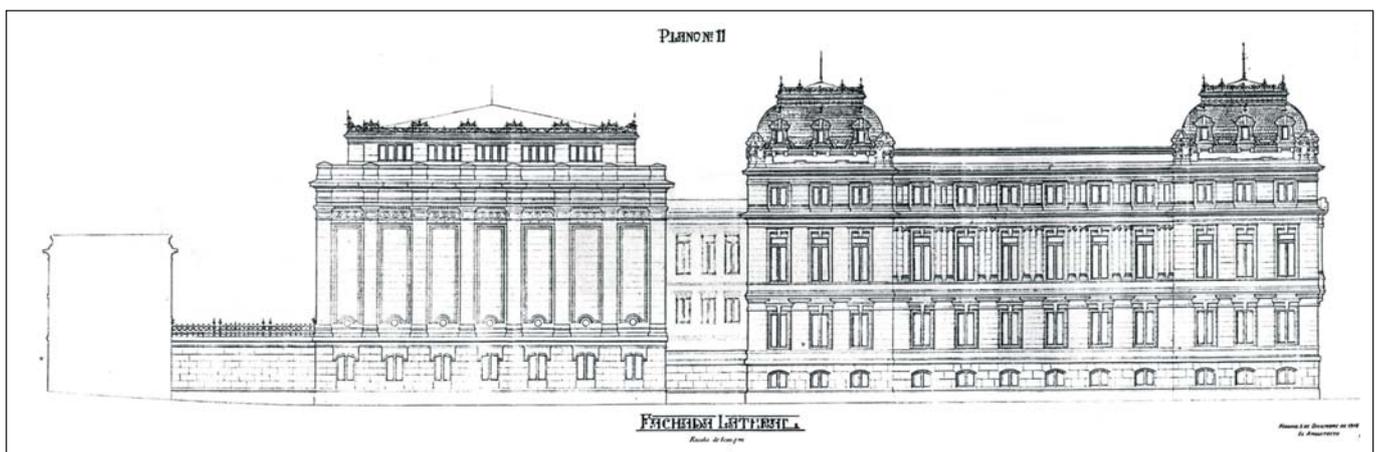


Figura 9. Fachada lateral del proyecto de Francisco Javier de Luque, 1918 (AH.IGME).



Figura 10. Arco de entrada al Congreso a través el jardín de la Escuela de Minas, diseñado por Tomás Isern (Boletín Oficial de Minas y Metalurgia, 1926).

al proyecto y más tarde fue destinada a albergar el Consejo de Minería.

### 1926: La inauguración para el XIV Congreso Geológico Internacional

En el XIII Congreso Geológico Internacional, celebrado en Bruselas en 1922, se había acordado que el siguiente

congreso se celebraría en 1925, en Madrid. El ofrecimiento había partido del propio director del Instituto, César Rubio, quien propuso a las autoridades españolas que se celebrara en el Instituto (Anónimo, 1922). El principal problema era que el edificio se encontraba en construcción, por lo que se decidió que lo más conveniente era terminar la parte central, donde estaba prevista la instalación de las colecciones, pero debido a la lentitud de las obras, el congreso tuvo que retrasarse un año.

Aunque no hay referencias precisas de cuando finalizó la primera etapa de construcción del edificio, que contemplaba el cuerpo central, se puede deducir que a finales de abril o los primeros días de mayo estaba terminada. El 24 de mayo de 1926 se inauguró el XIV Congreso Geológico Internacional en la gran sala que actualmente alberga al museo Geominero y se puede considerar que también fue la fecha de inauguración oficial del edificio puesto que, hasta el momento, se desconoce que hubiera otra inauguración posterior. La parte delantera del Instituto, es decir, la zona de oficinas, escalera y entrada principal, estaba todavía sin empezar. La entrada a la sede del Congreso se realizó de forma provisional por los jardines de la Escuela de Minas, construyéndose un arco de cartón-piedra para entrada, disimulando que el edificio estaba inconcluso durante el Congreso (figura 10). Esta arquitectura efímera fue diseñada por el decorador de teatro Tomás Isern (Roso de Luna, 1926).

### Continuación de las obras y Guerra Civil

En septiembre de 1926 se reanudaron las obras y, en enero de 1927, se aprobó un nuevo reglamento del Instituto (ya con su nueva denominación Instituto Geológico y Minero de España), después de reestructurar sus servicios. Se modificó la forma de contratación de obras a través de los presupuestos anuales, lo que ralentizó notablemente la ejecución de las mismas. En julio de ese año se aprobó la instalación provisional de laboratorios que sirvió para abrir los de petrografía, radiaciones ionizantes y de espectroscopia y la instalación definitiva del museo.

Se conserva un plano de la planta principal con la instalación de calefacción donde se marca la zona que no iba a terminarse en 1929. El plano no está firmado, pero sin duda se debe a la mano de Luque. Este es el primer plano del edificio en construcción encontrado hasta el momento, en donde ya se aprecian las variaciones introducidas por Luque con respecto al proyecto de 1918. El cambio más importante es la nueva disposición del patio central, que lo desplaza detrás del pasillo de la escalera principal. Luque volvió a explicar la situación en que se encontraba el edificio a los nueve años de haberse iniciado. En 1930 se terminó la parte trasera del edificio, en donde se instaló el Consejo de Minería, con fachada a la calle Cristóbal Bordiú. Esa instalación no estuvo prevista ni en el *Avance* ni en el proyecto inicial.

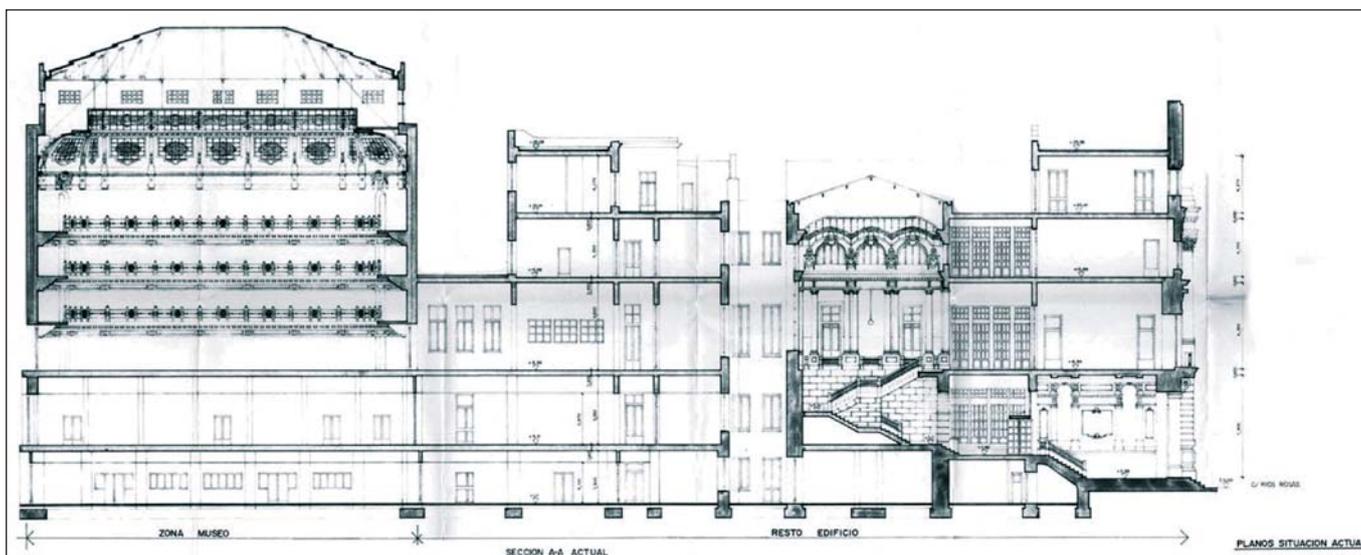


Figura 11. Sección actual de edificio en el proyecto de restauración, 1986 (AH.IGME).



Figura 12. Fachada principal a la calle de Ríos Rosas.

Se conservan los planos de distribución de las distintas plantas del edificio en construcción, fechados en octubre de 1931, pero sin firma, que, igual que el anterior, con toda seguridad se deben también a Luque. En ellos, por primera vez, se puede apreciar el edificio completo y los cambios introducidos en la distribución general.

En el otoño de 1936 se paralizaron las obras por la Guerra Civil, porque en esa fecha se suspendieron las pólizas parciales de obras suscritas por el

Instituto con el Instituto Nacional de Previsión. Por otro lado, durante el periodo de la Guerra Civil, la vecina Escuela de Ingenieros de Minas interrumpió todas las actividades y sus instalaciones fueron convertidas en cuartel para el Cuerpo de Guardias de Asalto. Al finalizar la contienda se recuperó el edificio y la Escuela volvió a su ritmo habitual. Sin embargo, el Instituto Geológico estuvo en funcionamiento. Su sede sufrió bastantes daños durante la contienda y, al finalizar la misma, el director Alfonso del Valle

y Lersundi solicitó que se habilitara un presupuesto especial para la reparación de los desperfectos causados por la artillería. Igualmente, solicitó que Luque fuera autorizado para la terminación de las obras del edificio.

No se conserva documentación sobre estos años de la posguerra y, aunque no se ha encontrado ningún dato o documento que certifique la terminación oficial de las obras, se puede suponer que el 13 de marzo de 1941, cuando el jefe del Estado acompañado de los generales Moscardó y Uzquiano, el ministro de Industria y Comercio y el director general de Minas visitaron el Instituto (Moya 1941), las obras habían finalizado, veinte años después de su inicio.

### El edificio hoy

El estudio pormenorizado de las distintas partes que componen el edificio nos indica que Luque era un buen arquitecto, con oficio y conocimiento de las necesidades de un edificio de carácter público y representativo. Sin embargo, los cambios introducidos durante el largo periodo en que duraron las obras, produjeron una pérdida de su concepción global y el resultado final es un edificio de carácter híbrido que, a simple vista, puede producir equívocos. Por otra parte, no se conoce ninguna restauración desde su terminación hasta la década de los ochenta del siglo XX. Se supone que durante esos cuarenta años se hicieron algunas obras de mantenimiento y también realizaron algunos cambios en la distribución de las distintas plantas en relación con los últimos planos conocidos de 1931, pero no quedaron reflejados en ningún documento gráfico.

### Fachadas

La fachada principal es la parte del edificio que se construyó más tarde. Durante el periodo que duraron las obras hubo grandes cambios artísticos, sociales y, sobre todo, políticos. Esos cambios se detectan en esta fachada. Presenta bastantes diferencias con respecto al diseño primitivo, del que se respetaron los ejes compositivos básicos. La fachada del proyecto tenía una imagen que recuerda

a la de la Escuela de Minas; imagen que Luque eligió como homenaje a su amigo y compañero Ricardo Velázquez Bosco, en la que coronaba el edificio con dos cúpulas con mansardas en los cuerpos laterales y escudo en el centro. En cambio, en la fachada existente (*figura 12*), aunque utiliza el mismo esquema compositivo tripartito en torno al eje central, varió completamente el lenguaje ornamental que le confiere mayor pesadez y clasicismo, eliminando las cúpulas.

La enorme diferencia estilística entre la fachada posterior y la principal llevó a algunos especialistas a creer que formaba parte de otro edificio y no del Instituto. Presenta grandes superficies acristaladas con ventanas de hierro entre la estructura reticular formada por grandes pilastras jónicas de fábrica que proporcionan gran diafanidad y limpieza a toda la composición (*figura 13*). Este modelo de fachada que fue característico de la arquitectura comercial madrileña de las dos primeras décadas del siglo XX, Luque y otros arquitectos lo emplearon en otras tipologías edilicias, como es este caso.

#### *Vestíbulo de entrada y escalera principal*

Desde la calle de Ríos Rosas se penetra al Instituto Geológico a través de unas amplias puertas de rejería y cristal al vestíbulo de entrada. Este vestíbulo, que se encuentra al nivel de la calle, es un dilatado espacio rectangular que sirve de zona intermedia entre la calle y el resto del edificio. Una escalinata de mármol blanco, el prelude de lo que se encuentra detrás de las grandes puertas de madera y cristal, sirve de paso y salva la diferencia de altura con el vestíbulo central.

Al traspasar la puerta central se pasa a través de una puerta de madera giratoria —uno de los pocos ejemplos que se mantienen en uso en Madrid— y se penetra en el vestíbulo central (*figura 14*). Éste es un espacio rectangular de amplias dimensiones, colocado en sentido paralelo a la calle. Tiene forma cuadrada en el centro y presenta escalinatas en tres de sus lados. Las escalinatas situadas a derecha e izquierda, de muy pocos peldaños, dan paso a distintos despachos, a la portería y a los pasillos que comunican



*Figura 13. Fachada posterior a la calle Cristóbal Bordinú.*

con el resto de la planta. La escalinata frontal es el paso hacia la escalera principal que comunica con la planta principal. Este vestíbulo es otro espacio intermedio de distribución y de paso. El tratamiento del suelo y las paredes, en dos de sus lados, es de mármol blanco, para darle unidad y continuidad con las piezas anterior y posterior. En cambio, los lados menores se diferencian por el uso de grandes superficies de madera y cristal que dan paso a zonas secundarias del edificio. La escalinata frontal conduce a un nuevo espacio presidido por un gran arco carpanel que es el prelude o inicio de escalera principal.

La escalera principal es una de las piezas más singulares del conjunto por su monumentalidad y belleza poco frecuente (*figura 15*). Articula las comunicaciones en la parte anterior del edificio y destaca por el tratamiento espacial. Es una escalera de

honor que arranca con un solo tramo central con descansillo, para a continuación dividirse en dos tramos en la parte alta. La impresión es que estamos en una gran caja blanca opaca, totalmente chapada en mármol blanco de Macael (Almería) que da acceso a la galería del piso principal. Las prescripciones dadas por Luque para la escalera nada hacen pensar que se construiría una pieza de tal categoría, puesto que él sólo indica los materiales, el sistema constructivo y detalla poco las indicaciones sobre los acabados.

La galería del piso principal comprende todo el hueco de la escalera y está formada por una columnata de gran altura, en la que se combinan las columnas pareadas de orden jónico con los vacíos formados por los intercolumnios, sólo cerrados en la parte baja por las balaustradas, en tres de sus lados (*figura 16*). Es una galería abierta



Figura 14. Vestíbulo principal.



Figura 15. Escalera principal.

curvilínea sobre la que apoya la vidriera de la cubierta en forma de artesa invertida, con los ángulos curvados. Esta bellísima cubierta de cristal —amplísima claraboya— que cierra el espacio de la galería está formada por un rectángulo central que desciende en forma curvada hasta la altura de los lunetos, como una bóveda luminosa (figura 17). La parte de los lunetos es la superficie opaca y tiene una decoración muy singular de carácter modernista: por un lado, los escudos del Cuerpo de Ingenieros de Minas en cartelas dispuestos en la unión entre los lunetos y, por otro, los grandes mascarones ornamentales de la parte alta. En el interior de cada luneto se abre una ventana que sirve de iluminación a las oficinas del segundo piso. La claraboya repite el mismo esquema compositivo y colorista de la vidriera del frontal de la escalera. Hay una doble cenefa en el rectángulo central y otra cenefa que va delineando los lunetos. El escudo del Cuerpo de Ingenieros de Minas preside la composición, dejando las partes intermedias en vidrio blanco. Esta cubierta fue realizada por los talleres madrileños de los Hermanos Maumejean. Tanto esta claraboya como la vidriera que preside la escalera principal estuvieron terminadas antes de la Guerra Civil, entre 1931 y 1936, porque el escudo que preside esta última es el de la España Republicana. Además hay otro dato que lo confirma, y es que la "lucerna" que cubre la primera tuvo que ser restaurada después de la Guerra Civil.

donde se combinan dos factores importantes: por un lado, el juego de luces y sombras producido por las columnas y los intercolumnios, la explosión de color de la vidriera superior, intercalada con elementos escultóricos de gran belleza y, por el otro, la textura del extraordinario estuco que imita mármol jaspeado con la frialdad del mármol blanco de las balastradas de los intercolumnios. El cuarto lado es el frontal de la escalera y está presidido por una gran vidriera emplomada dispuesta en el centro de la composición que recibe la luz del patio situado a su espalda. Fue realizada por el taller La Veneciana de Madrid, con diseño de Luque. La vidriera está formada por dos cuerpos. El inferior es de forma alargada y presenta una cenefa clásica todo alrededor, con el escudo de Madrid en la parte inferior, el escudo del Cuerpo de Ingenieros de Minas, en el centro de la composición, y el resto está realizado en vidrio blanco. La parte alta, separada por la

cornisa que unifica todo el conjunto del magnífico techo de vidrio, tiene forma de arco carpanel y repite la misma cenefa alrededor y el escudo de España utilizado durante la II República ocupa el centro de la parte inferior.

La galería es una zona de paso hacia las partes importantes del Instituto: los despachos del director y secretario general, otros despachos y el museo. El pasillo que circunda la galería es amplio y sus paredes presentan un amplio zócalo tratado con estuco imitando mármol jaspeado, al igual que la columnata, sólo interrumpidas por las grandes superficies de madera y cristal de las puertas que comunican con la parte interna del edificio.

La transición entre la columnata de la galería y la cubierta se hace por medio de un entablamento sobre el que descansan la sucesión de lunetos que crean una línea



Figura 16. Galería del piso principal.



Figura 17. Vidriera de la cubierta que cierra el espacio de la galería.



Figura 18. Despacho del director.

### Despacho del director

El despacho del director es una de las piezas nobles del Instituto. Está situado en el piso principal con grandes ventanales a la calle de Ríos Rosas. Es una amplísima habitación rectangular con suelo de tarima de madera formando dibujos geométricos, gran zócalo del mismo material y un techo de escayola de gran desarrollo (figura 18). Toda la decoración interior parece responder a una misma mano, tanto la gran mesa de reuniones para dieciséis personas y sus correspondientes sillas como el resto del mobiliario. Unas librerías bajas recorren la parte inferior de las paredes y, en la parte alta, una serie de mapas geológicos antiguos enmarcados y dos retratos de Isabel II, uno de niña y, el segundo, posiblemente de la fecha en que se creó la Comisión del Mapa Geológico, son el complemento. El techo es uno de los más bellos del edificio en el que se combinan los dibujos geométricos con ornamentación clásica.

### Museo Geominero

El museo es la pieza más destacada, bella y cuidada de todo el edificio. Es una gran sala diáfana de 712 m<sup>2</sup> de superficie y 19 m de altura, rodeada por tres galerías y con una extensísima cubierta de cristal (figura 19). Parece una gran caja llena de pequeños y grandes tesoros, cubierta con una tapa de cristal que es una explosión de luz y color. Fue la parte del edificio que primero se construyó y, como ya se ha dicho, se inauguró el 24 de mayo de 1926 con motivo del XIV Congreso Geológico Internacional. Ocupa la parte intermedia del edificio y sólo tiene acceso a través de un pasillo que lo une con la parte delantera que también forma parte de las dependencias del museo, aunque tiene una pequeña salida a la parte posterior. La instalación definitiva no se hizo efectiva hasta un año después, al mismo tiempo que fueron trasladados el resto de los servicios del Instituto.

La sala es un gran espacio de planta rectangular de 26,05x23,20 m de lado, totalmente diáfana y con los ángulos curvados. Los altísimos muros

perimetrales están rodeados por todas sus caras por tres corredores sobre salientes, como grandes balcones para admirar el material expuesto en la planta baja y la explosión de luz y color de la cubierta, son utilizados también como zonas expositivas y de almacenaje.

Las condiciones que marcó Luque para la cubrición de la sala de colecciones y el resto de las vidrieras del edificio fueron muy escuetas. Nadie, después de leer el párrafo que sigue, extraído del pliego de condiciones facultativas y económicas de 1921, puede imaginar el resultado que se presenta a nuestra vista al entrar en el museo.

“... Tanto el ventanal de la escalera principal como el techo del patio principal y de la sala de colecciones llevarán por bajo de la armadura un techo formado con parecillos de T para colocación de vidriera artística, la cual será con arreglo a dibujos y detalle que se facilitará en su día. El cristal de estas vidrieras será cocido, de primera calidad, con su emplomado de contorno; se encargará a Casa acreditada a juicio de la dirección facultativa, la que habrá de aprobar antes de la ejecución de la vidriera los cartones que hayan de servir de modelo y que marcarán los colores que a su dibujo y composición correspondan...”.

La cubrición de la sala es un falso techo que arranca en forma de semibóveda con vidrieras incrustadas con distintas formas, después continúa con otra vidriera vertical en toda la superficie y remata con una claraboya plana, creando todo el conjunto un perfil mixtilíneo (figura 20). Estas magníficas vidrieras policromadas se deben a la casa Maumejean Hermanos de Madrid, una de las casas más prestigiosas en este tipo de trabajos en España, Francia y otros países europeos y americanos (Pastor Rey de Viñas, 2005) (figura 21). Se puede rastrear su impronta en muchísimos edificios religiosos y civiles construidos en España entre 1875 y 1969.

Los motivos decorativos de las distintas partes de las vidrieras son diferentes pero complementarios. En la zona abovedada, los detalles centrales son grandes motivos



Figura 19. Vista general del museo Geominero.

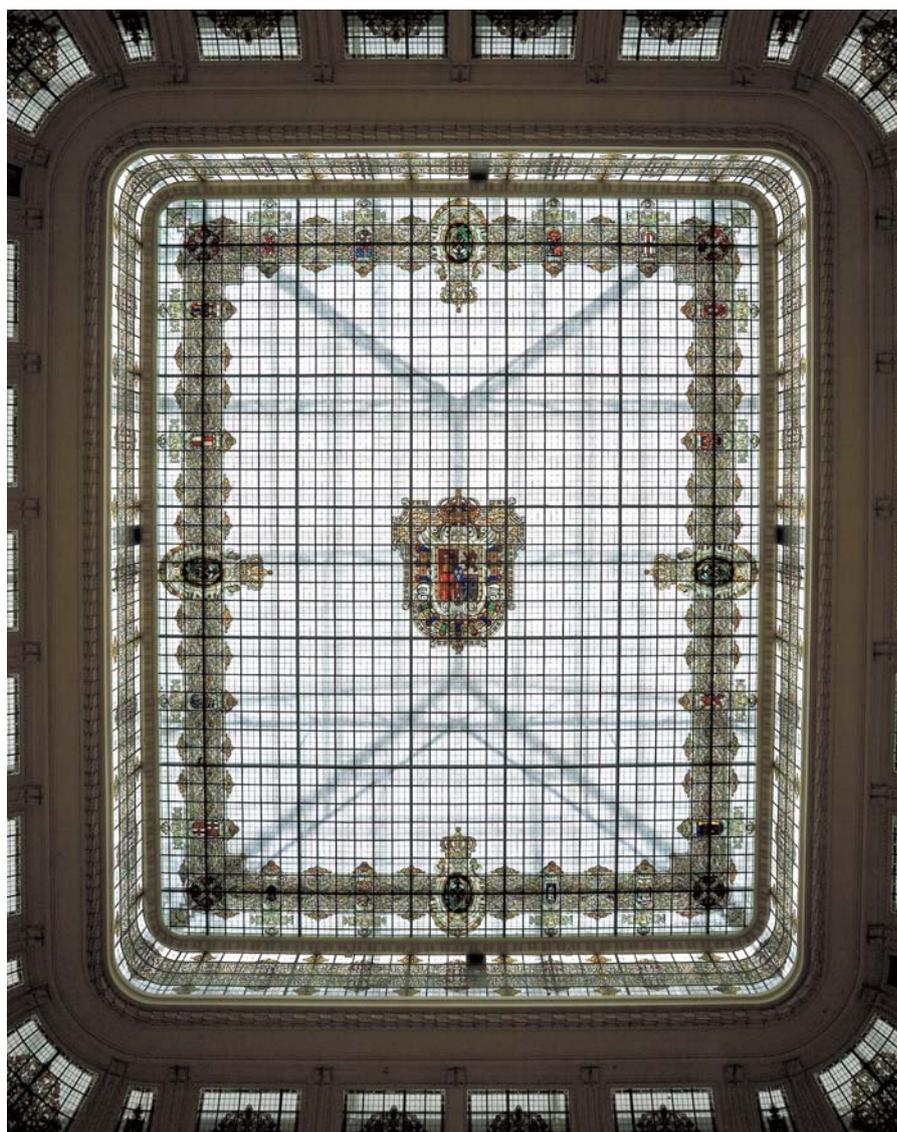


Figura 20. Vidriera del museo Geominero del taller Maumejean Hermanos de Madrid.

vegetales con roleos y espejos excepto algunos que son alargados, con zonas en vidrio blanco y rematan con una pequeña greca bordeando todo el hueco. En la zona vertical o intermedia, en cambio, el motivo decorativo es también una amplia greca clásica con roleos que comprende casi todo el espacio excepto en los bordes, que son superficies de vidrio blanco.

La extensa vidriera plana completa la cubrición que tiene como motivo central el Escudo Real de España sobre una superficie blanca y rodeado de una cenefa perimetral, con cuatro escudos alegóricos del Cuerpo de Minas en el centro de cada lado y los escudos de las dieciséis jefaturas provinciales de Minas existentes en el momento de inauguración de la sala.

Los acabados interiores mantienen la concepción original que fue respetada en la restauración llevada a cabo en 1989. Por tal motivo, se conserva el piso de tarima de madera, las bellas barandillas de hierro forjado de los pisos superiores, las paredes enlucidas con yeso con colores similares a los antiguos, los distintos detalles ornamentales de escayola como son los escudos, las veneras, las amplias cornisas y, por supuesto, las vidrieras que lo cubren. Hay una gran homogeneidad compositiva en todo el interior.

Otro de los apartados interesantes es la instalación y exposición de las piezas del museo. A diferencia de la mayoría de los museos nacionales e internacionales, mantiene el sistema de exposición original, aunque con todas las mejoras e innovaciones actuales. El diseño de todo el mobiliario se debe al trabajo conjunto de Javier de Luque y Primitivo Hernández Sampelayo, encargado de las colecciones. Así, se conservan las 250 vitrinas de madera tallada y cristal, dispuestas en la sala y los distintos corredores perimetrales, así como las mesas, las butacas, los sillones circulares que disimulan la instalación de calefacción y otros detalles, distribuidos en una superficie total de 1.370 m<sup>2</sup>, todo ello

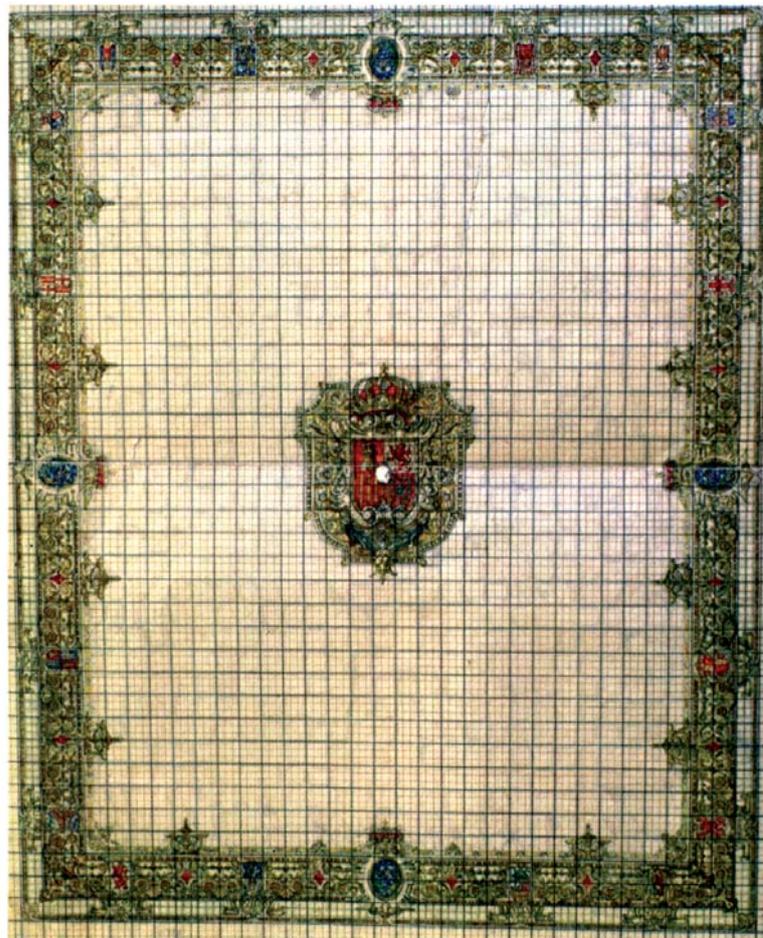


Figura 21. Boceto de la vidriera del museo, conservado en la Colección Maumejean, Real Fábrica de Cristales de La Granja (Pastor Rey de Viñas, 2005).



Figura 22. La biblioteca, recientemente restaurada.

perfectamente conservado y restaurado.

### Biblioteca

La Biblioteca, que se encuentra en la planta superior rodeando la galería principal, con la sala de lectura encima del despacho del director, es también un buen exponente del sistema de instalaciones que, aunque hecha en los años siguientes a la Guerra Civil, conserva el espíritu decimonónico (figura 22).

Ha sido restaurada recientemente, manteniendo todos los elementos originales. La sala de lectura, que ocupa la parte más importante con fachada a la

calle de Ríos Rosas, está cubierta de librerías de madera de gran altura con los distintos puestos de estudio distribuidos regularmente. Tiene dos puertas que comunican con el resto de las dependencias de la biblioteca y con la sala que le antecede.

### Epílogo

El Instituto Geológico y Minero de España, que por su cercanía a la Escuela de Minas pasa desapercibido para la mayoría de los madrileños y visitantes, encierra entre sus paredes, sin embargo, además de la historia de una de las instituciones científicas importantes en la Historia de España, un edificio singular con uno de los espacios más bellos de la

arquitectura madrileña, el museo Geominero, que alberga unas colecciones únicas y didácticamente bien expuestas, digno de ser visitado y conocido.

### Agradecimientos

*A D. Luis Llorente Herrero, antiguo jefe del Área de Gestión Económica del IGME, quien rescató y custodió en su despacho, hasta su jubilación, los escasos planos y documentos sobre el edificio que sirvieron de base para la reconstrucción de una parte importante de la historia del edificio.*

### Bibliografía

- Anónimo, (1922). El Congreso Geológico de Bruselas y el futuro Congreso de Madrid. *Revista Minera, Metalúrgica y de Ingeniería*, 2.848, 523.
- Ayala Carcedo, F.J. (1995). El significado científico y tecnológico de Manuel Fernández de Castro (1825-1895) cien años después. *Boletín Geológico y Minero*, 106 (3), 293-299.
- Madariaga, J.M. y Sánchez Lozano, R. (1918). Avance de un Proyecto para la construcción de un edificio destinado al Instituto Geológico de España. *Archivo Histórico IGME*, Caja 1/2/3.
- Moya, M. (1941). La visita de su excelencia el Generalísimo al Instituto Geológico y Minero de España. *Boletín Oficial de Minas, Metalurgia y Combustibles*, 1, 28-31.
- Pastor Rey de Viñas, P. (2005). *Vidrieras del Taller Maumejean en las Colecciones de la Real Fábrica de Cristales de La Granja*. Fundación Centro Nacional del Vidrio, Diputación de Segovia, 48 pp.
- Rivas Quinzanos, P. y Reñé Sagristá, T. (2006). *Instituto Geológico y Minero de España. Historia de un edificio*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 207 pp.
- Roso de Luna, I. (1926). El XIV Congreso Geológico Internacional en el Instituto Geológico de Madrid. *La Esfera*, 648, 36-37.
- Sánchez Lozano, R. (1917). Adquisición de terrenos para la construcción de un edificio destinado a Instituto Geológico. *Boletín Oficial de Minas y Metalurgia*, 7, 14.



**GEÓLOGOS  
DEL MUNDO**

## Colabora con nosotros para...

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

**Hazte socio**

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



# El carbón tiene futuro

El pasado 13 de diciembre de 2006 falleció en Madrid Dña. Loyola de Palacio del Valle Lersundi, que fue comisaria de Transportes y Energía y vicepresidenta de la Comisión Europea, entre 1999 y 2004. La noticia de su fallecimiento impactó a la sociedad española por lo rápido e inesperado del desenlace de su enfermedad, ya que ese verano se le había detectado un cáncer. También la juventud de la ex ministra fue otro de los elementos que hizo conmover a muchos ciudadanos españoles. Desde aquí, queremos destacar algunos aspectos que tienen relevancia para la geología y el futuro de la minería del carbón y en los que Loyola de Palacio tuvo un papel determinante.

**TEXTO** | Rafael Varea. Geólogo

**FOTOS** | Archivo fotográfico de la Federación Minerometalúrgica de CC.OO.

Palabras clave

**Carbón, minería, energía.**

El Tratado CECA (Tratado del Carbón y el Acero) nació en 1952 con el objetivo de regular dos industrias básicas en Europa, como eran el carbón y el acero, y hacer que sirvieran como instrumento de paz y reconstrucción de Europa después de la 2ª Guerra Mundial. Este Tratado cumplió con ese objetivo y, además, fue el embrión de lo que más tarde fue el Tratado de Roma (1957) que, como se sabe, fue el impulso a la construcción de la Unión Europea.

El Tratado CECA, además de lograr esos objetivos, fue un modelo para desarrollar políticas industriales y para el diálogo social sectorial entre trabajadores, empresarios y usuarios del carbón y el acero, a través del Comité Consultivo CECA (el autor ha tenido el honor de ser miembro de ese Comité hasta su desaparición en 2002).

También el Tratado CECA nació con una fecha de caducidad, ya que desde su constitución se pactó una duración de 50 años; por tanto, en el año 2002 debía desaparecer, como así fue, e integrarse en el Tratado de la Unión Europea.

A Loyola de Palacio, en su calidad de vicepresidenta de la Comisión Europea responsable de las Relaciones con el Parlamento Europeo y comisaria de Transportes y Energía, le tocó vivir y dirigir el final del Tratado CECA, en junio de 2002.



Loyola de Palacio.

## La industria de carbón europea

La industria del carbón en Europa no puede subsistir en competencia con otras explotaciones mineras de otros países exteriores, entre otras razones por sus mayores costes, inversiones muy altas y necesarias en pozos de gran profundidad, condiciones y exigencias medioambientales mayores en Europa que en otros países. Por eso, desde la crisis del petróleo de los años setenta, y a pesar de que el Tratado CECA prohibía las ayudas de Estado a la Industria del Carbón, estas ayudas se autorizaban mediante Decisiones CECA que

permitían darlas para mantener dignamente la Industria del Carbón europea, ya que, de lo contrario, las minas en la Unión Europea hubiesen tenido que cerrar hace muchos años. Todos los países daban ayudas a su minería, al mismo tiempo que reestructuraban el sector del carbón, cerrando algunos pozos, causando bajas de personal (*figura 1*), de forma no traumática (prejubilaciones y jubilaciones anticipadas), y regenerando, en lo posible, el tejido industrial de las Comarcas Mineras afectadas con la creación e instalación de nuevas empresas con empleos alternativos a la minería.



Figura 1. La incertidumbre del minero.

La única excepción a estos mecanismos de ayudas y reestructuración de la minería del carbón en Europa, fue lo ocurrido en el Reino Unido en los años ochenta bajo el gobierno de Margaret Thatcher. La Sra. Thatcher hizo una reestructuración salvaje en la minería del carbón, sin ayudas a la industria, ni tampoco ayudas sociales, dejando las Comarcas Mineras asoladas y desiertas y a los mineros ingleses en un desamparo total.

La última Decisión CECA 3632/93 de 28 de diciembre, permitió las ayudas de Estado a la Industria del Carbón hasta el año 2002, que era el año de la desaparición del Tratado CECA. Los objetivos por los que se permitían las ayudas con la DECISIÓN CECA 3632 eran tres:

- Lograr, a la vista de los precios del carbón en los mercados internacionales, nuevos



Figura 2. Lavadero modesta de carbón, HUNOSA (Asturias).

progresos hacia la viabilidad económica con el fin de conseguir la reducción progresiva de las ayudas.

- Resolver los problemas sociales y regionales relacionados con la disminución de la actividad total o parcial de unidades de producción.
- Facilitar la adaptación de la industria del carbón a las normas de protección del medio ambiente (figura 2).

Es decir, la reestructuración en la minería del carbón en Europa se continuaba haciendo por motivos económicos principalmente y atendiendo las razones sociales y territoriales.

### Las producciones mundiales de carbón

En el año 2001, se impulsa el Libro Verde de Energía bajo la dirección de Loyola de Palacio. En él se pone de manifiesto, por primera vez, la enorme dependencia energética que tiene Europa en combustibles fósiles y las previsiones de una mayor dependencia hacia el futuro (se habla de una dependencia energética del 70% en 2030).

Ante esta grave situación, desde el Libro Verde se impulsa el concepto de seguridad de abastecimiento en los combustibles sólidos en el contexto europeo. Los datos de la tabla 1 hablan por sí solos.

Cada vez se produce más carbón en el mundo, pero se comercializa internacionalmente apenas un 10-12% del total mundial, ya que los países productores lo consumen casi en su totalidad, habiéndose incrementado el consumo de carbón en muchos países.

Desde el 2002, China ha experimentado un crecimiento en su producción de más del 78%. India también ha crecido, pero más modestamente, un 20% más que en 2002.

Del total de 600 Mt de carbón que se comercializa en el mundo, sólo se transporta por vía marítima unos 400 Mt. El mercado se organiza en dos grandes regiones; Atlántica (180 Mt. al año) y Pacífica (220 Mt. al año).

### La dependencia dramática en la Unión Europea

En la tabla 2 se expresan las importaciones de carbón que tiene que realizar la UE para su consumo interno.

Tabla 1. Producción mundial de carbón

	2002	2003	2004	2005
Norteamérica	865,3	837,3	866,3	879,1
Sudamérica y Centroamérica	48,1	56,6	63,1	67,6
Europa	603,4	621,4	621	623
Oriente Medio	0,6	0,9	0,9	0,9
África	183	196	200,6	204
Asia y Australasia	1.669,9	1.929,3	2.151,6	2.350
<b>TOTAL</b>	<b>3.370,3</b>	<b>3.641,5</b>	<b>3.903,5</b>	<b>4.124,6</b>

Fuente: British Petroleum Tec (Tonelada equivalente de carbón).

Tabla 2. Importaciones de carbón en la UE

	2002	2003	2004	2005
	183	174,28	164	171,8

Fuente: British Petroleum.

De los 25 países que forman la Unión Europea, sólo dos no importan carbón: Malta y Eslovenia.

La procedencia del carbón de importación, principalmente es de Sudáfrica (unos 51 Mt), Australia (en 2002 se importaban 30 Mt y en 2004 ha bajado a 7,4 Mt), Colombia (se mantiene una importación de 23,9 Mt) y Rusia que ha incrementado sus ventas en la Unión Europea (de 22 Mt, en 200 a 42,5 Mt, en 2005).

Sólo dos grandes mercados en el mundo compran más del 80% del carbón que se comercializa internacionalmente: la Unión Europea, primer comprador mundial, que importa 171,8 Mt y Japón que importa 120 Mt. La diferencia es que Japón es un solo país y el Gobierno y las empresas eléctricas consumidoras de carbón tienen una política activa de participar en el accionariado de empresas mineras de carbón en distintas partes del mundo (Australia, Indonesia y Sudáfrica, principalmente) para asegurarse el suministro.

Sin embargo, en la Unión Europea somos 25 países (sólo Malta y Eslovenia no importan carbón), y constituimos el primer mercado de consumo de carbón de importación. Cada país miembro tiene su propia política energética sin criterios comunes, ni homogéneos, por lo que podemos ser en el futuro un mercado cautivo de las empresas mineras de carbón internacionales.

**La acertada visión de Loyola de Palacio**

Ante esta grave situación de dependencia creciente en carbón, Loyola de Palacio elaboró el *Reglamento 1407/2002* de junio, aprobado por el Consejo. Este Reglamento expira el año 2010 y permite que se den ayudas de Estado a la Industria del Carbón, manteniendo una producción mínima que permita el acceso a mayores reservas por si se necesitase aumentar la producción, debido a algún tipo de crisis energética.

Mediante esta circunstancia se produce un cambio de mentalidad en la reestructuración de la minería de carbón. Por un lado, se tienen que seguir reduciendo las ayudas a la Industria del Carbón por motivos económicos, pero por otro se apoya la constitución de una



Figura 3. ENCASUR. Explotación Peñarroya, cielo abierto (Córdoba).

cuota de producción mínima que permita el acceso a reservas futuras, acuñándose en sentido coloquial el concepto de "Reserva Estratégica". Con ello, se ha cambiado la mentalidad en la reestructuración de la minería del carbón en Europa; ahora hay que preservar nuestro acceso a mayores reservas (figuras 3 y 4) teniendo en cuenta el principio de seguridad de abastecimiento.

No existe en la Unión Europea una política energética común, pero los primeros pasos para esa futura y necesaria política, los dio la desaparecida comisaria de Energía y Transportes, Dña. Loyola de Palacio, tratando de garantizar el acceso a reservas y velando por una cierta seguridad de autoabastecimiento en el uso del carbón en Europa. Por tanto, nuestro reconocimiento a la visión que tuvo en 2001-2002, con la aprobación del Reglamento 1407 que sustituyó al desaparecido Tratado CECA.

**La situación actual de la industria del carbón en España**

Después de haber finalizado el Plan de la Minería del Carbón 1998-2005 y Desarrollo Alternativo de las Comarcas, se ha negociado entre sindicatos, patronal y Gobierno un nuevo Plan de la Minería del Carbón 2006-2012 (figura 5), esta vez bajo los parámetros del nuevo Reglamento 1407/ 2002 Comunitario, que prevé el mantenimiento de una cuota estratégica de carbón para mantener el acceso a mayores reservas de carbón si

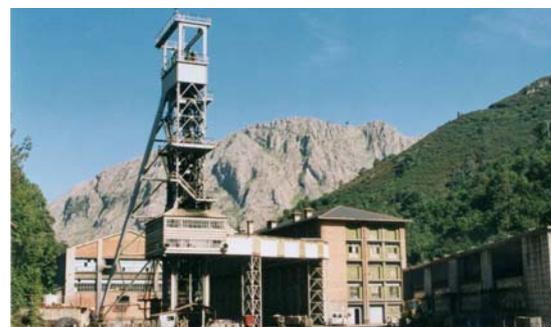


Figura 4. Pozo MONTSACRO. Cuenca Caudal, HUNOSA (Asturias).



Figura 5. Galería minera con entibación de madera.

fuesen necesarias. La evolución del ultimo Plan 1998-2005 y la situación actual se refleja en la tabla 3:

Tabla 3			
	1998	2002	2005
<b>Empresas</b>	57	48	38
<b>Plantillas</b>	18.235	12.798	9.800
<b>Producción carbón (Kt)</b>	16.397	13.309	11.908
<b>Importaciones de carbón (Kt)</b>	10.650	20.756	21.185

Fuente: Carbunión e Instituto para Reindustrialización Carbón



Figura 6. Pozo Santiago Aller, HUNOSA (Asturias).

Como se observa en los datos de la tabla 3, el número de empresas explotadoras se ha reducido desde 1998; algunas han cerrado pero no todas, ya que se ha dado un proceso de fusiones y absorciones de empresas creándose Cotos Mineros (figura 6) y holdings importantes.

La plantilla se ha reducido a casi la mitad, provocado por las prejubilaciones generalizadas en todo el sector minero a los 52 años, con coeficiente reductor, lo que ha provocado una salida grande de trabajadores por vías no traumáticas, manteniéndose el salario y, por tanto, el mismo nivel de renta en las familias afectadas. La prejubilación mantiene los salarios hasta la edad de la jubilación de cada trabajador.

La producción de carbón se ha reducido considerablemente y, por tanto, también las ayudas que el Ministerio de Industria paga a las empresas del sector a través del Instituto para la Reestructuración de la Minería del Carbón. Estas ayudas figuran en los Presupuestos Generales del Estado.

Por otro lado, al disminuir considerablemente la producción nacional se han disparado las importaciones de carbón, duplicándose en el periodo 1998 al 2005, con lo que la situación de dependencia crece en el mismo sentido que reflejábamos para el conjunto de los veinticinco países de la Unión Europea.

También existen en España otros carbones que no reciben ayudas y que generan



Figura 7. Pozo Carrió, Cuenca Nalón - Polo de Laviana, HUNOSA (Asturias).

electricidad, son los lignitos pardos de Galicia (tabla 4). Allí hay dos empresas, Lignitos de Meirama y Endesa As Pontes (ambas en la provincia de La Coruña), que explotan a cielo abierto los lignitos pardos de las cuencas terciarias. Estas explotaciones están en fase de agotamiento y cierre, previsto para 2007.

Tabla 4

	1998	2002	2005
<b>Empresas</b>	2	2	2
<b>Producción</b>	9.750	8.726	7.587
<b>Lignito Pardo (Kt)</b>			
<b>Plantilla</b>	1.103	767	308

Estas dos empresas no reciben ayudas y sólo reciben ayudas sociales para las prejubilaciones, a los 52 años con coeficiente reductor, de los trabajadores. Su cierre está previsto para 2007 y serán sustituidas y adaptadas las calderas para consumir carbón de importación por su cercanía a la costa, desde donde el carbón puede ser trasladado a las dos centrales de Endesa y Meirama (Fenosa).

Lo previsto en el Plan de Reserva Estratégica de Carbón 2006-2012, es mantener una cuota de producción de carbón autóctono de 9.500 Kt (figura 7); a partir del 2012, con carácter invariable. Las crisis energéticas, las investigaciones en I+D sobre combustión limpia de carbón y las técnicas de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> serán elementos decisivos para mantener o aumentar nuestra producción de carbón en los años futuros.

### Epílogo

Hoy, con los problemas surgidos en el abastecimiento de gas de Rusia a través de Ucrania, con la elevada cotización del barril de petróleo y con la inestabilidad política en algunos de los países productores de petróleo y gas (Argelia), se debe reconocer el acierto que se ha tenido con garantizar una cuota de carbón que garantice el acceso a Reservas por si vienen años todavía más críticos en el contexto energético.

Desde aquí nuestro agradecimiento a la lucidez de una gran comisaría de Energía y Transportes, Dña. Loyola de Palacio.

### Bibliografía

- Carbunion. (Patronal de la Minería del Carbón) *Memoria anual 2005*.
- Federación Minerometalúrgica de CC.OO. *Balance del Plan de la Minería del Carbón 1998-2005*.
- IRMC. 2005. *Informes de la Comisión de Seguimiento del Plan de la Minería del Carbón 1998-2005*. (Instituto para la Reestructuración de la Minería del Carbón y Desarrollo Alternativo de las Comarcas Mineras. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio).
- www. bp.com. *Datos estadísticos de British Petroleum*.

# Descontaminación de suelos y aguas subterráneas

## Una necesidad presente y futura en España

Tanto la investigación de suelos y aguas subterráneas susceptibles de estar contaminados, como la descontaminación de los mismos, debería de ser una de las mayores prioridades para la Administración y para las empresas dedicadas a actividades potencialmente contaminantes. En este artículo se presenta un ejemplo de remediación de aguas contaminadas y suelos que se está llevando a cabo en la actualidad en la región de Bavaria, Alemania y que puede ser extrapolable a España.

**TEXTO** | Roberto Martín Criado (Licenciado en CC Geológicas. Ingeología – BfU España); Martin Höckenreiner (Dr. en CC Geológicas. BfU Alemania); María José Höckenreiner (Licenciada en CC Geológicas. BfU Alemania).

Palabras clave

**Descontaminación, alquitrán, suelos contaminados, filtros, hidrocarburos.**

Durante muchos años nuestro país ha demandado por parte de la Administración una mayor concienciación en materia de suelos contaminados, por el peligro que este tipo de suelos suponen para la salud de la población, así como una ley que fuera un referente en la materia.

Este hecho se ha subsanado en gran medida tras la aprobación del Real Decreto 9/2005 del 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente

contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.

En otros países europeos se lleva haciendo, desde hace varios lustros, una política de recuperación de suelos contaminados, así como una vigilancia de zonas susceptibles a la contaminación por estar enclavadas éstas en lugares donde se desarrolla una actividad potencialmente contaminante o por estar conectadas hídricamente a zonas con riesgo.

En el caso concreto de Alemania, las autoridades son muy estrictas con las empresas en el tema de la contaminación del subsuelo, y, desde hace más de 20 años, obligan a las industrias a la realización de estudios e investigaciones del subsuelo de sus instalaciones. En el caso de que el grado de afección encontrada, ya sea del suelo o del agua subterránea, supere los niveles de referencia estipulados en la legislación, la empresa está obligada a la realización de remediaciones que

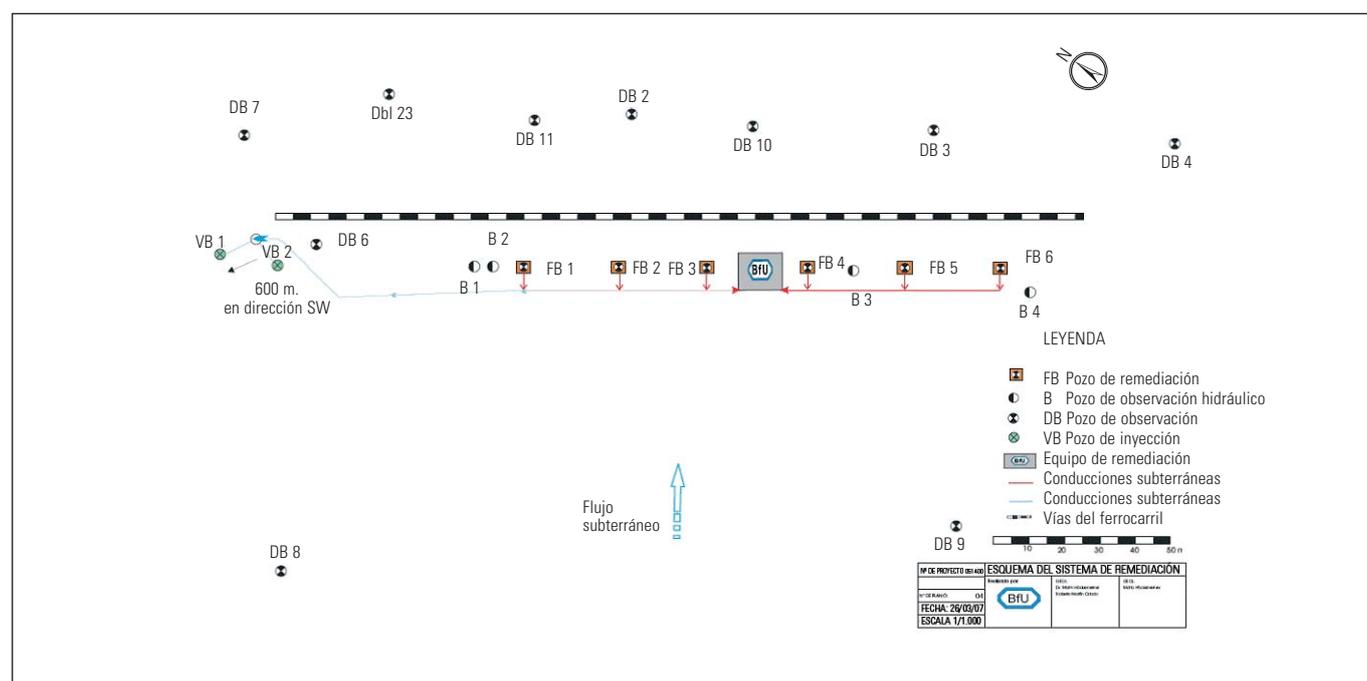


Figura 1. Esquema del sistema de remediación.

pongamos fin a la contaminación existente en el subsuelo y a controlar que el flujo hídrico no transporte la afección a otros puntos.

### Remediación del subsuelo por contaminación de alquitrán en Kirchseeon, Alemania

#### Descripción y plazo

La población de Kirchseeon se encuentra en los alrededores de la ciudad de Munich. Es una zona industrial donde esta actividad se ha venido desarrollando durante décadas.

Debido a que durante buena parte del siglo XX las actividades realizadas en la zona han sido potencialmente contaminantes, como por ejemplo el recubrimiento de las traviesas de las vías de tren por derivados del alquitrán, la Administración solicitó una investigación del subsuelo a la consultora medioambiental BfU Internacional, con objeto de conocer el grado de afección que presentaba el mismo.

El estudio ofreció datos muy negativos en cuanto al estado del subsuelo (presencia de derivados del alquitrán en fase separada del agua subterránea, así como

presencia abundante de hidrocarburos en forma de diluidos), con lo que se procedió a la realización de un proyecto para la recuperación medioambiental de la zona.

El plazo para el desarrollo del proyecto, se estimó en 10 años (desde 2005 a 2015).

#### Descripción del sistema de descontaminación diseñado

Para la remediación del subsuelo se construyeron seis pozos de extracción (todos ellos perpendiculares a la dirección del flujo subterráneo), dos pozos de infiltración y siete piezómetros de control, y se utilizaron además 40 piezómetros más instalados en estudios anteriores (figura 1).

Debido a que el nivel freático se encuentra aproximadamente a 40 m de profundidad, se realizaron en total 700 m de perforaciones (figura 2a) y alrededor de 1 km de zanjas (figura 2b), que conectan entre sí tanto los pozos de extracción como los pozos de inyección con la planta de tratamiento de las aguas contaminadas.

Los filtros, los tanques y los paneles de control utilizados en el proceso de descontaminación, se dispusieron en el interior de una nave construida con la intención de aislar del frío a toda la planta de tratamiento y evitar también posibles actos de vandalismo (figura 3). Dado que en el fondo del acuífero se encuentra fase pesada (alquitrán) se instaló un sistema de dos bombas.

Para la recuperación de la fase pesada se utiliza en forma discontinua una bomba para extraerla, conduciéndose ésta hacia contenedores destinados para este fin. Posteriormente, estos son recogidos por una empresa acreditada.

El agua contaminada ubicada sobre la fase pesada es extraída mediante la segunda bomba.

Para el proceso de remediación del agua se utilizan dos tipos de filtros, un separador de hidrocarburos, una cámara de aireación, un depósito de lodos biológicos y un depósito a donde va a parar el agua descontaminada (figura 4):



Figura 2a. Desarrollo de las labores de construcción de los pozos de extracción.



Figura 2b. Desarrollo de las labores de construcción de las zanjas.

- *Mechanische-Stufe*: su misión es separar el agua de la fase de alquitrán.
- *Biologie-Stufe (Biostufe)*: está compuesto por una cámara de aireación, un depósito de  $H_2O_2$  con el fin de obtener la saturación máxima posible de oxígeno en el agua, lo cual favorece el desarrollo de bacterias, y por un filtro de arena donde se alojan bacterias capaces de biodegradar los hidrocarburos diluidos en el agua. Para que la masa biológica acumulada no sature los filtros, estos están dotados de un sistema autolimpiante que permite conducir el lodo biológico a los recipientes destinados a este fin (*Schlamm-tank*). En este fase se

- disminuye la concentración de contaminantes en un 90%.
- *Aktivkohle-Filter*: es un filtro compuesto por carbón activado que retiene los hidrocarburos restantes.
- *Reinwasser-Tank*: es un depósito que almacena el agua que queda tras el proceso de descontaminación de la misma.
- *Schlamm-tank*: es un depósito que almacena los lodos biológicos.

El agua, una vez depurada, se inyecta en el subsuelo, mediante los dos pozos de inyección existentes, para lavar la zona no saturada del mismo y así limpiar el área donde se encuentran los hidrocarburos remanentes. Estos hidrocarburos son

El agua depurada tiene calidad de agua potable. Se almacena en un tanque para ser inyectada en el subsuelo y lavar así la zona no saturada del subsuelo, limpiando los hidrocarburos

recuperados de nuevo mediante los pozos de extracción (figura 4). Para no interferir con el sistema de extracción, los pozos de inyección se encuentran a unos 600 m de los pozos de extracción.

El funcionamiento del proceso de remediación es como sigue:

El agua captada por los pozos de remediación se incorpora a un separador (*mechanische-stufe*) que retienen el alquitrán en forma de fase y de esta forma le separa del agua. Este alquitrán se almacena en un contenedor especial para su posterior recogida por una empresa acreditada.

El agua con hidrocarburos diluidos pasa a un primer sistema de filtros (*belüfter*) que está compuesto por una cámara de aireación y un depósito de  $H_2O_2$  con el fin de obtener la saturación máxima posible de oxígeno en el agua, favoreciendo así el desarrollo de bacterias. Este contenedor contiene también un filtro que retiene los volátiles contaminantes.

El agua saturada con oxígeno pasa seguidamente por un sistema de filtros (*mehrschicht-biofilter*) que está compuesto por arenas donde se desarrollan bacterias capaces de biodegradar los hidrocarburos diluidos en el agua.

Para que la masa biológica acumulada no sature los filtros, estos están dotados de un sistema autolimpiante que permite



Figura 3. Labores de construcción de la nave donde se disponen los instrumentos de remediación.

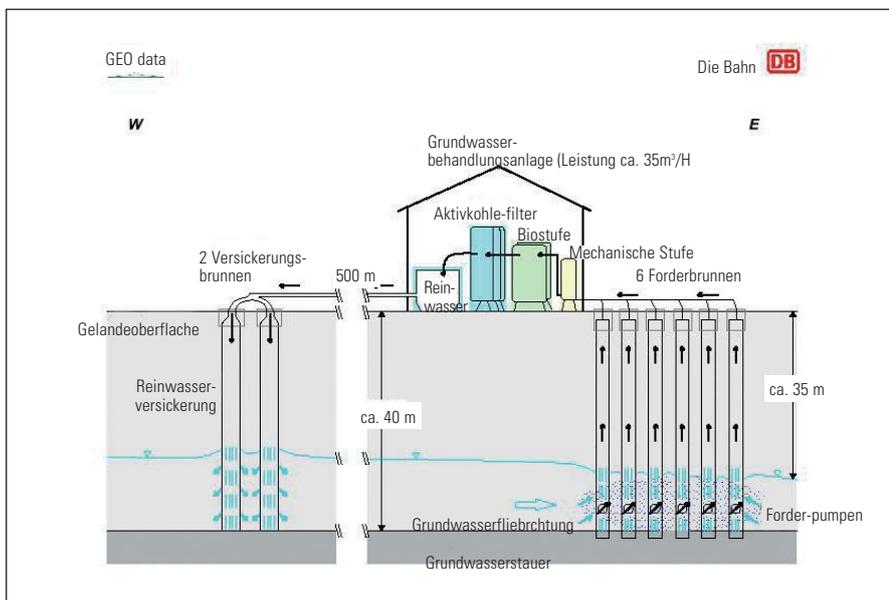


Figura 4. Partes del proceso de remediación.



Figura 5. Vista de los filtros en el interior de la planta.

conducir el lodo biológico a los recipientes destinados a este fin (*Schlammtank*). En esta fase se disminuye la concentración de contaminantes en un 90%.

El último sistema de filtros (*aktivkohle-filter*) está compuesto por carbón activado y su misión es retener los hidrocarburos remanentes que aún permanecen en el agua (*figura 5*).

El agua ya depurada (*reinwasser*) tiene calidad de agua potable. Se almacena en un tanque (*reinwasser-tank*) (*figura 6*) para posteriormente ser inyectada en el subsuelo mediante los pozos de inyección y lavar así la zona no saturada del subsuelo, limpiando los hidrocarburos remanentes en él. Estos hidrocarburos se



Figura 6. Agua recuperada por los pozos de extracción (*rohwasser*) y agua ya depurada (*reinwasser*).

recuperan mediante los pozos de extracción y se reincorporan al proceso de remediación (*figura 7*).

*Evolución del proyecto de descontaminación*

El proyecto de remediación se viene desarrollando desde el mes de agosto

de 2005, fecha en la que se verificó, mediante ensayos piloto, el correcto funcionamiento del sistema.

Durante los casi dos años que lleva en funcionamiento el proyecto, no se han producido problemas reseñables. Prueba de ello es la cantidad de hidrocarburos recuperados hasta la fecha.

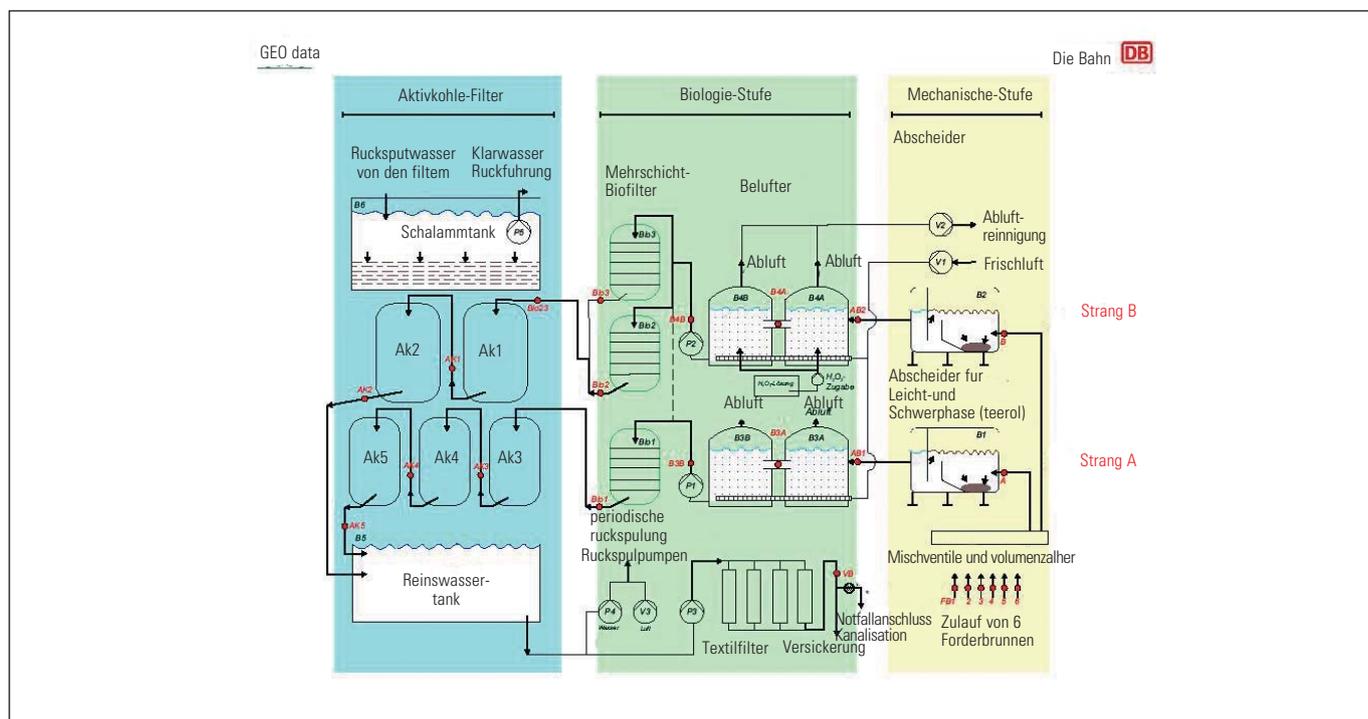


Figura 7. Desarrollo del proceso de descontaminación.

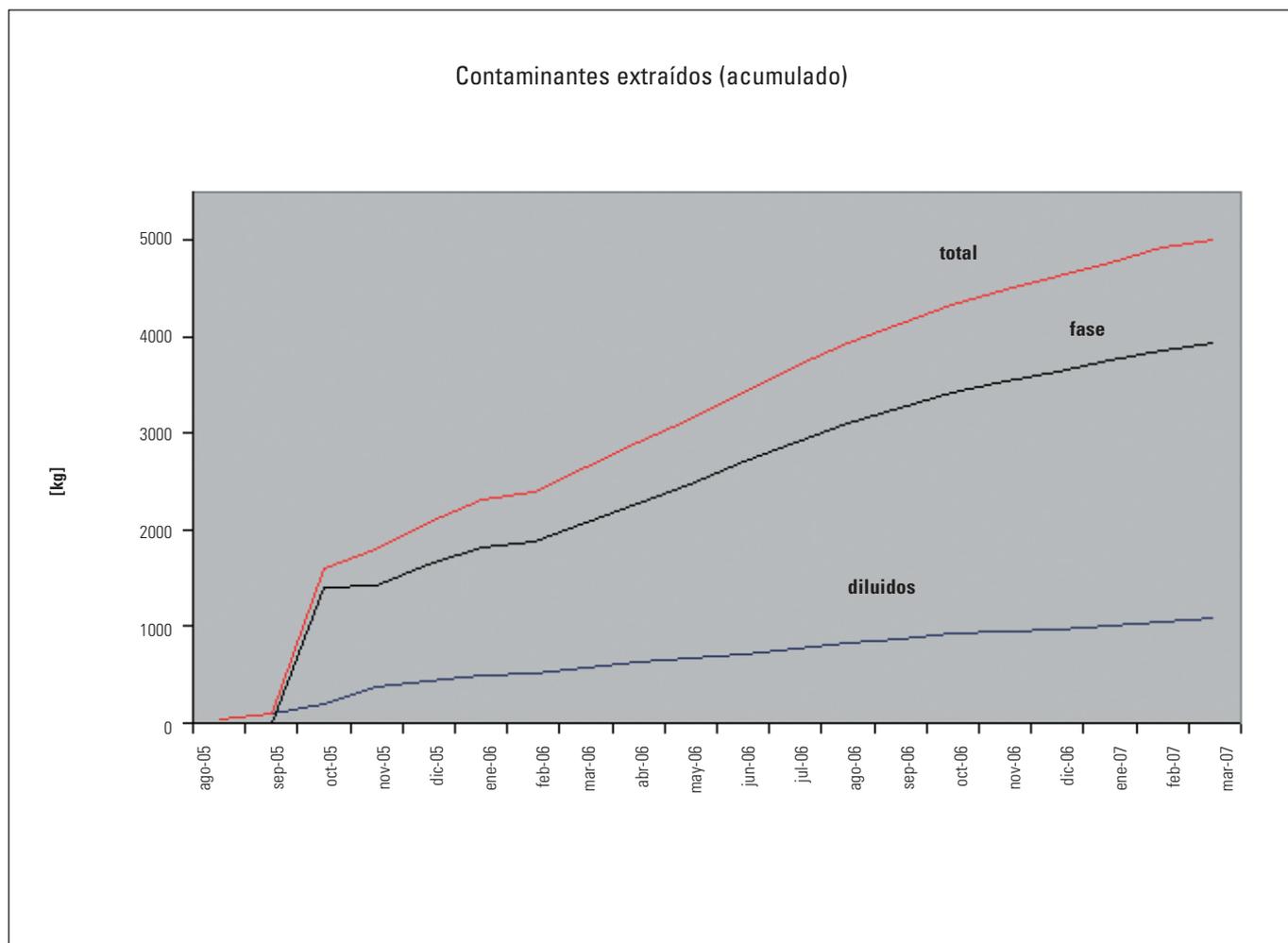


Figura 8. Desarrollo del proceso de descontaminación.

Durante el primer año en el que estuvo en funcionamiento el sistema de remediación (año 2005), se recuperaron un total de 1.640 kg en forma de fase (tanto en agua como adsorbidos en el suelo) y 445 kg en forma de diluidos en el agua.

Durante el segundo año de funcionamiento (año 2006), se recogieron 2.005 kg de hidrocarburos en forma de fase y 532 kg en forma de diluidos.

Por último, durante el año 2007, en el periodo que va desde enero a finales de marzo, se recuperaron 285 kg de hidrocarburos en forma de fase y 105 kg en forma de diluidos en agua.

Como puede observarse en la (figura 8), la mayor cantidad de hidrocarburos se han recuperado durante los primeros meses de funcionamiento del sistema, debido sin duda a la gran cantidad de

carga contaminante que presentaba el subsuelo de la zona de trabajo.

### Resultados y conclusiones

Tras 20 meses de funcionamiento del sistema de remediación, se puede afirmar que:

- Se han obtenido 400.000 m<sup>3</sup> de agua depurada (calidad de agua potable).
- Se han recuperado 4.000 l de derivados del alquitrán en forma de fase.
- Se han recuperado 1.000 kg de hidrocarburos en forma de diluidos.
- El tratamiento biológico elimina más del 90% de los contaminantes sin consumir carbón activado.

La contaminación del subsuelo por causas antrópicas es un hecho común en Europa, debido a la tradición industrial que tiene el

continente desde hace muchas décadas. Sin embargo este hecho no es irreparable, ya que actualmente se tienen conocimientos suficientes para poder remediar la contaminación existente.

En este artículo se ha mostrado un ejemplo de descontaminación del subsuelo que se lleva desarrollando eficientemente en la región de Baviera (Alemania) desde el año 2005 y que puede ser extrapolable al caso español.

### Bibliografía

BOE (2005): Real Decreto 9/2005 por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares por la declaración de suelos contaminados.

**THE NORDIC COUNTRIES**

invite you to the 33<sup>rd</sup>

**INTERNATIONAL  
GEOLOGICAL  
CONGRESS**

**OSLO 2008**

August 5–14<sup>th</sup>

FIRST CIRCULAR



Geoscience World Congress 2008



[www.33igc.org](http://www.33igc.org)

**PARTICIPATE in PLANNING the PROGRAMME**

# Competitividad y estrategia de crecimiento de las empresas de exploración de hidrocarburos

Este artículo pretende aportar algunas ideas para explicar la competitividad de las empresas que actúan únicamente en el sector de la exploración y producción (EP) de petróleo, y comúnmente llamadas de "Upstream". Más concretamente está centrado en aquellas empresas de tamaño medio, especializadas en nichos de mercado o en áreas geográficas de exploración específicas, y cuya actividad es considerada de alto riesgo empresarial. Son empresas basadas en recursos y capacidades orientadas a descubrir y explotar yacimientos o reservas de petróleo, y donde la diferencia entre el éxito y el fracaso consiste en encontrar un yacimiento de potencialidades comerciales, cuyo tratamiento contable de la inversión será el de activo, y por tanto figurará en el balance patrimonial de la empresa, o por el contrario, el de gasto si no se producen resultados positivos.

**TEXTO** | Roberto Carsi Sister. Geólogo, Dr. Ciencias Económicas y Empresariales, carsisister@yahoo.es

Palabras clave  
**Competitividad. Exploración de Petróleo.**

En general, en las empresas de EP estudiadas, el comportamiento del valor actual neto de los descubrimientos es variable en relación al coste soportado por las exploraciones de nuevos yacimientos (*tabla 1*).

El sector de la exploración de hidrocarburos se encuentra desde hace algunos años en completa transformación. Las empresas de EP buscan y tratan de asegurarse yacimientos y reservas o, al menos, el acceso a ellas. La competitividad y las estrategias de crecimiento pasan por las adquisiciones o control de activos en forma de reservas, y fusiones y consolidación de alianzas entre empresas. El sector está formado por una gran variedad de empresas de diferente

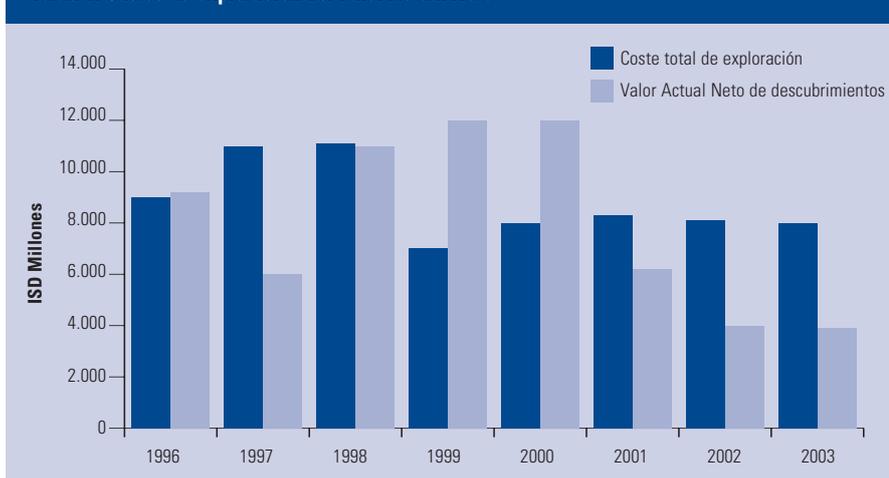
estructura organizativa: desde aquellas integradas verticalmente, normalmente grandes compañías que llevan a cabo, también, actividades de exploración, a otras empresas de dimensión menor, generalmente integradas horizontalmente, basadas en competencias especializadas. Además, existe un conglomerado de empresas auxiliares, desde proveedoras de tecnología a contratistas de servicios diversos que prestan sus servicios a estas de EP.

Es habitual escuchar el argumento que todo el petróleo fácil ha sido encontrado ya en la faz de la tierra, y que los restantes yacimientos o reservas son de más difícil extracción (*tabla 2*).

Como elementos condicionantes para la explotación comercial de estos yacimientos todavía no explotados se pueden citar: su profundidad, particularmente en zonas marinas de la plataforma continental, las tecnologías disponibles para extraer el petróleo de estructuras geológicas cada vez más complejas, encontrarse en lugares geográficos remotos donde las condiciones ambientales y climatológicas son extremas, y estar los yacimientos y reservas sometidas al control y circunstancias de naturaleza geo-política y contractuales que hace cada vez más complicado su control y propiedad. Todo esto no hace más que incrementar los presupuestos de inversión y gastos de desarrollo (*tabla 3*).

La actividad o negocio de exploración se caracteriza por tres etapas diferenciadas (*tabla 4*): la primera es la de la exploración propiamente dicha, donde el activo más importante es obtener los permisos de exploración (permiso minero) y el conocimiento del subsuelo. Los riesgos de la inversión se centran en la investigación geológica e interpretación sísmica, y en la valoración del yacimiento. Esta etapa se caracteriza por la falta de infraestructura física y por la existencia, en ocasiones, de un favorable sistema de incentivos fiscales a la exploración

**Tabla 1. Gastos de exploración Vs. Valor Actual Neto**



desarrollado por parte de los gobiernos nacionales.

En una fase posterior, si la zona no es abandonada en su fase exploratoria, y se producen indicios ciertos de descubrimientos de petróleo, aparecen nuevos competidores, en general empresa EP de mayor dimensión, integradas verticalmente y con fuertes recursos financieros. Es la etapa de los descubrimientos y valoraciones más finas, principalmente y únicamente de interés aquellos que presentan características potenciales de explotación comercial. Se presupuestan inversiones, se producen alianzas empresariales y acuerdos concesionales con los Gobiernos.

La tercera etapa es la de la maduración de las inversiones, donde se establecen, sobre todo, las barreras de entrada para los nuevos o potenciales entrantes. Si el yacimiento es comercialmente explotable, las altas inversiones requeridas son dedicadas intensamente al desarrollo de la infraestructura de producción. En esta etapa se reduce la actividad de exploración, se definen los costes de producción y de rentabilidad de los yacimientos.

No todas las empresas operan de la misma manera en cuanto al acceso a zonas de exploración. Las estrategias varían según las diferentes etapas. Unas, desde el principio, acometen internamente la actividad de exploración, asegurando así el proceso de aprendizaje y el control y desarrollo de competencias en exploración. Controlan la información del subsuelo y delimitan con más precisión los indicios de existencia de petróleo. Otras, sólo entran en el proceso en etapas posteriores. Son los compradores de reservas. Los yacimientos han sido valorados previamente por terceros. Las razones del diferente comportamiento empresarial las encontramos en la naturaleza volátil de la exploración. La falta de recursos y capacidades para llevar a cabo con éxito ciertas etapas exploratorias, el no poder desplegar la infraestructura necesaria en lugares geográficos difíciles, y la necesidad de reducir los riesgos de inversión en esta actividad tan volátil e incierta, como es la búsqueda de petróleo, podrían ser algunas de las causas (tabla 5).

Tabla 2. Yacimientos de 500 mmbbl no descubiertos

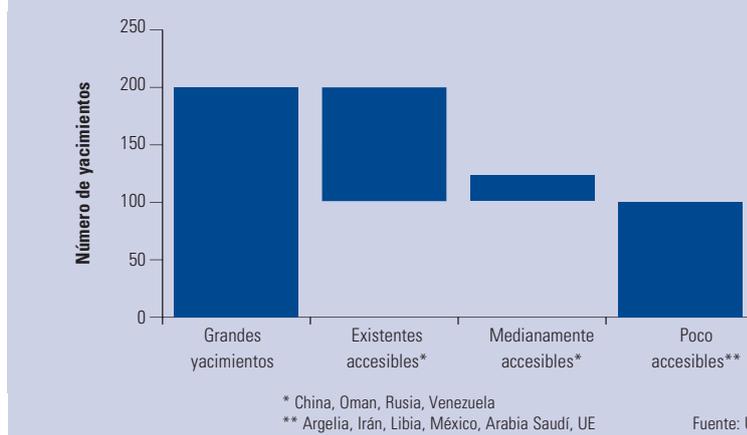


Tabla 3. Nuevos descubrimientos vs. gastos de desarrollo

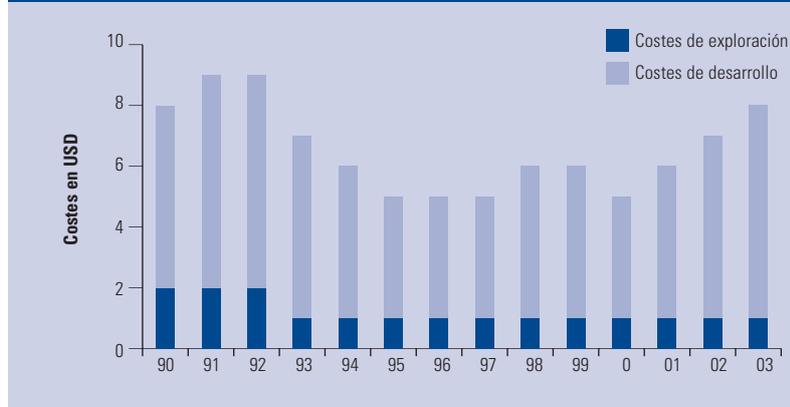
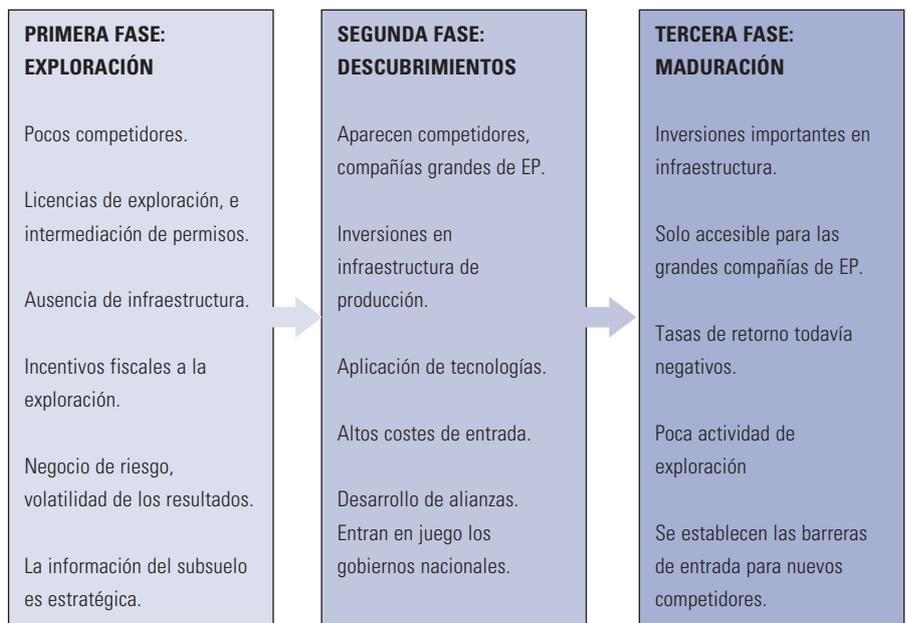


Tabla 4. Las tres etapas de la exploración

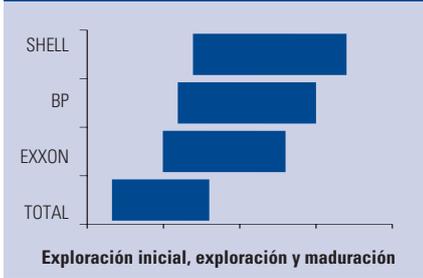


**Estrategias de crecimiento de las empresas EP**

Esta incertidumbre de la exploración hace que las estrategias de crecimiento de las

empresas varíe en función del control que tengan de los yacimientos o reservas. Si la empresa desarrolla competencias propias, dispone de una correcta interpretación del subsuelo y optimiza la

Tabla 5. Quién hace qué



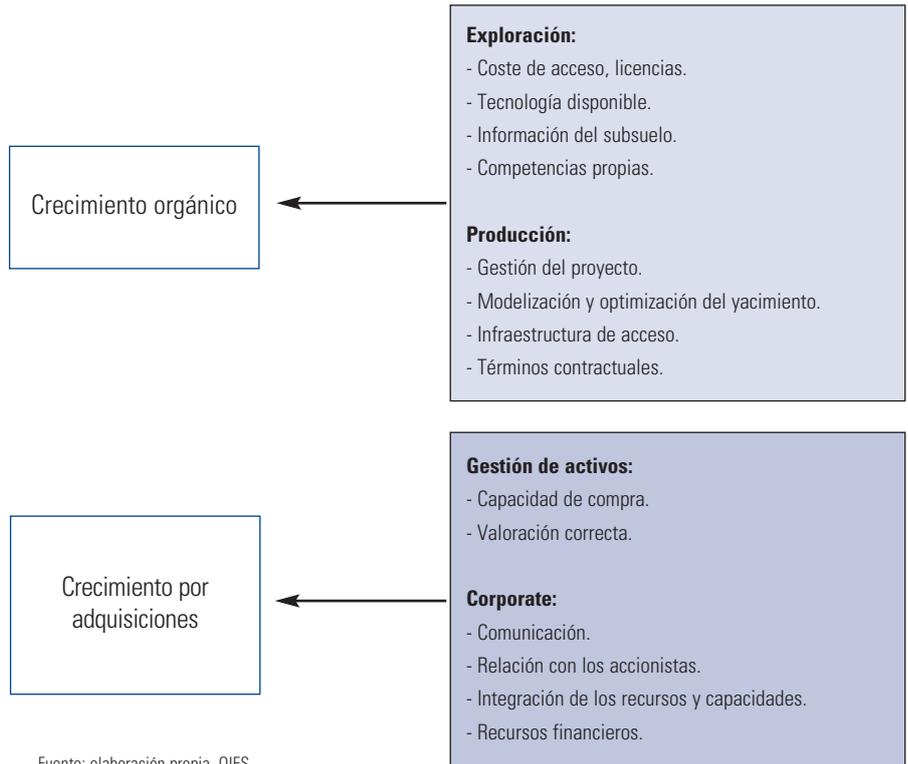
producción o valoración de los activos de exploración, entonces se generará un crecimiento orgánico. Si por el contrario, carece de estructura organizativa y competencias propias para conocer su área de exploración, las adquisiciones de activos son el camino natural de crecimiento (tablas 5, 5bis y 6).

Para ser competitivas, las empresas de EP tienen que asegurarse una posición dominante o de participación destacada en las primeras fases de los descubrimientos. Deben conocer cuál es el punto en su análisis coste beneficio, a partir del cual más inversión en exploración no les produce un aumento de la tasa de retorno. Otros parámetros como la incertidumbre política en ciertos países, son descontados en el análisis de la inversión.

La estructura competitiva del sector EP se caracteriza por la existencia de empresas que bien desarrollan la actividad de exploración, producción, refinado y comercialización integralmente, o aquellas que presentan una estructura de integración más horizontal y especializada solamente en la búsqueda y explotación comercial del yacimiento. Por tanto, la capacidad de generar flujos de caja será muy distinta de unas empresas a otras, y estará en función de ese nivel de integración. La disponibilidad de estos recursos financieros estará determinada por las necesidades de dedicar esfuerzos al crecimiento y desarrollo —caso de poder explotar comercialmente los nuevos yacimientos—, o reinvertir en el proceso continuado de exploración, siempre costoso e incierto (tabla 7).

Descubrir y controlar la explotación de yacimientos con potencialidad comercial es el objetivo de las empresas de exploración. Pero es finalmente el volumen

Tabla 5 bis. Estrategias de crecimiento de las empresas de EP

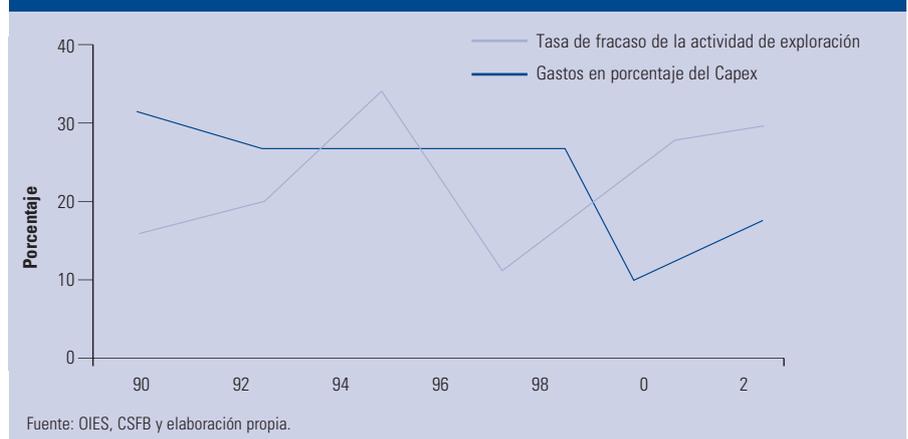


Fuente: elaboración propia, OIES.

Tabla 6. Crecimiento de las empresas EP según adquisiciones o Exploración



Tabla 7. Evolución de la exploración vs. Capex (Capital Expenditure)



Fuente: OIES, CSFB y elaboración propia.

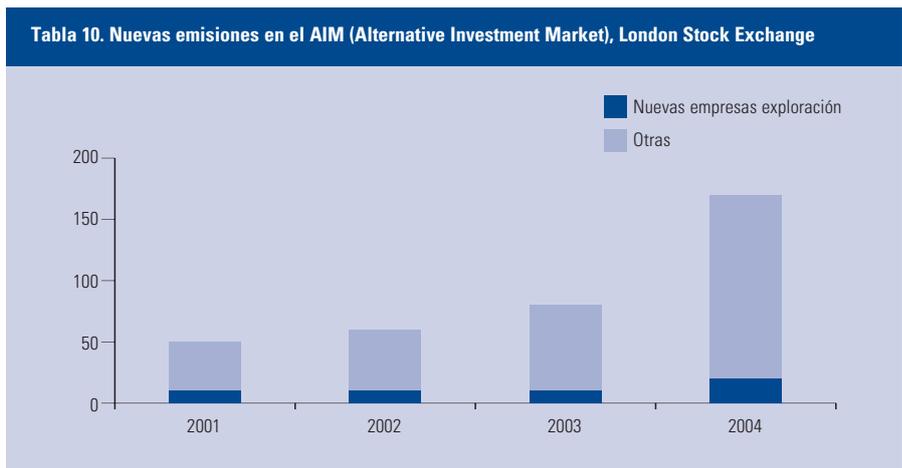
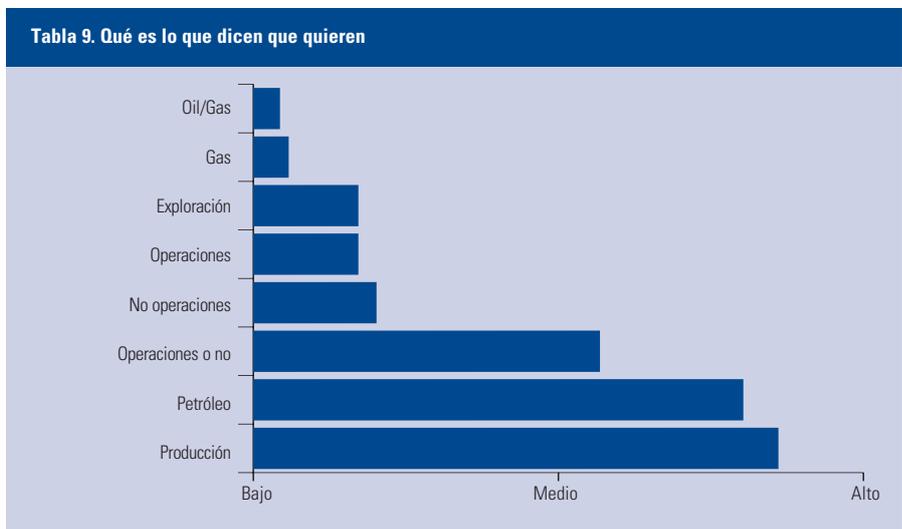
de las reservas y la capacidad de producción lo que determina el valor de la inversión y en lo que realmente están interesadas las empresas (tablas 8 y 9). Estas destacan la importancia de la producción como elemento estratégico del crecimiento empresarial. Pero es el aseguramiento de las reservas lo que genera valor para el accionista en el largo plazo. El debate sobre si es más barato comprar reservas que explorar nuevos yacimientos para asegurarse el crecimiento empresarial seguirá dependiendo de la capacidad de negociación y poder de compra de las empresas de EP.

La estructura financiera de las empresas de exploración también varía. En los últimos años, éstas han sabido captar recursos financieros en los mercados organizados, siendo el más activo el AIM (Alternative Investment Market, London Stock Exchange) (tabla 10). Las estrategias para ser admitidos a cotización presenta un patrón común. Los precios iniciales de las acciones de las empresas estudiadas en los mercados de cotización AIM, los IPO (Initial Public Offering), reflejan una estimación de las reservas descubiertas; valoraciones basadas en sondeos previos de exploración. Es decir, para una empresa de exploración que quiera captar recursos financieros cotizando en mercados organizados es necesario la evaluación previa de las reservas de petróleo.

**Barreras de entrada en el sector de la EP**

La extensión física del dominio exploratorio puede variar a lo largo de la vida del permiso de exploración. No obstante, la toma de control inicial es clave en los primeros momentos de los descubrimientos. Llegar y posicionarse el primero en una región o área geográfica de producción petrolífera potencial, y no menos, el establecer relaciones de cooperación tanto con otras empresas como con los gobiernos nacionales o locales constituye una estrategia segura y, además, una barrera de entrada para nuevos competidores (tablas 11 y 12).

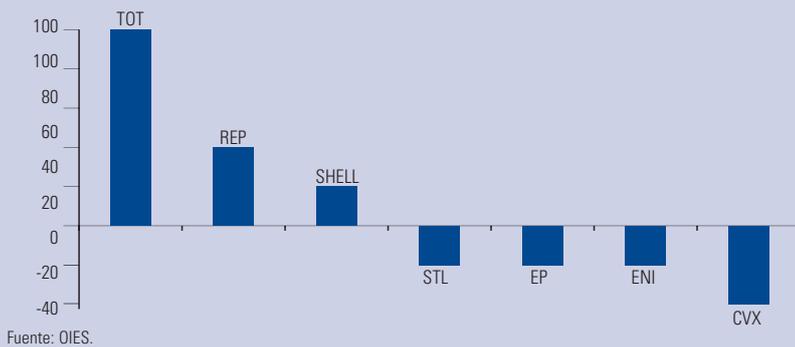
La experiencia demuestra que las grandes compañías, integradas verticalmente, siempre ganan. La relación de éxito de éstas



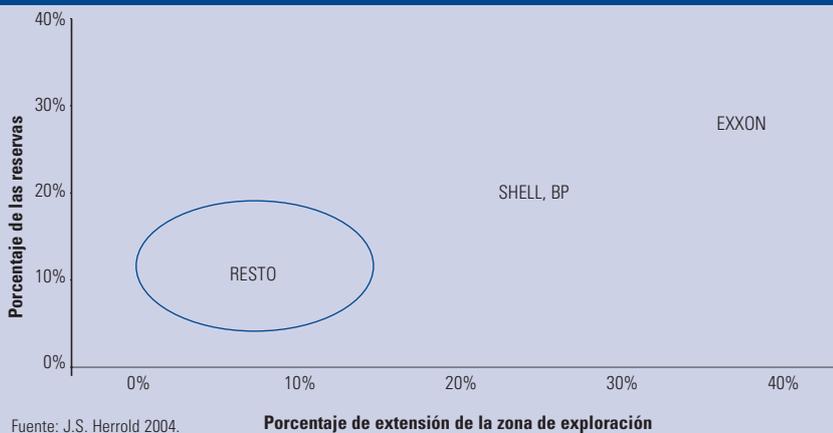
frente a las pequeñas compañías de exploración, muy especializadas tecnológicamente, integradas horizontalmente, pero de no suficientes recursos económicos, es de 1 a 6. De aquí que, para la supervivencia empresarial de estas últimas, sea importante el diseño de la inversión, el aseguramiento de la

financiación del proceso exploratorio, las alianzas empresariales, definir las estrategias de salida y el desarrollo de competencias. Las barreras de entrada para poder participar en la actividad integrada de EP se encuentran tanto en el conocimiento del yacimiento como en disponer de recursos financieros que se centren en las primeras

**Tabla 11. Cambios en la extensión del dominio de exploración**



**Tabla 12. Posición agregada en lugares de intensa actividad de exploración: Angola, Golfo de México, Nigeria y Caspio**



**Tabla 13. Petróleo comercial encontrado. Media de éxitos en perforaciones del subsuelo**



La valoración de las reservas genera habitualmente discrepancias, a pesar de la exigencias de veracidad demandadas por parte de organismos reguladores de los mercados organizados donde cotizan las principales empresas de EP

muestreos, mediciones volumétricas y de presión, y modelizaciones del comportamiento de producción de los yacimientos, todo esto combinado con estudios económico-comerciales y de coste-beneficio de explotación. Existen otros organismos internacionales, no regulatorios, que han establecido líneas generales de valoración de las reservas, entre otros la Society of Petroleum Engineering (SPE) y la United Nations Framework Classification for Energy and Mineral Resources (UNFC). El problema reside en que no hay dos yacimientos iguales y, por tanto, es difícil establecer, a menudo, criterios comparativos. Las hipótesis sobre el comportamiento y evolución futura de éstos, así como la dificultad de tener una información completa del subsuelo y de sus consideraciones geológicas hace complicado el tratamiento de las reservas. Además, la confidencialidad de la información preservada por parte de las empresas de EP sobre las condiciones de los yacimientos, hace difícil comprobar la veracidad de las reservas estimadas y, por tanto, se dan con frecuencia desviaciones que no se reflejan en los balances patrimoniales de las compañías de EP. Es aquí donde muchas empresas de servicios de exploración, más pequeñas pero con competencias sofisticadas, muchas de ellas bien integradas horizontalmente, desarrollan gran parte de su actividad de valoración.

etapas, muy especialmente en el estudio del subsuelo y en la perforación de un número de pozos suficientes como para evaluar con exactitud o aproximación el nuevo descubrimiento (tabla 13).

**Balances y reservas: quién genera los números**

La valoración de las reservas genera habitualmente discrepancias, a pesar de

la exigencias de veracidad demandadas por parte de organismos reguladores de los mercados organizados donde cotizan las principales empresas de EP: la US Security and Exchange Commission (SEC), y la Financial Service Authority (FSA), Londres (tabla 14). La información sobre la valoración de las reservas es obtenida a partir del análisis de las actividades de exploración y producción tales como estudios geológicos, interpretación sísmica, perforaciones,

Las razones por las que han fallado la puesta en explotación comercial de los yacimientos descubiertos son muy variadas, pero de manera general existe el consenso de que se debe a una equivocada o escasa apuesta por el conocimiento del subsuelo

**El valor añadido de la exploración**

Entre los años 1996-2001, la tasa de retorno de las inversiones en exploración descendió para las mayores compañías de EP. De los 50 millones de dólares invertidos, sólo 23 dólares crearon valor a través de la puesta en funcionamiento de reservas de interés comercial. Sólo 13 de las 25 empresas más importantes añadieron valor a sus balances mediante el descubrimiento de nuevos yacimientos (tabla 15).

Las razones por las que han fallado la puesta en explotación comercial de los yacimientos descubiertos son muy variadas, pero de manera general existe el consenso de que se debe a una equivocada o escasa apuesta por el conocimiento del subsuelo. Aspectos como la interpretación geológica o sísmica, son elementos fundamentales y previos a la perforación, siempre costosa, aunque definitiva para la valoración. En cualquier caso, los costes de exploración solo representan una pequeña parte del total de la inversión de la puesta en explotación comercial del yacimiento (tabla 16).

**El crecimiento empresarial y la necesidad de repartir dividendos**

Otra de las dificultades de las compañías de exploración, particularmente las pequeñas, deriva del hecho de tener que repartir dividendos a los accionistas, lo que lastra el crecimiento vía inversión

Tabla 14. Nivel de cumplimiento de la normativa SEC sobre reservas



Tabla 15. Valor añadido de la exploración vs. ingresos

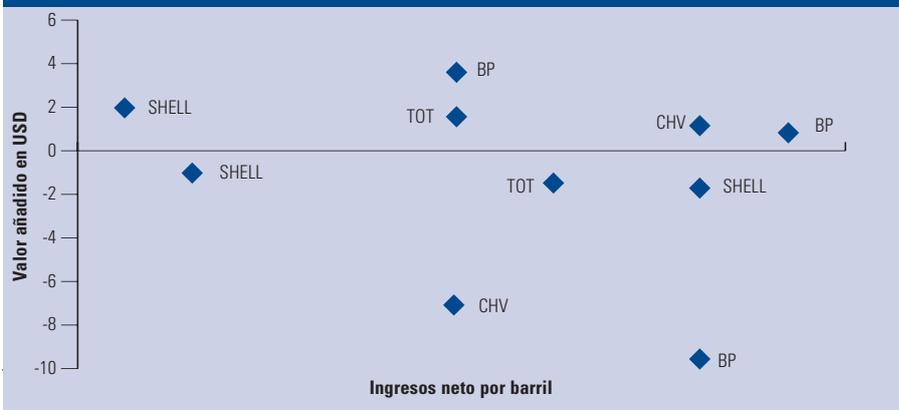
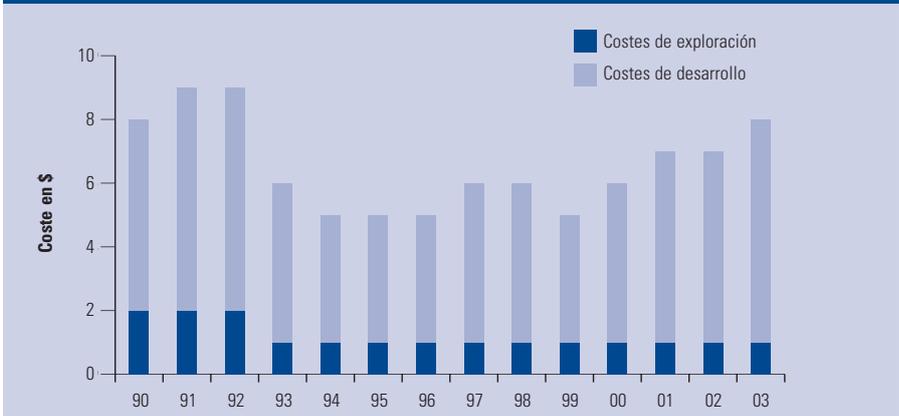


Tabla 16. Nuevos descubrimientos vs. gastos de desarrollo



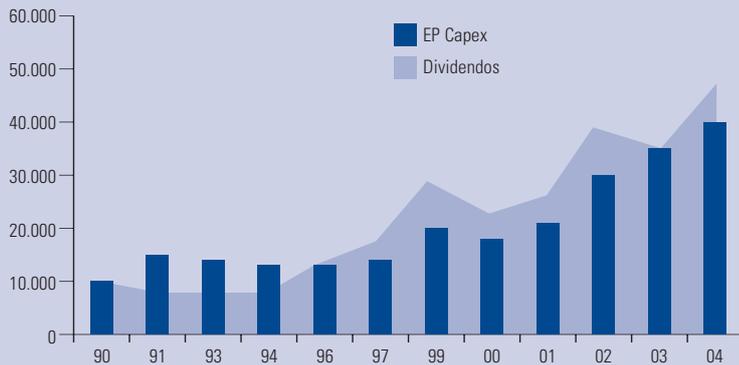
en nuevos yacimientos (tabla 17). La exploración es una actividad de negocio con tiempos de maduración a largo plazo e intensa en el uso de recursos financieros durante sus primeras etapas.

**Qué determina el éxito o el fracaso de las empresas de exploración**

La ventaja competitiva de las empresas de exploración nace en el momento que

encuentra yacimientos comerciales y los convierte en reservas o activos. Pero además, pueden ser necesarios otros recursos y capacidades para añadir más valor a la inversión, como es la explotación comercial de la producción. Existen otros muchos parámetros internos y externos que determinan el éxito de las empresas de exploración entre los que cabe destacar (tabla 18):

Tabla 17. Reparto de dividendos vs. Capex



Fuente: elaboración propia y AIM.

Tabla 18. Qué determina el éxito de las empresas de EP

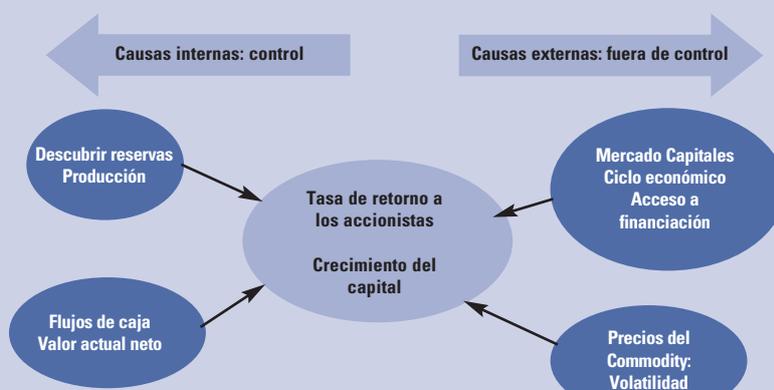
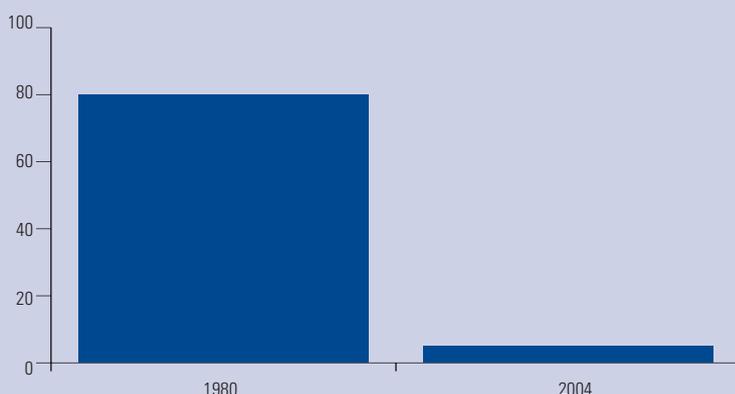


Tabla 19. Supervivencia de las empresas de EP



Fuente: JS Herrold, H. Lovegrove.

- Exceso de activos ó licencias de exploración donde es difícil concentrar los esfuerzos.
- Aproximación al proceso de exploración con escasas competencias.
- Carecer de una estrategia de salida.

Por otro lado, la cada vez más difícil búsqueda de hidrocarburos junto al desarrollo de nuevas tecnologías que permiten el acceso a lugares del subsuelo hasta ahora inimaginables, garantizara la demanda de servicios de exploración. Aprovechar el ciclo alcista de los precios del petróleo y de las inversiones en exploración supone un impulso para las empresas que deben buscar la optimización de sus recursos y capacidades (tabla 20).

### Cómo construir la ventaja competitiva en la exploración

La búsqueda de estructuras organizativas flexibles por parte de algunas empresas de exploración debe ser compatible con la capacidad para generar y controlar competencias internamente. La estructura organizativa que se adopte afectará a la velocidad y capacidad para posicionarse y poder controlar yacimientos y reservas (tabla 21). Algunas empresas se concentran más en aquello que saben hacer bien en el proceso de exploración. Entienden este como un proceso holístico, integral. Saben de la dificultad de aprender y prefieren mantener el control sobre los procesos de interpretación del subsuelo, la modelización de la explotación del yacimiento, la construcción de pozos de exploración y producción, etc. Otras, por el contrario, se inclinan por el desarrollo de una cadena logística de proveedores de servicios y de adquisición de reservas.

La competitividad y diferenciación entre las empresas de exploración está en controlar los activos tales como yacimientos o reservas. Pero además, para que la estrategia de crecimiento sea sostenible, las empresas deben construir alianzas de estructuras organizativas flexibles que les permitan desarrollar competencias exclusivas en exploración. En las próximas décadas habrá que explorar y poner en explotación yacimientos petrolíferos cada vez más

- Reconocer cuándo se tienen competencias en la cadena de valor de la exploración y producción, y explotarlos.
- Aprovechar la oportunidad del posicionamiento en el área exploratoria y disponer de recursos y capacidades suficientes.

La vida media de las empresas de exploración, en particular de las pequeñas, es corta (tabla 19). Entre las causas que determinan el fracaso se pueden citar:

- La falta de capacidad para generar proyectos específicos.
- Presentar balances de escasa dimensión financiera.

**Tabla 20. Optimización de la exploración y producción**

El objetivo de las empresas de EP que disponen de una cartera compleja de activos (permisos de exploración, yacimientos y reservas) es el de minimizar su gestión estructural y centrarse en aquellos que presentan las mejores oportunidades de rentabilidad.

Operaciones	Eficiencia	Creación de valor
Numero de yacimientos comerciales descubiertos.	Control costes.	Optimización de los ciclos de comercialización.
Énfasis en la exploración de nuevos yacimientos.	Gestión de riesgos.	Gestión óptima del valor de las acciones.
Optimización de los activos de exploración.	Optimización del desarrollo de las reservas.	
Estrategia de salida.	Revisión y optimización de las inversiones.	

**Tabla 22**

	Empresa de exploración A	Empresa de exploración B
Desarrollo de competencias internas	Se aprende mediante la prueba no la compra	Nuestro negocio es refinar no explorar
	Hacer	Comprar

**Bibliografía**

Arango, G. Han, P. Christensen, H. y Rousseau, M. (2006). *Sustained Competitive Advantage Through Structured Mentoring*. SPE-Rousseau Consulting Inc.

Buffet, M. Mastin, E. Maguerez, M. y Amiell, P. (2003). *Assessing Profitability of Wells Interventions on Mature Fields*. TOTAL-FINA-ELF.

Edmilson M, dos Santos (1999). *Competitive Strategies and Strategic Positioning of Oil Companies in the International Oil Business: Theory and Practice in Perspective*. Univ. of São Paulo.

Dinnie, N.C. Fletcher, A.J.P.; J.H Finch, (2002). *Strategic Decision Making in the Upstream Oil and Gas Industry: Exploring Intuition and Analysis*.

Hassing, J. Parsons, T. Huang X.H.; J. Baranowski, K. Pande (2000). *Integrated Approach to Geological and Reservoir Simulation Modeling Yields New Insights*. Chevron.

Heneghan, P.J. (1991). *Competition: An Industry Focus on Preparing To Maintain the Competitive Edge*. BP Exploration.

Joshi, S.D. (2003). *Cost/Benefits of Horizontal Wells*. Joshi Technologies International, Inc.

Oxford Institute for Energy Studies (1999). *Production-Sharing Agreements: An Economic Analysis*.

Oxford Institute for Energy Studies (2005). *Exploration and Production. Key to success and common reasons for failure*.

Resources Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover. Germany (2005). *Annual Report. Reserves Resources and Availability of Energy Resources*.

Steagall, D.S. Gomes, J.A.T. Oliveira, R.M. Ribeiro, N.M.S.J. Queiroz, R.Q. Carvalho, M.R.J. y Souza C.Z. (2005). *How To Estimate the Value of the Information (VOI) of a 4D Seismic Survey in One Offshore Giant Field*. Petrosbras.

Sustainable Development Programme (2004). *Petroleum Reserves in Question*. Chatham House, London.

**Tabla 21. Ventaja de competitividad de las empresas de exploración**



complejos y costosos, donde las competencias en exploración serán más sofisticadas. No obstante, las empresas seguirán debatiendo entre la necesidad de crecer orgánicamente, desarrollando competencias internas o adquiriendo reservas en el mercado, cada vez más costosas (tabla 22).

**Glosario**

**Reservas**, son cantidades de petróleo económicamente recuperables, a precios de mercado y con la tecnología disponible.

**Recursos**, son cantidades de depósitos energéticos que no son recuperables por razones técnicas y/o económicas. También son aquellas no probadas pero geológicamente posibles de ser encontradas.

**Yacimientos**, áreas geográficas de exploración donde existen recursos o indicios, en el subsuelo.

**AIM**, London Stock Exchange.

**Relación de empresas de exploración**

EDG, Edg Perf.	PUR, PUR Wafer.
CNE Cairn Energy.	SIA, Soco International.
OEX, Oilex.	BUR, Burren Energy.
JKX, Jks Oil & Gas.	ROS, Ramco
PMO, Premier Oil.	Energy.
MRS, Melrose Res.	STO, Statoil.
DNO, Oil & gas.	SHELL.
VPC, Venture Prod.	BP.
DNX, Dana Petroleum.	TOTALFINA.
TLW, Tullow Oil.	REP, Repsol.
	EXXON.
	CHREVON
	ENI.

# Organismos de Control Técnico, OCT

## Código Técnico de la Edificación, Seguridad Estructural, DB-SE Cimientos

La entrada en vigor en mayo de 2000 de la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE 38/1999) marcó la obligatoriedad de suscribir un seguro decenal de daños en un marco normativo para el que los Organismos de Control Técnico, OCT, tomaron el papel de *controladores* y auditores de riesgos de las Aseguradoras frente al Promotor de edificios destinados a viviendas. Fue, por tanto, la entrada en vigor de la LOE la que dio una nueva dimensión a las entidades aseguradoras y, en consecuencia, al OCT como Control Técnico, siendo además el pistoletazo de salida para la redacción de un Código Técnico de la Edificación.

**TEXTO** | Mariam Martín Ruiz. Geóloga, MIG (UCM). Jefe Dpto. Ingeniería del Terreno y Recursos Minerales. Responsable OCT Geotecnia. Applus, mmartinr@appluscorp.com

Palabras clave

**LOE, Organismos de Control Técnico, OCT, Código Técnico de la Edificación, CTE, Geotecnia.**

### Marco legal

El 6 de noviembre de 1999, en el número 266 del BOE, páginas 38.925 a 38.934, se recoge la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación, conocida como LOE.

El motivo de su redacción corresponde a que el sector de la edificación en la fecha carecía de regulación acorde a su repercusión, adoleciendo de lagunas en cuanto a identificación, obligaciones y responsabilidades de los agentes intervinientes, así como en lo que se refiere a las garantías para proteger al usuario.

Para asegurar dichas garantías frente a posibles daños, así como fomentar la calidad de los edificios, se legisló un marco general que estableció un seguro de daños o de caución.

Los plazos de responsabilidades corresponden a periodos de uno, tres y diez años, que responden respectivamente al seguro de daños materiales derivados de deficiente ejecución, daños materiales en el edificio causados por vicios o defectos que afecten a la habitabilidad y vicios o defectos que afecten a seguridad estructural del edificio (seguro decenal de daños, SDD).

Tal y como estipula en su artículo 19, garantías por daños materiales ocasionados por vicios y defectos de la construcción, se dice:

*1. El régimen de garantías exigibles para las obras de edificación comprendidas en el artículo 2 de esta Ley se hará efectivo de acuerdo con la obligatoriedad que se establezca en aplicación de la disposición adicional segunda, teniendo como referente a las siguientes garantías: (...)*

*c) Seguro de daños materiales o seguro de caución, para garantizar, durante diez años, el resarcimiento de los daños materiales causados en el edificio por vicios o defectos que tengan su origen o afecten a la cimentación, los soportes, las vigas, los forjados, los muros de carga u otros elementos estructurales, y que comprometan directamente la resistencia mecánica y estabilidad del edificio.*

Con ello, se fija la figura de las entidades aseguradoras en el control de la edificación, siendo obligatorio suscribir un seguro decenal de daños en la edificación para edificios cuyo uso principal sea el de vivienda.

En su artículo 14, la Ley estipula el papel de las entidades de control de calidad de la edificación (ECC), diciendo:

*Estas entidades son aquellas capacitadas para prestar asistencia técnica en la verificación de la calidad del proyecto, de los materiales y de la ejecución de la obra y sus instalaciones de acuerdo con el proyecto y la normativa aplicable.*

El desarrollo de las ECC, según se establece en la LOE, queda a merced del CTE y de las comunidades autónomas. Sin embargo, los OCT son definidos en 1999 por la patronal de Entidades Aseguradoras, UNESPA (Unión Española de Entidades Aseguradoras y Reaseguradoras), como entidades de control independientes del proceso constructivo, solventes técnica y económicamente, formadas por equipos multidisciplinares, con experiencia en construcción e implantación suficiente para poder prestar sus servicios de control con las garantías suficientes para las aseguradoras.



Por último, la LOE autoriza al Gobierno a que mediante Real Decreto, y en el plazo de dos años a contar desde su entrada en vigor, apruebe un Código Técnico de la Edificación que establezca las exigencias básicas que desarrollen y satisfagan los requisitos básicos relativos a funcionalidad, seguridad y habitabilidad. En concreto, para el requisito básico relativo a la seguridad, el artículo 3, apartado b.1 establece:

*Seguridad estructural, de tal forma que no se produzcan daños que tengan o afecten a la cimentación, los soportes, las vigas, los forjados, los muros de carga u otros elementos estructurales, y que comprometan directamente la resistencia mecánica y la estabilidad del edificio.*

Hasta su aprobación se han aplicado las normas básicas, en el caso que nos compete la NBE AE-88 Acciones en la Edificación que fueron aprobadas por Real Decreto 1370/1988, de 25 de julio, y en cuyos capítulos 8 y 9 trata de forma sucinta las presiones admisibles del terreno de cimentación, asientos y empujes. No definen un número mínimo de prospecciones para una campaña de investigación y únicamente se recoge una recomendación en cuanto a profundidad según tipología de cimentación superficial discontinua o continua.

### Organismos de Control Técnico

El OCT, definido por las entidades aseguradoras, es aquella entidad capacitada para prestar sus servicios de control técnico y auditoria de riesgos, tanto en el proyecto como en la ejecución de la obra, con objeto de poder suscribir finalmente la póliza de seguros correspondiente entre el promotor y la entidad aseguradora. Es decir, corresponde a empresas en las que equipos de técnicos multidisciplinares se encargan del control técnico del proyecto constructivo, el control técnico de la ejecución de la obra, supervisión del estudio geotécnico,

supervisión del control de calidad y condiciones de estanqueidad. Son el ente intermediario entre promotor y aseguradora.

En la función de las OCT está la definición del riesgo técnico asociado al proyecto y a la ejecución de la obra de edificación, con vistas a la suscripción de la póliza de seguro decenal de daños y el aseguramiento de la calidad de la obra, informando periódicamente a la Aseguradora mediante sus informes específicos del desarrollo de los trabajos.

Estos informes tipo han sido elaborados por el Grupo de Trabajo Decenal de UNESPA y están relacionados con el control y seguimiento de la calidad del proceso constructivo.

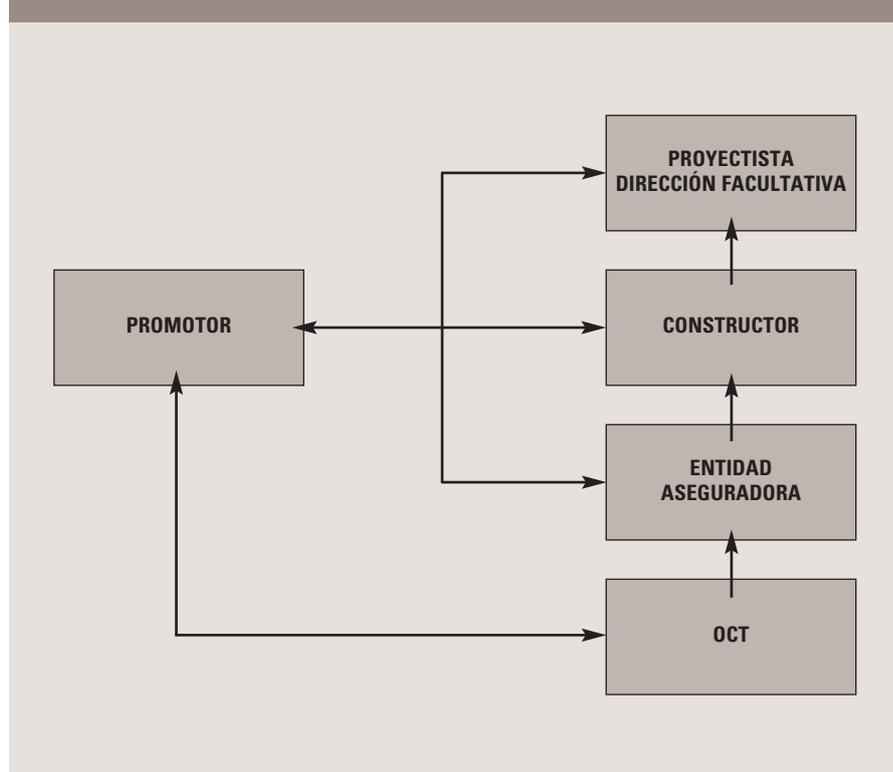
Abarcan desde Informes iniciales de Definición de Riesgo, D0, Informes de Revisión de Proyecto, D0.1, Informes de Unidades de Obras Especiales D.1.1 y D.1.2., Informes de Estanqueidad D.3., Informes de Ejecución, D5.1 a D5.3 e informe de Fin de Obras D6.

En la función de las OCT está la definición del riesgo técnico asociado al proyecto y a la ejecución de la obra de edificación, con vistas a la suscripción de la póliza de seguro

Los organismos de control técnico son los responsables de cumplimentar estos informes y, en caso de falta de idoneidad o deficiencia en proyecto o ejecución, se emite la denominada Reserva Técnica que podrá llegar a ser subsanada, con su consecuente cancelación, o no.

El informe D6, final de obra, recopila en su anexo las reservas técnicas que al

Tabla 1. Relación de los intervinientes en el control de calidad de la edificación



momento de la recepción no se hubieran cancelado, y que pasaran a formar parte del Acta de Recepción.

En la *tabla 1* muestra la relación entre los distintos intervinientes del control de la calidad de la edificación.

Inicialmente, en 1999, la capacidad técnica de los organismos de control técnico fue valorada por UNESPA clasificándolos según tres grupos de calificación que los acredita para su actuación según la tipología de la obra y ámbito de actuación. Posteriormente, las diferentes entidades aseguradoras y reaseguradoras establecieron sus propios criterios de valoración tendiendo a regularizar y unificar tales clasificaciones.

Por último, según la LOE, es obligatoria la contratación por parte del promotor de la póliza de seguro decenal de daños y, en consecuencia, según las entidades aseguradoras, la contratación también por parte del promotor de un OCT.

### Implicaciones de la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación, DB-SE Cimientos

El Ministerio de Fomento, y posteriormente el recién creado Ministerio de Vivienda, tras la entrada en vigor de la LOE, utiliza el Instituto Eduardo Torroja para la coordinación de los distintos Documentos Básicos del Código Técnico de la Edificación, determinándose que sería el Centro de Estudios Experimentales, CEDEX, el encargado de redactar la parte relativa a Geotecnia del Documento Básico de Seguridad Estructural Cimientos (DB-SE Cimientos).

Para su redacción se organizó una comisión técnica que redactó diversos borradores

y que, tras presentarse a distintos estamentos oficiales para hacer alegaciones, entre ellos el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, el 28 de marzo de 2006 se publicó en el BOE por Real Decreto 314/2006, que aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE), el cual desarrolla la Ley de Ordenación de la Edificación 38/1999.

En su capítulo 1 (disposiciones generales), se señala que: "... el CTE será de aplicación, en los términos establecidos en la LOE, y con las limitaciones que en el mismo se determinan, a las edificaciones públicas y privadas cuyos proyectos precisen disponer de la correspondiente licencia a autorización legalmente exigible. El CTE se aplicará a las obras de nueva construcción, excepto aquellas de sencillez técnica y escasa entidad, que no tengan carácter residencial o público, ya sea de forma eventual y permanente, que se desarrollen en una sola planta y no afecten a la seguridad de las personas. Igualmente, el CTE se aplicará a las obras de ampliación, modificación, reforma o rehabilitación que se realicen en edificios existentes, siempre y cuando dichas obras sean compatibles con la naturaleza de la intervención y, en su caso, con el grado de protección que puedan tener los edificios afectados. La posible incompatibilidad de aplicación deberá justificarse en el proyecto".

Por tanto, el Código Técnico de la Edificación es el marco normativo que establece las exigencias básicas de los edificios y de sus instalaciones, y que en el ámbito de la Supervisión Geotécnica aporta en edificación, ¡al fin! una normativa completa de obligado cumplimiento que hasta la fecha no existía.

Según la LOE, es obligatoria la contratación por parte del promotor de la póliza de seguro decenal de daños y, en consecuencia, según las entidades aseguradoras, la contratación también por parte del promotor de un OCT

### Capítulos del CTE

1. Generalidades
  - 1.1 Ámbito de aplicación
  - 1.2 Condiciones particulares
2. Bases de Cálculo
  - 2.1 Generalidades
  - 2.2 Método de los Estados Límite
  - 2.3 Variables básicas
  - 2.4 Verificaciones basadas en el formato de los coefs parciales
3. Estudio Geotécnico
  - 3.1 Generalidades
  - 3.2 Reconocimiento del Terreno
  - 3.3 Contenido del Estudio Geotécnico
4. Cimentaciones Directas
  - 4.1 Definiciones y tipologías
  - 4.2 Análisis y dimensionado
  - 4.3 Presión admisible y de hundimiento
  - 4.4 Asiento de las cimentaciones directas
  - 4.5 Condiciones constructivas
  - 4.6 Control
5. Cimentaciones Profundas
  - 5.1 Definiciones y tipologías
  - 5.2 Acciones a considerar
  - 5.3 Análisis y dimensionado
  - 5.4 Condiciones Constructivas
6. Elementos de Contención
  - 6.1 Definiciones y tipologías
  - 6.2 Acciones a considerar y datos geométricos
  - 6.3 Análisis y dimensionamiento
  - 6.4 Condiciones constructivas y de control
7. Acondicionamiento del Terreno
  - 7.1 Criterios básicos
  - 7.2 Excavaciones
  - 7.3 Rellenos
  - 7.4 Gestión del Agua
8. Mejora o Refuerzo del Terreno
  - 8.1 Generalidades
  - 8.2 Condiciones iniciales del terreno
  - 8.3 Elección del procedimiento de mejora o refuerzo del terreno
9. Anclajes al Terreno
  - 9.1 Definiciones y tipologías
  - 9.2 Acciones a considerar y datos geométricos
  - 9.3 Condiciones constructivas y de control

### Anejos

- A) Terminología
- B) Notaciones y Unidades
- C) Técnicas de Prospección
- D) Criterios de Clasificación, Correlaciones y Valores orientativos tabulados de referencia.
- E) Interacción Suelo-Estructura
- F) Modelos de Referencia para el Cálculo de Cimentaciones y Elementos de Contención
- G) Normativa de Referencia

El CTE DB-SE-CIMENTOS constituye un documento que tipifica desde la campaña de investigación hasta el cálculo de cimentaciones y elementos de contención, aportándose pautas a cerca de acondicionamiento, mejora y refuerzo del terreno así como anclajes

De esta forma, los OCT se encuentran respaldados a la hora de solicitar a los técnicos correspondientes los datos necesarios para la supervisión del estudio geotécnico, comprobación de su concordancia e idoneidad con proyecto y el control de ejecución.

Su entrada en vigor no sólo regula y facilita los trabajos a los organismos de control técnico sino que lo hace también a las propias empresas redactoras de estudios geotécnicos ya que define las exigencias mínimas en cuanto a campaña de investigación y posterior redacción de informes.

El CTE regula tanto el control de proyecto como el de ejecución y otorga la responsabilidad final al director de obra.

**Tabla 2. Tipología de la edificación**

**Tipo de construcción (Tabla 3.1. DB-SE-C)**

C-0: Construcción de menos de 4 plantas y superficie construida inferior a 300 m <sup>2</sup>
C-1: Construcciones de menos de 4 plantas
C-2: Construcciones de altura máxima entre 4 y 10 plantas
C-3: Construcciones de altura máxima entre 11 a 20 plantas
C-4: Conjuntos monumentales o singulares, o de más de 20 plantas.

**Tabla 3. Definición de los grupos de terreno (cont.)**

**Grupo de Terreno (Tabla 3.2. DB-SE-C)**

T1: Terrenos favorables: aquellos con poca variabilidad, y en los que la práctica habitual en la zona es de cimentación directa mediante elementos aislados	
T2: Terrenos intermedios: los que presentan variabilidad, o que en la zona no siempre se recurre a la misma solución de cimentación, o en los que se pueden suponer que tiene rellenos antrópicos de cierta relevancia, aunque probablemente no superen los 3,0 m.	
T3: Terrenos desfavorables: los que no pueden clasificarse en ninguno de los tipos anteriores	
a) Suelos expansivos	g) Terrenos en zonas susceptibles de sufrir deslizamientos
b) Suelos colapsables	h) Rocas volcánicas en coladas delgadas o con cavidades
c) Suelos blandos o sueltos	i) Terrenos con desnivel superior a 15°
d) Terrenos kársticos en yesos o calizas	j) Suelos residuales
e) Terrenos variables en cuanto a composición y estado	k) Terrenos de marismas
f) Rellenos antrópicos con espesores superiores a 3 m	

**Tabla 4. Distancia máxima y profundidad orientativa de los puntos de investigación**

Tipo de construcción	Grupo de terreno				
	dmáx (m)	T1	P(m)	T2	P(m)
C-0, C-1	35		6	30	18
C-2	30		12	25	25
C-3	25		14	20	30
C-4	20		16	17	35

Consta de 9 capítulos y 7 anejos, en los que se desarrollan los aspectos geotécnicos necesarios para la elaboración de informes y proyectos.

Una vez definidas las generalidades y las bases de cálculo, el capítulo 3 especifica la estructura, contenido y alcance del estudio geotécnico, definiéndose la campaña geotécnica a partir de la tipología de edificación y de terreno, tablas 2, 3 y 4.

“Salvo Justificación, la campaña de investigación no deberá ser inferior a lo establecido en el Documento Básico” y todo estudio geotécnico deberá estar Visado por su preceptivo colegio profesional.

En resumen, el CTE DB-SE-CIMENTOS constituye un documento que tipifica desde la campaña de investigación hasta el cálculo de cimentaciones y elementos de contención, aportándose pautas a cerca de acondicionamiento, mejora y refuerzo del terreno así como anclajes.

Con ello, se establecen unas bases que permiten unificar desde los criterios

descriptivos de los materiales hasta el cálculo de parámetros geotécnicos. Obliga a la redacción de informes geotécnicos completos que recopilen la información de campo, laboratorio, perfiles longitudinales, soluciones de cimentación y el compendio de todos los parámetros geotécnicos necesarios para el proyecto, tales como: Cota de cimentación, qadm, qservicio, qp, qf, empujes, (...).

El documento, por tanto, regula que la redacción de estudios geotécnicos sea acorde con lo estipulado en la LOE y, en consecuencia, que satisfagan el requisito básico de seguridad.

**Bibliografía**

Ley 38/1999, de 5 de Noviembre, de Ordenación de la Edificación NBE-AE/88. Acciones en la Edificación Código Técnico de la Edificación (R.D. 314/2006, de 17 de marzo). DB-SE-CIMENTOS

# El abrazo sublime

## El universo femenino en el cine de Hitchcock

Atrapadas en un mundo, aparentemente real, generado por un verdadero prestidigitador para infundir miedo, desasosiego y provocar reacciones como el deseo, la culpabilidad, el miedo o el odio, ellas, esculturas andantes de impecable vestuario y oxigenadas melenas, sucumben a una de las fuerzas narrativas más poderosas inventadas por el cine: el suspense. Es fácil visualizar este subgénero como si de una espiral se tratara, una espiral que gira atrapando en su abrazo a personajes y espectadores. La intriga está servida y, tratándose del renombrado *magó del suspense*, ésta se encuentra en manos femeninas.

TEXTO | Patricia Romero. Licenciada en CC. de la Información (Imagen y Sonido). patriromeropez@gmail.com

Palabras clave

**Hitchcock, cine, mujeres.**

La *femme fatale* es una creación masculina, afirma Alexandra Lapierre; son los ojos de los hombres los que la han hecho así. En el cine negro, la recreación de este tipo de hembra que seduce y modifica el destino de los hombres a los que cautiva (*Vértigo*) es, sin duda, uno de los rasgos de género más característicos junto a elementos dispuestos como parte de la trama (*La ventana indiscreta*), entornos que son verdaderos complots (*Recuerda*), encuadres que constituyen perfectos encierros (*Los Pájaros*, *Psicosis*).

### ... pero del Paraíso se sale para no volver jamás

A Hitchcock le torturaba la realidad. Buscaba refugio en el misterio y en cierto *sadismo divino*, que le erigía como creador obsesivo, un dios ensimismado con los encantos de Eva y el poder del suspense que desencadenaba el miedo en el espectador (*figura 1*).

Al comer del fruto del árbol del Conocimiento la pareja primigenia llegó a creer, y así se lo transmitió a todas las generaciones venideras, que bastaba con interpretar la realidad y organizarla para dominarla. El universo se convertía así, a los ojos de los hombres, en reflejo de su propia explicación mundana.

Sin embargo, había en el Edén un segundo árbol: el árbol de la Vida.

Creó el hombre que dominaba el mundo y no se dio cuenta de que el misterio era

infinitamente superior al conocimiento produciendo el fantasma del miedo. De este modo, lo desconocido se convirtió en una dimensión por conquistar que ha atraído irremediamente a los hombres desde el comienzo de los tiempos.

*...la razón de ser más íntima de mis películas es que los espectadores se queden atrapados en ellas...*

*...En el bang de la pistola no reside el miedo pero sí en su anticipación por parte de la víctima, mejor por parte del espectador que se ve incapacitado de advertir a la víctima...*

Educado en la tradición católica, en la angustiada y poco placentera búsqueda de la verdad, el director bucea incesantemente en los orígenes y los utiliza como punto de partida en el juego de construir realidades y misterios que le otorgan la identidad creadora, la condición de Dios dual, bueno y perverso, constructor y destructor...

Del binomio realidad y misterio y de aquellos que este primero desencadena como orden y caos, bien y mal, Eros y Tánatos, y cómo no, Adán y Eva y culpa y castigo, depende la mayor parte del discurso narrativo de las películas de Hitchcock (*figura 2*). Combinados con los mecanismos propios de la expresión cinematográfica, y la estructura clásica del cine negro y del subgénero del suspense, dan lugar a la estructura



Figura 1. 1962, Alfred Hitchcock posa para una fotografía de moda. Hollywood.

laberíntica en busca de la verdad y que, muy a diferencia de la lógica de las acciones acaba en un final cargado de enigmas, misterio y frustración. Una narrativa que recuerda a la de grandes maestros del enigma como Borges, Poe, Dostoievski o Kafka.

### Carne mortal y pecadora a la que flagelar y extenuar. El paroxismo del ser físico

Alfred Hitchcock no era un hombre atractivo, le torturaba su aspecto y torturaba a quienes le hacían sentir el aguijón del rechazo. Sumado a su condición social, convicciones y creencias, fue formando un perfil complejo, muy



Figura 2. Judy Barton es una muñeca en manos de Scottie para traer de entre los muertos a Madeleine. Una recreación fatal.

observador, contradictorio y autoritario y cierto carácter de genio que sólo demostrará en sus películas. Una trama de intriga apasionante para una audiencia atrapada desde los primeros minutos y que sucumbe dentro de una estructura que gira y gira sin retorno encarnando el miedo. Un héroe casual encadenado a los designios de una mujer rubia, tan atractiva como perturbadora y fría (figura 3). Dosis de ironía británica y humor negro terminan por llenar la pantalla y los ojos despavoridos de los espectadores con el singular *Paraíso* de Sir Alfred Hitchcock.

En todas sus películas nos presenta el combate del Bien y del Mal donde el Mal es parte del Bien y el Bien forma parte del Mal, confundiéndose entre sí la mayor parte de las veces; en cualquier caso, el Mal se muestra mucho más interesante y atractivo para el ser humano, más auténtico, más misterioso. Hitchcock asocia el Mal al deseo carnal e ilustra a partir de esa asociación las patologías de sus personajes masculinos. La pulsión tanática, muerte, tiene como contrapunto inseparable la pulsión erótica, la vida. El erotismo y el sexo están omnipresentes en el cine de Hitchcock y las mujeres son sus portadoras: ellas introducen el factor erótico (figura 4). Hitchcock tenía una concepción sublime del sexo: “es mucho más interesante descubrir el sexo en una mujer a que ella te lo arroje a la cara” —solía responder cuando le preguntaban sobre el tema—. En sus películas no hay sexo explícito y, cuando se hace evidente, parece convertirse en una condena para su portadora, en una anticipación al desenlace (*Psicosis*, *Frenesí*). El sexo va descubriéndose en el proceso de contar la historia, llenándola de connotaciones,

mostrándose a través de símbolos inequívocos y actuando de forma decisiva en los hechos. Generalmente perturbando de forma fatal el ánimo y conocimiento del personaje masculino (*Vértigo*).

El cineasta François Truffaut le dijo a Hitchcock en su famosa entrevista que *en toda su obra se respira con fuerza el olor del pecado original y el sentimiento de culpabilidad del hombre*. A lo que Alfred Hitchcock contestó: *¿Cómo puede decir eso cuando tenemos siempre el tema del hombre inocente que se halla constantemente en peligro?*

El conflicto entre el orden y el caos, al que ya hemos hecho referencia, es otra de esas constantes en la factura Hitchcock (*Con la muerte en los talones*, *Los 39 escalones*). El orden es

interpretado como una concepción vital que implica la confianza en unos principios explicativos de la existencia. La existencia puede llegar a ser explicada y resultar complaciente. Esta es la convicción primordial de los personajes antes de que Hitchcock aplique a “ese mundo real” la dosis de irrealidad, de locura, de caos que, por lo general introduce el personaje femenino. Frente al enfoque confortable del orden, el caos representa la imposibilidad del conocimiento y garantiza la existencia del misterio y desencadena la siguiente vuelta de la espiral: el miedo (figura 5).

Miedo concebido como una emoción similar al amor e incluso al frenesí. El miedo desata el mecanismo del suspense como un sentimiento reflejo provocado por las descargas de tensión que recibe el



Figura 3. El vértigo de Scottie le hace perder a Madeleine. ¿Miedo a las alturas o pánico a las relaciones sentimentales?

## La mujer que idealiza Hitchcock obedece al perfil de la *femme fatale* característica del cine negro, una mujer que, a ojos de los hombres, guarda un delicado equilibrio entre las fuerzas del Bien y del Mal

espectador. Alfred Hitchcock emplea sistemáticamente los puntos de vista de los personajes para provocar el acercamiento y la identificación del espectador con los personajes y conseguir que viva el drama desde la posición del conocimiento o de la ignorancia. Son muchas las secuencias de su cine en las que se combina el movimiento de cámara y montaje para que el espectador se ponga en el lugar de sus personajes. Se denomina planificación subjetiva. Si el espectador ve lo mismo que ellos, sentirá empatía por ellos y puede convertirse en el héroe o en el malvado al desatar todos sus instintos ocultos (figura 6). Pero también puede suceder que el espectador sea informado con anterioridad, posea información privilegiada frente al desamparado personaje y sienta en sus propias carnes el vértigo de la impotencia y del miedo. Hitchcock era un genio traduciendo sus miedos y deseos subconscientes más íntimos al lenguaje cinematográfico convirtiéndolos en pesadillas de angustioso desarrollo narrativo y enigmático final. Al tratarse de temas universales, el espectador comparte con él, con los personajes, dichos miedos y deseos y es por esto que el director aún está en la consciencia del público, rabiosamente fresco.

Hitchcock nunca se dejó analizar a través de su obra. En cierta ocasión declaró: "En mis películas no hablo de mí". Él nunca demostró sus debilidades pero sus personajes siempre fueron lastrados con el ser, el deber ser y el querer ser que anhelaba.



Figura 4. "Lujuria criminal de los hombres" en Frenesí.

Tras un estilo cinematográfico marcado por la complejidad, la exclusiva visión de la condición humana y el tono irónico y lúdico de niño consentido, su narrativa responde a la intención de obligar al espectador a entregarse a la inercia de la trama y, ya en el clímax, descubra lo que las apariencias ocultan. Hitchcock descubrió cuán falaz es la conquista de la realidad por la ambición humana.

### Evas: ángeles caídos, diablos angelicales o mundanas serpientes

La mujer que idealiza Hitchcock obedece al perfil de la *femme fatale* característica del cine negro, una mujer que, a ojos de los hombres, guarda un delicado equilibrio entre las fuerzas del Bien y del Mal (materialización perfecta de ese binomio Hitchcock siempre en tensión); un extraño carácter entre venenoso y perverso al tiempo que analgésico y terriblemente atractivo. Un ser divino estigmatizado por el pecado de la primera mujer que emplea su aparente fragilidad para condenar al hombre y sumergirle en un torbellino de pensamientos y emociones del que sólo ella puede redimirlo. Esta fascinación por el misterio de lo femenino no es patrimonio exclusivo del pensamiento Hitchcock, otros autores y cineastas se han dejado atrapar por lo femenino (*La mujer del cuadro*, Fritz Lang; *Testigo de cargo*, Billy Wilder...).

Hitchcock omnipotente se venga de ellas, manipula sus destinos, controla sus vidas y hasta como piensan, les impone su estilo



Figura 5. La protagonista intenta huir de sus secuestradores en *El hombre que sabía demasiado*.



Figura 6. La perversa señora Danver atormenta con el fantasma de Rebeca a la joven esposa de Winter.

encorsetándolas en trajes y tacones imposibles, seleccionando con obsesión fetichista hasta el rojo de labios y, sometidas a sus designios divinos, las suelta en un entorno que les es hostil y observa con dedicación sádica su comportamiento. Sin embargo, incluso en la ficción por él creada, ellas no dejan de sorprenderle y fascinarle. Construida en todos sus *films* la mujer perfecta, la que sistemáticamente lo rechaza... intenta destruirla una y otra vez, asfixiarla literalmente con la fuerza que se desencadena de la espiral del suspense (figura 7).

Creadas a imagen y semejanza de su deseo, las expone a la materialización de las obsesiones de sus personajes masculinos, proyección de las suyas propias, rendidos al poder de la seducción. Luego descubre el genio que la mujer-víctima, a quien condena en sus películas, se convierte en cómplice, en artífice, mientras que los personajes masculinos para quienes ellas fueron creadas, sucumben seducidos por sus



Figura 7. Hitchcock dirige a una aterrorizada Janet Leigh durante el rodaje de la escena en la ducha de Psicosis. Aquella escena de 78 planos tardó siete días en ser rodada.

encantos... alcanzando así la sublimación de la espiral narrativa del suspense (figura 8).

Volviendo a la estructura narrativa, podríamos decir según esta hipótesis que:

1. La mujer como personaje dentro de la realidad de la ficción encarna las obsesiones, las debilidades, las contradicciones sentimentales, la falsa frialdad, la sexualidad, en definitiva: el objeto de deseo.

(...) cuando abordo cuestiones sexuales en la pantalla no me olvido de que también ahí, el suspense lo es todo. Si el sexo es demasiado llamativo y demasiado evidente, no hay suspense. Busco mujeres de mundo, verdaderas damas que se convertirán en prostitutas en el dormitorio (...)

2. La indómita naturaleza femenina se rebela al personaje y al creador: la ambigüedad, la fuerza, la inteligencia emocional, las connotaciones personales de las actrices, la unicidad, el aura de las grandes princesas, la belleza encarnan el misterio del deseo. Lo intocable de cualquier mujer. El más profundo anhelo de Hitchcock. Su obsesión.

Hemos hablado del creador y de ese "oscuro objeto de deseo" suyo que



Figura 8. Lisa señala a Jeff en La ventana indiscreta la alianza que prueba que la señora Thorwald fue asesinada. ¿O tal vez se trata de una propuesta de matrimonio?

convierte a los personajes femeninos en rotor principal de sus estructuras fílmicas.

La literatura, la psicología, la filosofía, la religión y los mitos son fuentes imprescindibles para interpretar el cine de Hitchcock. No hay duda de que autores como Schopenhauer, Poe, Nietzsche, Freud, Nabokov, Highsmith, Borges, Dahl; patologías como el sadismo, la necrofilia, el vértigo, las fobias, la misoginia, los complejos de inferioridad y de culpa. O los mitos de Pigmalión y Galatea, de Orfeo y Eurídice son algunos de los muchos nombres que más se recuerdan cuando se intenta analizar cualquiera de sus películas. Las conexiones se multiplican hasta infinito por cada persona que observa *Rebeca*, *Vértigo*, etc. Aunque aquellos que las hemos visto decenas de veces nos afanemos en encontrar un denominador común y referencias en la, no ya historia del cine, sino en la historia de la Humanidad, siempre habrá algo que se nos escape y que nos haga reconocer, al final de las muchas vueltas de su particular *abrazo narrativo*, que Hitchcock vuelve a salirse con la suya. Ya lo hizo en vida al ocultarse tras una personalidad distante e irónica. Porque el secreto de un mago es jamás revelar su secreto. Conformémonos con el misterio.

El cine de este genio despierta una increíble necesidad de saber. El peor miedo es aquel a lo desconocido, a no saber. Hitchcock encarna el miedo ancestral a lo desconocido en la imponente hembra rubia que seduce su mente, a sus personajes, pero que aniquila su ego. Y él dijo: *El suspense es como una mujer; cuanto más se recrea la imaginación, así crece y se recrea el éxtasis*. Es una atracción peligrosa pero irresistible... (figura 9).

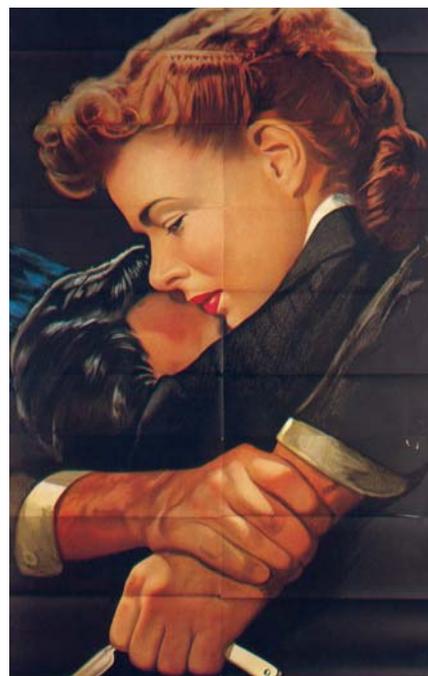


Figura 9. Cartel promocional de Recuerda.

No se resistan a sus miedos, pasen y vean... una mujer rubia apaga la luz. Usted está inmerso en la más profunda oscuridad...

### Agradecimientos

A José Luis Barrera, Eduardo Rodríguez Merchán y Miguel Ángel Salcedo, por sus valiosas sugerencias e inestimable consejo.

### Bibliografía

- Truffaut, F. (1994). *El cine según Hitchcock*. Alianza, Madrid.
- Spoto, D. (1998). *Alfred Hitchcock. La cara oculta del genio*. T&B Editores. Madrid.
- McGilligan, P. (2005). *Alfred Hitchcock. Una vida de luces y sombras*. T&B Editores. Madrid.
- Gottlieb, S. Ed. (2000). *Hitchcock por Hitchcock*. Plot Ediciones. Madrid.
- Modleski, T. (1988). *The women who know too much*. Routledge. Londres.
- Kaplan, E. A. (1980). *Women in film noir*. Routledge. Londres.
- Aulier, D. (1999). *Hitchcock's secret notebooks*. Bloomsbury. Londres.

# El límite de placas **Scotia-Antártica**: tectónica reciente y activa en una zona de transcurrencia cortical

Se analiza en detalle la deformación relacionada con el límite de placas Scotia-Antártica y se describen las principales estructuras de la Dorsal Sur de Scotia y la Zona de Fractura Shackleton (paso de Drake) a partir de datos batimétricos, gravimétricos y perfiles de sismica multicanal obtenidos en el BIO Hespérides, junto con otros datos globales de gravimetría y batimetría, derivados de satélite, y de sismicidad en la región, para determinar la actividad tectónica actual.

**TEXTO** | Bohoyo, F.<sup>1</sup>, Galindo-Zaldívar, J.<sup>2</sup>, Hernández-Molina, F.J.<sup>3</sup>, Lobo, F.J.<sup>4</sup>, Jabaloy, A.<sup>5</sup>, Maldonado, A.<sup>4</sup>, Rodríguez-Fernández, J.<sup>4</sup>, Somoza, L.<sup>1</sup>, Schreider, A. A.<sup>6</sup>, Suriñach, E.<sup>6</sup>, Vázquez, J.T.<sup>7</sup>

Palabras clave

**Antártida, Arco de Scotia, tectónica, sismicidad.**

La fragmentación de la conexión continental entre Sudamérica y la Península Antártica y el desarrollo de las placas de Scotia y Sandwich, desde hace 30-35 Ma, son responsables de la configuración actual del Arco de Scotia. El límite de placas Scotia-Antártica establece una zona tectónica muy compleja, ya que involucra tanto elementos de corteza continental como oceánica. Las principales estructuras tectónicas observadas en el área incluyen cuencas profundas extensivas, compresivas y de *pull-apart*. La geometría del límite está condicionada por el contraste reológico entre cortezas, con la mayor parte de la deformación concentrada en los bloques continentales de la Dorsal Sur de Scotia.

## Introducción

El desarrollo del Arco de Scotia entre las placas mayores de Sudamérica y Antártica constituye el hito tectónico más importante en el Atlántico meridional desde el Oligoceno. La conexión continental entre Sudamérica y la Península Antártica se rompió durante el desarrollo del arco, dando lugar a la dispersión de bloques

continentales y la unión de los océanos Atlántico y Pacífico (Barker y Burrell, 1977; King y Barker, 1988; Barker et al., 1991; Livermore et al., 1994; Aldaya y Maldonado, 1996; Maldonado et al., 1998; Barker 2001). La parte interna de este arco tectónico está formada por las placas menores de Scotia (que le da nombre) y Sandwich, principalmente compuestas de corteza oceánica, y separadas entre sí por la dorsal de expansión activa, Dorsal Este de Scotia (*figura 1*). Los límites septentrional y meridional del Arco de Scotia tienen una orientación general E-O y acomodan el movimiento relativo de componente sinistral entre las placas Sudamericana y Antártica. Sin embargo, tanto el límite oriental como el occidental del arco tectónico muestran diferente carácter. Mientras que el límite oriental queda determinado por la subducción activa de la placa Sudamericana bajo la placa Sandwich (Larter et al., 2003; Livermore, 2003), el occidental se localiza en la Zona de Fractura Shackleton, una zona de falla activa de orientación NO-SE de carácter transpresivo sinistral con importantes relieves y pequeñas cuencas de *pull-apart* (Maldonado et al., 1998; Livermore et al., 2000, 2004) (*figura 1*).

La evolución tectónica del límite de placas ha determinado la individualización y amalgamación de un importante número de elementos oceánicos y continentales. El sector meridional de la placa de Scotia está formado por la expansión oceánica de la Dorsal Oeste de Scotia y de varias cuencas pequeñas (cuencas Protector, Dove y Scan) flanqueadas por bloques de corteza continental adelgazada (Terror Rise y bancos Pirie, Bruce y Discovery). El bloque de las Shetland del Sur constituye un elemento tectónico separado de la terminación septentrional de la Península Antártica por el desarrollo del estrecho de Bransfield (Aldaya y Maldonado, 1996) (*figura 1*). La placa Antártica está formada tanto por corteza continental como oceánica. Hacia el NE la corteza continental de la Península Antártica da paso a la Cuenca Powell, de naturaleza oceánica, formada por la deriva hacia el Este del Microcontinente de las Orcadas del Sur (MOS) (King y Barker, 1988; Barker et al., 1991; Rodríguez-Fernández et al., 1994, 1997; Eagles y Livermore, 2002). La cuenca y el arco Jane, que se localizan en el borde S y SE del MOS, constituyen un sistema de arco y cuenca de retroarco relacionado con la subducción de la corteza oceánica del mar de Weddell.

1. Instituto Geológico y Minero de España. C/ La Calera, 1, 28760, Tres Cantos, Madrid. f.bohoyo@igme.es

2. Departamento de Geodinámica, Universidad de Granada.

3. Departamento de Geociencias Marinas. Facultad de Ciencias del Mar. Universidad de Vigo.

4. Instituto Andaluz Ciencias de la Tierra. CSIC/Universidad Granada. Facultad de Ciencias.

5. P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscú, Rusia.

6. Departament de Geologia Dinàmica i Geofísica. Universitat de Barcelona.

7. Departamento de ciencias de la Tierra. Universidad de Cádiz.

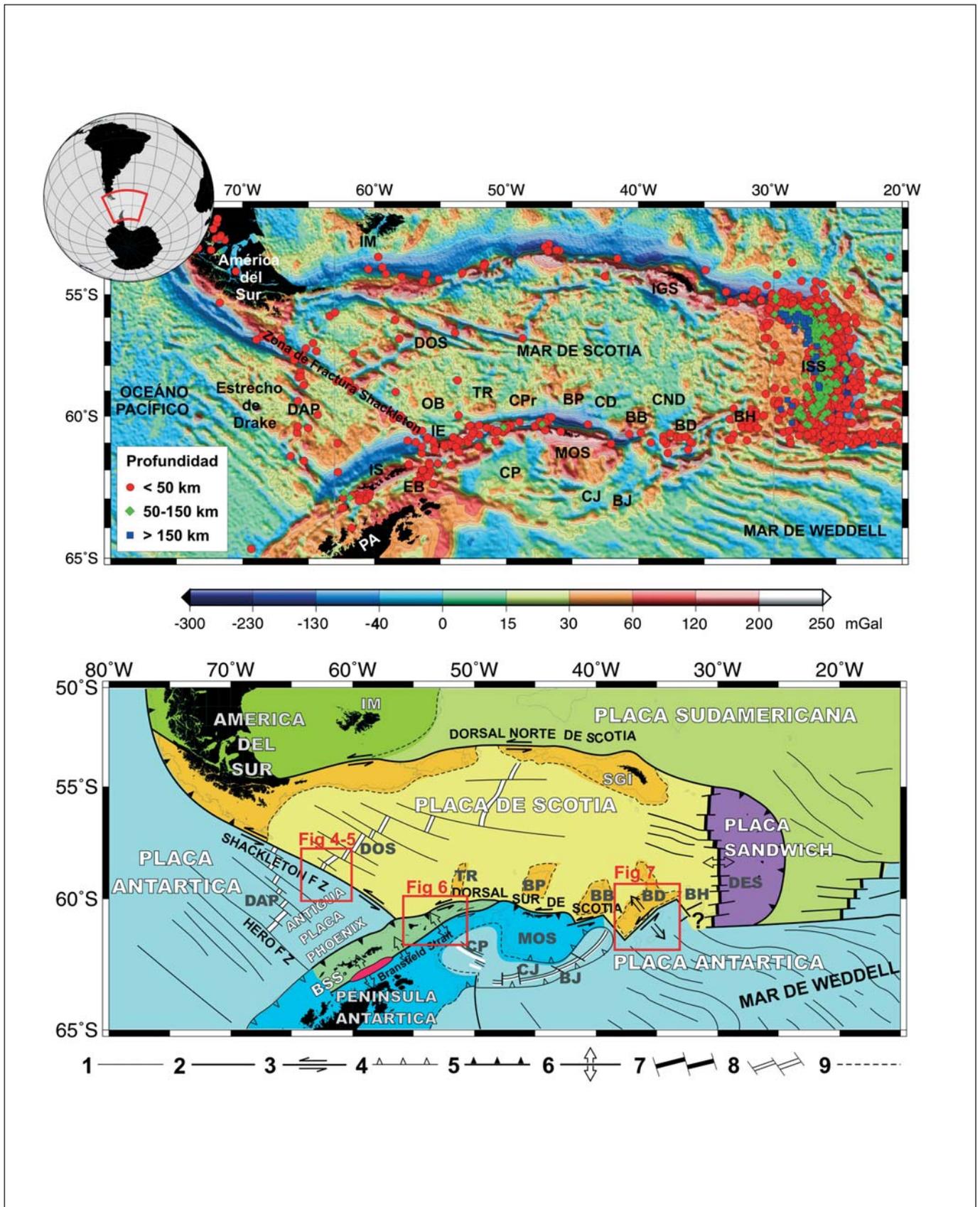


Figura 1. Mapa de anomalía gravimétrica de aire libre de satélite del Arco de Scotia con la localización de los principales epicentros de terremoto (arriba). Base de datos gravimétricos de aire libre de Sandwell y Smith (1997). Esquema general con las principales placas y elementos tectónicos (abajo). Los principales elementos tectónicos y geográficos son: BB, Banco Bruce; BD, Banco Discovery; BJ, Banco Jane; BH, Banco Herdman; BP, Banco Pirie; CD, Cuenca Dove; CJ, Cuenca Jane; CND, Cuenca Norte Discovery; CP, Cuenca Powell; CP, Cuenca Protector; DAP, Dorsal Antártica-Phoenix; DOS, Dorsal Oeste de Scotia; EB, Estrecho de Bransfield; IE, Isla Elefante; IGS, Isla Georgia del Sur; IM, Islas Malvinas; IS, Islas Shetland; ISS, Islas Sandwich del Sur; MOS, Microcontinente de las Orcadas del Sur; OB, Cuenca Ona; PA, Península Antártica. 1, falla transformante inactiva; 2, falla transformante activa; 3, sentido de movimiento; 4, subducción inactiva; 5, subducción activa; 6, eje de expansión; 7, dorsal de expansión oceánica activa; 8, dorsal de expansión oceánica inactiva; 9, límite corteza oceánica-continental. Las áreas estudiadas en detalle están enmarcadas en rojo.

Hacia el Este, un complejo conjunto de bloques continentales al sur del Banco Discovery muestran evidencias de la actividad tectónica asociada al límite activo de placas (Maldonado et al., 1998; Galindo-Zaldívar et al., 2002) (figura 1).

La distribución de los epicentros de terremotos evidencian los límites de placas alrededor del Arco de Scotia (figura 1). La mayor parte de la actividad sísmica se concentra en la parte oriental del arco, donde la placa Sudamericana se introduce bajo la placa Sandwich. Todos los eventos profundos (>150 km) e intermedios (50-150 km) se concentran aquí, mientras que los otros límites están descritos por eventos superficiales (0-50 km). La segunda región con mayor actividad tectónica se localiza en la Dorsal Sur de Scotia Occidental (DSSO), entre las islas Shetland del Sur y las islas Orcadas del Sur (figura 1). El análisis de los mecanismos focales de terremotos apunta a un régimen regional de esfuerzos caracterizado por una compresión de dirección NE-SO, con perturbaciones locales (Pelayo y Wiens, 1989; Galindo-Zaldívar et al., 1996 y Thomas et al., 2003).

El principal objetivo de este trabajo es analizar en detalle la deformación relacionada con el límite de placas Scotia-Antártica y describir las principales estructuras de la Dorsal Sur de Scotia y de la Zona de Fractura Shackleton (paso de Drake) a partir de datos batimétricos, gravimétricos y perfiles de sísmica multicanal obtenidos en el BIO Hespérides, junto a otros datos globales de gravimetría y batimetría (Sandwell y Smith, 1997 y Smith y Sandwell, 1997), derivados de satélite, y de sismicidad en la región, para determinar la actividad tectónica actual (figura 1).

### Metodología geofísica marina y otros datos disponibles

En los últimos 15 años, se ha adquirido un importante conjunto de datos geofísicos en la rama meridional del Arco de Scotia y en el paso del Drake, a partir de diversas campañas a bordo del buque oceanográfico Hespérides (figura 2). Este datos incluyen perfiles de sísmica de multicanal (SMC), gravimetría, magnetometría y sonda multihaz, obtenidos

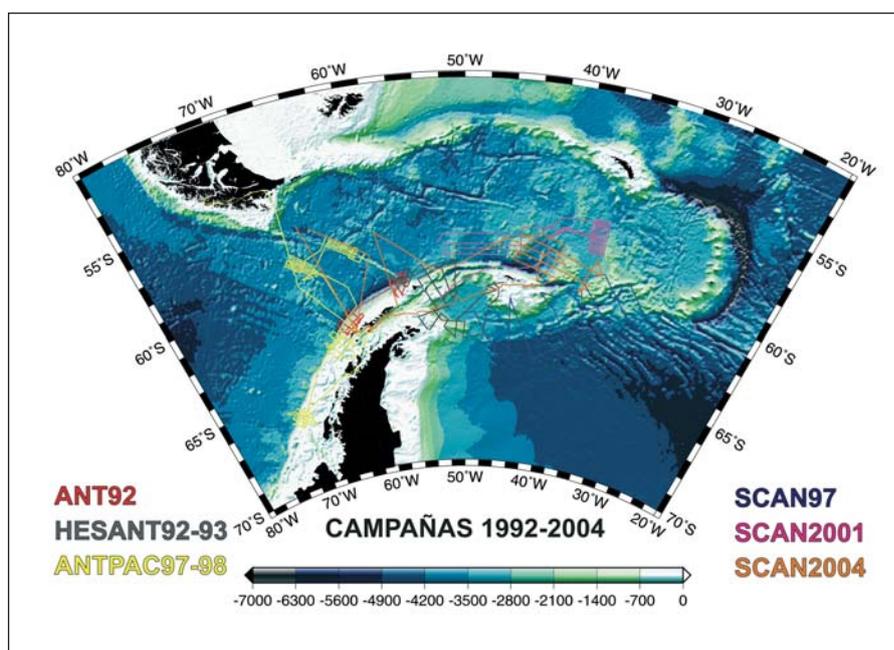


Figura 2. Mapa de localización de las campañas oceanográficas realizadas por el equipo de investigación.

en transectos perpendiculares y paralelos al límite de placas Scotia-Antártica. La mayor parte de los datos usados en este trabajo provienen de las campañas antárticas HESANT92-93, SCAN-97 y ANTPAC97-98 (figura 2).

Los perfiles de sísmica de reflexión multicanal (SMC) permiten obtener una representación de las estructuras bajo el fondo marino a partir de las características de propagación del sonido a través de éstas. Los perfiles de SMC se obtuvieron con una sarta de cinco cañones de aire comprimido BOLT, con un volumen total de 22,4 l, y un *streamer* (manguera de plástico rellena de keroseno que contiene los hidrófonos) TELEDYNE de 2.400 m de longitud y 96 canales (hidrófonos) (figura 3). El intervalo de disparo fue de 50 m y los datos fueron registrados en un sistema digital DFS V con un intervalo de grabación de 2 ms en grabaciones de 10 s de longitud. Los datos se procesaron siguiendo una secuencia estándar que incluye migración con los sistemas DISCO/FOCUS y ProMAX.

A partir de los datos de batimetría multihaz se puede obtener una imagen detallada de la morfología del fondo. Los rasgos topográficos están estrechamente ligados tanto a rasgos tectónicos (fracturas, dorsales, cuencas, fábrica oceánica, etc.)

La mayor parte de la actividad sísmica se concentra en la parte oriental del arco, donde la placa Sudamericana se introduce bajo la placa Sandwich

como a rasgos sedimentarios (canales, depósitos gravitacionales y de corriente, etc.). La batimetría de detalle se obtuvo a partir de la sonda SIMRAD EM-12S que trabaja a una frecuencia de 13 Khz y en un rango que va de los 50 a los 11.000 m de profundidad con una cobertura angular máxima de 120°. Los datos brutos se procesaron a bordo con el software NEPTUNE, y la representación de los mismos se realizó con el software GMT y FLEDERMAUS (figura 3).

Los datos gravimétricos se obtuvieron con un gravímetro marino BGM-3 de Bell Aerospace, con una precisión de hasta 0,01 mGal y almacenados en un PC cada 10 s. El gravímetro está expuesto a una aceleración centrípeta que reduce la lectura de la gravedad si el movimiento

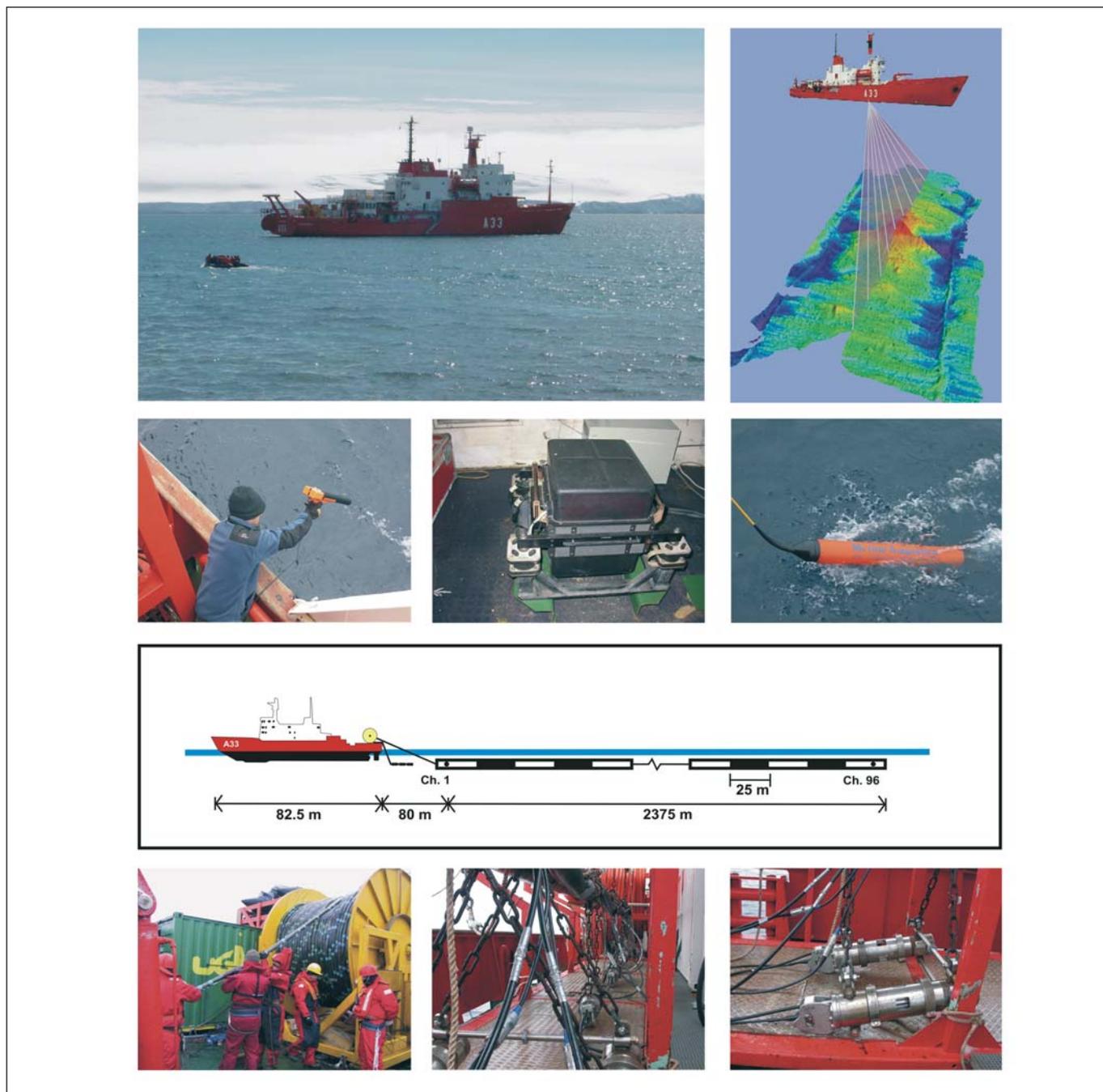


Figura 3. Equipos de adquisición de datos geofísicos marinos. Buque oceanográfico Hespérides en la Antártida durante la campaña SCAN2004. Esquema de la adquisición de datos batimétricos. Obtención de un perfil de velocidades en el agua mediante perfilador SIPICAN. Gravímetro marino. Magnetómetro marino. Esquema de sistema de sísmica multicanal. Maniobra de despliegue del streamer desde el portalón de popa. Detalles de cañones de comprimido. (De izquierda a derecha y de arriba a abajo.)

del barco es hacia el Este y la aumenta si es hacia el Oeste, por lo que para obtener la anomalía gravimétrica de aire-libre, hay que realizar una corrección adicional, denominada de Eötvös, y que tiene en cuenta este movimiento de la plataforma. Se han desarrollado modelos gravimétricos con el programa GRAVMAG (Pedley et al., 1993) a partir de la anomalía gravimétrica de aire-libre del barco y de la geometría inferida de los perfiles de SMC, los cuales han permitido

determinar, de forma local, la posición de la Moho. Las atribuciones de densidad para la modelización gravimétrica corresponde a cada litología (Telford et al., 1990) y la posible naturaleza cortical de los diferentes elementos involucrados, con variaciones menores con el fin de lograr un mejor ajuste (manto, 3,35 g/cm<sup>3</sup>; basamento de corteza continental, 2,67 g/cm<sup>3</sup>; corteza de naturaleza intermedia, 2,80 g/cm<sup>3</sup>; basamento de corteza oceánica, 2,88 a 3,00 g/cm<sup>3</sup>; sedimentos, 2,30 a 2,50 g/cm<sup>3</sup>

y agua marina 1,03 g/cm<sup>3</sup>). Estos valores de densidad son similares a los utilizados en otros modelos gravimétricos del mar de Weddell meridional, en un contexto tectónico similar.

Además, se han tenido en cuenta los datos batimétricos y gravimétricos procedentes del satélite GEOSAT (Smith y Sandwell, 1997; Sandwell y Smith, 1997), que permiten cubrir regiones más amplias y en gran parte con ausencia de datos de barco.

La ZFS forma parte así del sistema de fallas sinistras que acomodan el movimiento relativo entre las grandes placas Sudamericana y Antártica en todo el entorno del mar de Scotia

### Estructura cortical del límite de placas Scotia-Antártica

En el actual límite de placas Scotia-Antártica se pueden diferenciar dos sectores tanto por sus características morfológicas y reológicas, como por la orientación del límite. La Zona de Fractura Shackleton comprende el límite entre las cortezas oceánicas de la placa de Scotia, situada al Este, y de la extinta placa Phoenix (que forma parte de la placa Antártica desde hace 3,3 Ma y que cesó la actividad en la dorsal Phoenix) al Oeste, y que tiene una orientación aproximada NO-SE. La Dorsal Sur de Scotia, con una orientación aproximada E-O, implica elementos de corteza continental y separa en términos generales las cortezas oceánicas del mar de Scotia al Norte y del mar de Weddell al Sur (figura 1).

### Zona de Fractura Shackleton

La Zona de Fractura Shackleton (ZFS) se sitúa en el área central del paso de Drake, se dispone con una orientación NO-SE y está constituida por una serie de relieves estrechos (~15 km) y alargados, a los que se adosan profundas depresiones, que, en su conjunto, suman ~500 km. Estos altos sobresalen del fondo circundante hasta 2.000 m y se disponen de forma paralela a la zona de fractura (figura 4).

La complejidad de la zona de fractura implica la existencia de un régimen tectónico que ha favorecido el desarrollo de cuencas

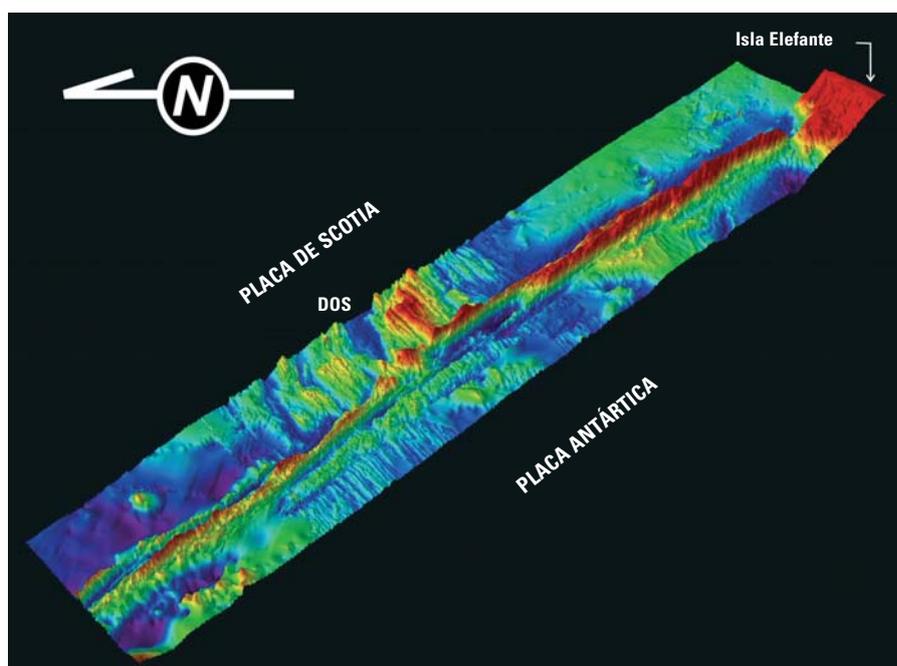


Figura 4. Imagen tridimensional de la Zona de Fractura Shackleton a partir de datos batimétricos de alta resolución (sonda multihaz).

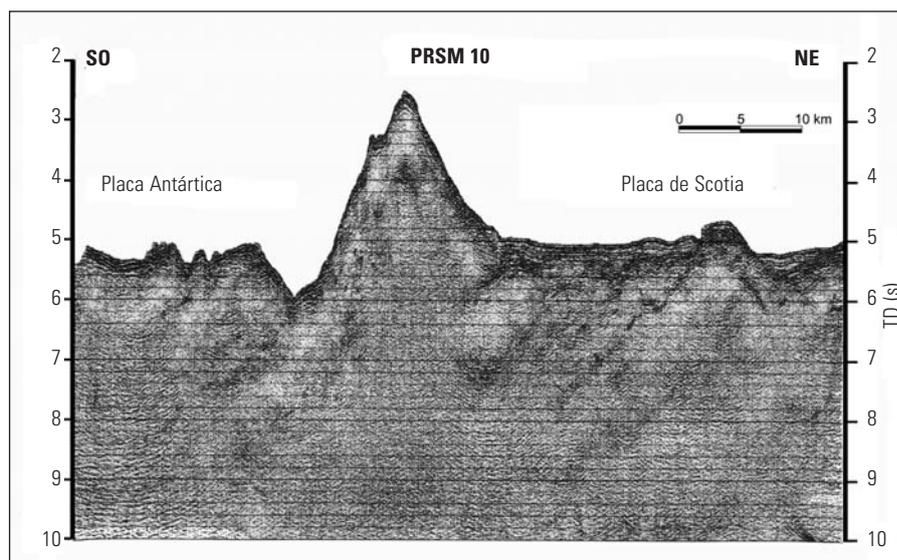


Figura 5. Perfil de sísmica multicanal PRSM10, campaña ANTPAC97-98, que atraviesa la Zona de Fractura Shackleton.

extensivas y altos transpresivos (Galindo-Zaldívar et al., 2000). La Zona de Fractura Shackleton intersectó a la Dorsal Oeste de Scotia (DOS) y a la Dorsal Phoenix-Antártica (DPA), ambas dorsales de expansión oceánica extintas, y constituyó una transformante dorsal-dorsal. La última extinción, la dorsal Phoenix-Antártica, hace 3,3 Ma transforma definitivamente a la ZFS como límite entre ambas placas (Livermore et al., 2000). La evolución geodinámica de la región (Maldonado et al., 1998; Barker, 2001), la actividad sísmica (Pelayo y Wiens, 1989) y los datos tectónicos (Galindo-Zaldívar et al., 1996) sugieren una evolución compleja, con

movimientos de salto en dirección a lo largo de la zona de fractura desde hace al menos 29 Ma. La ZFS forma parte así del sistema de fallas sinistras que acomodan el movimiento relativo entre las grandes placas Sudamericana y Antártica en todo el entorno del mar de Scotia y, específicamente, del límite Scotia-Antártica (Livermore et al., 1994).

En la actualidad, la ZFS es una zona de falla transpresiva sinistral, como muestra el campo de esfuerzos actuales (Galindo-Zaldívar et al., 1996), que conecta la fosa de Chile con la fosa de las Shetland del Sur y el límite meridional de la placa

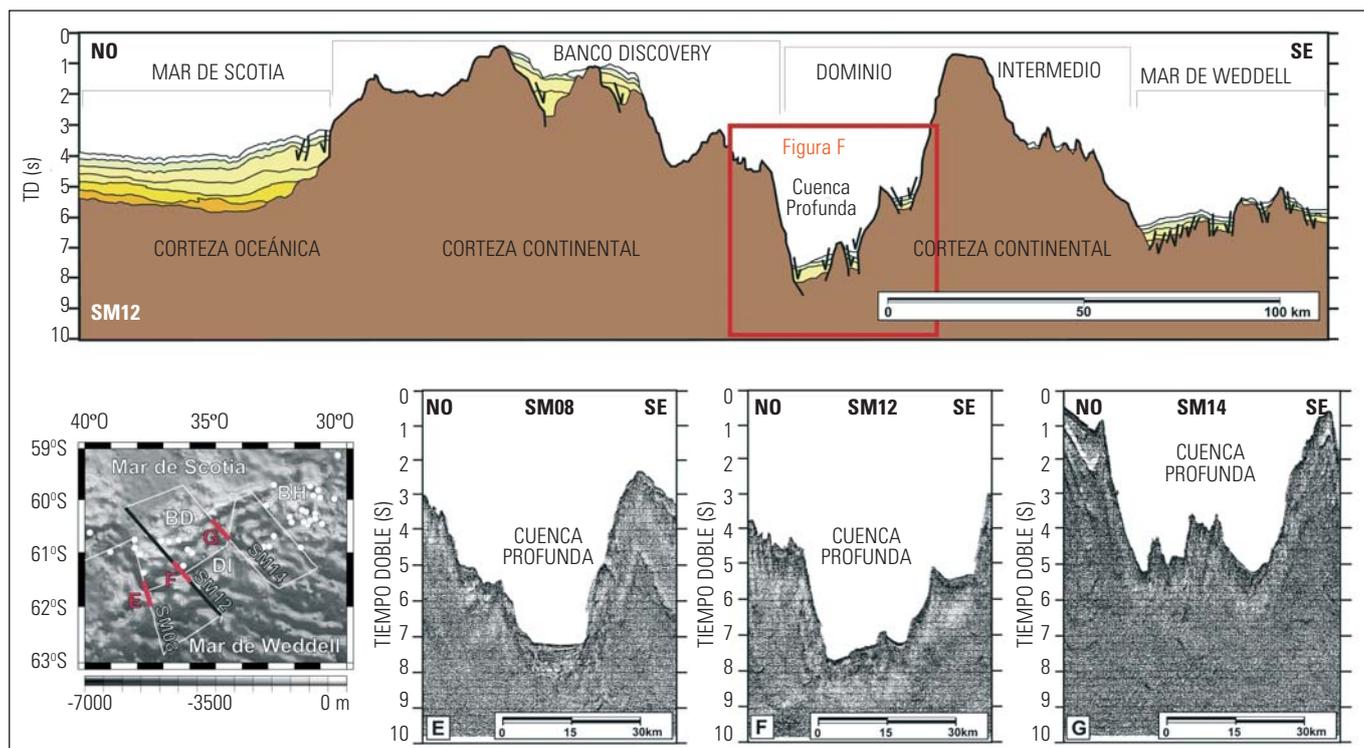


Figura 6. Interpretación del perfil de sísmica multicanal SM12, campaña SCAN97, e imágenes de detalle de la Cuenca Profunda situada entre el Banco Discovery y el Dominio Intermedio. Posición de los perfiles de SMC sobre batimetría del sector estudiado.

de Scotia. Las cortezas oceánicas de la ZFS y de la Dorsal Occidental de Scotia (DOS) están engrosadas respecto a una corteza oceánica normal, debido a la superposición de eventos compresivos (figura 4). La ZFS es activa, con una estructura similar a ambos lados de su intersección con la DOS, donde se observa un engrosamiento importante debido al cabalgamiento de las rocas de la zona de fractura sobre la DOS. En el mar de Scotia, las estructuras compresivas posteriores se sitúan en las zonas más débiles y recientes de la corteza oceánica de la DOS, aprovechando de este modo la zona de expansión (Galindo-Zaldívar et al., 2000) (figuras 4 y 5).

En la prolongación meridional de la ZFS se sitúa la isla Elefante, donde la ZFS subduce bajo el bloque de las Shetland del Sur. Esta isla permite estudiar las deformaciones del punto triple entre las placas de Scotia, Antártica y el bloque de las Shetland del Sur. La subducción de la corteza oceánica engrosada de la ZFS produce localmente una elevación cortical en el bloque de las Shetland del Sur, que determina un relieve escarpado en la isla Elefante y el afloramiento de esquistos

azules metamorizados en profundidad durante la subducción (Trouw et al., 2000). Hacia el Oeste, esta zona de subducción es más activa, con una fosa de las Shetland del Sur bien desarrollada, separando la placa Antártica (extinta placa Phoenix) del bloque de las Shetland del Sur (figura 4).

### Dorsal Sur de Scotia

La Dorsal Sur de Scotia (DSS) está formada por un conjunto complejo de altos y cuencas pequeñas y estrechas desarrolladas en una corteza continental estirada que se extiende desde la terminación NE del estrecho de Bransfield hasta el límite oriental del Banco Discovery. Esta barrera continental separa las cortezas oceánicas del mar de Scotia, al Norte, y del mar de Weddell, al Sur, y formó parte de la conexión continental entre América del Sur y la Península Antártica. La evolución de este sector del límite de placas es muy compleja y está ligada a la evolución del arco, la dispersión continental y la apertura de las cuencas meridionales del mar de Scotia. El fin de la expansión de estas cuencas, 15 a 12 Ma (Bohoyo, 2004) y de la Dorsal Oeste de Scotia,

hace 3,3 Ma (Livermore et al., 2000), junto al establecimiento definitivo de la expansión oceánica de la Dorsal Este de Scotia en la parte más externa del arco, 15 Ma hasta el presente (Larter et al., 2003), y el actual régimen general de esfuerzos de compresión NE-SO en la región, han determinado el carácter sinistral del límite.

La deformación actual en esta dorsal, evidenciada a partir de la sismicidad y los perfiles de sísmica de multicanal, es principalmente resultado de la actuación de fallas sinistras de carácter diverso. De Este a Oeste, éstas deforman la parte central y meridional del Banco Discovery, localizado en el sector oriental de la DSS, continúan a lo largo del borde septentrional del microcontinente de las Orcadas del Sur en la parte central de la DSS. En los bloques continentales de la DSS occidental, estas muestran un carácter transtensivo de componente sinistral (Acosta y Uchupi, 1996; Galindo-Zaldívar et al., 1996; Bohoyo et al., 2007); y finalmente el desplazamiento es transferido a las fallas normales en el estrecho de Bransfield, localizadas entre el bloque de las Shetland del Sur y la Península Antártica (Acosta y Uchupi,

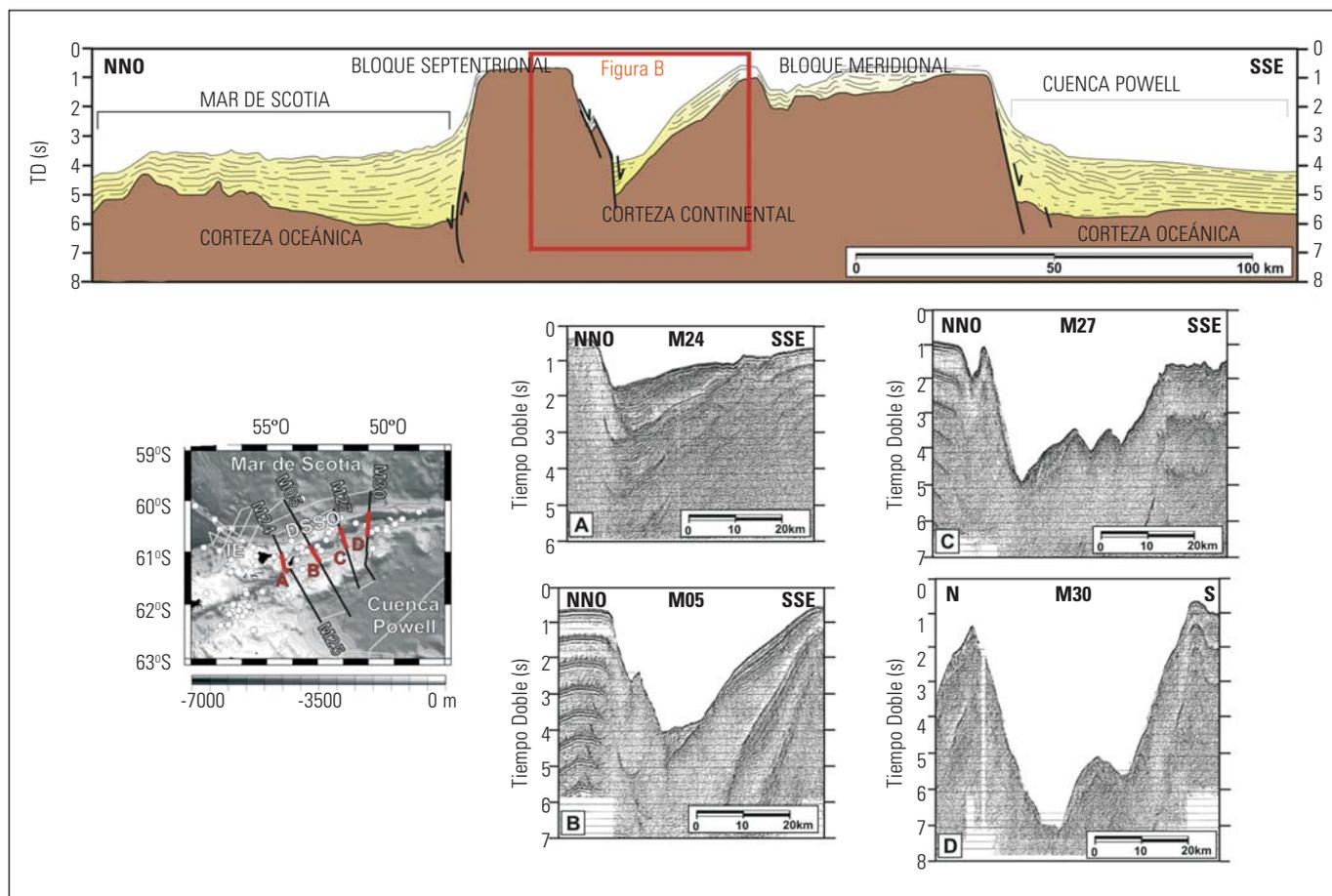


Figura 7. Interpretación del perfil de sísmica multicanal M05, campaña HESANT92-93, e imágenes de detalle de las cuenca interiores de la Dorsal Sur de Scotia Occidental. Posición de los perfiles de SMC sobre batimetría del sector estudiado.

1996; Aldaya y Maldonado, 1996; Galindo-Zaldívar et al., 1996, 2004; González-Casado et al., 2000; Bohoyo et al., 2007). El límite septentrional de la parte central y occidental de la DSS está determinado por una zona de subducción o de falla inversa que cabalga los bloques continentales de la dorsal sobre la corteza oceánica de la placa de Scotia.

El Banco Discovery (BD) constituye el fragmento de corteza continental más extenso del sector oriental de la DSS. Los modelos gravimétricos desarrollados a lo largo de varios perfiles, junto con los perfiles de SMC han permitido determinar su espesor cortical en al menos 14 km en la parte central del banco. En la parte septentrional del BD se sitúa la corteza oceánica del mar de Scotia, con un relleno sedimentario de gran espesor y donde se han identificado localmente algunas fallas inversas o subverticales de dirección NE-SO. El borde meridional, más complejo, está intensamente deformado por fallas normales extensas con escarpes de hasta

4.500 m, y que desarrollan una cuenca estrecha y profunda que llega a alcanzar hasta 5.500 m de profundidad (figura 6). Estas fallas tienen una orientación ENE-OSO y un buzamiento hacia el SE en este borde. Se identifica otro alto elongado secundario paralelo a la cuenca y al borde meridional del BD y que, según los datos de gravedad y los de SMC, sugieren su pertenencia a un dominio cortical de naturaleza intermedia, ampliamente deformado por fallas normales y limitado hacia el sur por la corteza oceánica del mar de Weddell (figura 6). En el sector oriental y central del borde meridional del Banco Discovery, Cuenca Profunda y Dominio Intermedio, las fallas tienen una orientación NE-SO y salto normal, y son responsables del adelgazamiento cortical. Hacia la parte SO del BD y dentro del mismo, dominan los mecanismos focales de salto en dirección (figura 6). Las fallas activas son probablemente sinistras ENE-OSO a E-O, tal y como indica la alineación de epicentros de terremotos y las

soluciones de los mecanismos focales de terremoto.

El Microcontinente de las Orcadas del Sur (MOS) representa el mayor fragmento (70.000 km<sup>2</sup>) de corteza continental de la parte meridional del Arco de Scotia. La cuenca más reciente en el interior del MOS se orienta N-S y está relacionada con la fragmentación que dio paso a la apertura de la Cuenca Powell, durante el Oligoceno, y la posición actual del microcontinente (King y Barker, 1988). La inactividad de estos procesos de fragmentación en los márgenes occidental, meridional y oriental del MOS, y el fin de la expansión oceánica de las cuencas Powell y Jane, determinan la pertenencia del conjunto a la placa Antártica desde hace 14 Ma (Bohoyo et al., 2002, Bohoyo, 2004). Sin embargo, el margen septentrional del MOS se caracteriza por una zona de falla transcurrente activa de carácter sinistro. Dependiendo de la orientación del límite respecto al movimiento relativo de las placas, podemos encontrar secciones con

deformaciones compresivas, de salto en dirección o extensionales. El borde NNE, se caracteriza por una componente convergente que produce la subducción de la placa de Scotia bajo el MOS (placa Antártica), evidenciado por la sismicidad y un mínimo intenso de anomalía gravimétrica. Entre el MOS y el Banco Bruce se localiza una depresión controlada por fallas de salto en dirección E-O tal y como indican los mecanismos focales de terremotos.

La Dorsal Sur de Scotia Occidental (DSSO) esta formada por corteza continental, probablemente de naturaleza similar a la de la Península Antártica, localizada al Oeste, y a la del MOS situado al Este. La dorsal continental está rodeada hacia el Norte por las cortezas oceánicas de las cuencas Ona y Protector, y por la corteza continental adelgazada del Terror Rise. Este límite septentrional se resuelve mediante una falla inversa con buzamiento hacia el Sur, relacionada con una subducción antigua (Aldaya y Maldonado, 1996; Lodolo et al., 1997) y que localmente muestra un prisma de acreción, sellado por sedimentos más recientes (figura 7). Las fallas inversas asociadas con este límite tienen una dirección aproximada E-O a ONO-ESE. Sin embargo, la sismicidad y los escarpes de falla bien expuestos observados en los perfiles de SMC indican que la mayor parte de las deformaciones actuales se producen en la depresión central formada por varias cuencas profundas conectadas, que alcanzan los 5.500 m de profundidad (ej. Cuenca Hespérides entre otras), y que cruzan la dorsal de forma

ligeramente oblicua (figura 7). La depresión se relaciona con una importante sismicidad y con escarpes que buzando al Sur de dirección OSO-ENE a SO-NE. La geometría de las fallas y los mecanismos focales de terremoto indican un régimen actual transtensivo de carácter sinistro, aunque localmente se pueden localizar sectores transpresivos en la parte oriental de la dorsal (Galindo-Zaldívar et al., 1996). Finalmente, el bloque meridional de la DSSO está conectado con la corteza oceánica de la Cuenca Powell hacia el Sur, donde el límite lo determina una falla transformante inactiva, y que funcionó durante la migración del MOS hacia el Este (King et al., 1997). La depresión central de la DSSO se extiende hacia la dorsal de expansión del estrecho de Bransfield, lo que permite aislar tectónicamente el bloque continental de las Shetland del Sur (figura 7).

### Discusión y conclusiones

La distribución heterogénea de los bloques de corteza continental entre cortezas oceánicas origina la variación de orientaciones de cada sector del límite de placas Scotia-Antártica, y es responsable del desarrollo de las estructuras extensionales, de salto en dirección y compresivas. De este modo, las fallas orientadas E-O presentan un régimen sinistro neto y generalmente son subverticales, como en el sector NE del borde del Microcontinente de la Orcadas del Sur. Cuando la orientación de las fallas son NE-SO, comienzan a ser progresivamente extensionales, con dos juegos conjugados buzando hacia el NO

y el SE, y desarrolla cuencas profundas en el interior de los bloques continentales. Estas cuencas se observan tanto en la Dorsal Sur de Scotia Occidental, la Cuenca Hespérides y otras cuencas menores desconectadas, y que dividen el bloque continental en dos altos aislados, bloque septentrional y meridional. El borde meridional del Banco Discovery desarrolla la Cuenca Profunda en una situación análoga. La orientación general NO-SE de la Zona de Fractura Shackleton condiciona el carácter sinistro compresivo de la misma, tal y como evidencian las estructuras compresivas.

El límite de placas Scotia-Antártica, en la rama meridional del Arco de Scotia, constituye por tanto un ejemplo excepcional de deformación controlada tanto por los esfuerzos regionales como por el comportamiento reológico de los elementos tectónicos oceánicos y continentales emplazados durante una evolución tectónica compleja.

### Agradecimientos

Agradecemos muy sinceramente al Comandante, oficiales, tripulación y a la Unidad Tecnológica Marina del BIO Hespérides su esfuerzo en la obtención de estos datos, muchas veces bajo condiciones extremas. A la ingeniera geofísica Emilia Litcheva Gulmezova que con esfuerzo y brillantez ha procesado los datos de SMC. La CICYT subvencionó este trabajo de investigación a través de los proyectos CGL2004-05646/ANT y POL2006-13836/CGL (Proyecto Año Polar Internacional).

### Bibliografía

- Acosta, J. y Uchupi, E. (1996). Transtensional tectonics along the South Scotia Ridge, Antarctica. *Tectonophysics*, 267, 31-56.
- Aldaya, F. y Maldonado, A. (1996). Tectonics of the triple junction at the southern end of the Shackleton Fracture Zone (Antarctic Peninsula). *Geo-Marine Letters*, 16 (4), 279-286.
- Barker, P. F. (2001). Scotia Sea regional tectonics evolution: implications for mantle flow and palaeocirculation. *Earth Science Reviews*, 55, 1-39.
- Barker, P. F. y Burrell, J. (1977). The opening of Drake Passage. *Marine Geology*, 25, 15-34.
- Barker, P. F.; Dalziel, I. W. D. y Storey, B. C. (1991). *Tectonic development of the Scotia Arc region*. In: Tingey, R. J. (ed) Antarctic geology. Oxford University Press, Oxford, 215-248.
- Bohoyo, F.; Galindo-Zaldívar, J.; Maldonado, A.; Schreider, A. A. y Suriñach, E. (2002). Basin development subsequent to ridge-trench collision: the Jane Basin, Antarctica. *Marine Geophysical Researches*, 23 (5-6), 413-421.

- Bohoyo, F. (2004). *Fragmentación continental y desarrollo de cuencas oceánicas en el sector meridional del Arco de Scotia, Antártida*. PhD thesis, Granada University 252 pp.
- Bohoyo, F., Galindo-Zaldívar, J., Jabaloy, A., Maldonado, A., Rodríguez-Fernández, J., Schreider, A. y Suriñach, E. (2007). *Extensional deformation and development of deep basins associated with the siistral transcurrent fault zone of the Scotia-Antarctic plate boundary*. Geological Society, London, Specials Publications (en prensa)
- Eagles, G. y Livermore, R. A. (2002). Opening history of Powel Basin, Antarctic Peninsula. *Marine Geology*, 185, 195-202.
- Galindo-Zaldívar, J.; Jabaloy, A.; Maldonado, A. y Sanz de Galdeano, C. (1996). Continental fragmentation along the South Scotia Ridge transcurrent plate boundary (NE Antarctic Peninsula). *Tectonophysics*, 242, 275-301.
- Galindo-Zaldívar, J.; Jabaloy, A.; Maldonado, A.; Martínez-Martínez, J. M.; Sanz de Galdeano, C.; Somoza, L. y Surinach, E. (2000). Deep crustal structure of the area of intersection between the Shackleton Fracture Zone and the West Scotia Ridge (Drake Passage, Antarctica). *Tectonophysics*, 320, 123-139.
- Galindo-Zaldívar, J.; Balanyá, J. C.; Bohoyo, F.; Jabaloy, A.; Maldonado, A.; Martínez-Martínez, J. M.; Rodríguez-Fernández, J. y Suriñach, E. (2002). Active crustal fragmentation along the Scotia- Antarctic plate boundary east of the South Orkney Microcontinent (Antarctica). *Earth and Planetary Science Letters*, 204, 33-46.
- Galindo Zaldívar, J.; Gambôa, L. A. P.; Maldonado, A.; Nakao, S. y Bochu, Y. (2004). Tectonic development of the Bransfield Basin and its prolongation to the South Scotia Ridge, northern Antarctic Peninsula. *Marine Geology*, 206, 267-282.
- González-Casado, J. M.; Giner-Robles, J. L. y López-Martínez, J. (2000). Bransfield Basin, Antarctic Peninsula: Not a normal back-arc basin. *Geology*, 28 (11), 1043-1046.
- King, E. C. y Barker, P. F. (1988). The margins of the South Orkney microcontinent. *Journal of the Geological Society, London*, 145, 317-331.
- King, E.; Leitchenkov, G.; Galindo-Zaldívar, J.; Maldonado, A. y Lodolo, E. (1997). Crustal structure and sedimentation in Powell Basin. In: Barker, P. F. y Cooper, A., (eds). *Geology and Seismic Stratigraphy of the Antarctic Margin. Part 2*. American Geophysical Union, Washington D.C., 71, 75-93.
- Larter, R. D., Vanneste, L. E., Morris, P., y Smythe, D.K. (2003). *Structure and tectonic evolution of the South Sandwich arc*. In: Larter, R. D. y Leat, P. T. (eds) *Intra-Oceanic Subduction Systems: Tectonic and Magmatic Processes*. Geological Society, London, Specials Publications, 219, 255-284.
- Livermore, R. A.; McAddo, D. C. y Marks, K. M. (1994). Scotia Sea tectonics from high-resolution satellite gravity. *Earth and Planetary Science Letters*, 123, 255-268.
- Livermore, R. A.; Balanyá, J. C.; Maldonado, A.; Martínez, J. M.; Rodríguez-Fernández, J.; Sanz de Galdeano, C.; Galindo-Zaldívar, J.; Jabaloy, A.; Barnolas, A.; Somoza, L.; Hernández, J.; Suriñach, E. y Viseras, C. (2000). Autopsy on a dead spreading centre: the Phoenix Ridge, Drake Passage, Antarctica. *Geology*, 28 (7), 607-610.
- Livermore, R. A., (2003). Back-arc spreading and mantle flow in the East Scotia Sea. In: Larter, R. D. y Leat, P. T. (eds) *Intra-Oceanic Subduction Systems: Tectonic and Magmatic Processes*. Geological Society, London, Specials Publications, 219, 255-284.
- Livermore, R. A., Eagles, G., Morris, P., y Maldonado, A. (2004), Shackleton Fracture Zone: No barrier to early circumpolar ocean circulation, *Geology*, 32, 797-800.
- Lodolo, E.; Coren, R.; Schreider, A. A. y Cecccone, G. (1997). Geophysical evidence of a relict oceanic crust in the South-western Scotia Sea. *Marine Geophysical Researches*, 19, 439-450.
- Maldonado, A.; Zitellini, N.; Leitchenkov, G.; Balanyá, J. C.; Coren, F.; Galindo-Zaldívar, J.; Lodolo, E.; Jabaloy, A.; Zanolli, C.; Rodríguez-Fernández, J. y Vinnikovskaya, O. (1998). Small ocean basin development along the Scotia-Antarctica plate boundary and in the northern Weddell Sea. *Tectonophysics*, 296, 371-402.
- Pedley, R. C.; Bubsby, J. P. y Dabek, Z. K. (1993). GRAVMAG 1.7 (2.5 D), *British Geological Survey*.
- Pelayo, A. M. y Wiens, D. A. (1989). Seismotectonics and relative plate motions in the Scotia Sea Region. *Journal of Geophysical Research*, 94 (B6), 7293-7320.
- Rodríguez-Fernández, J.; Balanya, J. C.; Galindo-Zaldívar, J. y Maldonado, A. (1994). Margin styles of Powell Basin and their tectonic implications (NE Antarctic Peninsula). *Terra Antartica*, 1 (2), 303-306.
- Rodríguez-Fernández, J.; Balanya, J. C.; Galindo-Zaldívar, J. y Maldonado, A. (1997). Tectonic evolution and growth patterns of a restricted ocean basin: the Powell Basin (northeastern Antarctic Peninsula). *Geodinamica Acta*, 10, 159-174.
- Sandwell, D. T. y Smith, W. H. F. (1997). Marine gravity anomaly from Geosat and ERS-1 satellite altimetry. *Journal of Geophysical Research*, 102, 10039-10054.
- Smith, W. H. F. y Sandwell, D. T. (1997). Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. *Science*, 277, 1957-1962.
- Telford, W. M.; Geldart, L. P. y Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics (2nd edition)*. Cambridge University Press, Cambridge. 770 pp.
- Thomas, C., Livermore, R. A., y Pollitz, F. (2003). Motion of the Scotia Sea plates. *Geophysical Journal International*, 155, 789-804.
- Trouw, R. A. J.; Passchier, C. W.; Valeriano, C. M.; Simoes, L. S.; Paciullo, F. V. P. y Ribeiro, A. (2000). Deformational evolution of a Cretaceous subduction complex: Elephant Island, South Shetland islands, Antarctica. *Tectonophysics*, 319, 93-110.

# Los mineros del azogue

El autor de este libro fue, durante 29 años, geólogo de las Minas de Almadén, llegando a ocupar la jefatura del Departamento de Geología de las Minas. Entre el 2002 y el 2006, fue el gerente de la "Fundación Almadén-Francisco Javier de Villegas" y actualmente es uno de los patronos de la misma. Su carrera profesional, unida a su interés por la historia de las Minas de Almadén, explica su profundo conocimiento de ellas, a las que ha dedicado ya varios libros más. *Los mineros del azogue*, sin embargo, por su volumen y detalle, puede considerarse una "obra definitiva", aunque naturalmente todos esperamos del autor nuevas contribuciones a la historia de uno de los yacimientos más importantes del mundo, que llegó a estar en actividad durante más de 2.000 años.

Como el título indica, el tema principal no es propiamente las minas, sino los hombres que trabajaron en ellas a lo largo de veinte siglos. Los doce capítulos del libro desarrollan las vicisitudes por las que han pasado las minas y los mineros de Almadén, desde la explotación romana de Sisapo a la crisis del mercurio de las últimas décadas del siglo XX, que, junto con otras circunstancias, ha terminado por producir el cierre de una mina activa, sin casi interrupciones, durante más de 2.000 años.

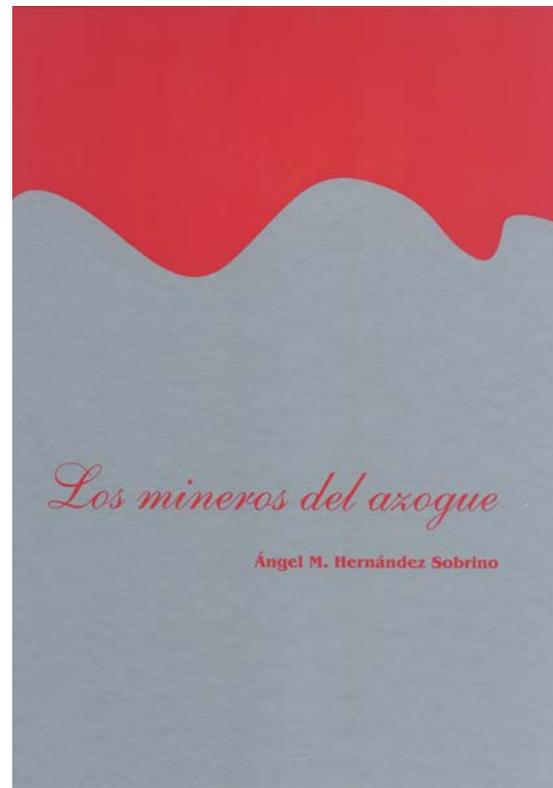
El libro no sólo trata de las explotaciones mineras desde el punto de vista humano, sino también de aspectos que resultan imposibles de separar de lo anterior, como la extracción del mercurio por diferentes sistemas según la época, las enfermedades profesionales, y otros, menos conocidos, como el uso del cinabrio en Roma, el transporte del mercurio para su envío a las colonias

de América o, en los siglos XIX y XX, para su exportación a todo el mundo, el Hospital de Mineros o la gestión de la Dehesa de Castilseras.

El autor ha reunido durante muchos años una documentación que ahora se refleja en su obra. Entre las ilustraciones, más de dos centenares, se incluyen las reproducciones de páginas de muchos libros impresos antiguos y, eso es lo más notable e interesante, de muchos manuscritos y planos que hasta ahora habían permanecido inéditos. Para ello, el autor ha contado con la colaboración de instituciones como el Archivo General de Indias o el Palacio Real de Madrid, entre otros. Puede decirse que, desde el inicio de la actividad minera hasta el final del siglo XIX, pocas de las ilustraciones que se han hecho sobre Almadén no están incluidas en el libro. Solamente he echado en falta las dos láminas del trabajo de Jussieu, publicado en 1721, aunque sí se incluye la copia de una de ellas, coloreada, realizada por Alzate y Ramírez, ejemplar único existente en la Biblioteca del Palacio Real de Madrid y obviamente mucho más difícil de observar como original.

También es destacable la extensa bibliografía, que incluye al final, de la que se han extraído citas a todo lo largo del libro. En tamaño y cantidad justas para reflejar el "aire" de cada época, sin distraer ni abrumar al lector. El anexo del libro contiene un "Glosario de oficios históricos" que, además de aclarar algunos términos utilizados en la obra, permite ver la complejidad y peculiaridades del trabajo en la que fue una de las minas más importantes del mundo durante muchos siglos.

En el aspecto formal, hay que resaltar el gran volumen del libro, tamaño folio, con 513 páginas impresas en papel



**Ángel Hernández Sobrino, 2007**  
Fundación Almadén - Francisco Javier de Villegas. 513 páginas.

El precio de venta es 40 € más gastos de envío, y puede conseguirse en la Fundación Almadén: teléfono (926 26 45 20); e-mail, fundacion@mayasa.es

grueso de buena calidad, y con más de doscientas figuras en color de gran tamaño.

Dada la calidad de la obra, se trata de un libro absolutamente recomendable, imprescindible para cualquier interesado en la historia minera de España.

**Miguel Calvo**  
Universidad de Zaragoza

# Se presenta en Almadén el libro 'Los mineros del azogue'

El pasado día 9 de mayo tuvo lugar, en el Real Hospital de Mineros de San Rafael (Almadén), la presentación del libro *Los mineros del azogue*, cuyo autor es Ángel Hernández Sobrino.

En el acto intervinieron D. Emilio García Guisado, alcalde de Almadén; D. Eduardo Martínez López, presidente de la Fundación Almadén - Francisco Javier de Villegas, y el autor de la obra. El alcalde señaló que este libro representa una importante contribución a la conservación de la memoria histórica de Almadén. Por su parte, el presidente de la Fundación subrayó que, con la edición de esta obra, la Fundación da cumplimiento a los fines para los que ha sido creada: la recuperación del patrimonio histórico de Almadén, especialmente el producido por las minas de Almadén y la difusión del mismo.

El Sr. Hernández explicó que, al escribir *Los mineros del azogue* quería reflejar los sucesos más importantes de la vida de los

El libro está estructurado en varios capítulos y comprende desde la época romana hasta el comienzo del siglo XXI, cuando se extrae la última tonelada de mineral de las labores subterráneas y se destila el postrer frasco de mercurio



Ilustración del interior del libro. Mercado del vino de Augsburgo, con la casa Fugger a la izquierda. Xilografía de Hans Tirol, año 1512.

trabajadores de Almadén, dejando en un segundo plano los aspectos mineros y tecnológicos: "...cuando iba escribiendo la historia de nuestros mineros, me daba cuenta de la solidaridad que han mostrado estos hombres con España a lo largo de los siglos; a medida que estudiaba los hechos acaecidos en Almadén y sus minas, surgía en mí con nitidez la idea de la subordinación que ha tenido el azogue a servir de recompensa o garantía de quienes acudieron en ayuda de España: la

orden militar de Calatrava en la época de la Reconquista; los banqueros alemanes Fugger en los siglos XVI y XVII, y los financieros Rothschild en el XIX y principios del XX. En este inicio del siglo XXI, en el que algunos colectivos demuestran tanta insolidaridad y egoísmo, los mineros de Almadén son un claro ejemplo de generosidad histórica".

El libro está estructurado en varios capítulos y comprende desde la época



Figura 1. De izquierda a derecha, Eduardo Martínez López, Emilio García Guisado y Ángel Hernández Sobrino.



Figura 2. El autor durante su intervención.



Figura 3. José Luis Barrera, vicepresidente del ICOG, entre Eduardo Martínez (izquierda) y Ángel Hernández Sobrino (derecha).

romana hasta el comienzo del siglo XXI, cuando se extrajo la última tonelada de mineral de las labores subterráneas y se destiló el postrer frasco de mercurio. Hay tres capítulos que se salen de este orden cronológico general porque el autor ha considerado oportuno tratarlos aparte; son los correspondientes al Real Hospital de Mineros y la Dehesa de Castilseras, a las enfermedades y accidentes que han sufrido los mineros hasta época reciente, y a las mejoras laborales ocurridas durante el siglo XX. Estos tres capítulos, en cierta forma, pretenden ser un homenaje colectivo a estos mineros que han dejado su huella para siempre en la historia de Almadén, pues si bien a lo largo de tantos siglos ha habido de todo, luces y sombras, bondad y crueldad, esfuerzo y desidia, hay que reconocer que históricamente los mineros de Almadén han contribuido de manera decisiva al desarrollo industrial y económico de España.

En cuanto al modo de redacción, el autor señaló que ha procurado utilizar un lenguaje asequible, sin más términos técnicos que los estrictamente necesarios. Además, unas 200 figuras —entre dibujos, grabados y fotos— se encuentran distribuidas a lo largo de las 500 páginas para hacer más agradable su lectura. Al final del libro, y a modo de apéndice, figura un anexo titulado "Glosario de oficios históricos de los mineros de Almacén". El objetivo del mismo es facilitar al lector la comprensión de los términos que se empleaban en las Minas de Almadén para las diferentes profesiones hasta el siglo XIX. Por último, comentar también que en muchos casos ha preferido utilizar la ortografía moderna a fin de hacer más cómoda la lectura de los textos antiguos. En palabras del autor: "ahora que la explotación minera de Almadén ha tocado a su fin, tenemos el compromiso de conseguir la pervivencia en el tiempo de su historia. Debemos dirigir todo nuestro esfuerzo a enfatizar el valor cultural y patrimonial de sus edificios e instalaciones, y a conservar en la memoria la vida y el trabajo de sus mineros. De esta manera, conseguiremos que su historia secular sea conocida por las futuras generaciones, para que comprendan lo que ha supuesto Almadén en la minería mundial y en la historia de España".

# Torrubia Vs. Feijoo,

## el Diluvio y el inicio de la geología en España

En 1754, el franciscano José Torrubia publica un libro —*Aparato para la Historia Natural española*— cuyo objetivo principal es la reivindicación de la existencia del Diluvio Universal según describe el Génesis, ya que las ideas de algunos ‘ilustrados’ españoles, a tono con las entonces existentes en otros lugares de Europa, discutían algunos aspectos que contravenían o no se mostraban acordes con las observaciones y primeras conclusiones a que se estaba llegando en la construcción del incipiente armazón de la ciencia. Torrubia, sobre todo, parece querer dismantlar los argumentos expuestos por el benedictino Benito J. Feijoo, y a él le dedica una atención especial a lo largo de su libro.

**TEXTO** | Carlos Martín Escorza. Dr. en CC. Geológicas. Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC. Miembro de INHIGEO.

Palabras clave  
**Torrubia, Feijoo, El Diluvio.**

*A Gabriela Pérez Gil (¿Pardos?, Guadalajara, c.1742 - ¿?).*

*Quien, por lo que sabemos hasta ahora, es la primera persona que recogió un fósil de trilobites en España. Tenía entonces 11 años.*

Desde hace algún tiempo estoy interesado en tratar de conocer lo mejor posible el *Aparato* de Torrubia e intentar saber las motivaciones que le llevaron a escribirlo. En este artículo no se muestran datos nuevos, pero si se hacen converger los ya conocidos y publicados por autores de varias disciplinas, consiguiendo con ello una nueva perspectiva que ayuda a conocer los senderos, a veces sorprendentes, por lo que ha pasado el avance del conocimiento y de la Historia de la Geología en particular.

### El marco histórico

Durante el siglo XVIII, la sociedad española recorría un camino decisivo para alcanzar el progreso y ponerse al día en el conocimiento. Eran pasos que ya se habían iniciado y desarrollado en otros estados europeos (Sequeiros, 2003 a), pero que aquí se dieron más tarde, proveyéndose de los recursos e instrumentos venidos de Francia e Inglaterra, principalmente, de donde procedían avalanchas de información enciclopedista y de nuevas ideas que provocaron en pocos años un replanteamiento de todos los elementos culturales dominantes anteriores y barrocos (Caso González, 1978). Uno de los promotores más importantes para que se

produjeran cambios hacia el progreso, sin perder la base religiosa, fue Fray Benito J. Feijoo (*figura 1*), quien desde su celda conventual de Oviedo publicó numerosísimos artículos críticos que son buenos representantes del nuevo aire que se respiraba: el de la Ilustración. Una fase histórica en la que se produjo la transición desde la sociedad medieval, con un soporte teológico muy rígido y penetrativo, a la de la modernidad, basada en la observación, experimentación y razonamiento.

Un buen ejemplo de esa interesante época de discusión personal y social es la cuestión que interesó a muchos investigadores durante finales del XVII y continuó en el siglo XVIII: el Diluvio Universal. Un tema que desde nuestro tiempo se valora como un motor que impulsó el avance del conocimiento, pudiendo quizá ser considerado como un paradigma (Sequeiros, 2000, 2001, 2003 b). En todo caso, un paradigma dominante en el pensamiento durante esos siglos.

El escenario tiene varios niveles de observación. Por una parte, el que abarca las apasionadas discusiones que se produjeron dentro del mundo cristiano para dar salida a la controversia que se estaba



Figura 1. Retrato de B. J. Feijoo, que se encuentra en la Diputación Provincial de Ourense. (Reproducido en: Otero Pedrayo, 1972).

produciendo entre los que, observando con los nuevos ojos la naturaleza que les rodeaba, querían mantener como fundamento básico e incuestionable el relato bíblico del Diluvio en el Génesis. Una

controversia que, como advierte Pelayo (1996), tuvo a su vez dos grandes áreas y tipo de soluciones, la de los países protestantes, en los que se pudo aplicar sin traumas el razonamiento; y el de los católicos, mucho más aferrados a la palabra de la Biblia y en donde el Diluvio, a pesar de las discusiones generadas, tendía a ser explicado como un milagro. Pero, en cualquier caso, todas las reflexiones que se hicieron sobre él tenían una gran componente geológica, pues todo atañe a ideas y conceptos de la naturaleza, sedimentación, inundación, procesos marinos, tectónicos, etc., por los que discurre la secuencia de hechos que se mencionan en el Génesis o en sus consecuencias. Y bien se puede suscribir lo que dice Pelayo (1996), que este tema fue en el siglo XVIII el referente para todos aquellos que se dedicaron y quisieron conocer los fenómenos ocurridos en la Tierra. Es decir, que está en la raíz misma del nacimiento de la Ciencia Geológica. Un tema que, quizá para sorpresa de algunos, no está 'dormido', como advierte Ayala-Carcedo (2002).

A escala de más detalle, los colectivos en los que en mayor grado se acumulaba el conocimiento y, por tanto, las más sensibles a los cambios y dar aportaciones a los mismos, es decir, las órdenes religiosas, no

respondieron por igual ante el reto. Ante la vertiginosa llegada de razonamientos y observaciones que ponían en entredicho las frases bíblicas, y por tanto la fe, cada una de ellas desarrolló su propia estrategia tratando de hallar soluciones para hacer posible compaginar esta lucha personal y social. Así que, entre ellas, se estaban generando ciertas tensiones pues había divergencias ante la manera de conseguir la integración de las doctrinas bíblicas con las emergentes hipótesis científicas. Y así, los estudiosos monjes católicos se fraccionaron según tendencias que pueden agruparse según Capel (1983, 1984/85) en agustinos, franciscanos y capuchinos, que elaboraron sus trabajos basándose en San Agustín, es decir bajo el imperio de Platón; los dominicos que estaban bajo la esfera de Aristóteles; mientras que los jesuitas optaban, según dicho autor, por un posicionamiento ecléctico. Aunque, como pretendo hacer ver, hubo también factores puntuales que intervinieron en el proceso.

Conviene también decir que una de las características que definen a la Ilustración es su carácter hipercrítico. Nadie dejaba pasar nada a otro, así que sus mismos promotores fueron víctimas también de ello, por lo que la atmósfera entre los 'intelectuales' era irrespirable, había que tomar posición y los escritos se llenaron de descalificaciones, sátiras e insultos, aunque los más templados optaron para sus críticas por la ironía, la socarronería o el esperpento, como el de dedicar un libro a un alguien cuyo contenido está hecho exclusivamente para criticarle.

### Los personajes de esta historia

En este ambiente, originado por el tránsito entre dos mundos de pensamiento, es donde se desarrolló la historia que vamos a analizar y que atañe a dos monjes españoles sobre los que centraremos nuestra atención, pues entre los dos acopian gran cantidad de las características que definen a esta época. Son Benito J. Feijoo y José Torrubbia.

El beneditino, Benito Jerónimo Feijoo (Casdemiro, Ourense, 1676-Oviedo, 1764), es difícil que deje a alguien con indiferencia. Tenía una vida dedicada al estudio, la enseñanza y a la Orden de San Benito, pero

cumplidos los 50 se empeñó en escribir y con tanto ahínco lo hizo que de sólo su Teatro Crítico y de las Cartas eruditas y curiosas nos ha dejado 14 volúmenes (figura 2). Feijoo escribió mucho y sobre casi todo, y ello con la intención ilustrada de espolear a la sociedad de su tiempo, cosa que sin duda logró con evidentes signos de éxito. Provocó dos resultados contrapuestos y quizá inseparables: la venta masiva de sus obras, que fueron indiscutibles 'best seller', llegándose, por ejemplo, a una tirada de 3.000 ejemplares en sus tomos V y VI del Teatro Crítico, como él mismo nos lo cuenta en el prólogo del tomo VI. Pero también saboreó la acritud, la otra cara de la moneda, pues fueron muchos y muy airados torbellinos los que sus escritos levantaron en contra suya, a través de plumas no menos ágiles y sabias. Uno de sus 'azotes' fue el del monje franciscano F. Soto Marne, cuyo Florilegio Sacro (Salamanca, 1738) no perdonó fallo alguno. Y también tuvo apasionados defensores, como el jesuita P. Isla, que a su vez acometió sin piedad contra Soto Marne produciendo durante ese vendaval de réplicas y contrarréplicas la celeberrima obra Fray Gerundio de Campazas, alias Zote (1758), donde la burla llega a sus límites más altos. Todo lo cual nos da idea del "ambientazo" que en pleno siglo XVIII generaron defensores y atacantes de Feijoo, sobre todo monjes de diferentes órdenes religiosas. Por escribir lo que escribió Feijoo fue delatado varias veces y a diferentes tribunales del Santo Oficio y, aunque el Consejo de la Inquisición le fue absolviendo uno a uno de todos los cargos, las denuncias eran tantas que el mismo monarca Fernando VI intervino para dictar en 1750 una —a su vez polémica— Real Orden imponiendo silencio a sus impugnadores (Lafuente, 1922, p. 95).

El franciscano, José Torrubbia nació en Granada en 1698, por lo que se deduce de la cronología biográfica, estuvo pocos años en España, y durante su estancia escribió el libro que sirve de base para este artículo: *Aparato para la Historia natural española*, publicado en 1754, (figura 3) en Madrid, y recientemente reeditado en facsímil por el Instituto de Geología Económica, CSIC-UCM (1994), y por el Instituto Tecnológico Geominero de España —actual IGME— (1994). El libro de Torrubbia es para Terrada

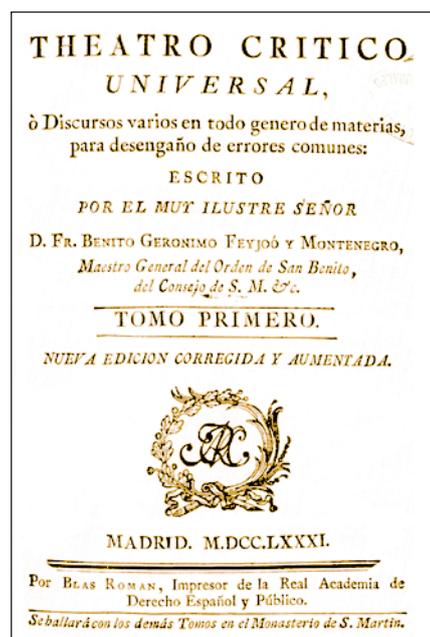


Figura 2. Portada del Tomo I, del *Theatro crítico universal...* de B.J. Feijoo, de su edición de 1781. Tomada de Vicente Rosillo, M. S.; Orbiso Viñuelas, A.; Lope Oter, I. y Serrano Martín, D. 1998. *Catálogo de los fondos especiales de la biblioteca del MNCN. Monografías 14, CSIC.*

Ferrandis (1983), Pelayo (1996) y Perejón (2001) el primer tratado de paleontología escrito en España o, quizá dicho de otra manera, para nuestro país, y respecto a los fósiles, es el primero que los 'describe, figura e interpreta' (Goy et al, 1999). Para la fecha de su fallecimiento no hay acuerdo entre sus biógrafos, pues según Gómez Parente (1972), Pelayo (1996) y Sequeiros (2001) habría sido en Roma el 17 de abril de 1761, y Terrada Ferrandis (1983) dice que fue en Molina de Aragón, Guadalajara, en 1768.

**Un análisis estructural del Aparato**

El cuerpo principal del libro está compuesto por 35 capítulos con 204 páginas y, según Pelayo (1994, 1996), puede ser dividido en tres grandes conjuntos temáticos: los primeros 15 capítulos están destinados a los hallazgos de petrificaciones, su origen orgánico, y también al tema de los gigantes; del 16 al 28, donde trataría el origen de los fósiles españoles; y del 19 al 35 en los que defiende la existencia del Diluvio Universal. Un análisis pormenorizado de todo el libro está descrito con amplitud en Sequeiros (2001). Como excepcional dentro del conjunto es el capítulo 4, que está estructurado como una tabla en la cual se exponen las 551 localidades en las que entonces se conocía la existencia de fósiles (petrificaciones) de todo el Mundo. Es una larga relación a doble columna que ocupa 11 páginas (de la 14 a la 24), que a veces se ha dado como autor a Torrubia, a pesar de que, como el mismo advierte explícitamente en el párrafo 20 y pie 'p' de la página 13, está en efecto tomada íntegramente de L. Bourget (1742, pp. 29-56).

Pero, en mi opinión, lo que más llama la atención en la lectura del *Aparato* es la insistente cita y crítica que Torrubia hace de Feijoo, dando la impresión de que ese fuese el objetivo de su trabajo y de que el benedictino hubiera dicho lo hecho alguna o varias opiniones a las que hubiera dado que reinstruir o destruir por completo. Esta realidad de cita tan recursiva ya llamó la atención a Pelayo (1994) y Sequeiros (2001) quienes consideran que son casi cincuenta páginas (es decir un 25% del

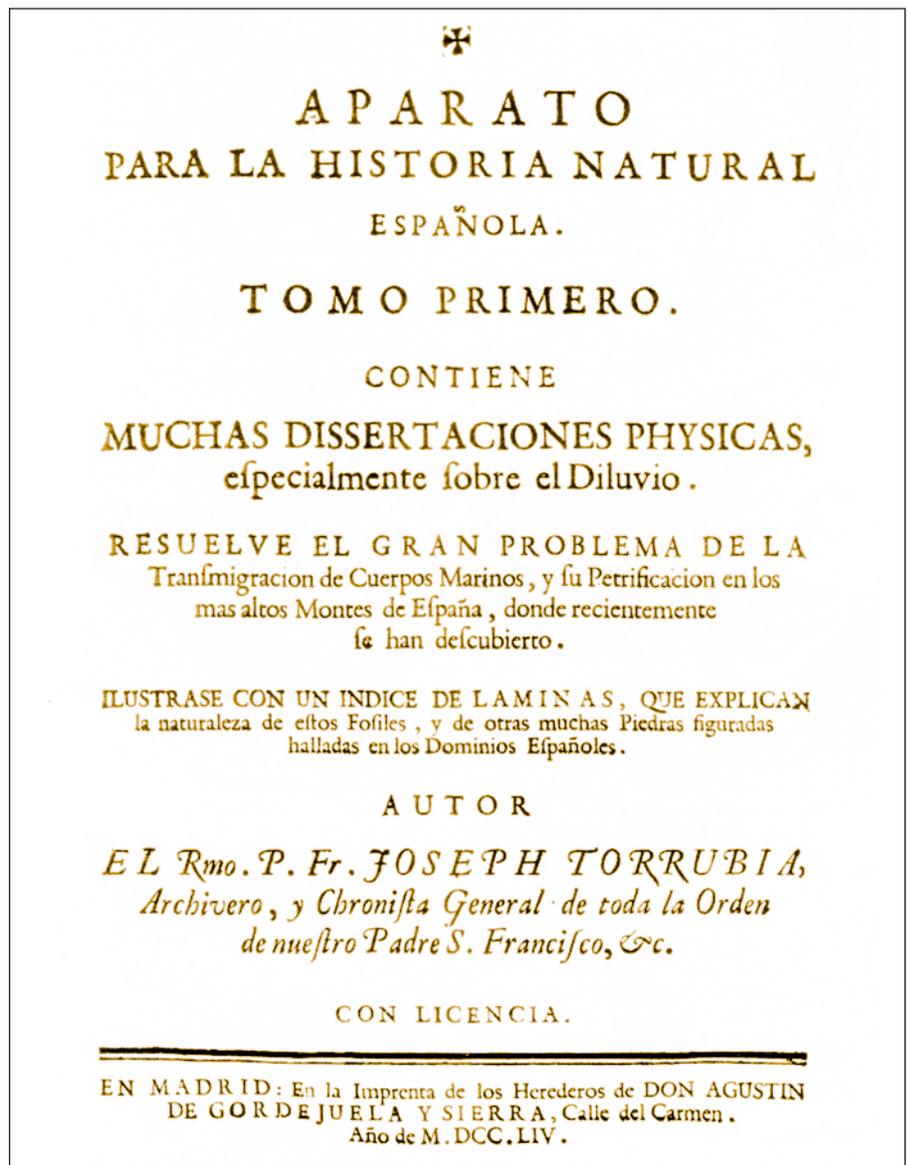


Figura 3. Portada de la edición de 1754 del Aparato de Historia Natural española, de J. Torrubia. Tomada de la edición facsímil de IGC, CSIC-UCM, 1994.

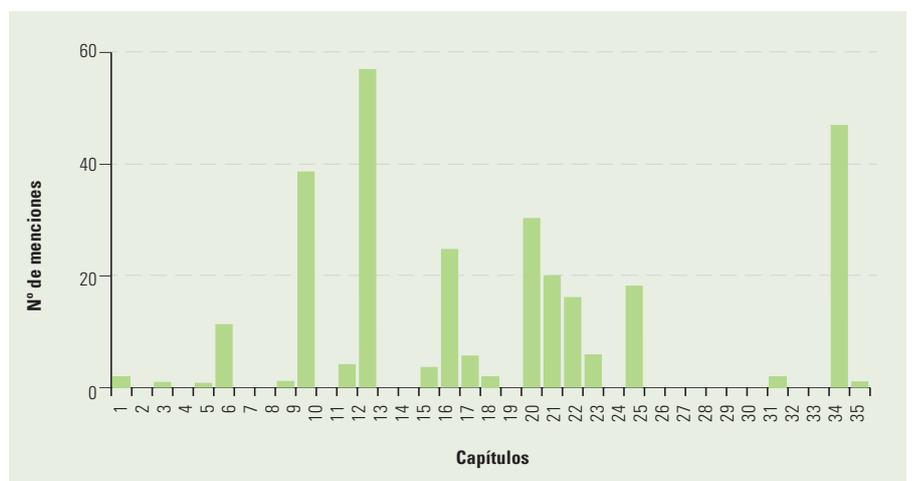


Figura 4. Frecuencia por capítulos del número de veces que Torrubia hace mención a Feijoo, sea tanto directa, por su nombre, como indirecta por cualquiera de las acepciones que utiliza.

1. Antonio Vallisneri, filósofo naturalista italiano (1661-1730). Se dedicó a la ciencia experimental y una de sus obras fue De corpi marini, che su monti si trovano, en la que enfocó el asunto del Diluvio como un fenómeno natural de inundación (Arecco, D. 2004. Antonio Vallisneri scienziato europeo. Direccionline, 29, 9).  
 2. Como curiosidad diré que hay referencia a huesos de 'canillas y espaldas' de 'gigantes' hallados en Sicilia, en el capítulo 1º de la Segunda parte de: Cervantes, M. El Ingeniosos Hidalgo Don Quijote de la Mancha.

texto) lo que el franciscano destina al benedictino —y no para alabarle precisamente— y en donde la cita de su nombre está en un 30% de los párrafos (Martín Escorza y Sequeiros, 2005) también con el mismo fin. Todo lo cual indica, creo, un hecho anómalo que hace de él un objetivo para este artículo donde se intenta profundizar en las posibles causas y motivaciones que impulsaron a Torrubbia a mantener durante todo su libro un tono tan crítico hacia Feijoo.

En efecto, a lo largo de los 35 capítulos del *Aparato* son numerosas las veces —284— que Torrubbia menciona directa o indirectamente a Feijoo. Una cifra que está muy por encima de las que lo hace al total de los 165 autores que también cita, ya que el siguiente autor más nombrado lo es Vallisneri<sup>1</sup> —22 veces— y el resto son mencionados menos de 15 veces y la mayoría menos de 10. Las referencias a Feijoo tienen pues una frecuencia que su promedio aritmético da a casi 1,4 citas por página. Pero no sucede así en la realidad, sino que esas menciones se concentran en determinadas áreas del libro, como se puede observar al representar su número por capítulos, donde muestra que en los números 10, 13, 21, 22, 23, 26 y 34 es en los que se hallan el mayor número de ellas (*figura 4*). ¿Qué temas son los que tratan en esos siete capítulos?

En el capítulo 10 aborda Torrubbia el tema de la Gigantología en el sentido de que por diversos autores había sido dicho que los grandes huesos que se encontraron en diversos lugares, sobre todo en América, correspondían a gigantes humanos. Feijoo en varios de sus escritos había criticado esa creencia atribuyéndolos a grandes animales. Torrubbia discute las opiniones de Feijoo a través de diversas referencias a José de Acosta y a San Agustín. Incluso arrastra en su crítica a H. Sloane quien había manifestado que los huesos recién aparecidos en Francia, y que habían sido asignados a ‘gigantes’, eran huesos de elefante<sup>2</sup>.

La cuestión de las ‘petrificaciones’ ya lo había tratado Torrubbia en capítulos precedentes, pero en el capítulo 13 es cuando viene a desmadejar su

razonamiento y exponer sus observaciones y las de otros para llegar a las conclusiones sobre el asunto. Es uno de los capítulos más largos y desde luego en el que mayor número de ocasiones cita a Feijoo. Seguramente es un tema clave en el pensamiento dieciochista y en el que se entrecruzan y chocan los pensamientos antiguos con los nuevos. En él, Torrubbia expone las observaciones recogidas por Gumilla en las aguas minerales de Guancavelica (Perú) y por A. de Ulloa en las de Tanlagua, al norte de Quito; y las realizadas por él mismo en Filipinas, en el mar de Capul, de que el agua petrifica ‘todo cuanto toca’. Hace referencia especial a lo observado por él en Mochales (Guadalajara) a orillas del río Mesa, donde recogió roca de toba con numerosas ‘ramas y hojas de árboles perfectamente endurecidas y hechas piedra’. Todo ello lo tuvo en cuenta cuando llegaron a sus manos las petrificaciones que con forma de ‘cangrejo’ existen en Pardos (Guadalajara) —son fósiles de trilobites del Paleozoico, quizá del género *Colpocoryphe* (Caride de Liñán, 1994) de los alrededores de esa lugar de la Cordillera Ibérica (IGME, 1981)— y que habían sido encontradas en las cercanías por la pastorcilla de once años Gabriela Pérez Gil, (Torrubbia, 1754, Índice, Lám. III, fig. IV), llevándole a considerar que éstas y las que se encontraban en diversas partes del planeta se habrían originado de manera semejante. Es decir, seres vivos que se habrían sumergido en aguas mineralizadas y transformado en piedras con su forma. Con ello se contrapone a Feijoo que ya había dado su opinión diciendo que habían sido ‘vapores lapidíficos’ exhalados por la tierra quienes habrían producido la transformación a piedra.

En los capítulos 21, 22, 23 y 26 se refiere al problema que se presentó ante las ‘petrificaciones’ que con formas de peces se habían encontrado en las cumbres de diversas montañas en varias partes del planeta. Para explicarlo, Feijoo (T. 7, Disc. 2, nº 37, p. 47) propuso que dentro del mar se habrían iniciado elevaciones montañosas, y en su paulatino ascenso algunos peces se colocaron allí subiendo

con el terreno, incluso cuando éste ya estaba por encima del nivel del de la superficie marina. De esta manera quedaría explicada su presencia en las altas cumbres. Torrubbia se opuso a esta interpretación basándose en que en lo alto de algunas sierras del centro de la península se encontraban ‘petrificaciones’ con esas formas, lo cual, siguiendo la hipótesis de Feijoo, nos llevaría a la conclusión de que toda ella habría estado en el pasado sepultada bajo las aguas, chocándole tanto esa idea que la rechaza con fuerza y deja escrito: “para probar, que son del mar las piezas marinas que se hallan en un monte, más oportuno es decir que sobre el monte las subió el Mar (que eso es natural, y lo hemos visto) que no figurar, y suponer, que en el mar nació, y creció naturalmente con todas ellas el monte, lo que no se ha visto hasta ahora, y Dios sabe cuando lo veremos, sino en idea (Torrubbia, 1754, p. 117). Discusión que continúa algo repetitiva en los dos capítulos siguientes en los que sigue citando con frecuencia a Feijoo para contravenirle.

El capítulo 34 es uno de los más extensos, con catorce páginas, en donde se prolonga la polémica que arrastra desde el 28 acerca de la existencia del Diluvio Universal. El asunto había sido tratado por Feijoo (T. /, Disc. 2, nº 30, p. 42) criticando a los diluvistas y señalando la existencia de dos ‘graves réplicas’ a considerar sobre el tema, a saber:

La gran distancia que hay entre los mares donde debieron criarse algunos de los peces y los lugares donde estos ahora se encuentran ‘petrificados’. Distancia difícil para que la pudieran hacer a nado en sólo cuarenta días que duraron las lluvias. Supone además que el Diluvio hubiera producido ‘agitación de las aguas del océano’ y tempestades con olas lo cual todavía pondrían más obstáculos a ese desplazamiento.

A ello habría que añadir la imposibilidad de movimiento de algunos de los animales que están siempre adheridos a las rocas o en el fondo marino, de cuyas especies se habían encontrado grandes ejemplares petrificados en las elevaciones montañosas.

El plan de Torrubia para desarmar los argumentos anti-globalización del Diluvio esgrimidos por Feijoo se basó en ir replicando punto por punto sus consideraciones, y de tal guisa lo hace que destina varios párrafos de más de una página a éste fin. Ofreciéndonos un repertorio interesantísimo de razonamientos encadenados:

- a) Si se hubieran de dar aguas tormentosas, la construcción del Arca la hubiera hecho Noé no con el fondo plano sino de 'tajamar y quilla', para impedir su zozobra. Además, la inundación universal fue 'sin ímpetu ni violencia', pues se conservaron y sobrevivieron a ella 'las tiernas olivas' y demás plantas, ya que las aguas al elevarse por encima de cualquier 'costa, escollo, islas, y montes' podía circular tranquilamente.
- b) En uno de los párrafos más largos del libro (# 266) Torrubia no deja pasar por alto el argumento de Feijoo de que los cuarenta días del Diluvio le parecen escasos para que un pez pueda recorrer grandes distancias. Y lo contrapone con sus propias observaciones de haber visto en sus viajes a través de los océanos cómo tiburones y delfines van siguiendo a los navíos en su travesía que, como la que él mismo hizo de La Habana a España, no tardan sino 33 días. Invoca también a los grandes recorridos estacionales de las ballenas desde las zonas septentrionales a las de menor latitud y enriquece su discurso con anécdotas curiosas que atrapan al lector para seguir con el libro mediante una natural técnica de escritura que da envidia. Curioso es que finalice el párrafo haciendo mención a la referencia que hace Feijoo al Pez Nicolao, una leyenda en la que al parecer creían ambos contendientes, y podríamos añadir que si ellos, tan críticos, lo admitían cabe suponer que el resto de la humanidad también (figura 5).
- c) En mi opinión, el párrafo siguiente (#267) es el más lúcido y entretenido del libro. En él, Torrubia desarrolla un finísimo tono de tertulia en el que, sin olvidar su objetivo, no tira a fondo de la

## 194

lunna, y apoyan los *Sabios de Montpellier* (\*) entre las especies de *Tesláceos*, que dan tinta purpurea, yo diría, que el de nuestras *Indias* es otra diferente. Pero para nuestro calo oygamos la razon del *Reverendísimo Señor, y Padre Maestro*. Pruebase lo tercero: (dice *su Reverendísima*) (k) *Y principalmente con varios exemplares de translaciones de especies diferentes de unas partes à otras del globo terraqueo, y à partes distantisimas..... En el Reyno Animal, y dentro de la clase de Pezes..... sabemos que en los tiempos antiguos havia copia de Murices, aquellos Pezes de que se extraia el precioso jugo purpureo en el mar de Tyro. Oy no parece ni uno en aquel mar, y se halla esta especie en los mares de la America. Hè aqui el gran argumento, con que nuestro Reverendísimo prueba la translacion de los Tesláceos de la purpura desde Tyro al Nuevo Mundo. Pues si en este calo, y para probar la transmigracion, y translacion de los Murices desde el Asia à la America, no les impidio el ser Tesláceos incapaces de nadar, amantes del fondo del Mar, y adherentes à los peñascos; como quiere *su Reverendísima* hacerlos aora, contra su misma razon, immobiles, perezosos, tardos, pesados, y torpes? Que peregrinen de acá allà, y le prueben à *su Reverendísima* su Syttema de la peregrinacion de la Naturaleza, vayan norabuena; pero que vengan de allà acá para comprobarnos el de nuestra Translacion, y Transmigracion, esto no; porque infiltrà *su Reverendísima* en que el peso hace à los Tesláceos incapaces de nadar, y en que no hay apariencia, ni verisimilitud de que esto pueda suceder, y mas quando siempre viven los Tesláceos en el fondo del Mar, y adherentes à los peñascos. Y à *Reaumur* en las *Memorias de la Academia* nos dice, como los Tesláceos andan, y se mueven; (l) y por cierto, que no son tan torpes como el *Padre Maestro* los quiere para nosotros, fino algo mas vivitos, y tan agiles como *su Reverendísima* los busca para si. En la balanza de los Criticos se han de pesar las cosas con equidad. Si los Tesláceos tienen peso para unos, serà adultera la *Astrea*, que no les dè el mismo peso, quando los compre para si, o los venda à los demás.*

Ni

(\*) *Conchyliologia*, p. 2. pag. 291. mibi.

(k) Feijoo tom. 7. disc. 2. §. 12. num. 51.

(l) *Memor. de la Acad. año de 1710. pag. 439. y fig. mibi.*

Figura 5. Reproducción de la página 194, (capítulo 34) toda ella parte del párrafo 268, en la que Torrubia hace mención a Feijoo nueve veces según diversas acepciones, 5 como 'su Reverendísima', 1 como 'nuestro Reverendísimo', 1 como Padre Maestro, y 1 como 'Reverendísimo Señor, y Padre Maestro'. La terminología es muy reverenciosa pero el contexto es de crítica notable.

caña crítica, 'hagamos, no obstante, a los peces más tardos: quitémosles algo de su velocidad, para que tenga algún vigor el argumento del Reverendísimo Señor, y Padre Maestro Feijoo', etc., que es una delicia leer, para acabar con una frase contundente que probaría sus asertos diluvistas: 'aquí (en los Montes) los hallamos, luego aquí vinieron'. Así que cuando los montes españoles 'nuestros Montes', estuvieron cubiertos por el Diluvio, al menos durante siete meses, viniendo durante este tiempo a vivir sobre nuestras sierras animales

desde las regiones oceánicas más alejadas, en ellos se quedaron 'cuando la intempestiva falta de agua no les permitió' desamparar el terreno en que después se petrificaron (Torrubia, p. 270, #270).

Esta descripción la acabaré con la exposición del párrafo 272 de Torrubia que considero es el de mayor calado geológico. La cuestión se refiere al conocido ya hallazgo de cuerpos marinos petrificados, no en la superficie de los montes, sino en lugares profundos de ellos. Inconveniente

que Torrubia explica diciendo que: hay montes 'criados' de la mano de Dios durante el tercer día de la Creación, que serían pre-diluvianos, sobre los que se petrifican esos organismos; y hay otros terrenos 'causados por las ruinas de rocas, peñascos, y terrenos' durante los 4.500 años que han pasado desde el Diluvio, se pueden encontrar en ellos estas petrificaciones pero fuera de su lugar, incluso junto a material extraño 'que cayendo de los altos inmediatos Montes, los cubrió y sepultó'.

### Reflexiones

Feijoo apenas dedicó atención a Torrubia, al que solo le menciona en unas líneas y casi de pasada. Sin embargo ya hemos visto que la devolución del "favor" no parece corresponder a esa minucia, así que uno acaba por preguntarse si pudiera haber alguna o algunas cuestiones de trasfondo para comprender la contrarréplica desproporcionada, con baja asertividad, que le destinó Torrubia. Y, aunque todavía nos quede mucho por conocer, pueden emitirse ya algunas hipótesis acerca de ello:

todo parece indicar que a Torrubia no le sentó nada bien el comentario que Feijoo hiciera sobre el libro que como traductor publicó en 1752 titulado: *Centinelas contra los franc-masones*, y cuyo autor es desconocido. Esa primera edición fue todo un éxito pues en 1754 ya se había agotado, y como el mismo Torrubia da noticia en su *Aparato*, (p. 3 del prólogo) anuncia su reimpresión. En efecto, en la Carta de Feijoo hay una referencia (párrafo 24) a Torrubia, Reverendo Padre y Maestro, Cronista de su Sagrada Religión de San Francisco de Asís en el Asía, donde le reprocha que su exacto cumplimiento a la fidelidad textual como traductor le impidiese haber añadido 'alguna nota separada' donde quedaran expuestas las contradicciones manifestadas por él, ya que a Torrubia 'se que le sobra discreción para advertirlas'. Además, Feijoo trata de demostrar que no había que dar, al menos en España, importancia al fenómeno masón, tan temido entonces por la iglesia que se dictó Bula, en 1751, por Clemente XIV para su persecución, y en España, por corolario en ese mismo año, el Rey Fernando VI ordenó su prohibición. Los comentarios de Feijoo a la obra de Torrubia se los tomó éste muy en serio, pues como ya

## Estos títulos y el publicar su libro sobre la francmasonería, destapó una serie internacional de críticas que todavía están activas a través de Internet e incluso en publicaciones recientes

advierte en el prólogo del *Aparato*, en la segunda edición de aquel, añade diversos comentarios a los ya hechos por el Reverendísimo Señor, y Padre Maestro Feijoo en 1753 (T. 4, carta 16). Para comprender la 'sensibilidad' de Torrubia hacia el tema conviene recordar su condición de Calificador de la Inquisición desde 1737, y también desde 1738 Revisor por el Consejo Supremo de la Inquisición, como él mismo lo menciona en los títulos que expresa en sus libros (ver apartado de sus publicaciones en: Gómez Parente, 1972) y la copia del dictamen acerca del libro de Soto y Marne (1753, en: Hidalgo Nuchera, 2000, p. 137) siendo el *Aparato* uno en los que no expresa esa titulación. Estos títulos y el publicar su libro sobre la francmasonería, destapó una serie internacional de críticas que todavía están activas a través de Internet e incluso en publicaciones recientes (Wright, 2006), las cuales ya fueron tenidas, al menos en parte, como no creíbles por Menéndez y Pelayo (1880-82, libro 6º, Cap. I, VII).

Por otra parte, Feijoo, con el objetivo que siempre persiguió de corregir errores en las creencias populares, escribió (1742, T. I, Carta 30) sobre el fenómeno tenido como milagro y llamado de 'las flores de San Luis', que ocurría todos los años el día 19 de agosto en la ermita regentada por franciscanos de San Luis del Monte en Cangas de Tineo, Asturias. En ese día, y durante la misa, las paredes, puertas, vestiduras del sacerdote, al altar y los corporales se llenaban de pequeñas 'flores blancas'. Intrigado, Feijoo recogió la información proporcionada por Joaquín Velarde, quien había subido a la ermita en ese día y recogido tres de esas 'flores', las cuales notó que no se encuentran tan abundantes en la propia ermita y que también las vio fuera de ella y en otros lugares de la zona. Y todo ello llevó a Feijoo a decir que se trataban en realidad de 'racimitos de pequeñísimos huevos unidos y sostenidos por

un pedúnculo común', o sea que se trataban en realidad de huevos de insectos. Es decir, les daba una interpretación natural. Este asunto no agradó a muchos franciscanos y a raíz de ello se puso en marcha un movimiento de escritos contra Feijoo cuyo representante más activo o más conocido hasta ahora fue el de F. Soto Marne (ver: Hidalgo Nuchera, 2000), aunque también hubo otros y entre ellos quizá haya también que incorporar a Torrubia por medio de su *Aparato*.

### Punto... y seguido

Torrubia fue una persona cuya biografía es bastante conocida<sup>3</sup>, pero todavía es incompleta y se encuentra muy fraccionada según sus diversas ocupaciones. Por una parte, es de resaltar cómo es ensalzado por los que, desde el estudio de la naturaleza, ven en él todo un adelantado, como por ejemplo Terrada Ferrandis (1983). Este autor lo hace teniéndole como iniciador en España en el uso del microscopio que, entre otras cosas, aplicó para observar los grandes huesos petrificados del yacimiento de Conclud (Teruel), un instrumento que en España no se vuelve a usar hasta casi 100 años después con el geólogo J. Macpherson. Lo curioso es que también existe el testimonio del mismo Feijoo que hace a través de una carta, sin data de año, dirigida al también benedictino P. Sarmiento, entonces en Madrid, haciéndole llegar un microscopio de seis objetivos intercambiables, pues habiéndolo usado no le parece oportuno quedárselo. La carta está recogida y publicada por Marañón (1934) y reproducida por Giménez Mas (2004) quien deduce que la compra debió hacerla con posterioridad a 1740, por lo que considera que 'posiblemente' éste sea el primer microscopio que entró en España.

Sin embargo fuera de las facetas naturalistas y también fuera de su faceta de historiador de la orden seráfica, Torrubia induce a una

revisión de su labor desde dentro de la Inquisición, de la que en muchas ocasiones no oculta su pertenencia, y desde la defensa de los valores de su orden seráfica, para así intentar explicar el afán pertinaz de crítica hacia Feijoo. Queda por saber si es impulsado por alguna de esas cuestiones, o por ambas a la vez, además de por otras, por lo que nos ha dejado escrito el *Aparato*. Y, al menos para el que esto escribe, todavía queda por hacer una clara definición de su obra, porque después de leer sus razonamientos, a veces oscuros otras brillantes, de sus réplicas, de sus manojos de citas de apoyos y oponentes,

queda algo de vacío. Así, en el tema con más ocupación que tiene el libro, es decir el asunto del Diluvio Universal, pues lo cierto es que acaba (¿podría haberlo hecho de otra manera?) casi como ya se arrastraba desde siglos, o sea diciendo de él que es 'sobrenatural' y un 'milagro', por lo que él mismo parece entrar en contradicción con casi todo el contenido del libro en que intenta desarrollar una discusión razonable.

A pesar de los esfuerzos destinados por estos dos personajes en dilucidar y llegar a la verdad, hoy podemos saber que no llegaron a

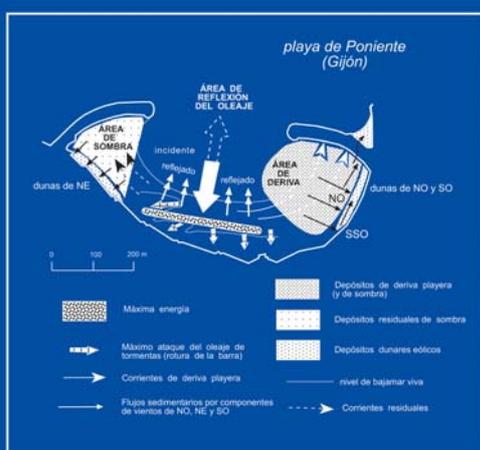
alcanzarla. Pero les debemos el reconocimiento de que, en el caso de Torrubia, a través de sus observaciones y de Feijoo, por medio de sus razonamientos y juicios críticos, dejaron en pocos años una inestimable contribución al acervo del conocimiento sobre el que se apoyó, obviamente, el posterior. Así que, en mi opinión, todavía se podrá seguir indagando sobre ellos, pero sea cual fuere el producto de novedades que se extraiga siempre quedará como 'labor hecha' la que ambos aportaron tanto a España como a la comunidad internacional en el avance de la historia natural.

## Bibliografía

- Ayala-Carcedo, F. (2002). Catástrofes naturales, mitos, religiones e historia. En: *Riesgos naturales*. F. J. Ayala-Carcedo y J. Olcina Cantos (coord.), 103-124. Ariel Ciencia.
- Bourget, L. (1742). *Mémoires pour servir a L'Histoire Naturelle des Petrifications dans les quatre parties ddu Monde, avec figures, et divers Indices aussi methodiques que ne'cessaires*. La Haye. Chez Jean Neaulme. 163 pp.
- Capel, H. (1983). Ideas sobre la Tierra en la España del siglo XVIII: condicionamientos teológicos e ideas sobre el cambio terrestre. *Mundo Científico*, 22, 148-154.
- Capel, H. (1984/85). Religious beliefs, philosophy and scientific theory. In the origin of Spanish geomorphology, 17th – 18th Centuries. *Organon*, 20/21, 219-229. Polish Academy of Science. (Reproducido en: Scripta Vetera).
- Caride de Liñan, C. (1994). Presentación. En: edición facsímil del *Aparato para la Historia Natural*. ITGE.1-10.
- Caso González, J. M. (1978). Historia de una vileza. *Historia 16*, Extra VIII, 151-157.
- Giménez Mas, J. A. (2004). El microscopio del Padre Feijoo. En el prelude de la Patología de Morgagni. *Revista Española de Patología*, 37, 111-170.
- Gómez Parente, O. (1972). Estudio preliminar y notas. En: *Crónica de la provincia franciscana de Santa Cruz de la Española y Caracas*. P. José Torrubia. 9-99. Biblioteca de la Academia Nacional de la Historia, 108. Colección Fuente para la Historia Colonial de Venezuela. Caracas. Con un apéndice documental, 103-801 pp.
- Goy, A.; Rodrigo, A.; Bernard, J.; Comas-Rengifo, M. J. y García Joral, F. (1999). Tras las huellas de Torrubia (1698-1761) por el Señorío de Molina. *Temas Geológico-Mineros*, ITGE, 26, 655-682.
- Gumilla, J. (1741). El Orinoco ilustrado. *Historia natural, civil, y geográfica de este gran río y de sus caudalosas vertientes*. Madrid.
- Hidalgo Nuchera, P. (2000). *Un impugnador de Feijoo en el Perú: el Padre Soto y Marne y su Diario crítico-náutico de Cádiz a Cartagena de las Indias*. Archivo Ibero-Americano, 60, 109-158.
- IGME (1981). *Molina de Aragón*. Hoja nº 489. Mapa Geológico de España. E. 1:50.000. Instituto Geológico y Minero de España.
- Lafuente, M. (1922). *Historia general de España*. T. 14. Barcelona, Montaner y Simón Editores. 395 pp.
- Marañón, G. (1934). *Las ideas bilógicas del Padre Feijoo*. Madrid.
- Martín Escorza, C. y Sequeiros, L. (2005). *Torrubia vs. Feijoo, en el 'Aparato para la Historia Natural española'*, 1754. *Fundamental*, 6, 113-115. Teruel.
- Menéndez y Pelayo, M. (1880-82). *Historia de los heterodoxos españoles*. Biblioteca virtual "Miguel de Cervantes", Alicante, 2003. www.cervantesvirtual.com.
- Pelayo, F. (1994). *El Aparato para la Historia Natural española de José Torrubia (1698-1761): diluvismo, gigantes y la naturaleza de los fósiles, en el pensamiento español del Siglo XVIII*. En: Edición facsímil del Aparato para la Historia Natural española. IGE, CSIC-UCM. 3-45.
- Pelayo, F. (1996). *Del Diluvio al Megaterio*. Cuadernos Galileo de Historia de la Ciencia, 16. CSIC. Madrid. 310 pp.
- Perejón, A. (2001). Aproximación a la historia de la Paleontología española. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 9.2, 127-143.
- Sequeiros, L. (2000). *José Torrubia (1698-1761) y los fósiles, el Diluvio Universal y los Gigantes. Implicaciones didácticas para la Educación Secundaria*. En: E. Ausejo y M. C. Beltrán (eds) *La enseñanza de las Ciencias: una perspectiva histórica*. Zaragoza. Cuadernos de la Historia de la Ciencia, 11, Tomo I, 409-428.
- Sequeiros, L. (2001). *El Aparato para la Historia Natural Española (1754) del franciscano granadino fray José Torrubia (1698-1761). Aportaciones postridentinas a la Teología de la Naturaleza*. Archivo Teológico Granadino, 64, 59-127.
- Sequeiros, L. (2003, a). Las raíces de la Geología. Nicolás Steno, los Estratos y el Diluvio Universal. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 10, 3, 217-242.
- Sequeiros, L. (2003, b). El Diluvio Universal bíblico y la extinción de las especies biológicas. *Proyección*, 210, 235-354. Granada.
- Terrada Ferrandis, M. L. (1983). Voz: Torrubia. En: López Piñero, 367-368. J. M.; Glick, T. G.; Navarro Brotons, V. & Portela Marco, E. (1983): *Diccionario histórico de la Ciencias moderna en España*. Ediciones Península. Serie Universitaria. Barcelona, 2 v., 1128 pp.
- Wright, D. (2006). *God's Soldiers Roman Catholicism and Freemasonry*. Edic, Rev. Cornerstone Book Pub. New Orleans, USA.

# Geología marina

## GEOLOGÍA MARINA



Germán Flor  
2005

### Germán Flor

Profesor Titular de Universidad.  
Departamento de Geología  
Universidad de Oviedo  
Depósito legal: AS-155-04  
ISBN: 84-688-4664-3  
Distribuye: Librería SERVITEC.  
C/ Doctor Fleming, 3, local 1.  
33005 Oviedo  
(Tfnos: 985-25-05-81 y 985-27-37-98)

A finales de 2004, vio la luz una edición de un trabajo producto de la experiencia docente e investigadora de más de 35 años en la temática marina, concretamente el manual de *Geología Marina* del que es autor el profesor Germán Flor del Departamento de

Geología de la Universidad de Oviedo. Se trata de un trabajo paciente en el que, incluso, se ha redelineado la mayor parte de la numerosa ilustración gráfica, se reproducen gran cantidad de fotografías y se ha intentado adaptar la influyente nomenclatura anglosajona a la terminología castellana. Un total de 644 páginas a doble columna, repartidas en 25 capítulos, que culminan con un apartado bibliográfico específico para cada uno de ellos.

La obra recoge en los primeros capítulos toda una serie de aportaciones que entroncan mejor con la clásica Oceanografía, iniciando un recorrido histórico hasta la realidad de los trabajos en nuestro país en los últimos tiempos.

Una pormenorizada relación de las técnicas instrumentales más habituales sirve de antecedente para comprender la necesidad de obtener los datos necesarios en este medio inaccesible, de las cuales las geofísicas constituyen un apartado independiente por su mayor peso. La historia reciente de los océanos y su relación con los continentes emergidos es la disculpa para desarrollar la temática de la tectónica oceánica, una rama en la que algunos grupos de investigación españoles compiten con una alta calidad de sus contribuciones.

El relieve de los océanos muestra la variedad de formas a gran escala de los fondos como soporte de la gran masa de agua y sedimentos que se reparten por el lecho marino.

Precisamente, son los sedimentos marinos a los que se ha dedicado una cierta atención, tanto en los aspectos básicos,

necesarios para conocer todas sus particularidades, como su realidad mucho más compleja en los grandes fondos. También las relaciones Océano-Atmósfera se detallan suficientemente como paso previo a la consideración de los diferentes agentes dinámicos: corrientes oceánicas, oleajes y mareas que se abordan de forma independiente en sus capítulos correspondientes.

La problemática que plantea la evolución del nivel del mar se ha considerado hasta las últimas tendencias y su relación con el cambio climático en curso.

En otro bloque de temas, se pasa revista a las costas a través de su clasificación y tipología como preludeo al desarrollo, primero de las costas rocosas, y, seguidamente, de todos y cada uno de los ambientes morfosedimentarios y dinámicos costeros más importantes. Es sobre éstos donde pivota el trabajo de recopilación más exhaustivo: campos dunares, playas de arenas y cantos y estuarios, que incorporan algunos resultados de mayor interés de los trabajos de investigación del autor sobre los que, además, se detallan las causas debidas a la intervención antrópica y las soluciones ambientales más adecuadas; se completan con deltas, llanuras mareales y lagunas costeras, islas barrera-lagoon y construcciones arrecifales, entre las que se mencionan las de aguas profundas. Los últimos capítulos se centran en las plataformas, taludes y prismas continentales, incorporando los movimientos submarinos en masa y las estructuras de fondo más investigadas en los últimos tiempos: volcanes de fango, pockmarks y chimeneas de carbonato.

**Juan Manuel Zubieta**  
Geólogo

# La Arenisca de Villamayor (Salamanca)

## Algo más que sillares

La conocida Arenisca de Villamayor o Piedra de Villamayor es la roca que ha adquirido fama por el uso extensivo que se ha hecho de ella en la construcción monumental de la ciudad de Salamanca. Con ella se han realizado sillares, sillarejos y demás elementos constructivos para levantar grandes edificios religiosos, civiles o de infraestructura, desde hace varios siglos. Igualmente, la mayoría de los detalles decorativos de esos edificios se han ejecutado en las facies de grano fino. Pero lo que no es muy conocido es que hoy, hay escultores de arte contemporáneo que esculpen sus obras en esta piedra dorada.

**TEXTO** | Luis Miralles Sangro. Escultor

**FOTOS** | [www.flirck.com/photos/luismirallesangro](http://www.flirck.com/photos/luismirallesangro)

La ciudad monumental de Salamanca no lo sería si el terreno de Villamayor no fuera como es ni lo que es, una extensa cantera de piedra arenisca.

Esta roca, llamada Piedra de Villamayor, está ligada íntimamente con la historia de la ciudad. La piedra dorada de sillería, como se la conoce también, se ha explotado históricamente en las canteras de Villamayor de Armuña (4 km al norte de Salamanca). Toda la arquitectura monumental de la ciudad de Salamanca (catedrales, fachada de la Universidad, Casa de las Conchas, Plaza Mayor, etc.) está construida con esta piedra, debido a su facilidad de labra. Inclusive hoy en día, las normas municipales obligan a construir con ella todas las edificaciones del casco antiguo, extendiendo sus formas a placas y baldosas.

La oxidación superficial proporciona el tono pardo-dorado tan característico. Tiene una textura de grano fino a medio, deleznable al tacto, con coloraciones entre blanco-amarillento y pardo-rojizas, según el contenido en óxidos de hierro.

La roca representa las facies detríticas medias y finas del Eoceno de los márgenes de la cuenca del Duero. Petrológicamente, es una arenisca feldespática-arcosa, compuesta de granos redondeados de cuarzo (40-70%)

y feldespatos (10-30%), empastados por una matriz arcillosa con micas (10-20%).

Las características particulares de la arenisca de Villamayor (tabla 1) la convierten en una piedra de enorme valor artístico y arquitectónico, como es el caso de la obra del artista Luis Miralles

Es historia que los romanos ya explotaban estas canteras, algunas de las cuales han tocado fondo. El auge de la construcción, por un lado, ha acelerado de forma brutal la extracción de esta piedra y, por otro, los que tallamos o esculpimos en ella supongo que cada vez somos más. Este segundo dato no lo puedo confirmar, así que no es más que una presunción mía.

### ¿Qué me cautivó de ella?

Al ser una piedra que se extrae muy blanda, adquiriendo dureza con la pérdida de la humedad, el paso del tiempo y la convivencia con la intemperie, es un material que se trabaja muy bien. Pero no es esta la causa fundamental, hay otras que me entraron por la vista y por el tacto y son realmente las que me cautivaron: sus dorados, que varían según la intensidad del sol. En alguna ocasión he dicho que "me conmueve el aspecto efímero de mi obra", y creo que se debe precisamente a ese aspecto

Palabras clave

**Arenisca de Villamayor, Piedra de Villamayor, escultura.**



*Reloj de sol horizontal con ngomo de acero inoxidable, tallado en piedra de Villamayor*

aparentemente frágil, parejo a su gran dureza, destacando siempre su suavidad y su color. De tonos infinitos, ocres, rojizos, rosas y amarillos. Enormemente porosa y de grano más bien fino. Es por ello que, con la misma facilidad que absorbe la humedad, se libera de ella.

Lo que la naturaleza no te da, Salamanca no lo presta. Esta frase, tan ligada a la ciudad de Salamanca, ya no es real



El autor trabajando en la obra *Ciclos*, piedra de Villamayor.

porque la piedra de Villamayor sale de Salamanca. De cada edificio histórico-monumental de la ciudad, se conoce la procedencia de la piedra y de qué cantera es, pero Villamayor no ha podido subsistir esperando a la restauración de los edificios y monumentos, por lo que los canteros le han dado otras salidas que

ellos han creído más rentables. Antes no tenían trabajo, hoy todos trabajan, son las paradojas de la vida.

Quisiera terminar diciendo que nunca me ha gustado definir ni explicar ni describir mi obra. Mi cerebro se siente a veces matemático, a veces surrealista, a veces cubista, muy pocas veces figurativo... En mi banco de trabajo, el cual es muy amplio, aparecen y desaparecen constantemente bocetos realizados con carbón. A veces boceteo directamente en la misma piedra según la voy limpiando, tocando... La lucha surge cuando tengo que encontrar esas líneas rectas, esas

líneas curvas, esas dimensiones en las cuales reposarán mis bocetos. La solución siempre anda en espiral.

Si utilizo formato pequeño, lo hago sin dejar de pensar en formato grande. Pero hay excepciones. Uno de los recuerdos que guardo de mis años dedicados a la docencia con nivel de 4-5-6 años, cuando les entraba "la gula por lo grande y ahora", yo trataba de hacerles ver que "las cosas chiquititas son exquisitas" y que es un error despreciarlas por no ser grandes. Hablando de esto me viene a la memoria G. Giacometti.



S/T, tallado en piedra de Villamayor.

Tabla 1. Características técnicas de la Arenisca de Villamayor

<b>Peso específico</b>	1,86 g/cm <sup>3</sup>
<b>Absorción</b>	13,55%
<b>Resistencia a la compresión</b>	2,6-28,5 Mpa 26-280 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Resistencia a la flexión</b>	0,6- 1,4 Mpa 6-14 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Desgaste rozamiento</b>	9,23 mm
<b>Resistencia a los anclajes</b>	1095 N
<b>Resistencia al choque</b>	88,33 cm
<b>Resistencia a las heladas</b>	1,82 %

# ¿Ha sido la minería el motor del progreso económico en España?

La minería no disfruta del prestigio que le corresponde en la sociedad española. A menudo, se olvida de que el desarrollo de la sociedad moderna se basa en la explotación de los recursos naturales, se encuentren éstos en nuestro país o en el extranjero. Así, en los medios de comunicación se observa una tendencia a subrayar las facetas más negativas de dicha actividad económica (contaminación o penosidad laboral), minimizando las positivas (transferencia de tecnología, creación de riqueza y empleo). Por este motivo, conviene recordar que en el pasado reciente (durante el siglo XIX y primer tercio del siglo XX), se alcanzaron posiciones internacionales relevantes en la producción y la comercialización de minerales y metales. Por ejemplo, a mediados del siglo XIX la exportación de metales y minerales suponía un 12% del valor total, representando en el cambio de siglo más del 30% del valor del conjunto de todas las exportaciones. Los importantes flujos de capital generados lograron una gran trascendencia económica y social, condicionando el desarrollo económico.

Actualmente, la actividad minera vuelve a ser protagonista en el panorama económico mundial gracias a la avidez de materias primas auspiciada por el despegue económico de las principales economías asiáticas. Después de un largo periodo de decadencia, se ha producido una inflexión, y el sector de la minería está disfrutando, a nivel global, de la mejor situación de mercado de la última generación. Como consecuencia, en España se ha reanudado el laboreo de yacimientos minerales metálicos (cobre en Las Cruces, Sevilla, y níquel en Agua Blanca, Badajoz), con lo que el ciclo minero no se puede considerar cerrado.

En este contexto, resulta de actualidad la publicación del libro *Minería y desarrollo económico en España*, obra colectiva, en la

que Miguel A. Pérez de Perceval Verde, Miguel A. López-Morell y Alejandro Sánchez Rodríguez han reunido los principales trabajos que se presentaron en el curso organizado por la Universidad Internacional del Mar de Cartagena, en septiembre de 2003, sobre "Minería y desarrollo económico en perspectiva histórica", en el que participaron los principales investigadores de Historia Económica. En dicho foro se debatieron las interpretaciones *pesimistas u optimistas* de la trascendencia de la actividad minera, intentando cuantificar la repercusión que representó la extracción de los minerales en el progreso de distintas regiones.

*Minería y desarrollo económico en España* pretende explicar las consecuencias de la actividad minera, atendiendo tanto a los factores productivos como a los sociales, los laborales y los tecnológicos, entre otros. La obra está estructurada en tres partes de cuatro capítulos cada una. La introducción ofrece una visión general del sector minero en la historia contemporánea española. En el prólogo de la obra, Jordi Nadal, investigador de máximo relieve sobre la historia de la industrialización de España, considera que la edición de esta obra atestigua la vitalidad de la historiografía minera, calificándola como digna secuela de la obra de Gérard Chastagneret.

La primera parte incluye los trabajos que abordan el tema desde una óptica global. Destacamos el primero de ellos, "La minería española del XIX: de terreno a objeto de investigación", una magistral reflexión sobre las peculiaridades de la minería respecto a otras actividades económicas, firmado por Gérard Chastagneret. El prestigioso autor galo insiste en considerar a la España de fines del XIX como "una frontera profunda, a la americana, prometedora, que era a la vez próxima y suficientemente lejana como

Miguel A. Pérez de Perceval Verde  
Miguel A. López-Morell  
Alejandro Sánchez Rodríguez (eds.)

## Minería y desarrollo económico en España



ECONOMÍA

Serie: HISTORIA ECONÓMICA



**Minería y desarrollo económico en España. Miguel A. Pérez de Perceval Verde, Miguel A. López-Morell y Alejandro Sánchez Rodríguez (Eds.)** (2006). Editorial Síntesis e Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 303 pp.

ISBN Ed. Síntesis: 978-84-975645-2-6;  
ISBN IGME: 978-84-784065-7-9

Precio: 22,74 €

para abrir campo a los descubrimientos". En el segundo capítulo, a partir del registro de minas de Tomás González (1832), se describe y analiza la minería en la corona de Castilla durante los siglos XVI al XVIII. En el siguiente capítulo se analiza la influencia de las legislaciones mineras, que se promulgaron durante el siglo XIX, en la modificación del panorama minero español.

Esta parte se cierra con un capítulo en el que afronta el tema desde un punto de vista geográfico intentando analizar los motivos que originaron la existencia de grandes diferencias de niveles de producto *per cápita* entre las provincias mineras del norte y sur de España. El autor defiende la tesis que los efectos del sector minero sobre las economías de las zonas mineras no dependen de la nacionalidad — española o extranjera— del capital, ni de la titularidad —estatal o privada— del mismo, sino de las características económicas del entorno geográfico próximo a las principales regiones mineras, de forma tal que en el norte de la península, el *boom* contribuyó al desarrollo económico alcanzado a mediados del siglo XX, mientras que esto no sucedió en las regiones mineras meridionales.

La segunda parte está dedicada a la evolución sectorial y empresarial. Así, empieza con un interesante estudio sobre la empresa autóctona del plomo; en ella se examinan las causas de la transformación de un numeroso grupo del empresariado minero y metalúrgico local, en mero gestor

de derechos mineros. En el siguiente capítulo se nos ofrece la versión de Antonio Escudero sobre el gran ciclo del mineral de hierro español (1876-1936), haciendo especial hincapié sobre el caso de Vizcaya, del que el autor es especialista. Un estudio sintético sobre los grandes emporios mineros en España: Río Tinto y Peñarroya, es el tema del siguiente capítulo. Ambas empresas, de capital extranjero, dominaron de una manera absoluta sus respectivos ámbitos de negocio, destacando en la raquítica estructura empresarial de la España de la época; sin embargo, sus modelos de gestión empresarial fueron muy distintos. Sostiene López-Morell que Peñarroya desarrolló un papel productivo mucho más dinámico, mientras que Río Tinto se limitó a sacar ventaja de explotar un yacimiento gigante; sin embargo, en la actualidad, la primera empresa ha desaparecido, mientras que la segunda sigue siendo líder mundial del sector minero. Concluye esta parte con un estudio, firmado por Arón Cohen, sobre la influencia de la explotación de las minas de Alquife en la evolución económica de la comarca granadina del Marquesado.

Finalmente, bajo el epígrafe: "Relaciones laborales, condiciones de vida y medio ambiente" se agrupan los capítulos que afrontan la temática de la obra desde una perspectiva social. "Trabajo y relaciones laborales en el despegue de la minería mundial (1890-1940)", incide en las particularidades de las relaciones laborales del sector minero y cómo éstas fueron evolucionando para adaptarse a las nuevas técnicas de explotación minera a gran escala. En el siguiente capítulo, se reseñan los distintos aspectos de los indicadores de los niveles de vida en la minería española, como el coste de la vida y los salarios reales, el trabajo infantil, la salud y la mortalidad y el estado nutricional a partir de la estatura.

De un modo análogo, se aborda la cuestión de la siniestralidad laboral en Río Tinto. El volumen

Es una obra que, desde la perspectiva de la historia económica, muestra su punto de vista sobre la minería española, brindando numerosos datos y referencias que permiten comprender la capacidad que tuvo el *boom* minero para generar un cambio económico genuino

concluye con un capítulo dedicado al análisis de las actitudes de los distintos agentes sociales ante los problemas de contaminación que ocurren en algunas de las mayores cuencas cupríferas mundiales; es decir, a los límites al crecimiento del sector minero que podían causar las externalidades negativas.

En resumen, es una obra que, desde la perspectiva de la historia económica, muestra su punto de vista sobre la minería española, brindando numerosos datos y referencias que permiten comprender la capacidad que tuvo el *boom* minero para generar un cambio económico genuino. Capacidad que, según se desprende de la lectura del libro, en buena medida fue desaprovechada, ya que la mayor parte de los beneficios que proporcionó la explotación de nuestros recursos minerales salieron de nuestras fronteras, y estos recursos no se aprovecharon lo suficiente para potenciar la industrialización nacional. Sin ninguna duda, la lectura de este libro interesará tanto a los profesionales de la minería como a los investigadores de la historia económica.

**Ester Boixereu Vila**  
([e.boixereu@igme.es](mailto:e.boixereu@igme.es))  
Geólogo



# Comiendo tierra

TEXTO | Xavier Agulló

Aunque es la imagen del último y desesperado recurso antes de morir de inanición, comerse la tierra —gracias a las insondables y tortuosas piruetas de la posmodernidad, que nos ha hecho libres de dogmatismos y verdades absolutas— se ha convertido en lo más trendie, avanzado y culto en la veloz carrera prospectiva de la gastronomía española de vanguardia.

El gran Adrià, como siempre, fue el primero en flirtear con la "geofagia", si se me permite el neologismo, aunque debemos advertir que comerse los recursos geológicos del planeta, ya sean minerales, metales e incluso la misma tierra y sus diversas texturas no entra dentro del figurativismo (afortunadamente), sino más bien en terrenos de metáforas o aplicaciones matizadas cuyo fin último es la estética y la provocación pero también el placer gastronómico, tanto el directo como el cortical.

Así fue como Ferran nos dio el huevo de oro, aquel huevo que, recubierto de pan del metal precioso y fundido con un soplete, guardaba en sí toda su gloria coulant para explotar paganamente en boca ofreciendo sensaciones de frenesí cromático. Luego han venido muchos más huevos tocados auríferamente, como el reciente plato de Quique Dacosta "la gallina de los huevos de oro". Quique es, por cierto, uno de los avanzados de la "mineralización" desde El Poblet, su restaurante de Dènia. Así, causó furor una de sus elaboraciones más internacionales, la "ostra, homenaje Guggenheim" (figura 1), un homenaje al museo bilbaíno que encerraba el bivalvo en un gel compuesto de polvo de plata y titanio, tocado finalmente con un papel elaborado con los mismos elementos configurando las alabeadas de Frank Gehry (figura 2).



Figura 1. "Ostra, homenaje Guggenheim". Una elaboración de Quique Dacosta, del restaurante El Poblet. (Foto: restaurante El Poblet; Carlos Rondón).



Figura 2. Cubiertas alabeadas de titanio del Museo Guggenheim, Bilbao.



Figura 3. "Granito" del restaurante El Bulli, Gerona. Foto: Eddy Kelele / El Mundo



Figura 4. Roca granítica.

## Andoni Luis Aduriz (Mugaritz, Errenteria) presenta, en delirante trampantojo, unas patatas cocidas en arcilla que son auténticos cantos rodados

Además de esos metales, que ya son casi parte de la historia gastronómica (recordemos el risotto de oro de Gualtiero Marchesi, por ejemplo) y que conforman una visión mágica, alquímica, de transformación y también de opulencia de la cocina, los chefs más reflexivos han ido avanzando en busca de los secretos últimos de la materia del planeta. Así, justificando hiperrealísticamente el aforismo de Josep Pla ("la gastronomía debe ser el paisaje que nos rodea llevado al plato"), que se refería a la necesidad de usar los productos del entorno para crear corpus culinario, aquellos creadores han iniciado un camino espectacular hacia la interpretación coquinaria libre del material geológico. El paisaje, sin tonterías, en el plato. Tierras, arenas, rocas, musgos...

Llamamos a este movimiento, que cuenta con conspicuos seguidores en la cocina de vanguardia española, "organicismo", en recuerdo acaso

de la filosofía de integración natural que animó a Frank Lloyd Wright. El plato fundacional de esta familia gastronómica que pretende reelaborar lo geológico en cocina fue el famoso Tierra (tierras de chocolate, yoghurt, melocotón), creado por Albert Adrià a principios de este Milenio. Más tarde, este postre pasó al mundo salado, y a partir de ahí, en El Bulli se sucedieron los fenómenos, como aquel mítico Deshielo, con agua congelada de pino... Esta misma temporada, en El Bulli, se están sirviendo auténticas locuras "tecnonaturales". Crujientes que posibilitan todo tipo de morfologías (incluso flores); merengues pasados por nitrógeno líquido que devienen fósiles; rocas de granito... (figuras 3 y 4) Todo ello ha llevado, por sinergia, a platos tan complejos y asombrosos como la montaña con nieve fresca enganchada a la tierra, creación en trompe l'oeil que se consigue gracias a la maltodextrina.

Piedras. Dacosta, en su granito, composición que quiere imitar los fondos marinos, consigue, a partir de algas y clara de huevo, recrear impresionantes pedruscos. Andoni Luis Aduriz (Mugaritz, Errenteria) presenta, en delirante trampantojo, unas patatas cocidas en arcilla que son auténticos cantos rodados (figura 5). En ambos casos, sin embargo, es preciso decir que a la sorpresa estética se superpone una auténtica sinfonía sávida. En el primer caso, un estallante sabor a mar; en el segundo, gracias al sellado de la patata hervida con arcilla y caolín, una jugosidad inusitada.

De las rocas, a los paisajes. Parecía obvio. Primero, con distintas técnicas, creamos los elementos geológicos. Las distintas texturas de la



Figura 5. "Patatas con arcilla gris". Restaurante Mugaritz, Errentería.



Figura 6. "Parque El Torcal". Restaurante Calima (Marbella). Foto: Jesús Domínguez / El Mundo



Figura 7. Vista general del paisaje calcáreo de El Torcal de Antequera, Málaga (Foto: Alfredo García de Domingo).

## Pedro Subijana juega con las texturas convirtiendo las gambas o el atún en polvos esenciales, y creando también platos espectaculares

tierra. Luego, con todo ello dibujamos los paisajes. Como el postre "playa" de Andoni, donde una orilla de arenas realizadas con bizcochos, leches en polvo y cacao desmenuzados recibe las suaves olas de la badiana y el mentol.

Quique conseguía también un paisaje sugestivo con su "cremoso de parmesano", un prado de albahacas surgiendo de unas tierras de migas de pan. Evocación. Intelectualización del terroir. Un buen ejemplo de ello es el reciente "bosque animado" del mismo Dacosta, toda una metáfora del bosque conseguida a partir de tierras de hongos, de trufas; de hierbas; de rocas de ceps. O su "Gianduja de cítricos", que es un campo de naranjas a partir de tierras y arenas de cítricos.

Yendo incluso más allá, hacia la máxima síntesis, nos topamos con los hermanos Roca (Celler de Can Roca, Girona) y su polémica "ostra con destilado de tierra", plato que soliviantó a los habituales del búnker gastronómico nacional. La tierra, destilada con un neoserpentín, otorgando no sólo olor, sino sabor a una delicada ostra. Otro de sus hits de esta temporada, la declinación del Riesling, que es la deconstrucción del vino y su tierra sobre unos mejillones, insiste en el tema. Más formales son, finalmente, sus "rocas de chocolate".

Y hay mucho más. Pedro Subijana juega con las texturas convirtiendo las gambas o el atún en polvos esenciales, y creando también platos espectaculares como su reciente vieira con arenas de colores, a partir de pimienta roja, verde y el coral del bivalvo.

Y Sergi Arola, escenificando con su "medallón de langosta con verduras y couscous de arroz" un homenaje a los paisajes arenosos de Burkina Fasso. O Dani García, que es capaz de reproducir las piedras oblongas del parque del Torcal en uno de sus postres (figuras 6 y 7)...

Y esto, amigos, es sólo el principio...

# El Parque Natural de Arribes del Duero

La belleza geológica y paisajística de este Parque Natural sigue siendo bastante desconocida para el público amante de la naturaleza. Presenta unos rasgos físicos, tanto geológicos como geomorfológicos, que le dotan de cierta peculiaridad. La ausencia de infraestructuras turísticas “sostenibles” han imposibilitado la estancia continuada de los visitantes. La rehabilitación reciente del poblado hidroeléctrico de la presa de Saucelle en un centro de Turismo Rural es una iniciativa que facilitara la visita a tan espléndido espacio.

**“En uno de los repliegues de ese terreno se ocultan los hondos tajos, las encrespadas gargantas, los imponentes cuchillos, los erguidos esfayaderos, bajo los cuales, allá, en lo hondo, vive y corre el Duero”**

Miguel de Unamuno

TEXTO | Carlos Panta

ILUSTRACIONES | empresa Berturismo XXI

Palabras clave

Las Arribes, Duero, Saucelle, Fregeneda.

La comarca de las Arribes del Duero está situada al oeste de la Comunidad Autónoma de Castilla-León, en el ángulo NO de la provincia de Salamanca y SE de Zamora, extendiéndose a todo lo largo de las orillas izquierdas de los ríos Tormes y Duero, hasta la entrada de éste último en Portugal por el término de Fregeneda (figura 1). Conforman una parte de lo que tradicionalmente se ha conocido como “la raya con Portugal”, lugar de frontera en el pasado y de encuentro en la actualidad. El término “arribes” es una palabra asturleonera derivada del latín “ad ripam”, que significa “a la orilla” y se usa indistintamente en toda la zona, pero con matices. En la parte salmantina suele usarse la forma etimológica, en femenino, diciéndose por tanto “Las Arribes” mientras que, en la parte zamorana suele ser más frecuente usar dicho término en masculino “Los Arribes”.

Las Arribes del Duero fue declarado Parque Natural el 11 de abril de 2002, por la Comunidad Autónoma de Castilla y León. Tiene una superficie aproximada de 106.105 Ha, pertenecientes a 37 municipios de las provincias de Zamora y Salamanca. La parte portuguesa, denominada “Parque Natural Douro Internacional” y extendida sobre una

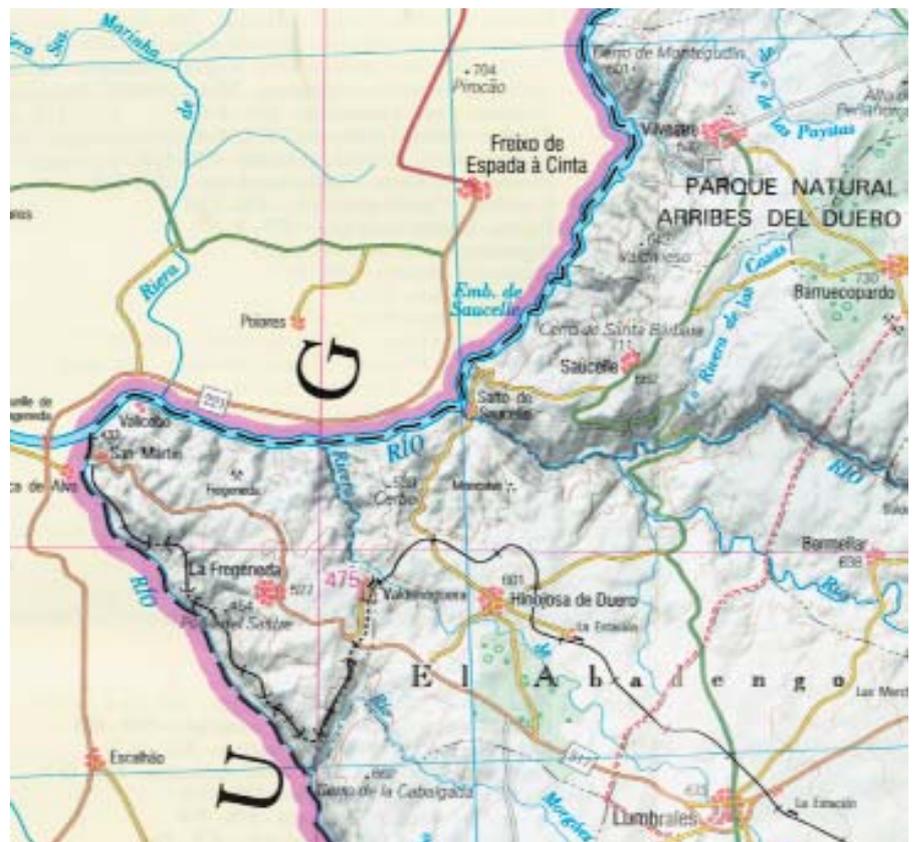


Figura 1. Mapa de situación de la zona sur del Parque, donde se sitúa el Embalse de Saucelle.

superficie de 85.150 ha. Aproximadamente, ya ostentaba esta consideración desde 1998. El Parque Natural “Arribes del Duero” entre el

territorio español y el portugués comprende unas 237500 has., que lo convierte en una de las mayores áreas protegidas de Europa.



Figura 2. Palomar.



Figura 3. Restos arqueológicos.



Figura 4. Casco antiguo de Castello Rodrigo.

Dentro del patrimonio rural existe una gran riqueza de elementos arquitectónicos representativos de la cultura sayaguesa y ribereña: paredes de piedra o cortinas, fuentes, chozos, palomares (figura 2), molinos, puente, potros de herrar, lagares rupestres, etc. También sus restos arqueológicos son importantes (figura 3). Muchos de esos municipios, tanto del parque español como portugués, conservan aún la belleza de la tradición arquitectónica autóctona (figura 4).

En los últimos tiempos se han subvencionado e invertido en infraestructuras y servicios en distintos puntos, en mejora de carreteras y en equipamiento de pueblos, todo ello de cara al turismo que se espera generar con la declaración de Parque Natural.

### Rasgos geológicos

Las Arribes se encuentran dentro del dominio del Macizo Hespérico con afloramientos de rocas metamórficas y, sobre todo, rocas graníticas. La erosión ha rebajado los relieves generados en la orogenia hercínica dando origen a la penillanura salmantino-zamorana. El Duero, tras su paso por la llanura cerealista que se puebla de amapolas en primavera (figura 5), se introduce en la penillanura occidental labrada en los duros materiales paleozoicos donde aprovechan cualquier línea de debilidad. La red hidrográfica del río Duero y sus afluentes: Esla, Tormes, Uces, Camaces, Huebra y Águeda (figura 6), se ha encajado formando cañones y cortados de hasta 500 m de altura en algunos puntos (figura 7). Gracias a esta profunda hendidura, a lo largo de casi 100 kilómetros de "arribes", se ha generado un microclima mediterráneo.

Según Martín-Serrano (1989), el encajamiento del Duero y sus afluentes constituyen la "época de destrucción" de la superficie fundamental del relieve de la región, que es la penillanura. Este encajamiento se manifiesta tanto sobre el zócalo hercínico como sobre la Cubeta sedimentaria de la Cuenca del Duero. Durante el Neógeno el encajamiento ya estaba muy bien definido en la zona fronteriza.



Figura 5. Amapolas en la llanura cerealista.



Figura 6. Río Águeda, afluente del Duero encajado en los materiales paleozoicos.



Figura 7. El cañón del Duero encajado en la penillanura.

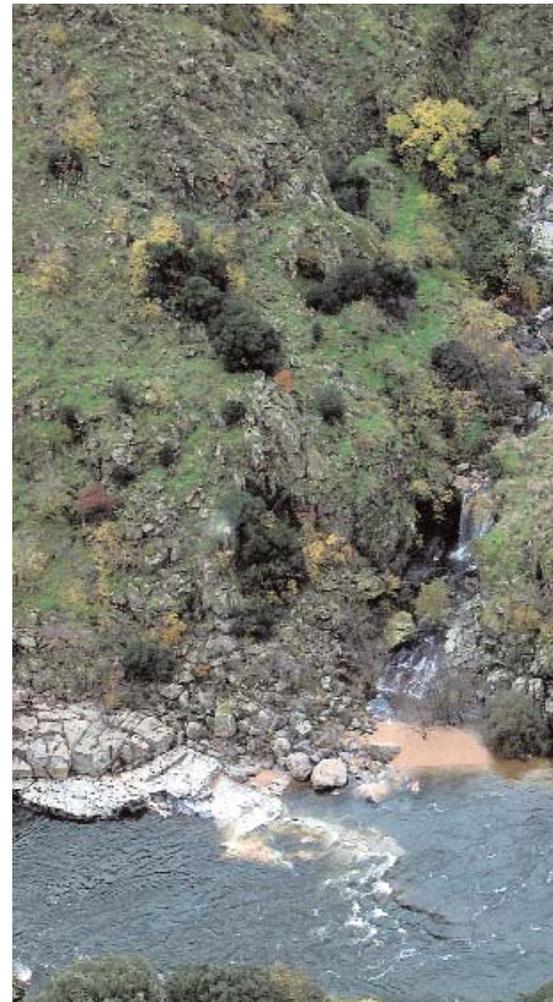


Figura 9. Torrente en el río Águeda.

Destino especial ineludible para todo el que visita el parque natural es el Pozo de los Humos, un punto de interés geológico singular en la comarca. En un apartado rincón, situado entre las poblaciones de Masueco y Pereña, el río Uces se precipita su destino en una caída libre de cerca de 30 metros (figura 8). Aguas arriba, el rumor del caudal ya nos hace presentir este inevitable paso que ha de salvar el río en su camino hacia el Duero. El agua cae velozmente por la cascada y se estrella con toda su fuerza contra las rocas graníticas del fondo, provocando una espectacular visión en la que las diminutas gotas de agua se pulverizan en una especie de humo húmedo que da nombre al paraje. Es especialmente recomendable la visita al Pozo de los Humos en época de crecidas y durante los meses de invierno y primavera. Otras torrenteras menores (figura 9) completan el conjunto de saltos de agua naturales que tiene la comarca.

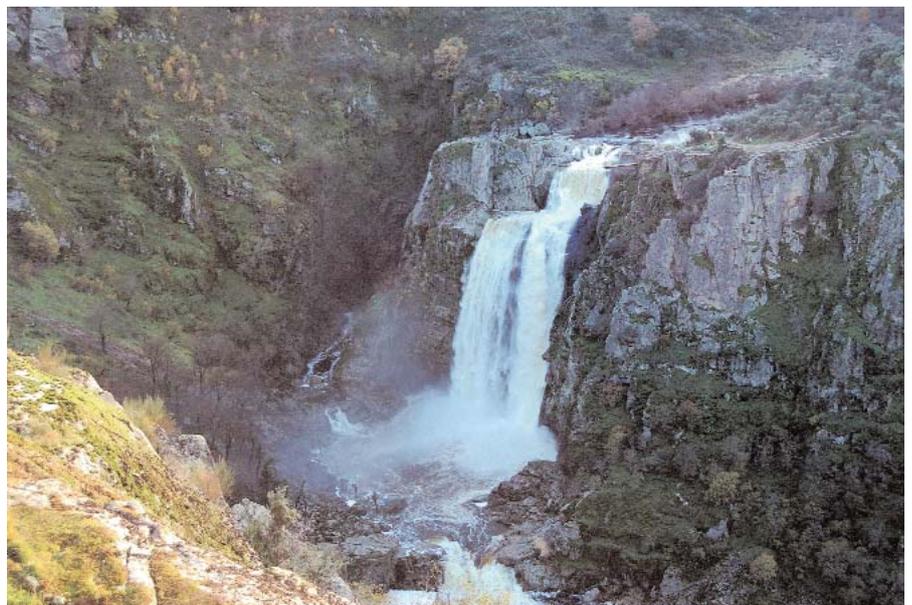


Figura 8. El pozo de los Humos. Cascada del río Uces.

### Biodiversidad

La rica y peculiar floral esta constituida comunidad riparia con saucedas, fresnedas y

en sus proximidades bosquetes de almeces. Sobre la penillanura, el habitante de estas tierras ha configurado un mosaico de cultivos entre cortinas de piedra, pastizales,



Figura 10. Poblado hidroeléctrico de la presa de Saucelle.



Figura 11. Casas del poblado de Iberdrola.



Figura 12. Casas del poblado de Iberdrola.

bosques de encinas y robles, que conforman un paisaje característico y único. También es muy importante la elevada riqueza faunística. De entre las cerca de trescientas especies de vertebrados registradas, destacan la cigüeña negra catalogada como especie en peligro de extinción, águila perdicera, águila real, alimoche, halcón peregrino,

lince ibérico, búho real, buitre leonado, vencejo real, nutria... Merced a esta importante avifauna, la zona fue designada, en el año 1990, Zona de Especial Protección para las Aves, por la Unión Europea.

### La presa de Saucelle

El alto caudal que posee el río Duero y el gran desnivel existente en este tramo intermedio de su curso lo convierten en idóneo para la construcción de aprovechamientos hidroeléctricos. El Salto de Saucelle se encuentra situado en la confluencia de los ríos Duero y Huebra, aprovechando el caudal de ambos ríos tras la construcción de Saucelle II. Es el último aprovechamiento hidroeléctrico del Duero. Aguas abajo de Saucelle sólo quedan retenidas sus aguas por unas pocas esclusas que permiten la navegación del Duero hasta Oporto, desde Fregeneda en Vega Terrón. Es el último punto en el que el Duero hace frontera natural entre España y Portugal.

Saucelle I se inauguró el 29 de septiembre de 1956. En el verano de 1985 se procedió al recrecimiento de sus compuertas en dos metros. Actualmente es una presa de Gravedad, con una

altura de 92 m y una longitud de muro de 178 m; es capaz de embalsar un total de 169 hm<sup>3</sup> en una superficie de 582 Ha, con una potencia instalada de 285.000 kilovatios.

### El poblado hidroeléctrico de Saucelle convertido en centro de Turismo rural

El antiguo poblado (figura 10), fue construido por Iberduero en los años 50 para alojar a los trabajadores y sus familias de la central hidroeléctrica. Lo formaban: hotel dirección, hospedería, iglesia, escuelas, botiquín, casa cuartel de la guardia-civil, casino tiendas, más las cuarenta y cuatro viviendas que estaban clasificadas en tres categorías, con un promedio de cien, ochenta, y setenta metros cuadrados. En su mayoría son de planta baja, excepto tres. Todas ellas en sus alrededores están valladas, y el jardín comprendido dentro de la valla es de quinientos metros cuadrados, con terreno de buena calidad (figuras 11 y 12). Durante la construcción del Salto fueron ocupadas por los jefes de obra que la Empresa destinó en este lugar. Una vez finalizada la obra y en marcha la Central, pasaron a la Sección de Explotación, siendo ocupadas por personal de servicio y encargados del funcionamiento y conservación de la Central.

Actualmente, un importante proyecto turístico ha convertido el antiguo poblado hidroeléctrico, respetando la estructura de todos los edificios, en un centro de turismo rural, con la mayor oferta de plazas de alojamiento de Las Arribes del Duero. Esta pequeña aldea, se encuentra enclavada en el parque natural, junto al río Duero, a un paso de Portugal, y muy próximo al puerto fluvial portugués de Barca de Alva (figuras 13 y 14), enfrente de la localidad salmantina de Fregeneda. Desde el nuevo puerto fluvial de Barca de Alva se hacen magníficas excursiones en barco que recorren el curso del Duero en ambos sentidos.

El complejo, con una extensión de 18 hectáreas, se encuentra en un entorno



Figura 13. Vista aérea del puerto fluvial de Barca de Alva (orilla portuguesa).



Figura 14. Puerto fluvial de Barca de Alva.

único, entre pinos, olivos, naranjos, almendros y otros frutales mediterráneos, a la orilla del Duero, en la confluencia con el Huebra. Está compuesto por un hotel de 4 estrellas, una hospedería y 38 casas de alquiler, que hacen un total de 297 plazas. También cuenta con un aula de la naturaleza, donde se describen las características de la bió y geodiversidad de la zona.

Este importante proyecto está siendo promovido por la empresa Berturismo XXI, con unas amplias perspectivas, fundamentadas en el atractivo del Parque Natural Arribes del Duero, que es visitado al año por miles de personas que se interesan por el paisaje natural y la navegación por el Duero.

### **El puerto fluvial español de Vega Terrón. Una historia inconclusa**

Las primeras noticias sobre la posibilidad de hacer navegable el Duero y sus afluentes salmantinos, el Tormes y el Águeda, entre otros, datan de 1576.



Figura 15. Puente del ferrocarril antiguo con los barcos navegando por el Duero. Muelle de Vega Terrón, en el ángulo inferior derecho.



Figura 16. Ascensión en globo.

Gracias a varias medidas se preveía que podrían navegar por el Duero barcos de un ancho comprendido entre 12 y 15 pies y de longitud entre 40 y 45 pies. Estos barcos llevarían a Flandes, Francia, Inglaterra y Levante las lanas, cereales y vinos de Castilla.

El muelle fluvial de Vega de Terrón, situado en la confluencia de los ríos Águeda

y Duero, es único en España. Se creó un plano inclinado formado por cuatro muros longitudinales, paralelos unos a otros y con una pendiente de un treinta por ciento. El plano inclinado fue recortado con ocasión de la construcción del nuevo muelle, como la escalera de sillería adosada en uno de sus lados y uno de los hitos que mantiene las marcas del nivel del agua alcanzada: una fue al poco tiempo de ser inaugurado y la otra en 1909. En su momento de mayor auge llegó a ser un núcleo de población con doce edificios y 13 habitantes a principios del siglo XX, con un tráfico de mercancías bastante importante, contando con aduana y puesto de la guardia civil.

Vega Terrón había sido desde hace más un siglo el punto de encuentro entre España y Portugal en la frontera entre La Fregeneda y Barca de Alva en el paso de una línea férrea que funcionó entre 1887 y 1985. Tras la terminación de las esclusas y el dragado del cauce fluvial del lado portugués, las autoridades salmantinas iniciaron un largo camino con el objetivo de conseguir que el Duero fuera también navegable desde la desembocadura del Águeda. Un recorrido que registró como hito principal la inauguración, en 1995, del muelle fluvial de Vega Terrón (figura 15), un proyecto capitaneado por la

Diputación de Salamanca, que requirió la inversión de más de tres millones de euros para adecuar el espacio natural a las exigencias de un proyecto logístico.

El pequeño muelle posee, igualmente, una notable importancia al ser el único puerto fluvial con capacidad para comunicar Castilla y León con el Atlántico e incluye, entre sus atractivos, ser el punto final de una ruta fascinante sobre la vieja línea férrea, que surca, ininterrumpidamente, puentes y túneles de impactante belleza (figura 15), desde la cercana población de La Fregeneda. Otras ofertas de ocio también están contempladas, como la ascensión en globo (figura 16), que dan una visión excepcional del paisaje de la región.

### Bibliografía

Martín Serrano, A. (1989). *El relieve de la región occidental zamorana. La evolución geomorfológica de un borde del Macizo Hespérico*. Tesis doctoral. Instituto de Estudios zamoranos "Florián de Campo" (CSIC). Diputación de Zamora. 311p.

# Normas de publicación de la Revista T&T

## Principios generales

- Los artículos deberán ser originales, estar escritos en castellano y no estar publicados en ninguna otra revista.
- El comité editorial revisará los manuscritos y decidirá su publicación o devolución.

## Texto

- Se entregará en un archivo Word, en cualquier tipo y tamaño de letra.
- Para calcular la extensión se informa de que 600 palabras son una página editada de la revista.
- Todas las ilustraciones (mapas, esquemas, fotos o figuras) y tablas serán referenciados en el texto como (figura...) o (tabla...).
- Las referencias bibliográficas dentro del texto se harán siempre en minúscula.

## Tablas

Toda información tabulada será denominada "tabla" y nunca "cuadro".

## Figuras

- Todas las ilustraciones se considerarán figuras.
- Las figuras se reseñarán dentro del texto como (figura...)
- Es recomendable una o dos figuras por cada 600 palabras de texto.
- El tamaño digital de todas las figuras deberá ser > de 1 Mega.
- NO SE ADMITEN ILUSTRACIONES DE INTERNET, salvo casos excepcionales.
- Cada figura se entregará en un archivo independiente.
- Los pies de figura se incluirán en una página independiente dentro del archivo de texto.

## Estructura del artículo

- Los artículos tendrán un **título**, seguido de un **post-título** (entradilla, a modo de resumen). Detrás se pondrá el nombre del **autor/es**, con la titulación que tenga, y a continuación se incluirán **palabras clave** (entre tres y cinco). Al final del artículo podrán incluir: **agradecimientos** y **bibliografía**.
- El texto general estará dividido en epígrafes, pero NUNCA se comenzará poniendo la palabra "Introducción".

## Bibliografía

Las referencias bibliográficas se reseñarán en minúscula, con sangría francesa, de la siguiente manera:

Barrera, J. L. (2001). El institucionista Francisco Quiroga y Rodríguez (1853-1894), primer catedrático de Cristalografía de Europa. *Boletín de la Institución Libre de Enseñanza*, (40-41): 99-116.

El nombre del autor presentará primero su apellido, poniendo sólo la inicial en mayúscula, seguido de la inicial del nombre y del año entre paréntesis, separado por un punto del título.

Los titulares de artículos no se pondrán entre comillas ni en cursiva. Los nombres de las revistas y los títulos de libros se pondrán en cursiva.

## Envío

Los manuscritos se remitirán por correo en un CD con una copia en papel, tanto del texto como de las ilustraciones, a la redacción de la revista *Tierra & Tecnología*, Colegio Oficial de Geólogos; Avda. de la Reina Victoria, 8, 4ºB, 28003 Madrid.

## Separatas y originales

Los autores recibirán 20 separatas y varios ejemplares de la revista completa. Se devolverán los materiales originales.

# Colegio Oficial de Geólogos

*Creando contigo  
la Geología Profesional*

**Colegiación**

**Visado**

**Asesoría**

**Títulos profesionales**

**Formación**

**Bolsa de empleo**

**Tertulias**

**Revista *Tierra y Tecnología***

Es miembro de

Federación Europea de Geólogos

Unión Profesional

Unión Interprofesional de Madrid

Asoc. Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra



icog@icog.es - 915 532 403

BARCELONA BILBAO MADRID OVIEDO ZARAGOZA

**www.icog.es**