



Ilustre Colegio  
Oficial  
de Geólogos

# Tierra y Tecnología

REVISTA DE INFORMACIÓN GEOLÓGICA • Nº 29 • PRIMER SEMESTRE 2006

## Parque Minero de Almadén

- Galicia, líder en la producción de cuarcita piedra natural
- Nueva Zelanda, tierra de terremotos
- Las geo → rutas del Parque Natural del Alto Tajo
- Descubriendo China

# El invisible anillo

*El invisible anillo*, Revista Cuatrimestral de Poesía y otras Bellas Artes, nació el pasado mes de mayo, 175 años después que el autor del verso que le da nombre, Gustavo Adolfo Bécquer, con la intención de unir *el mundo de la forma al mundo de la idea*, como expresara el poeta sevillano en su Rima V:

Yo soy sobre el abismo  
el puente que atraviesa,  
yo soy la ignota escala  
que el cielo une a la tierra.

Yo soy *el invisible*  
*anillo* que sujeta  
el mundo de la forma  
al mundo de la idea.

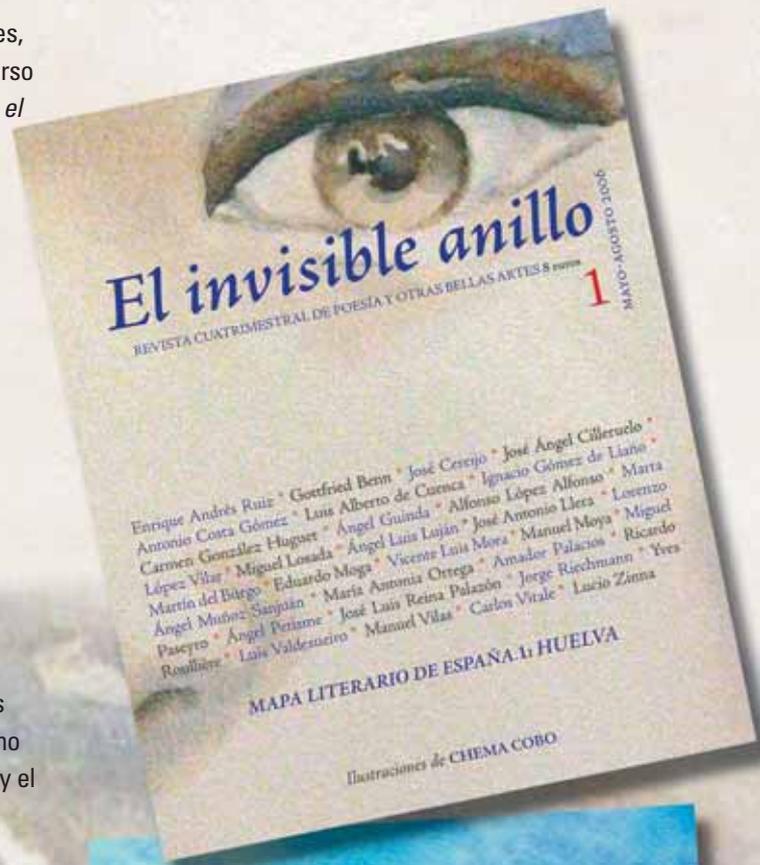
No se ciñe exclusivamente *El invisible anillo* a la poesía, aunque constituye uno de sus principales objetivos mostrar lo que está “cociéndose” en este campo en nuestro país, tanto entre los poetas consagrados como dando voz a las nuevas tendencias estéticas, sino que abre sus páginas al ensayo literario, a la reflexión sobre el arte y el hecho artístico, a la crítica de cine, la música alternativa y, en definitiva, a la creación humana en sus diversas manifestaciones.

Esta aventura literaria y artística, de carácter independiente, ha sido emprendida con profesionalidad e ilusión por Editorial Eneida, con el fin de enriquecer el panorama poético y literario y mostrar las aportaciones de todas aquellas personas que deseen hacer público su original modo de interpretar la realidad y, de este modo, fomentar, en lo posible, *la inteligencia amorosa de los hombres*.

Su cuidado diseño, con un formato novedoso, agradable y cálido a la vista y al tacto, hacen de *El invisible anillo* una publicación idónea para quienes quieran estar al corriente de lo que está sucediendo en el mundo independiente de la poesía, la literatura y las artes.

Lur Sotuela, joven editor de la revista, subraya como una de las secciones más novedosas el “Mapa Literario”, que en cada entrega está dedicado a una provincia. Huelva y Zaragoza ya han sido protagonistas en los dos primeros números, y el de A Coruña se trazarará en el número 3, que estará disponible en enero.

Cada número de *El invisible anillo* va ilustrado en su totalidad por un pintor de reconocida calidad, lo que permite obtener una panorámica de la trayectoria del artista invitado a lo largo de su obra.



El número 2 ya está  
en las principales  
librerías

¡Búscala, que aunque *El anillo* sea invisible, lo encontrarás! ¡Espero que la disfrutes!

Lur Sotuela Elorriaga • e-mail: invisible@editorialeideida.com



**Ilustre Colegio Oficial  
de Geólogos**

**ADMINISTRACIÓN Y REDACCIÓN**

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

**COMITÉ EDITORIAL**

EDITOR PRINCIPAL  
J.L. BARRERA MORATE

**COLABORADORES**

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

**CORRESPONSALES**

LUIS ALFONSO FERNÁNDEZ PÉREZ (ASTURIAS)

**SECRETARÍA**

ÁUREO CABALLERO

**WWW.ICOG.ES**

**ICOG@ICOG.ES**

**WEBMASTER:** ENRIQUE PAMPLIEGA

**DISEÑO**

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

**ISSN: 1131-5016**

**DEPÓSITO LEGAL: M-10.137-1992**

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

FOTO DE PORTADA: EXPLOTACIÓN EN “BANCOS  
Y TESTEROS”. MINERO TRABAJANDO EN UN TESTERO.  
AUTOR: DOMINGO

# Sumario

- 2 • EDITORIAL
- 3 • PARQUE MINERO DE ALMADÉN
- 15 • TECTÓNICA RECIENTE Y ACTIVA EN LA CORDILLERA DEL RIF (ALHUCEMAS, MARRUECOS)
- 26 • LA REVISTA GEMAS Y MINERALES
- 27 • GALICIA ES LÍDER EN LA PRODUCCIÓN DE CUARCITA PIEDRA NATURAL
- 37 • EL NUEVO CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE)
- 40 • CAUSAS DE SINIESTRALIDAD DE PROYECTOS VISADOS POR EL ICOG (AÑOS 2001-2005)
- 42 • CASA MONTERO. LA MINA DE SÍLEX MÁS ANTIGUA DE LA PENÍNSULA IBÉRICA
- 51 • NUEVA ZELANDA. TIERRA DE TERREMOTOS (*HE WHENUA NA RUAUMOKO*)
- 61 • INTERPRETACIÓN DE LA GEOLOGÍA: LAS GEO→RUTAS DEL PARQUE NATURAL DEL ALTO TAJO
- 68 • DESTRUCCIÓN EN PENA CORNEIRA
- 70 • TERUEL, UN PARAÍSO DINOSAURIOLÓGICO
- 77 • LO QUE DEBE O NO DEBE PONERSE EN UN ESTUDIO GEOTÉCNICO
- 83 • DESCUBRIENDO CHINA
- 89 • MI SINOPSIS DE LA MINERÍA
- 94 • LAS SALINAS DE IMÓN Y DE LA OLMEDA (GUADALAJARA)
- 99 • EL MUSEO DE HISTORIA NATURAL “LUIS IGLESIAS” DE LA UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Fue una sorpresa conocer, en junio pasado, que la revista del Colegio, *Tierra & Tecnología*, estaba catalogada como una revista científica en el área de Ciencia de la Tierra por el Centro de Información y Documentación Científica (CINDOC), adscrito al CSIC. Es la única revista de esta área que publica a cuatricromía todas sus páginas. Un verdadero lujo para una actividad como la nuestra en que los esquemas, mapas e ilustraciones deben publicarse a todo color.

Varias veces se me ha comentado que porqué la revista no tenía revisores y se transformaba en una revista técnico-científica. Desde el Consejo de Redacción pensamos que en España no faltan revistas técnicas de Geología, sino revistas de divulgación geológica. Lo que pretendemos desde el Colegio, a través de la revista, es proporcionar al público información rigurosa sobre lo que hacen los geólogos profesionales ya sea en el campo aplicado, en el de la investigación o en la docencia —porque todos son profesionales—. Realmente, lo que hace falta es divulgar la actividad profesional y cuál es nuestra aportación a la sociedad por alguien con capacidad para ello, y eso, desgraciadamente, es todavía escaso en España. La mejor divulgación es aquella que expone, de manera sucinta y de forma literaria, las ideas científicas y los trabajos técnicos que hacemos.

La divulgación científica y técnica es importante para la democratización de la sociedad y para la participación de los ciudadanos en la toma de decisiones que determinarán su futuro: una sociedad más culta será también una sociedad más libre y responsable.

La dificultad está en encontrar el equilibrio entre publicar una revista de geólogos para geólogos o una revista de geólogos para la sociedad, manteniendo un mínimo rigor y profesionalidad. En *Tierra & Tecnología* queremos divulgar, pero no banalizar. La calidad de los artículos se controla por medio de un comité de redacción. Algunas ciencias que se popularizan demasiado pueden ser muy engañosas, pues están realizadas por gente con poco conocimiento sobre el tema, que

interpretan o por personas con opiniones sesgadas. Por desgracia, para una persona sin experiencia puede resultar difícil la identificación de los artículos engañosos.

¿Qué apoyo va a dar la ciudadanía a la Ciencia y la Técnica —en nuestro caso a la Geología— con sus impuestos si no conoce lo que se hace? ¿Sabían ustedes que la mayor parte de las agencias o institutos científicos en Estados Unidos cuentan con un departamento de divulgación científica que pretende devolver a la sociedad, en forma de conocimiento, las importantes inversiones realizadas en grandes proyectos?

Pues, en España, no sólo faltan estos departamentos sino que ahora, según las informaciones que llegan desde el Ministerio de Educación, pretenden suprimir los pocos contenidos geológicos que tiene la ESO y el Bachillerato. ¿Qué cultura geológica van a tener los ciudadanos si se les niega su formación básica? ¿Qué capacidad de juicio van a tener aquellos que lleguen a la Administración y tengan que decidir y reglamentar sobre ordenación del territorio, medio ambiente, riesgos naturales, recursos naturales, patrimonio geológico o ingeniería geológica, entre otros temas, si no saben que existen las arcillas, los minerales, las fallas, los acuíferos, las canteras, los estratos o los fósiles? Muchas preguntas y pocas respuestas. En relación con esta última pretensión ministerial, el Colegio ha enviado recientemente una carta al Ministerio de Educación solicitando que se mantengan los contenidos actuales de Geología en el currículum. Hay visos de que los responsables ministeriales van a reconsiderar su postura inicial y reflexionarán sobre la permanencia de la Geología en la Enseñanza Secundaria. Mal vamos si entre todos no dedicamos más atención a estos objetivos de formación y divulgación.

En este orden de cosas, hay que felicitar a todos los autores que han colaborado con *Tierra & Tecnología* a lo largo de su historia editorial, por el esfuerzo que han hecho para divulgar su actividad geológica y contribuir con ello al conocimiento general de nuestra profesión y al prestigio de la publicación. Ellos han sido los verdaderos protagonistas de nuestra revista.

# Parque Minero de Almadén

Todos los yacimientos, hasta los más grandes, terminan agotándose, y Almadén no iba a ser una excepción. Ahora que la explotación minera ha llegado a su fin (la mina dejó de extraer mineral en el año 2001 y la metalurgia acabó de transformar el cinabrio en mercurio en 2003), Almadén apuesta por la transformación de este conjunto industrial en una explotación cultural y turística.

**Texto** | Ángel Manuel Hernández Sobrino, geólogo. Fundación Almadén-Francisco Javier de Villegas.

Palabras clave

**Almadén, parque minero, mercurio**

La Naturaleza se mostró muy generosa con Almadén cuando creó en sus entrañas, hace algo así como 400 millones de años, el mayor yacimiento de mercurio del planeta. En efecto, de los 22 millones de frascos de mercurio (un frasco contiene 34,5 kg de metal) consumidos a lo largo de la historia de la Humanidad, una tercera parte procede de Almadén (*figura 1*).

Este proyecto, que empezó a gestarse a finales de 1999 con la creación de la Fundación Almadén-Francisco Javier de Villegas, ha recorrido ya un largo camino que está a punto de finalizar con la inauguración del Parque Minero de Almadén. Según el calendario previsto, el interior de la mina será visitable antes de final del año 2006; el museo del mercurio, en diciembre del mismo año; y el resto de las instalaciones, en la primavera de 2007. El Real Hospital de Mineros (*figura 2*), que forma parte de este mismo proyecto, fue inaugurado en febrero de 2004.

## Plan Director

Abordar un proyecto de estas dimensiones —el presupuesto total es de unos 12 millones de euros (más de 20 millones si consideramos la recuperación medioambiental que se está llevando a cabo en las escombreras de la mina)—, requería definir y valorar con cuidado las acciones necesarias para restaurar debidamente las instalaciones mineras y metalúrgicas de Almadén.

Este proceso de rehabilitación quedó plasmado en el Plan Director del Parque Minero de Almadén, en el que se fijaron los siguientes objetivos:

- Recuperar la memoria histórica de Almadén y sus mineros.
- Preservar, conservar y divulgar el patrimonio minero-industrial de Almadén.
- Transformar el conjunto de instalaciones industriales de minas de Almadén en un espacio socio-cultural (*figura 3*).
- Fomentar el turismo minero-cultural.
- Potenciar el conjunto como un centro de excelencia para la investigación del mercurio.
- Convertir el proyecto en un elemento dinamizador del desarrollo local.
- Fomentar la necesaria protección y defensa del gran valor que representa el patrimonio minero de Almadén como patrimonio de la Humanidad.

- Implicar a la comunidad minera de Almadén en el nuevo proyecto.

El coste de realización del Plan Director ascendió a unos 220.000 euros.

La empresa pública Minas de Almadén y Arroyanes, S.A. (MAYASA), y la Fundación Almadén-Francisco Javier de Villegas llevan trabajando, codo con codo,



*Figura 2. El Real Hospital de Mineros de San Rafael, después de su restauración.*



*Figura 1. Vista general de Almadén. En primer término, las instalaciones mineras.*

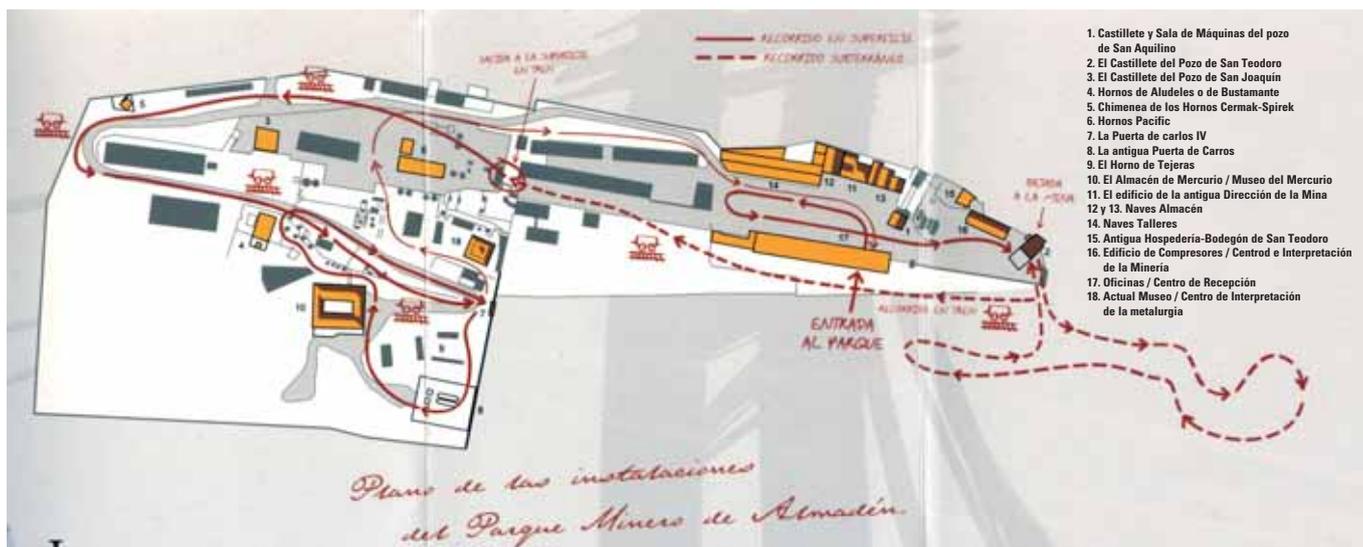


Figura 3. Plano de las Instalaciones del Parque Minero de Almadén.

cuatro años en la consecución de los objetivos. Nos queda, sin duda, mucho trabajo por hacer, pero estamos bastante más cerca de la meta fijada.

### Real Hospital de Mineros

Es la sede actual de nuestra fundación y alberga en su interior el Archivo Histórico de las Minas y el Museo del Minero. Fue el primer edificio restaurado del conjunto arquitectónico propiedad de las minas, y desde su inauguración lo han visitado más de 10.000 personas.

El Real Hospital es un edificio de notable porte existente fuera del cerco minero. Se fundó en 1752 por el superintendente Francisco Javier de Villegas, que da nombre a esta Fundación. Además, es un ejemplo magnífico de sinergia, pues los fondos necesarios para su construcción provinieron de la venta de las viviendas anejas a la plaza de toros y del beneficio de los espectáculos taurinos.

Es uno de los primeros hospitales en España que contó con una estructura asistencial profesionalizada y puede considerarse como un logro de los ideales del movimiento sanitario ilustrado del siglo XVIII. El edificio, declarado Bien de Interés Cultural en 1992, tiene planta de "L", es de traza sencilla y responde a criterios estrictamente funcionales y de economía constructiva. El único elemento representativo lo constituye la portada de ladrillo visto (figura 4), el balcón y la espadaña de la fachada principal. En una



Figura 4. Portada del Real Hospital de Mineros.



Figura 6. Museo Hospitalario.

hornacina hay una imagen del arcángel San Rafael procedente de la América Colonial. El anagrama de la fundación (figura 5) utiliza de fondo el diseño de esta portada.



Figura 5. Anagrama de la Fundación Amadén.



Figura 7. Museo del Minero.

El Museo del Minero nos permite ver dos aspectos relacionados con la vida del minero. Una sala está dedicada a su salud (figura 6), haciendo especial hincapié en



Figura 8. Despacho del Archivo Histórico.

la enfermedad característica de los mineros de Almadén: el hidrargirismo. En la otra sala (figura 7) se explica cómo trabajaban y cómo vivían: su familia, su modo de vida, sus aficiones y diversiones, etc.

Las obras de rehabilitación fueron llevadas a cabo en los años 2002 y 2003, y supusieron una inversión de unos 2,5 millones de euros, cofinanciados por los fondos FEDER y la Fundación Caja Madrid.

### El Archivo Histórico

Al haber sido creada para la recuperación y difusión del patrimonio histórico de las minas de Almadén, la Fundación Almadén-Francisco Javier de Villegas no podía dejar de lado el vastísimo patrimonio documental que nos han legado las minas. Por eso impulsó desde sus comienzos la creación del Archivo Histórico de las Minas de Almadén (figura 8), en el que se quieren reunir todos los documentos relacionados con estas explotaciones mineras y que, en la actualidad, se encuentran dispersos por varios archivos nacionales, con el fin de favorecer el estudio y el conocimiento de estas minas que tanta importancia han tenido a lo largo de la historia. Este proyecto de recuperación del patrimonio documental tiene dos líneas de actuación complementarias: la organización del Archivo Histórico de Minas de Almadén, a partir de los fondos heredados del archivo de la empresa Minas de Almadén y

Arrayanes, S.A., y la búsqueda y reproducción de los fondos dispersos por los distintos archivos.

## En el Archivo Histórico de las Minas de Almadén se quieren reunir todos los documentos relacionados con las explotaciones mineras que en la actualidad se encuentran dispersos en varios archivos nacionales

El Archivo Histórico de las Minas de Almadén está abierto al público desde febrero de 2004. Sus fondos se han organizado en cinco secciones: I. Fondo Antiguo (siglo XVIII–1918) (figura 9); II. Consejo de Administración de Minas de Almadén y Arrayanes (1918–1982); III. Minas de Almadén y Arrayanes, S.A. (1982-...); IV. Colección cartográfica (figura 10); V. Biblioteca. El volumen actual de sus fondos es de 2.667 metros lineales.

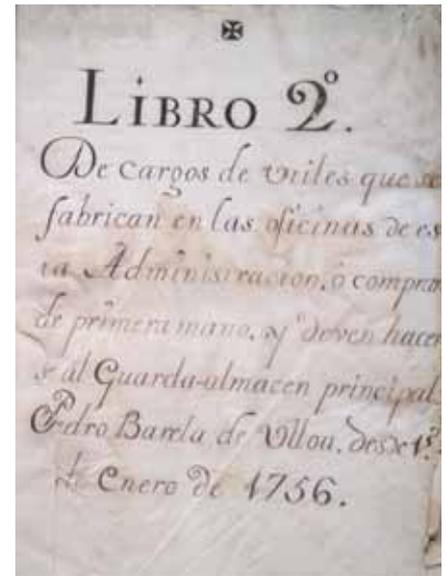


Figura 9. Portada de un manuscrito (año 1756).

Otro de los objetivos de nuestra fundación es dar a conocer la historia minera de Almadén. Por ello, viene realizando un esfuerzo editorial con la publicación de varios libros que abordan diversos aspectos relacionados con las minas y los mineros. Algunos títulos publicados por la Fundación, en los últimos años, son los siguientes:

- *Glosario de oficios mineros, metalúrgicos y administrativos y auxiliares en Almadén*, s. XIII-XIX. Ángel Hernández Sobrino. Diciembre de 2003.
- *Real Hospital de Mineros de San Rafael. Almadén*. Ángel Hernández Sobrino / Cristina Villar Diez. Ciudad Real, 2004.
- *Cuadernos didácticos del Real Hospital de Mineros de San Rafael para profesores y alumnos de la ESO y BUP*. Ciudad Real: Imprenta de la Diputación Provincial, 2004.
- *La bomba de fuego. Instalación de la máquina de vapor para desagüe de la mina de Almadén (1785-1805)*. Ángel Hernández Sobrino / Javier Fernández Aparicio. Ciudad Real, 2005.
- *Reedición del libro Historia de las Minas de Almadén. Volumen I: Desde la época romana hasta el año 1645*, de Antonio Matilla Tascón. Ciudad Real, 2005.
- *La pena de minas: los forzados de Almadén, años 1646-1699*. Julián Antonio Prior Cabanillas. Ciudad Real, 2006.

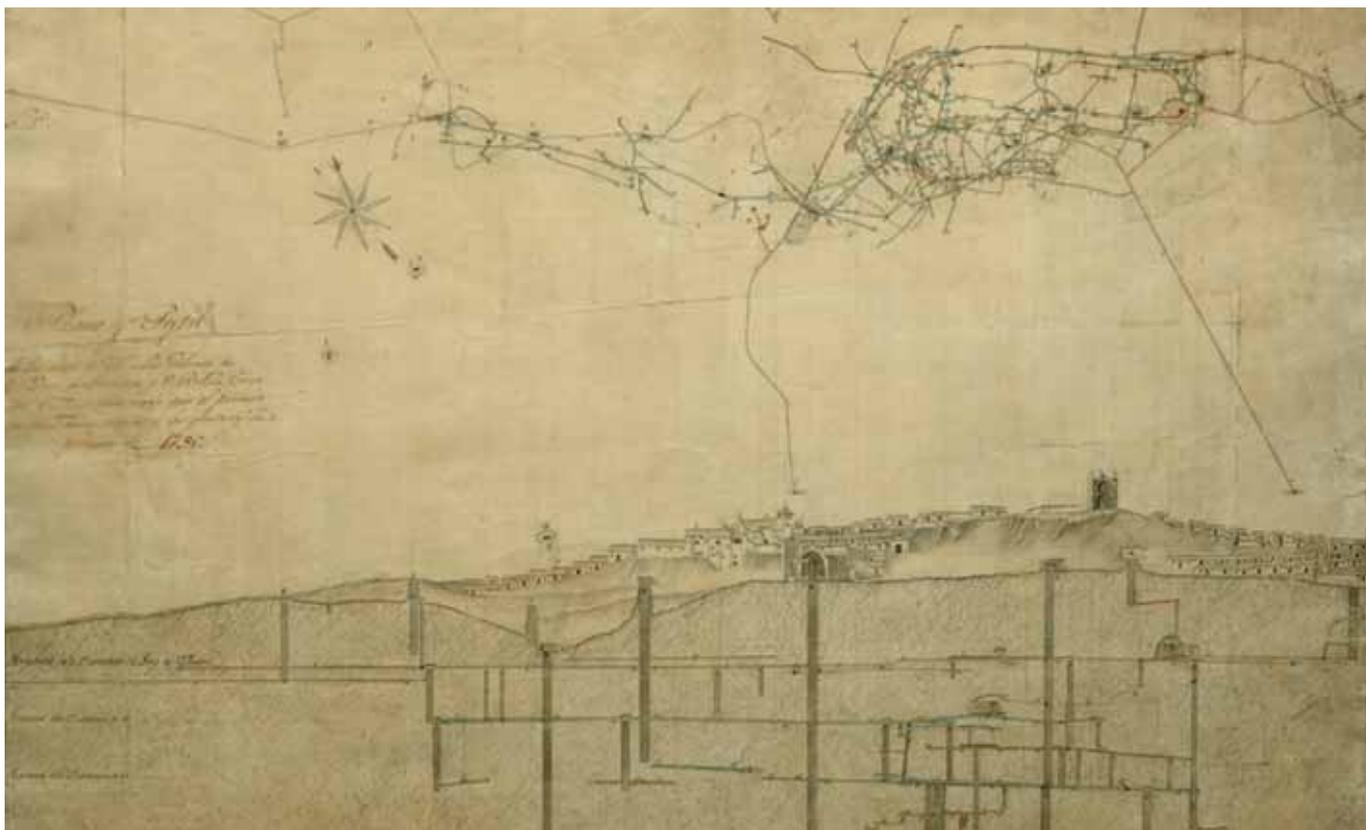


Figura 10. Plano y perfil de la mina de Almadén, año 1796.

### Visita al interior de la mina

De todos los elementos que componen el parque minero, las labores subterráneas son el mayor atractivo para nuestros visitantes. Pocas personas han tenido ocasión de bajar a una mina y mucho menos de poder recorrer unas explotaciones históricas de los siglos XVI al XVIII. Estas visitas serán guiadas y en grupos de 15 personas, como máximo, y con todas las garantías de seguridad.

La zona visitable de la mina corresponde a la planta primera (figura 11), donde podemos observar dos partes bien diferenciadas: la mina del Pozo (siglos XVI-XVII) y la del Castillo (siglo XVIII), unidas entre sí a través de la llamada "caña gitana". Si dejamos aparte la "mina vieja de los condes Fúcares", que es irre recuperable, podremos recorrer la parte más antigua de la explotación, que corresponde al conjunto formado por los socavones de la mina del Pozo y de la Contramina, unidos a través de la "caña Real" y situados a ambos lados del cerro de Almadén.

La bajada a la mina se realizará por un ascensor situado en el pozo de San Teodoro, mediante el cual se descenderá hasta la planta primera situada a unos 50 metros de profundidad. Los visitantes irán recorriendo las diferentes labores mineras, en las cuales hay una serie de hitos donde el guía dará una breve explicación: socavón de la mina del Pozo, afloramiento de mineral ligado o una zona fracturada, embarque del pozo de San Aquilino, cuarto de herramientas (figura 12) y una explotación en testeros.

En 1784, el director Hoppensack, de origen alemán, abandonó la explotación mediante el sistema de hurtos, que tantos hundimientos habían provocado, para introducir el de "bancos y testeros". Este método usaba grandes troncos de madera llamados "asnados" para sostener los hastiales de la explotación, tal como puede verse en un "testero" (figuras 13 y 14) accesible desde el socavón de la mina del pozo.

A través de una galería conocida como "la caña gitana" (tal vez porque haya sido hecha por una cuadrilla de gitanos,

de los que hubo como forzados trabajando en las minas), accederemos a la mina del Castillo. En esta mina, que se empezó a abrir a principios del XVIII, se comenzó a utilizar la pólvora en Almadén, lo que supuso un gran avance en la explotación. Aquí también hay diversos hitos: socavón de la mina del Castillo, transporte del mineral en carretones de madera (figura 15) y el conjunto formado por el baritel y el pozo de San Andrés.

Al ser en Almadén la disposición de las capas de cinabrio casi vertical, no hubo otro remedio que profundizar las labores mediante la excavación de pozos. El pozo principal de la mina del Castillo, hasta su relevo por San Teodoro, fue el de San Andrés (figura 16), pozo interior que, partiendo de la planta primera, profundiza hasta la cuarta. Para su servicio, se instaló un baritel subterráneo que precisó la excavación de un gran hueco de planta circular y gran altura, recubierto por una impresionante bóveda de ladrillo y piedra. Por encima del pozo de San Andrés se observan unos grandes arcos de ladrillo para sostenimiento del

“anchurón” del pozo, método que luego fue desarrollado de forma espectacular por el director Larrañaga, a partir del año 1800. Además, en el interior de dicho pozo, vemos otra de las mejoras aportadas por los técnicos alemanes de finales del XVIII: el compartimento de escalas, de modo que la seguridad de los mineros aumentó considerablemente al dividir longitudinalmente los pozos en dos partes: una para el transporte de materiales y otra para el personal, para que éste subiera y bajara por escaleras de madera y no colgados en cestas con cinteros o maromas.

La visita al interior de la mina termina con el torno de Castro, donde hay una recreación del desagüe mediante zacas de cuero (figura 17), y con la galería de forzados que une directamente la mina con la Real Cárcel de Forzados. Lamentablemente, este edificio fue derruido en 1969, construyéndose en su lugar, años más tarde, la Escuela Universitaria Politécnica.

Por otra parte, al estar muchas galerías excavadas en roca viva, se podrán hacer diversas observaciones geológicas de gran interés: tipos de rocas (cuarcitas, pizarras, rocas volcánicas —figura 18—), verticalidad de las capas (consecuencia del plegamiento hercínico de hace unos 300 millones de años), señales fósiles de oleaje (figura 19) (Almadén estaba cubierto por el mar hace unos 370 millones de años), etc.

La zona visitable de la mina corresponde a la planta primera, donde podemos observar dos partes bien diferenciadas: la mina del Pozo (siglos XVI-XVII) y la del Castillo (siglo XVIII)

Para salir de la mina se volverá al pozo San Teodoro, pero el ascensor no llevará a los visitantes hasta la superficie, sino que se detendrá a unos 16 metros por debajo de ella para desde allí ser trasladados en un tren minero subterráneo hasta el recinto de la metalurgia. Accederán así al cerco de los hornos por el mismo camino que recorría el mineral en la segunda mitad del siglo XX.

El coste total de los trabajos de adecuación de la mina para hacerla visitable ascendió a unos 2,3 millones de euros, sufragados en parte con fondos FEDER, y su musealización, a unos 170.000 euros.

### Museo del Mercurio

El antiguo almacén de azogue del año 1941 va a ser reinaugurado antes de que termine el 2006 como museo del mercurio (figura 20). El actual almacén se ha desplazado a las instalaciones de la mina de Las Cuevas, situadas a unos 7 km de Almadén. El edificio, concebido para uso industrial, ha sido rehabilitado recientemente, y en la

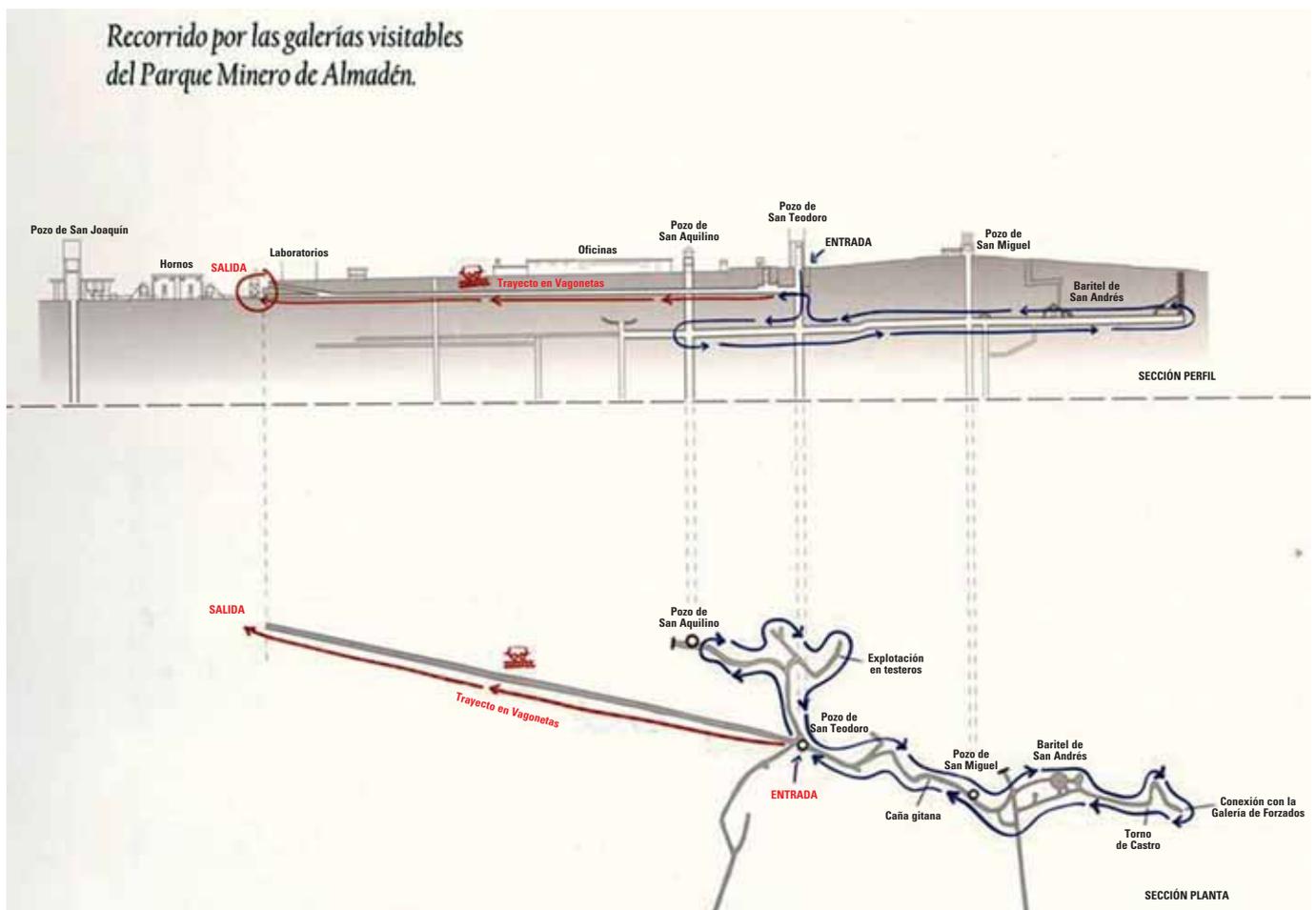


Figura 11. Planta y sección de la galería visitable.

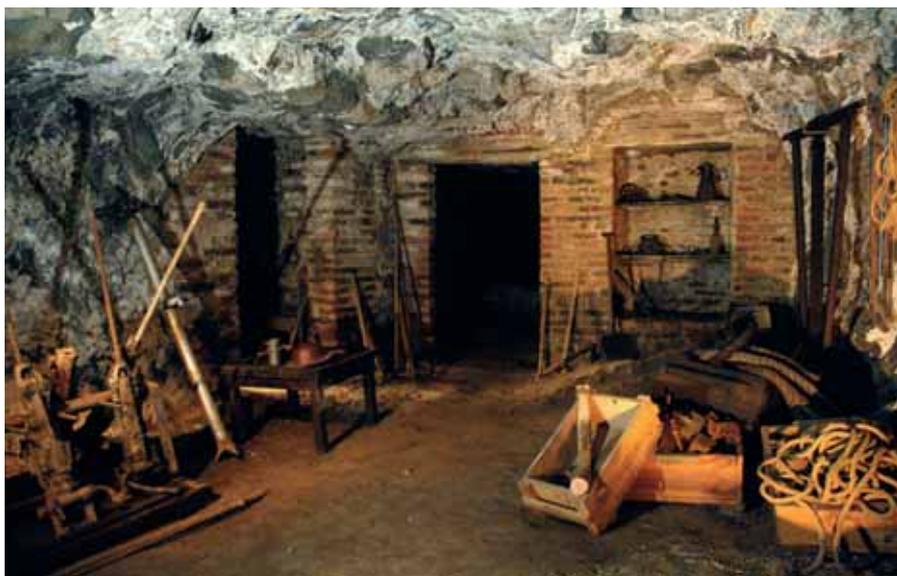


Figura 12. Cuarto de herramientas del pozo de San Aquilino.



Figura 13. Detalle de un testero.



Figura 14. Detalle de un testero.

actualidad se está procediendo a su musealización. Este museo será el mayor del parque minero. Consta de una planta y de un sótano, donde habrá varias salas dedicadas a aspectos geológicos, metalúrgicos, científicos e históricos relacionados con Almadén y sus minas.

El patio central del edificio (figura 21), que se ha cubierto con una gran claraboya, está dedicado a la geología de las minas, que será explicada mediante paneles gráficos. Además, habrá diversos expositores donde se podrán contemplar fósiles, rocas y minerales de Almadén y sus alrededores.

Otra de las salas explica la evolución de los hornos de mercurio en Almadén. En ella se podrán ver maquetas hechas a escala de los hornos de jabecas (los más antiguos, de origen árabe), los hornos de aludeles o Bustamante (de los que se conserva todavía un edificio de dos hornos adosados), y los hornos Pacific (que se han venido utilizando hasta la clausura de la planta de metalurgia, en el año 2003). Además, se mostrarán algunas piezas de estos hornos y otros: ollas de jabeca y reverbero, aludeles, etc.

La otra sala de la planta superior se dedica a las ciencias del mercurio, donde se

mostrarán las propiedades características de este metal: líquido (el único), muy denso (más que el hierro y el plomo), etc.; y sus aplicaciones industriales y científicas muy numerosas e importantes.

El sótano del edificio (figura 22) está dedicado a la historia de las minas con sus episodios más relevantes, como, por ejemplo, el descubrimiento de la amalgamación de los minerales de plata con azogue en la América Colonial. También se recrea, mediante una carreta de bueyes y la bodega de un galeón (figura 23), la enorme dificultad que suponía transportar el líquido metal desde Almadén a las minas de plata mejicanas.

“Los pozos y los hornos estaban rodeados de altos y gruesos muros de piedra y ladrillo a fin de evitar los robos”

La rehabilitación del edificio ha ascendido a unos 750.000 euros, y el presupuesto del museo es de unos 680.000 euros. Los fondos FEDER han soportado también una parte importante de esta inversión.

### Hornos de Aludeles

En 1633, Lope Saavedra Barba inventó en la mina de mercurio de Huancavelica (Perú) los hornos de “aludeles” (figuras 24 y 25), que fueron introducidos en Almadén en 1646, por Juan Alonso de Bustamante, por lo que también se llaman hornos Bustamante. En ellos, el mineral se colocaba dentro del horno sin necesidad de ser introducido previamente en ollas, sino distribuido en varias capas según tamaños y calidades. Una vez cargado y cerrado el horno, se procedía a quemar el combustible (primero leña, después carbón), lo que producía vapor de mercurio, que pasaba por unos orificios a una camarilla, de la cual salían varias



Figura 15. Carretón de madera cargado de piedra en una galería de la mina del Castillo.



Figura 16. El baritel del pozo de San Andrés con su malacate de caballerías.

cañerías de barro cocido. Cada cañería estaba formada a su vez por diversos recipientes unidos unos a otros (los aludeles) que tenían un agujero en su parte inferior, de modo que el mercurio primero se condensaba y después salía por los agujeros a una reguera donde se recogía. Antes de proceder a una nueva cochura de mineral, los aludeles se desmontaban para su limpieza, recuperándose el azogue que había quedado retenido en sus paredes. Además, se extraían también unos barros, llamados "hollines", amontonados para su tratamiento posterior.

Los hornos de aludeles, declarados Bien de Interés Cultural en 1992, están siendo restaurados en la actualidad con fondos del Instituto del Patrimonio Histórico Español (figura 26). El presupuesto de restauración es de unos 250.000 euros.

#### Puerta de Carlos IV

El mercurio ha sido históricamente un metal de valor muy elevado. La crisis no comenzó hasta el año 1970, cuando se le empezó a acusar de ser un grave contaminante. Por su valor, los pozos y los hornos estaban rodeados de altos



Figura 17. Labor de desagüe en el torno de Castro.

y gruesos muros de piedra y ladrillo a fin de evitar los robos. Al interior de estos cercos sólo se podía acceder a través de puertas bien vigiladas, que generalmente se cerraban de noche. Por las puertas de los cercos entraban, además de los operarios de las minas, todos los materiales necesarios (piedra de las canteras, arena, cal, maderas, etc.). Al otro lado de ellas, se pueden ver todavía los caminos carreteros y arrieros por los que se transportaba el mercurio, antes de la llegada del ferrocarril, hasta Sevilla, para ser enviado posteriormente a las minas de plata de la América colonial.

El pozo de San Aquilino es probablemente el más antiguo que se conserva, pues ya en una relación de la mina fechada en 1543 se refiere a la existencia de un pozo vertical, conocido como "La Grúa"

La puerta de Carlos IV (figuras 27 y 28), situada en el cerco de los hornos, se llama así porque fue construida en 1795 cuando



Figura 18. Rocas volcánicas mineralizadas.



Figura 19. Señales fósiles de oleaje.

reinaba en España dicho monarca. En cuanto a su valor arquitectónico, ésta es la opinión del catedrático y secretario de la Real Academia de la Historia, Antonio Bonet Correa:

*“Edificios de Almadén como la plaza de toros, la puerta de Carlos IV, la academia de minas o los hornos de aludeles son obras dignas de ser colocadas tan altas dentro de la escala de valores arquitectónicos como las de un templo o un palacio neoclásico de la misma época.”*

El objetivo es que los visitantes del parque puedan circular por el mismo y sus alrededores con las debidas garantías de seguridad e higiene



Figura 20. El almacén de mercurio convertido en el Museo del Mercurio.

Los casi 90.000 euros que ha costado su restauración, realizada en el año 2004, han sido aportados también por el Instituto del Patrimonio Histórico Español. Este organismo, dependiente del Ministerio de Cultura, ha considerado el patrimonio minero de Almadén, el canal de Castilla y la Real Fábrica de Tabacos de Sevilla como los tres objetivos prioritarios, dentro de más de cuarenta existentes, del Plan Nacional del Patrimonio Industrial.

#### Cerco de las minas

Llamado también Cerco de San Teodoro, debido a dicho pozo, es el recinto donde se hallan las instalaciones mineras y los servicios generales del establecimiento. Este conjunto se halla en obras en la actualidad y no podrá ser inaugurado hasta la primavera de 2007. Dentro de él



Figura 21. Patio central del Museo del Mercurio.



Figura 22. Sótano del Museo del Mercurio.



Figura 23. Recreación de la bodega de un galeón.



Figura 24. Hornos de aludeles o Bustamante



Figura 25. Detalle de los aludeles.



Figura 26. Restauración de los hornos de aludeles.

destacan los siguientes elementos: el pozo de San Teodoro (*figura 29*), el castillete y la máquina del pozo de San Aquilino, los talleres y la sala de compresores, y el centro de visitantes.

El pozo de San Teodoro se construyó a mediados del siglo XVIII para explotar la mina del Castillo que había sido descubierta en 1698 por el superintendente Miguel de Unda. Al azogarse las mulas que trabajaban en el baritel subterráneo de San Andrés, se

instaló en San Teodoro un baritel. En este pozo fue también donde se alojó la primera máquina de vapor que se usó en España para el desagüe de minas. El pozo fue modernizado posteriormente en dos ocasiones. La primera en la época del Consejo cuando pasó a ser el principal de la mina, dotándose de guionaje metálico y máquina de extracción eléctrica. La segunda, en 1962, cuando adquiere su aspecto actual con 19 plantas y 500 metros de profundidad.

El pozo de San Aquilino (*figura 30*) es probablemente el más antiguo que se conserva, pues ya en una relación de la mina fechada en 1543 se refiere a la existencia de un pozo vertical, conocido como "La Grúa", de 30 brazas de profundidad. Este pozo fue reprofundizado posteriormente hasta la planta 14, y disponía de una máquina de extracción de vapor, que fue sustituida posteriormente por una máquina eléctrica con bobinas para cable plano de acero, que es el aspecto que presenta hoy en día.



Figura 27. Puerta de Carlos IV, año 1795.



Figura 29. El pozo de San Teodoro y la sala de compresores.

Los talleres y la sala de compresores son edificios que se construyeron hacia 1924 como consecuencia de la modernización que supuso la creación del Consejo de Administración, que comenzó a actuar en 1918. En esa época se inicia el proceso de electrificación del establecimiento minero, la perforación mecánica, la mecanización total del desagüe de la mina y la utilización masiva de la escoria para el relleno de las explotaciones.

Los talleres conservan la maquinaria tal como quedó cuando se cerró la mina, y el edificio será visitable. La lejanía geográfica de Almadén de los principales

centros de producción españoles obligó a las minas a ser autosuficientes: los talleres de carpintería, herrería con su fragua, ajuste, mecánica y electricidad así lo demuestran.

La sala de compresores (figura 31) albergará en breve el Centro de Interpretación de la Minería en un edificio construido originariamente para producir aire comprimido para las máquinas del interior de la mina (figura 32), sobre todo los martillos de perforación. Nuestros visitantes podrán conocer aquí cómo es la mina antes de bajar a la misma por el pozo de San



Figura 28. La puerta de Carlos IV desde el interior del cerco de Buitrones.

Teodoro, situado a escasos metros de este museo. De este modo, la visita subterránea será más provechosa.

La restauración de su patrimonio permitirá que sea conocido, visitado y utilizado por el mayor número de personas posible

El centro de visitantes (figura 33) será instalado próximamente en las actuales oficinas de las minas, cuando terminen las obras que se están llevando a cabo. En él se alojará la recepción del parque minero, los aseos, la consigna, la tienda, la cafetería y una sala de proyecciones. Se trata de recibir adecuadamente a nuestros visitantes para que descansen del viaje y se preparen para visitar el interior de la mina y el resto de las instalaciones.

El coste total de las obras que se están llevando a cabo en el conjunto de los edificios que forman el cerco minero asciende a unos 900.000 euros, a los que hay que añadir 1,2 millones de euros de la musealización del conjunto.

#### Restauración medioambiental

La transformación de un recinto minero con el conjunto de sus instalaciones



Figura 30. El castillete de San Aquilino. Al fondo, la iglesia de San Sebastián.

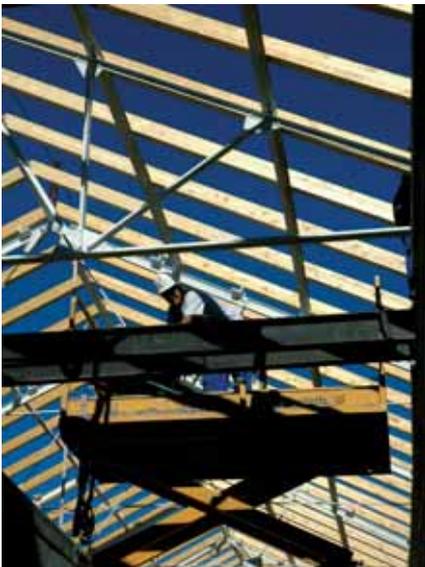


Figura 31. Rehabilitación de la sala de compresores.

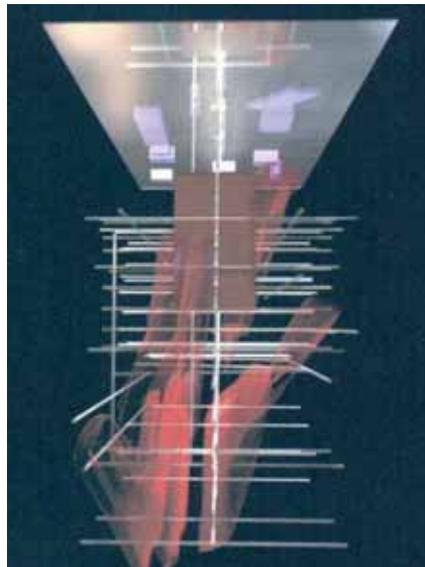


Figura 32. Maqueta de la mina de Almadén.

y escombreras en un parque minero es, sin duda, un proyecto imaginativo, pero su ejecución no sólo es costosa sino también lenta y concienzuda. El objetivo es que los visitantes del parque puedan circular por el mismo y sus alrededores con las debidas garantías de seguridad e higiene. Por ello, en nuestro caso ha sido necesario llevar a cabo una restauración medioambiental (figura 34) de gran alcance no sólo en el

interior del establecimiento minero, sino también en las escombreras situadas en su entorno.

Por otra parte, se va a llevar a cabo de inmediato la urbanización del parque minero (figura 35), de modo que el recorrido entre los diversos edificios que componen sus instalaciones industriales y museos se realice de forma cómoda y agradable. De este modo,

los caminos de tierra serán empedrados, habrá lugares de descanso con buen "sombraje", fuentes con agua corriente, etc.

La inversión total que se está llevando a cabo por estos conceptos es algo mayor que la efectuada para el propio parque en sí, y asciende a unos 10,5 millones de euros, de los que 8,5 millones corresponden a la restauración de las escombreras de la mina y 2 millones, a las obras de urbanización.

### Conclusión

La historia secular de sus minas de mercurio ha legado a Almadén un gran patrimonio minero y metalúrgico, que nos ofrece además un magnífico ejemplo de la evolución técnica de la minería a través de los siglos, así como de la situación socio-laboral de sus mineros en cada época. La restauración de su patrimonio permitirá que sea conocido, visitado y utilizado por el mayor número de personas posible, lo que conducirá, sin duda, a la generación de una importante actividad económica para Almadén y su comarca.

La envergadura del proyecto Parque Minero de Almadén, que es el nombre elegido para

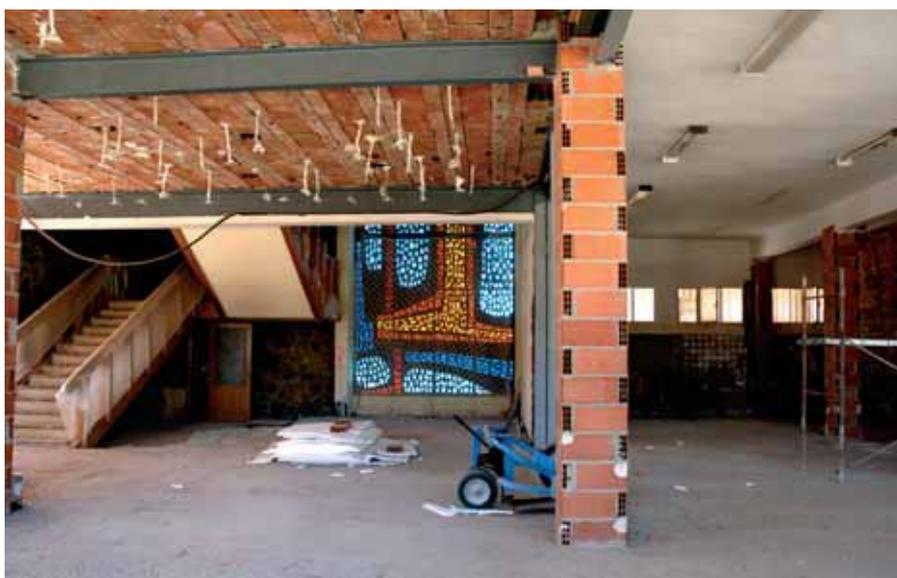


Figura 33. Construcción del centro de visitantes.



Figura 34. Restauración medioambiental de las escombreras.



Figura 35. Obras de urbanización del entorno del Parque Minero.

el mismo, se corresponde con la importancia y el estado de conservación de sus instalaciones, lo que va a convertir a las minas de Almadén en punto de referencia de la rehabilitación del patrimonio industrial en España. Para llevar a cabo este proyecto de conversión de un yacimiento de mercurio en lo que podríamos llamar “yacimiento de cultura”, la SEPI —actual propietaria de MAYASA—, con ayuda de los Fondos FEDER, sobre todo, pero también de la Fundación Caja Madrid y del Instituto del Patrimonio Histórico Español, está realizando una inversión en torno a los 9,5 millones de euros. A esta cantidad, hay que añadir otros 10,5 millones dirigidos a realizar las tareas de remediación adecuadas para minimizar el impacto medioambiental que la larga actividad industrial de obtención de mercurio ha dejado en los cercos mineros y su entorno.

Este esfuerzo permitirá la consecución de un doble objetivo bien merecido por Almadén: la rehabilitación de su patrimonio minero (antiguo, importante y bien conservado) y la explotación cultural y turística del mismo mediante el Parque Minero de Almadén. Se trata, en suma, de un novedoso proyecto de innovación turística en Castilla-La Mancha que permitirá a la vez enfatizar el valor cultural de sus edificios e instalaciones, y conservar en la memoria la vida y el trabajo de sus mineros. De esta manera conseguiremos que la historia secular de Almadén sea conocida por las futuras generaciones para que comprendan lo que ha supuesto en el panorama minero mundial y en la historia de España.

#### Premio al Parque Minero de Almadén

El proyecto de Parque Minero de Almadén ha recibido el premio a la iniciativa turística más innovadora de Castilla-La Mancha. El citado premio ha sido concedido a finales de septiembre de 2006 por la Consejería de Industria y Turismo a la Fundación Almadén - Francisco Javier de Villegas que, junto con Minas de Almadén y Arrayanes, son los gestores de dicho proyecto.

# Tectónica reciente y activa en la Cordillera del Rif (Alhucemas, Marruecos)

## Implicaciones en la peligrosidad sísmica

La determinación de la actividad tectónica reciente y actual en la Cordillera del Rif tiene gran interés, ya que está asociada a la actividad de las fallas que determinan la peligrosidad sísmica de la región. El objetivo de este trabajo es describir las características de la actividad tectónica sismogénica en la región de Alhucemas situada en el interior de la Cordillera del Rif, para discutir algunos factores geológicos que no suelen tenerse en cuenta habitualmente en los estudios de peligrosidad sísmica, desarrollados con técnicas aplicables a zonas frontales de cordilleras.

**TEXTO** | Galindo-Zaldívar, J.<sup>1</sup>; Chalouan, A.<sup>2</sup>; Azzouz, O.<sup>3</sup>; Sanz de Galdeano, C.<sup>4</sup>; Ameza, L.<sup>3</sup>; Marín-Lechado, C.<sup>5</sup>; Ruano, P.<sup>7</sup>; Saji, R.<sup>6</sup>; Masana, E.<sup>7</sup>; Pedrera, A.<sup>1</sup>; López-Garrido, A.<sup>4</sup>; Bargach, K.<sup>2</sup>; Roldán-García, F.J.<sup>5</sup>; Ruiz-Constán, A.<sup>1</sup>; Benmakhlof, M.<sup>6</sup>; Ahmamou, M.<sup>2</sup>; Akil, M.<sup>2</sup>; Chabli, A.<sup>2</sup>

Palabras clave  
**Rif, Alhucemas, sismicidad, Marruecos**

Las cordilleras Bético-Rifeñas son cordilleras alpinas desarrolladas desde el Cretácico, en las que su relieve actual es consecuencia de la convergencia oblicua en dirección NO-SE, desde el Tortonense, entre las placas euroasiática y africana. La deformación continúa en la actualidad y produce una sismicidad que a veces tiene consecuencias catastróficas.

En la Cordillera del Rif, las estructuras activas sismogénicas de las zonas frontales se correlacionan bien con las estructuras tectónicas mayores observadas en campo, y su comportamiento contrasta con el de las zonas interiores. La actividad sísmica se

concentra esencialmente en la zona de Alhucemas, en el límite entre las Zonas Externas e Internas, región en la que el 24 de febrero de 2004 se produjo un terremoto catastrófico superficial (14 km de profundidad) con la mayor magnitud instrumental registrada en el Mediterráneo más occidental (M=6.3). El mecanismo focal y las alineaciones de epicentros indican la actividad de fallas sinistras transcurrentes de orientación N-S. Sin embargo, en las observaciones de campo no se identifica ninguna falla vertical transcurrente en la alineación de los epicentros, y, por el contrario, se observa la actividad reciente de fallas normales. Esta aparente contradicción puede deberse a la estratificación

mecánica de la corteza, debido a la presencia de niveles de despegue.

La principal consecuencia de estas observaciones es la necesidad de realizar estudios complementarios a los propuestos por las técnicas paleosismológicas clásicas en cordilleras con estratificación mecánica, como la Cordillera Bética, donde también ha ocurrido una sismicidad catastrófica.

### Marco sísmico general

La actividad tectónica actual con sismicidad asociada, constituye uno de los principales fenómenos naturales que determinan la peligrosidad de origen geológico. El análisis de las características de las estructuras

1. Departamento de Geodinámica, Universidad de Granada. España. jgalindo@ugr.es  
2. Département des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences, Université Mohammed V-Agdal, Rabat, Maroc.  
3. Département de Géologie, Faculté des Sciences, Université Mohammed premier-Oujda. Maroc.  
4. IACT, CSIC-Universidad de Granada. España.  
5. Instituto Geológico y Minero de España.  
6. Département de Géologie, Faculté des Sciences, Université Caddi Ayyad, Beni Mellal, Maroc.  
7. Departament de Geologia Dinàmica i Geofísica. Universitat de Barcelona, Spain.  
8. Faculté des Sciences. Université Abdelmalek Essaadi. Tetuán. Marruecos.

activas, tanto pliegues como fallas, es actualmente una de las principales aplicaciones de los estudios tectónicos que tienen incidencia social. Aunque estos trabajos no evitan la actividad sísmica, permiten conocer su origen y características y, por tanto, son la base para diseñar la prevención de los efectos de este peligro natural. En el futuro, la sismicidad debe dejar de ser considerada como un hecho catastrófico para ser un fenómeno natural que puede ser cuantificable, predecible (en la medida de lo posible, o al menos estimar su recurrencia), y para que se establezcan las profundidades y magnitudes máximas de los terremotos que ocurren en una región. Estos estudios contribuyen a una mejor ordenación del territorio.

La mayor parte de las investigaciones en Tectónica activa se realizan por analogía a las que se desarrollan en la falla de San Andrés, responsable del terremoto de San Francisco (1906, M=7.9). En estos trabajos se combinan técnicas geológicas de superficie, geofísicas, geodésicas y radiométricas. Sin embargo, las características particulares de esta falla transformante y de su contexto tectónico hacen que algunas de las técnicas utilizadas y de los resultados obtenidos no sean extrapolables a otras regiones (Sylvester, 1988).

El funcionamiento de una falla se produce cuando el estado de esfuerzos alcanza el límite de ruptura. Las fallas activas pueden funcionar progresivamente, por deslizamiento,

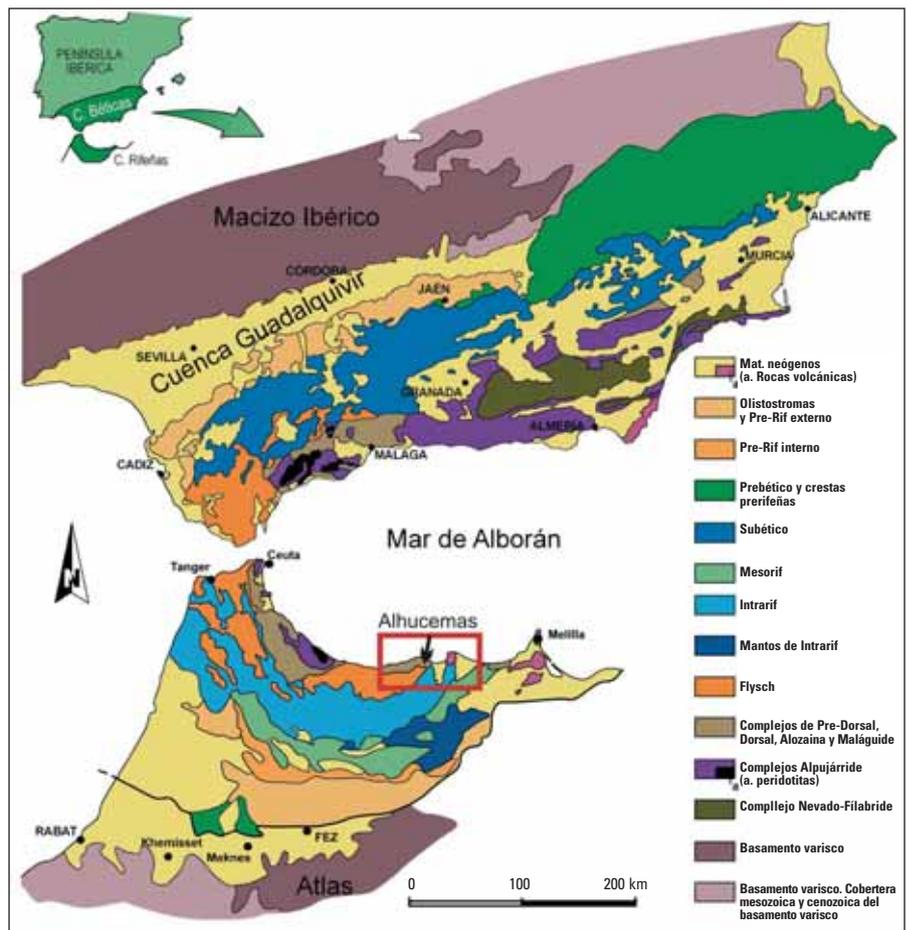


Figura 1. Esquema geológico de las Cordilleras Bética y Rifeña en el que se indica la zona de Alhucemas, situada en el interior de la Cordillera Rifeña.

sin que se produzca acumulación de energía. Sin embargo, si existe resistencia al movimiento en la superficie de falla, debido a la fricción y la cohesión, las fallas acumularían energía elástica y funcionarían de forma discontinua produciendo sismicidad. Una misma falla puede tener comportamiento

sísmico o asísmico, dependiendo de la profundidad y de los materiales que corta. Los estudios paleosismológicos suelen basarse en el análisis de los saltos máximos y la longitud de las fallas, o de aquellos segmentos de falla que funcionan simultáneamente, para estimar las magnitudes máximas de los

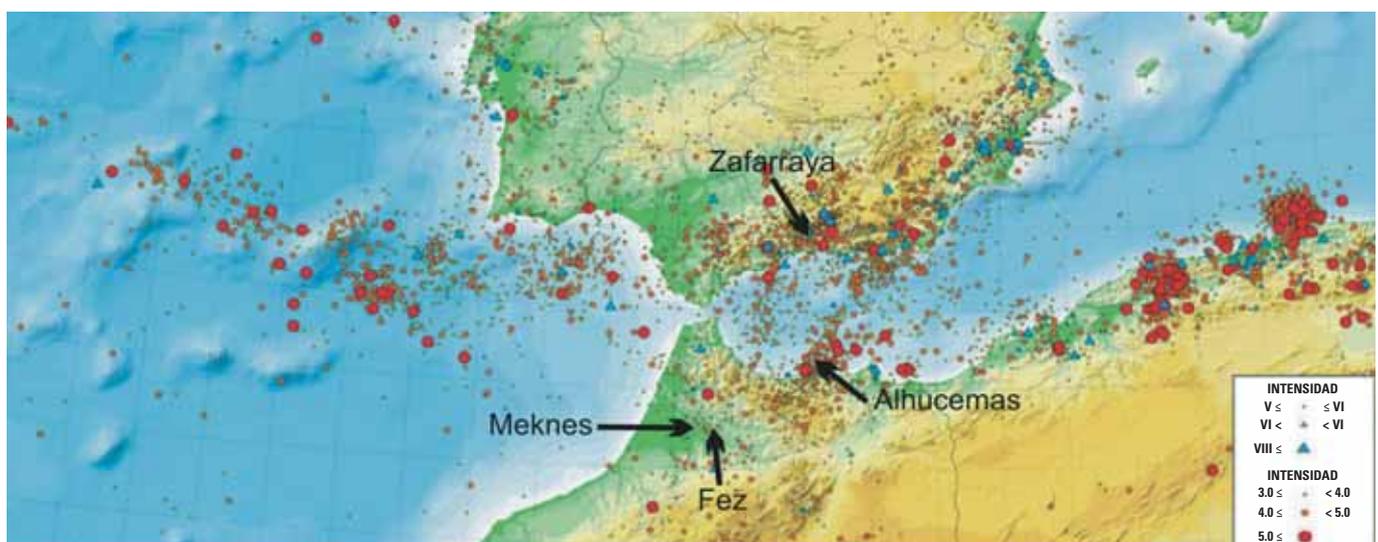


Figura 2. Distribución de la sismicidad en las Cordilleras Bético-Rifeñas entre 1920 y 2003 (IGN). Se indican algunas localidades que han sufrido importantes daños históricos.

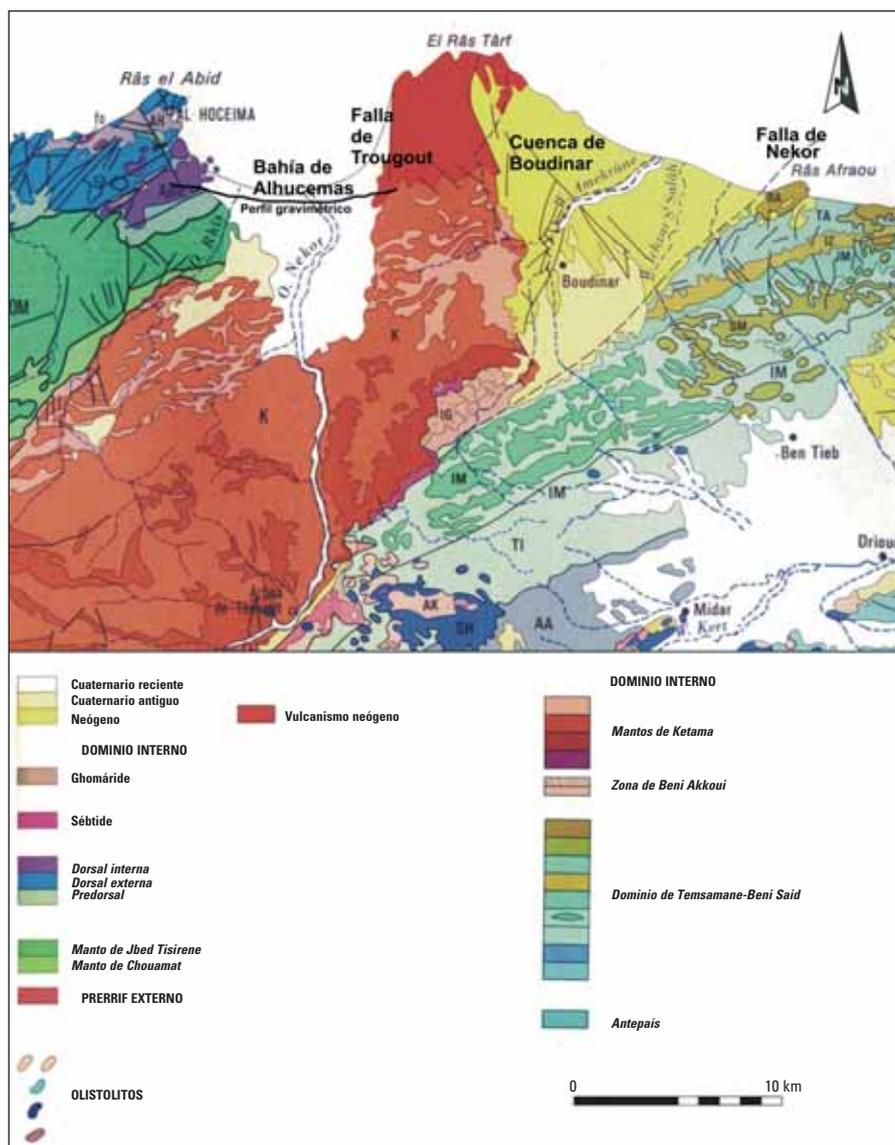


Figura 3. Esquema geológico de la región de Alhucemas, a partir de los esquemas tectónicos del Mapa Geológico de Marruecos (1:500.000). Se indica la posición del perfil gravimétrico de la figura 6.

terremotos esperables en una región (Wells y Coppersmith, 1994).

Las Cordilleras Bético-Rifeñas (figura 1), situadas en el Mediterráneo más occidental, han estado afectadas por sismos históricos asociados al límite entre las placas euroasiática y africana. Los dos terremotos recientes que han tenido mayores efectos catastróficos son el terremoto de Andalucía, que ocurrió el día de Navidad de 1884, y el terremoto de Alhucemas del 24 de febrero de 2004.

El terremoto de Andalucía, localizado en la Cordillera Bética central cerca de Zafarraya (figura 2), afectó a la parte suroccidental de la provincia de Granada, destruyó numerosas localidades y ocasionó más de 800 víctimas.

Este terremoto se produjo antes de la instalación de las primeras estaciones sismológicas, por lo que, a partir de las descripciones de los daños y de las investigaciones geológicas realizadas sobre el terreno, se estimaron magnitudes entre 6.1 (López Casado et al., 2000), 6.7 (Reicherter et al., 2003) y 7 (Muñoz y Udías, 1980).

El terremoto de Alhucemas de 24 de febrero de 2004 ha sido el terremoto con mayor magnitud del Mediterráneo más occidental ( $M=6.3$ ), registrado de forma instrumental, y produjo numerosos daños materiales, con más de 600 víctimas y un millar de heridos. En esta zona se han producido numerosas series sísmicas, entre las que cabe destacar la de 1994, con características similares a la de 2004. En esta región, a pesar de los

efectos directos que tiene y ha tenido históricamente la sismicidad, no existen trabajos detallados previos que relacionen los datos sismológicos y los datos geológicos de campo, y que contribuyan a establecer la peligrosidad sísmica. Por otra parte, el frente de la Cordillera Rifeña, con ciudades importantes como Fez y Meknes (figura 3), sufrió los efectos del terremoto de 1755, casi simultáneo al terremoto (maremoto) de Lisboa (1 de noviembre de 1755).

El objetivo de este trabajo es describir las características de la actividad tectónica sismogénica en la región de Alhucemas situada en el interior de la Cordillera del Rif para discutir algunos factores geológicos que no suelen tenerse en cuenta habitualmente en los estudios de peligrosidad sísmica, desarrollados con técnicas aplicables a zonas frontales de cordilleras.

### Situación geológica

La Cordillera Rifeña, junto con la Cordillera Bética (figura 1), son cadenas alpinas con cortezas ligeramente engrosadas, conectadas a través del Arco de Gibraltar. Entre ambas cordilleras se sitúa el Mar de Alborán, que constituye una cuenca neógena de gran tamaño con una corteza continental delgada. Estas cordilleras se han desarrollado por la actividad de las estructuras tectónicas que limitan las placas euroasiática y africana.

Las unidades tectónicas de estas Cordilleras se agrupan en Zonas Internas y Zonas Externas, separadas por unidades de tipo *flysch*. Las Zonas Internas están formadas, en su mayor parte, por varios complejos metamórficos superpuestos que, de muro a techo, son: el Complejo Nevado-Filábride (que sólo aflora en la Cordillera Bética), el Complejo Alpujárride-Sebtide y el Complejo Maláguide-Ghomaride. En estos complejos están principalmente representadas rocas precenozoicas y suelen tener un metamorfismo bien desarrollado. Además, existen otros complejos con menor extensión cartográfica, que son el Complejo de la Dorsal y de la Predorsal. Las rocas de edad triásica son mármoles calizos y dolomíticos de facies alpina.

Las Zonas Externas están formadas por unidades con rocas mesozoicas y cenozoicas,

generalmente carbonatadas, que se diferencian además de las Zonas Internas por tener rocas de edad triásica en las que se reconoce la trilógia de facies Bundsandstein, Muschelkalk y Keuper del trias germano-andaluz. Mientras que en la Cordillera Bética los materiales de las Zonas Externas no tienen metamorfismo, en la Cordillera Rifeña, algunas unidades sí son metamórficas.

Las Cordilleras Rifeña y Bética están afectadas por deformaciones desde el Cretácico, y la actividad tectónica continúa en la actualidad. En las Zonas Internas, se han producido deformaciones dúctiles hasta hace 21 Ma en el complejo Sébtide (Alpujárride), y 16 Ma en el Complejo Nevado-Filábride (Monié et al., 1991). Las últimas etapas de deformación dúctil y el paso a deformación frágil en rocas aflorantes se producen durante la actividad de despegues extensionales del Mioceno inferior y medio, con desplazamientos de los bloques de techo hacia el SO. El desarrollo de fallas normales de bajo ángulo afecta tanto a la Cordillera Bética (Galindo-Zaldívar et al., 1989; González-Lodeiro et al., 1996) como a la Cordillera Rifeña (Chalouan et al., 1995, Benmakhlouf et al., 2005).

Desde el Mioceno superior, las deformaciones que se observan en superficie consisten en el desarrollo de pliegues de tamaño kilométrico y deformaciones frágiles, aunque siguen produciéndose en profundidad deformaciones dúctiles y metamorfismo. En las zonas frontales de la Cordillera Bética (Ruano et al., 2004) y Rifeña (Bargach et al., 2004) dominan las estructuras compresivas, mientras que en las zonas interiores y el Mar de Alborán predominan las estructuras en extensión (Galindo-Zaldívar et al., 1993). Además, hay un notable desarrollo de sistemas de falla de salto en dirección que deforman, sobre todo, la región oriental de las Cordilleras.

La aproximación actual en dirección NO-SE entre las placas Euroasiática y Africana, con una velocidad de 4,9 mm/año (DeMets et al., 1994), le confiere al límite de placas, orientado E-O, un carácter convergente dextro. La acumulación de energía elástica se libera mediante una sismicidad distribuida (IGN 2003; figura 2), por lo que el límite de placas corresponde a una amplia zona de

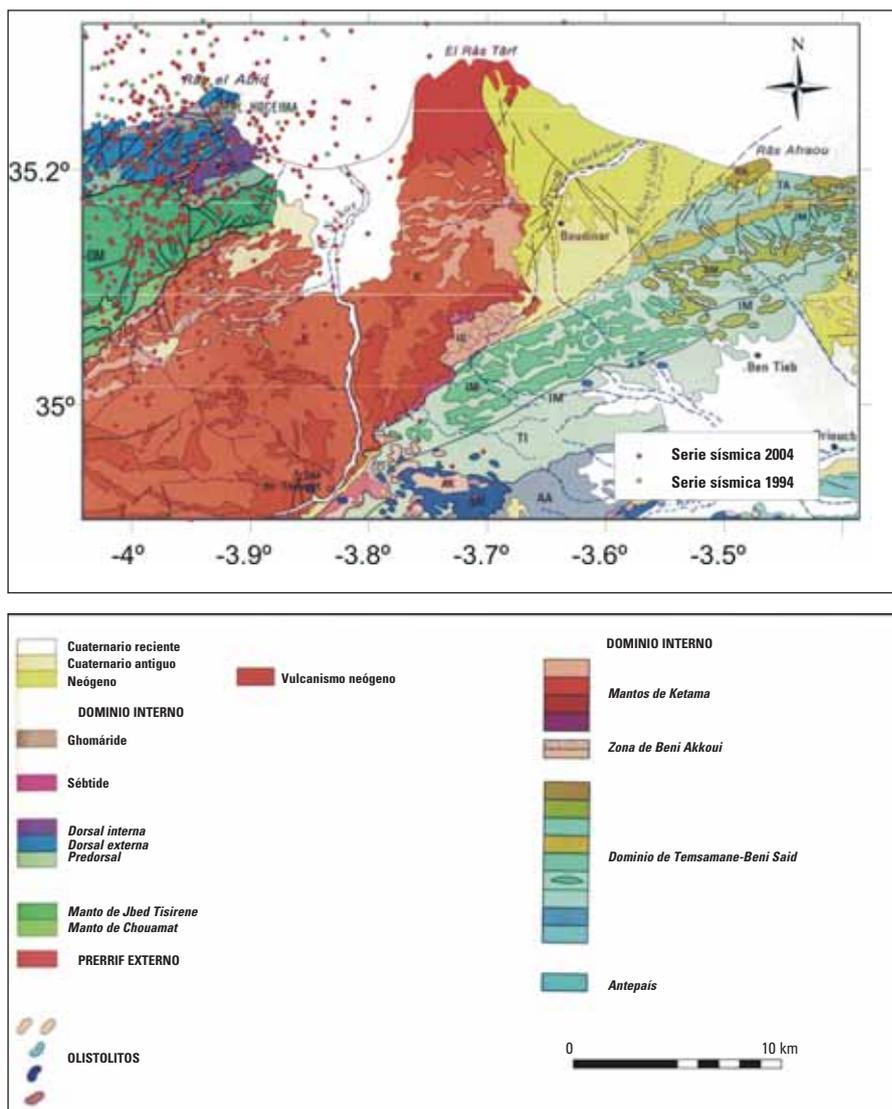


Figura 4. Epicentros de las series sísmicas de 1994 y 2004 en la región de Alhucemas, representados sobre el mapa geológico.

deformación de más de 300 km de anchura. La mayor parte de los relieves actuales se han formado desde el Tortonense, lo que ha permitido individualizar numerosas cuencas intramontañosas, que se observan en la región.

El frente de la Cordillera Rifeña está formado por el Prerrif Externo (denominado Manto Prerrifeño) y las unidades cabalgantes rifeñas, que se sitúan hacia la parte interna de la Cordillera. En la zona frontal se distinguen varias crestas Prerrifeñas que dan paso a la cuenca de antepais. Los datos actuales indican que la estructuración de esta región se ha formado en dos etapas sucesivas de traslación, hacia el SO y hacia el SSE, determinada por las deformaciones en el interior de la Cordillera Rifeña y en el límite Eurasia-África (Bargach et al., 2004).

La deformación se produce por una tectónica típica de Zonas Externas, en la que existe un nivel de despegue entre el zócalo metamórfico, compuesto por rocas que han sufrido deformaciones variscas del Medio Atlas, y la Meseta marroquí y la cobertera de edad mesozoico-cenozoica. Las deformaciones actuales en las fallas inversas y en pliegues con fallas ciegas están claramente asociadas a la sismicidad de esta región (Moratti et al., 2003; Bargach et al., 2004).

La región de Alhucemas concentra gran parte de la sismicidad histórica del Mediterráneo occidental (figura 2), con varios terremotos de consecuencias catastróficas. Entre ellos cabe destacar el terremoto de magnitud 6.3 que se produjo a las 2 h. 27 min. del 24 de febrero de 2004. Sin embargo, en esta región hasta

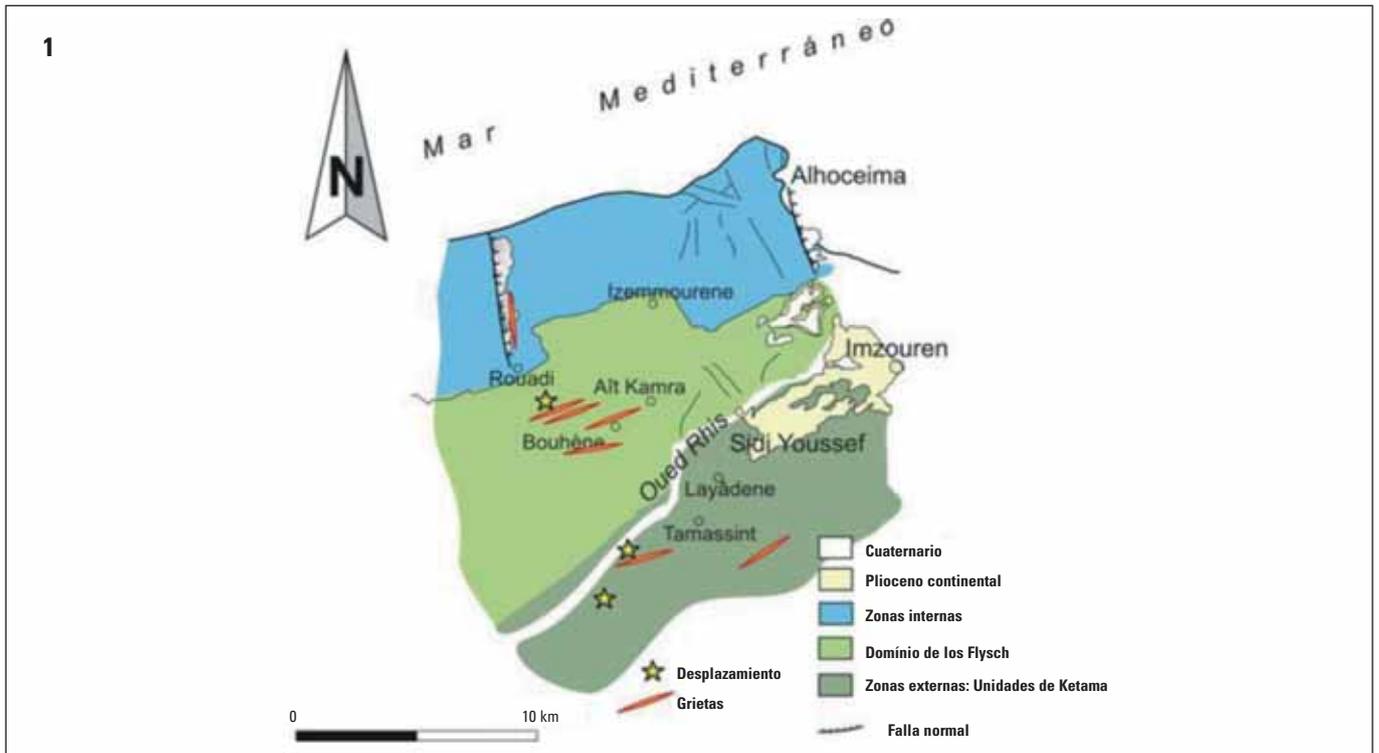


Figura 5. Situación de las deformaciones cósmicas asociadas al terremoto  $M=6.3$  de 24 de febrero de 2004 en Alhucemas (1). Daños materiales (2). Desarrollo de grietas cósmicas en materiales consolidados (3). Grietas de deslizamiento (4). Fallas con actividad reciente (falla de Rouadi) (5).

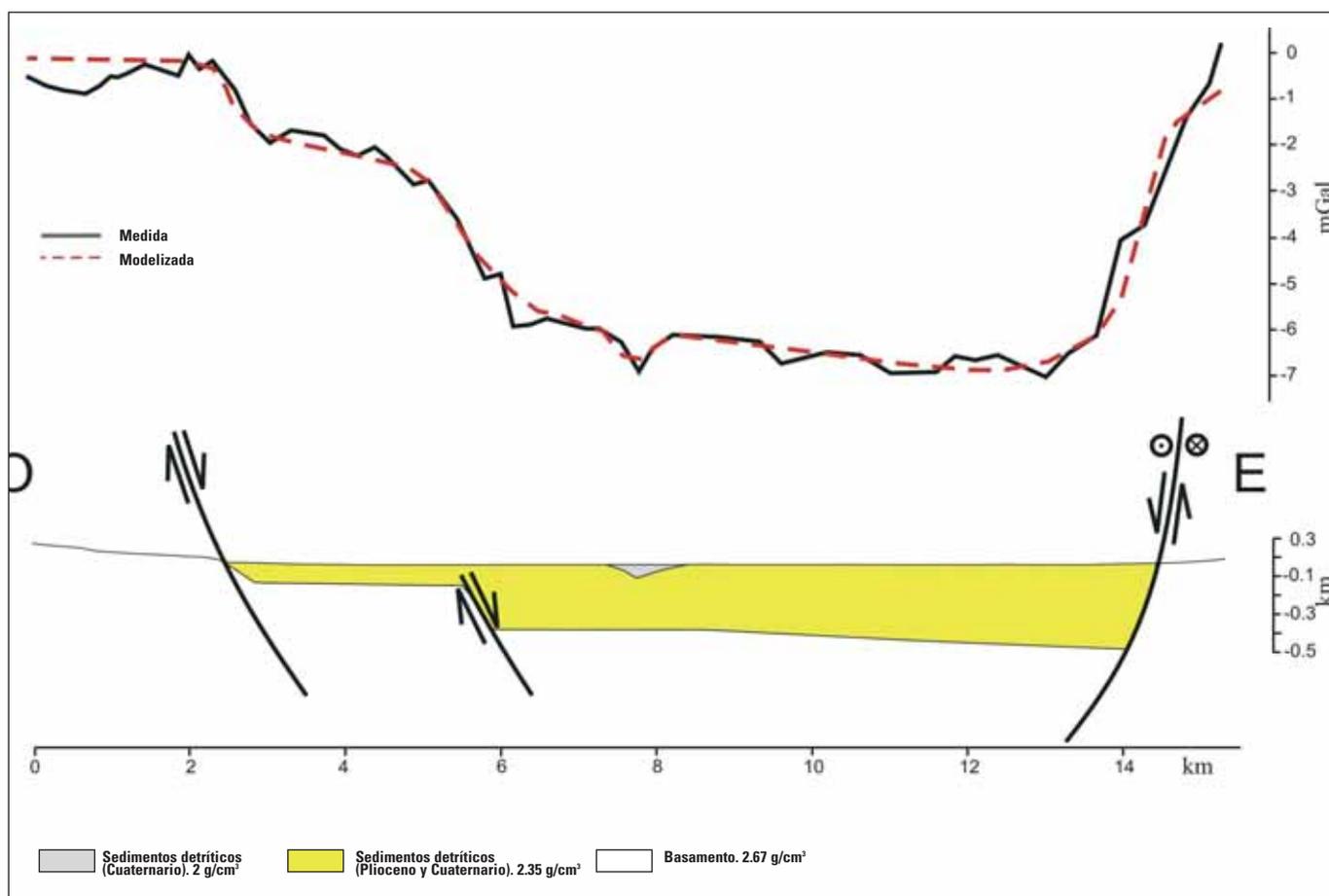


Figura 6. Perfil de anomalía de Bouguer y modelo gravimétrico en la Bahía de Alhucemas. Posición en figura 3.

el momento se han realizado pocos estudios geológicos basados en datos de campo, para relacionar tectónica y sismicidad.

La región sísmicamente activa de Alhucemas (Al-Hoceima) se localiza cerca del contacto entre las Zonas Internas y Externas de la Cordillera Rifeña, separadas por unidades de *flysch* (figura 3). La principal falla de la región es la falla sinistral de Nekor, que interseca en la costa al NO de Ras Afraou, y está formada durante el emplazamiento hacia el SO de las Zonas Internas hasta el Tortonense superior (Leblanc y Olivier, 1984; Frizon de Lamotte, 1985).

Las Zonas Internas están representadas por el macizo de los Bokoyas. Está formado por unidades carbonatadas de la Dorsal Externa, cabalgadas por unidades de la Dorsal Interna y fragmentos de materiales paleozoicos ghomárides de edad silúrico a carbonífero (Andrieux, 1971; Chalouan, 1986; Azzouz, 1992). Las unidades de la dorsal están formadas por series carbonatadas del Trias-Lías a Eoceno. Al frente se localizan las

unidades de la Predorsal formadas preferentemente por materiales terciarios (Oligoceno-Mioceno) margosos, calcáreos y areniscas que incluyen olistostromas con bloques generalmente de calizas de la Dorsal.

Las unidades de *flysch* corresponden, al menos, a dos mantos que forman un prisma de acreción localizado en el frente del Macizo de los Bokoya y que, en sentido descendente, son: el manto de Tisirene y el manto de Chouamat. El manto de Tisirene está compuesto por calizas, margo-calizas y niveles detríticos de edad cretácico inferior y llega a tener más de 1 km de potencia. El manto de Chouamat también tiene edad cretácico inferior y está formado por areniscas con intercalaciones de limos y arcillas.

Las Zonas Externas están representadas por la Unidad de Ketama, compuesta preferentemente por pizarras y esquistos de probable edad cretácica. Esta unidad que corresponde al Intrarif, está separada por la

falla de Nekor del Mesorif, representado por la Unidad de Tamsamane.

En la región (figura 3) existen rocas volcánicas de edad tortoniense-mesiniense, al este de Alhucemas (zona de Ras Tarf) (El Azzouzi et al., 1999). Además, desde el Tortonense se depositan rocas detríticas (en muchos casos calcarenitas), margas (más abundantes durante el Messiniense) y, finalmente, depósitos de terrazas marinas, fundamentalmente en dos cuencas: la de Nekor y la de Boudinar.

### Sismicidad histórica; el terremoto de 24 de febrero de 2004

La región de Alhucemas sufre frecuentemente terremotos de magnitud media (figura 2), entre los que caben destacar las series que se produjeron durante 1994 y 2004 (figura 4). Anualmente, se producen sismos cuya magnitud media supera 2.4 y son generalmente terremotos superficiales, con profundidades comprendidas entre 4 y 12 km (Cherkaoui et al., 1990). El sismo histórico

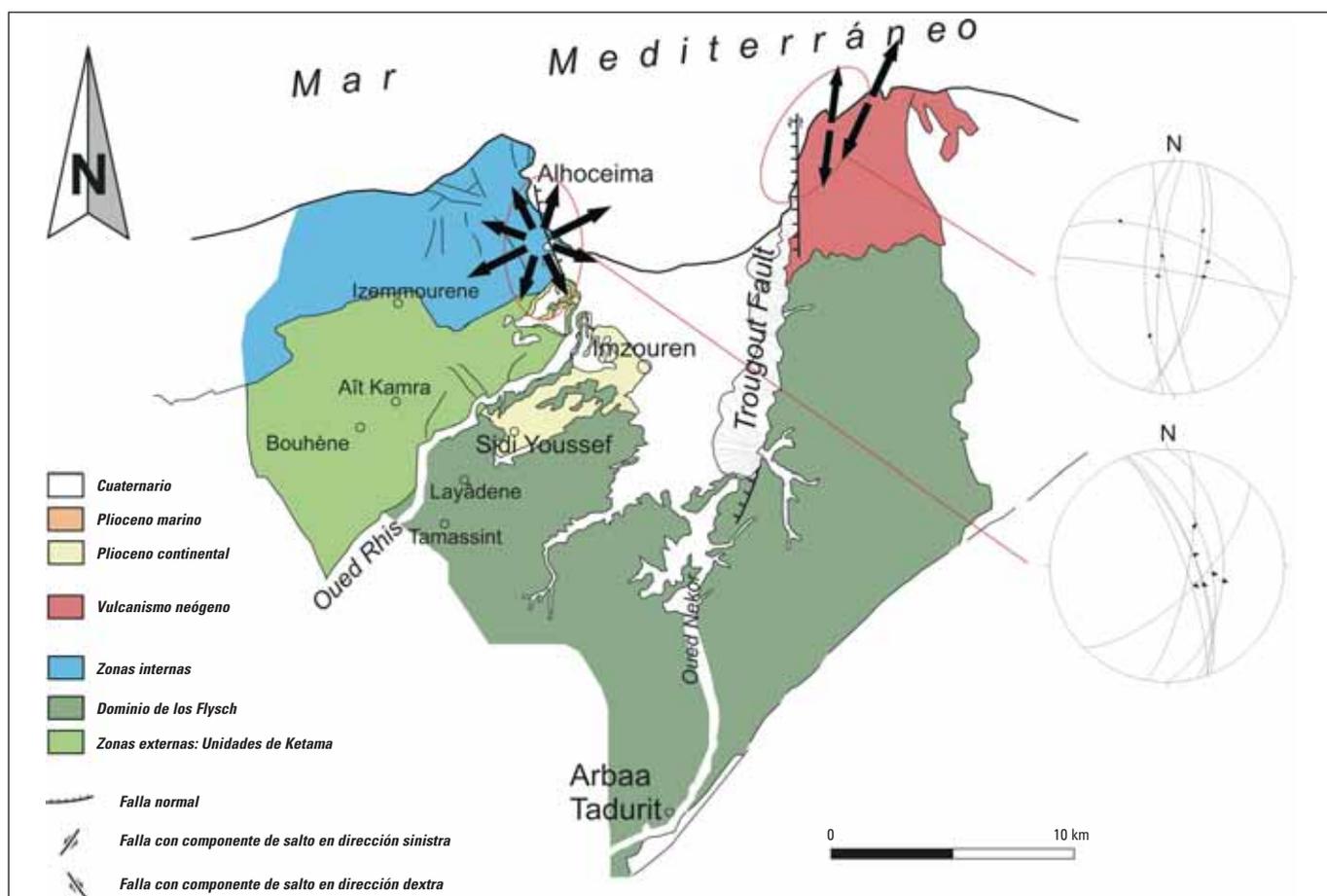


Figura 7. Fallas, microfallas y paleoesfuerzos en la Bahía de Alhucemas. Proyección estereográfica, hemisferio inferior.

que ha alcanzado mayor intensidad (VIII, MSK) tuvo lugar el 8 de julio de 1848 (Ramdani et al., 1989). El principal terremoto que ha producido daños catastróficos, tanto materiales como personales, en el periodo de registro instrumental que se inicia en 1901, es el de 24 de febrero de 2004, con más de 600 víctimas y decenas de miles de casas destruidas, ya que muchas de las construcciones tradicionales son de piedra y adobe. Ambas series sísmicas se localizan aproximadamente en la misma zona (figura 4), con mecanismos focales similares y repetitivos, lo que confirma la existencia, en esta región, de fallas sísmicas con actividad importante.

El sismo principal de la serie de 1994 se produjo a una profundidad de 12 km y tuvo una magnitud moderada ( $M=6$ , Calvert et al., 1997;  $M=5.6$  a  $5.8$ , Bezzeghoud y Buforn, 1999). Para estos autores, el mecanismo focal de los terremotos de 1994 indica la presencia de un juego principal de fallas de orientación N-S sinistras, que pueden tener varias superficies paralelas entre sí.

El terremoto de 24 de febrero de 2004 tuvo una magnitud de 6.3 y se produjo a una profundidad de 14 km (Stich et al., 2005), aunque existen errores kilométricos en la determinación de la profundidad debido a la ausencia de una red sísmica local. El mecanismo focal del terremoto principal sugiere que el plano nodal activo correspondió a una falla de salto en dirección sinistral, orientación  $N11^\circ E$  y buzamiento de  $70^\circ$  hacia el E (Stich et al., 2005). Los mecanismos focales calculados por otras instituciones (European Mediterranean Seismological Center, <http://www.emsc-csem.org>) tienen características similares, lo que confirma la coincidencia entre los estudios sismológicos sobre la existencia de esta falla. El sismo principal fue seguido por más de un millar de réplicas, en su mayor parte superficiales, aunque, en algunos casos, llegaron a alcanzar 45 km de profundidad. Las réplicas se alinean preferentemente en dirección NNE-SSO, del mismo modo que uno de los planos nodales del mecanismo focal.

Los ejes de esfuerzo tienen una orientación similar para las dos series sísmicas, con compresión NO-SE y extensión perpendicular NE-SO, compatible con la situación actual de acortamiento entre las placas euroasiática y africana.

#### Deformaciones cosísmicas en superficie durante el terremoto de 24 de febrero de 2004

Las evidencias geofísicas indican la existencia en la región de una falla activa de primer orden, con plano subvertical y sinistral responsable de la sismicidad. Sin embargo, las observaciones de campo a escala cartográfica (figura 4), o mesoscópica, en el área epicentral no muestran rupturas superficiales cosísmicas importantes, existencia de fallas de salto en dirección de orientación NNE-SSO, ni la existencia de fallas conjugadas de dirección ONO-ESE.

La falla de Nekor, que es la de mayor extensión cartográfica de la región, está

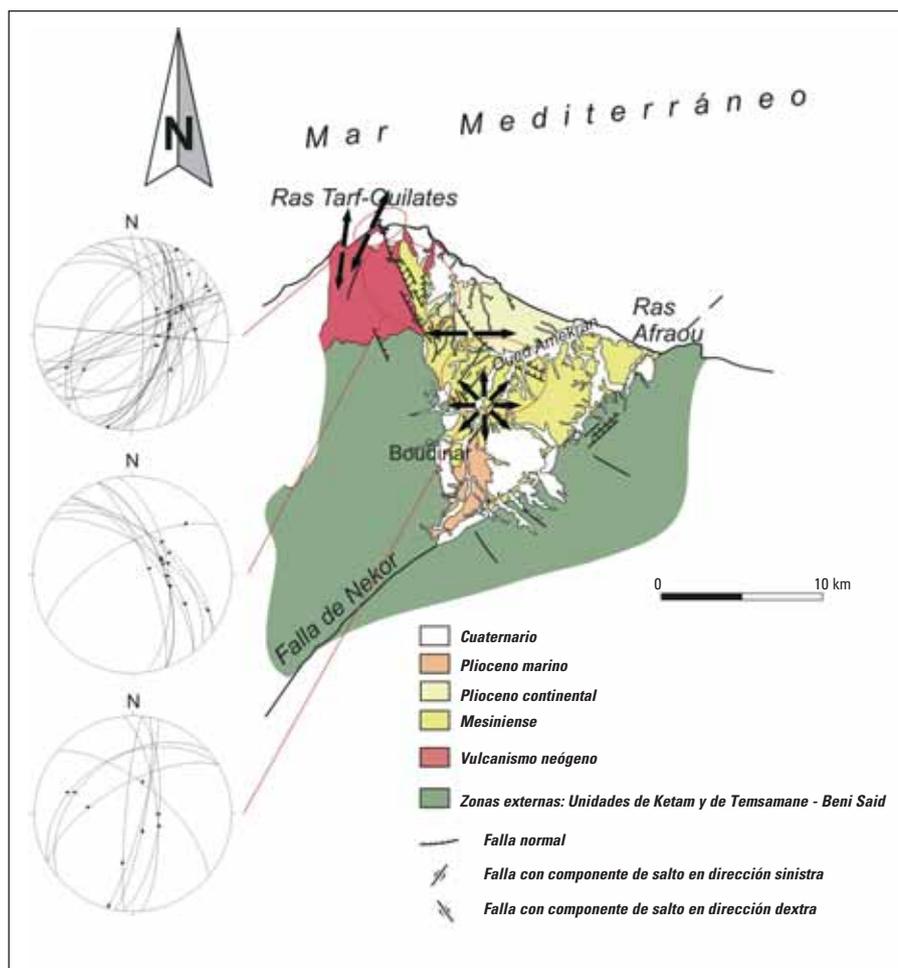


Figura 8. Fallas, microfallas y paleoesfuerzos en la Cuenca de Boudinar. Proyección estereográfica, hemisferio inferior.

fosilizada por materiales del Mioceno superior (al menos Messiniense y más recientes) y, además, no tiene actividad sísmica actual.

Las deformaciones cósmicas observadas (figura 5) se concentran en la zona epicentral y consisten en deslizamientos y grietas abiertas sobre el terreno. La sismicidad ocurrió después de un periodo intenso de lluvias, que disminuyó la resistencia de la parte más superficial del terreno. La presencia de un relieve abrupto hizo que se desencadenaran o reactivaran numerosos deslizamientos (figura 5), que produjeron la mayor parte de los daños. Los deslizamientos afectaron a suelos, pero también hubo caída de rocas y se produjeron preferentemente hacia el NNO o hacia el SSE, debido a la estructura geológica predominante de la región.

Se realizó un estudio detallado en el terreno para distinguir las grietas cósmicas y las asociadas a deslizamientos. Las grietas

cósmicas se han identificado en zonas llanas, en las que la topografía impedía el desarrollo de deslizamientos. Son grietas que afectan a materiales poco consolidados y que en una época de lluvias se hubiesen rellenado rápidamente. También se identifican bien en los suelos de cemento de las construcciones destruidas. Además, en algunos casos, se ha comprobado que las grietas se observan tanto en el terreno como en las construcciones. De esta forma se asegura que las grietas tienen un origen tectónico.

Las grietas cósmicas (figura 5) tienen orientaciones preferentes en dirección ENE-OSO (N50°E a N80°E, con un máximo N60°E) paralelas a las estructuras geológicas que se observan en superficie. La apertura es centimétrica e indican una dirección de extensión NO-SE. En algunos sectores, se han observado grietas que cortan netamente niveles carbonatados consolidados, lo que indica que la deformación fue rápida y neta.

Sin embargo, justo en el área epicentral existen materiales de edad pliocena-villafranquiese que no están afectados por ninguna deformación, y no se observa ningún rasgo geomorfológico de orientación N-S.

### Deformaciones recientes y paleoesfuerzos

Las principales estructuras que se observan en superficie son fallas normales de dirección preferente N-S, con pequeñas componentes de salto en dirección, en función de su orientación (figuras 3, 6, 7 y 8). Probablemente, también existen pliegues de orientación ENE-OSO, tal y como sugieren los buzamientos de las únicas superficies de referencia disponibles (contactos litológicos, foliaciones). No se puede determinar con exactitud su geometría, ya que estas superficies muestran la superposición de varias etapas de deformación.

La falla de Rouadi (figura 5) es una falla normal de buzamiento hacia el E (N175°E, 68°E, cabeceo 90°) que corta a los materiales de las Zonas Internas del Macizo de los Bokoya. Tiene depósitos de materiales recientes asociados que sugieren deformaciones cósmicas, y produce un basculamiento de los materiales situados en el bloque de techo.

La Bahía de Alhucemas (figuras 6 y 7) puede ser considerada como un graben relleno por materiales neógenos y cuaternarios, ya que está limitada por dos sistemas de falla a ambos lados. Las medidas gravimétricas adquiridas en la región permiten conocer las variaciones de los espesores del relleno sedimentario de este graben. El perfil de anomalía de Bouguer perpendicular al graben es asimétrico (figura 6), con escalones internos. El modelo gravimétrico muestra que la cuenca es asimétrica y basculada hacia el E, donde se localiza la falla de Trougout y tiene fallas cubiertas bajo el relleno sedimentario, en su borde occidental. Las observaciones de campo indican que la falla de Trougout es normal sinistral (N5°E/84°O, cabeceo de 48°S) y su salto, que en la parte septentrional supera 800 m, parece amortiguarse progresivamente hacia el sur.

El borde occidental de la Cuenca de Boudinar es también una falla normal (N172°E/60°E)

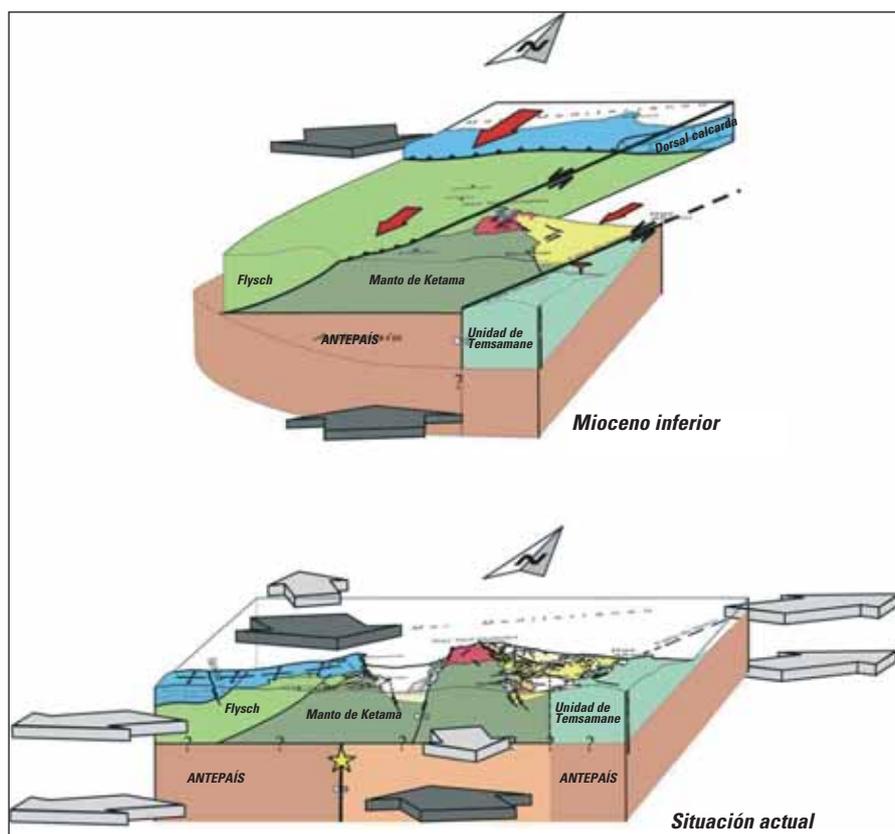


Figura 9. Esquema tectónico de evolución reciente de la región de Alhucemas y de la probable estructura cortical actual. Los saltos de falla indican el régimen pero no se conoce su magnitud.

(figura 8), que tiene generalmente estrías en buzamiento, pero en la que se han observado estrías de salto en dirección dexas, posiblemente más antiguas. Esta falla deforma actualmente la línea de costa y muestra evidencias de actividad reciente. La Cuenca de Boudinar es un semigraben formado por la actividad de esta falla, relleno por depósitos neógenos y cuaternarios, que se abre hacia el N hasta conectar con el Mar de Alborán. Del mismo modo que la falla de Throughtout, la falla de Boudinar se ramifica hacia el sur y va perdiendo progresivamente salto, por lo que no llega a desplazar la falla de Nekor.

El límite meridional de toda la estructura está constituido por la falla de Nekor. Aunque el trazado cartográfico es neto, esta falla está cubierta por materiales de edad tortoniense superior-mesiniense, y no muestra ningún rasgo de reactivación reciente.

La medida de microfallas en la región (figuras 7 y 8) ha permitido determinar los paleoesfuerzos recientes mediante el método de redes de búsqueda (Galindo Zaldívar

y González Lodeiro, 1988). La región muestra una situación en extensión de direcciones variables. En Alhucemas (figura 7), la extensión es en dirección ENE-OSO, compatible con la actividad de las fallas normales que limitan el graben. La dirección de extensión cambia a NNO-SSE en la zona de Ras Tarf, situada en el límite con el Mar de Alborán. En la región de Boudinar (figura 8), se observa un cambio progresivo desde una dirección de extensión E-O, compatible con el régimen normal con ligera componente dextra de la falla de Boudinar, a una extensión de carácter radial en el extremo meridional, donde se amortigua esta falla.

### Discusión

Los estudios paleosismológicos se basan generalmente en el estudio de las rupturas superficiales asociadas a fallas sismogénicas. Sin embargo, en la región de Alhucemas se observan contradicciones aparentes entre las estructuras superficiales y la actividad tectónica actual en profundidad que se deduce a partir de los datos sismológicos.

Mientras que los datos sismológicos indican la existencia de una falla o zona de falla de decenas de kilómetros de longitud, de orientación NNE-SSO sinistral, formada por la compresión asociada a la convergencia NO-SE entre Eurasia y África, y que se reactiva sucesivamente produciendo series sísmicas, los datos geológicos de superficie no muestran ninguna evidencia de la existencia de esa falla. Aunque cabría esperar un desplazamiento sinistral notable de la línea de costa, que es una referencia de orientación E-O casi perpendicular a la falla, ésta no sufre desplazamientos en la vertical de la zona con sismicidad (figura 4). La zona de sismicidad se extiende oblicuamente a varios contactos tectónicos, entre las Zonas Internas, Flysch y Zonas Externas, sin desplazar a ninguno de ellos. La falla de mayor trazado cartográfico de la región, la falla de Nekor, es inactiva y está cubierta por materiales sedimentarios desde el Tortoniense superior-Mesiniense.

El estado de esfuerzos que se establece a partir de los mecanismos focales de terremotos tampoco coincide ni con los paleoesfuerzos deducidos en superficie ni con los esfuerzos que corresponden a las deformaciones cósmicas. La presencia de grietas de tensión, en dirección N60°E, indica una dirección de extensión en superficie que corresponde a la dirección de compresión deducida de los mecanismos focales.

Por otra parte, existen fallas con evidencias de actividad reciente y de orientación N-S, que son próximas a las direcciones deducidas para las fallas profundas a partir de los mecanismos focales. Sin embargo, tienen una actividad como fallas normales, generalmente de extensión E-O a ENE-OSO, subparalela a la línea de costa y, aunque algunas tienen un componente de salto en dirección, contrastan notablemente con las fallas de salto en dirección sinistras en profundidad.

Esta aparente contradicción entre datos sismológicos y geológicos recientes y actuales puede ser consecuencia del estilo y la evolución de las deformaciones en el interior de la Cordillera Rifeña. La evolución tectónica desde el Mioceno, tras las etapas de metamorfismo, probablemente continuó con la actividad de despegues

(cabalgamientos en unos casos y fallas normales en otros) que produjeron la traslación de hacia el SO de las Zonas Internas del Rif (Leblanc y Olivier, 1984; Frizon de Lamotte, 1985, Benmakhlouf et al., 2005). En este episodio se formaron las grandes fallas transcurrentes de la cordillera, tales como la falla de Nekor, que representarían rampas laterales de cabalgamientos. Además, se configuraron los rasgos estructurales generales de la región con el cabalgamiento de los materiales de las Zonas Internas sobre las unidades de *Flysch*, y éstas, a su vez, sobre

opuesto a los resultados sismológicos. Estas grietas son, posiblemente, la respuesta a la extensión de arcos externos de pliegues que se están desarrollando actualmente en la zona por el acortamiento NO-SE entre Eurasia y África, y pueden ser responsables de la elevación del relieve con desarrollo de costas acantiladas y valles muy encajados. La variación en los buzamientos de algunos marcadores previos, tales como contactos litológicos o foliaciones sugieren la existencia de grandes pliegues tardíos de tamaño kilométrico, tales como el anticlinorio de Ketama (Meghraoui et al., 1996). Sin

(predominantemente en extensión) e inferior (compresión NO-SE bien marcada, asociada a transcurrancia), debido a la probable existencia de niveles de despegue. En estos contextos geológicos, las estructuras con mayor peligrosidad sísmica no se propagan a superficie. En el interior de este tipo de cordilleras, la mayor peligrosidad está asociada a niveles de despegue cortical, por la amplia extensión, o porque separan zonas con comportamiento muy diferente. Por ello, en gran parte de los sismos que se producen en las Cordilleras Bética y Rifeña no se puede establecer una correlación con las fallas que se observan en superficie. No obstante, estas fallas son el reflejo de deformaciones mucho más profundas, y aunque contribuyen al conocimiento de la actividad tectónica, no determinan completamente la peligrosidad sísmica. Esta situación no ha sido suficientemente analizada en estudios paleosismológicos (Sylvester, 1988; Keller y Pinter, 1996) para la determinación de la peligrosidad sísmica, ni en los modelos analógicos que se realizan en laboratorio y que suelen considerar bloques de naturaleza homogénea.

**“Las cordilleras Béticas y Rifeñas son, aparentemente, simétricas desde el punto de vista geológico.**

**Sin embargo, la sismicidad y las deformaciones actuales son claramente asimétricas”**

las Zonas Externas, lo que produjo distintos niveles de despegue en la corteza (*figura 9*). En un segundo episodio (*figura 9*), las traslaciones hacia el SO dejaron de ser activas en esta región, del mismo modo que ocurre en las Crestas Prerrifeñas y como lo confirma la existencia de materiales del Tortoniense superior-Mesiniense que fosilizan la falla de Nekor. La aproximación entre las placas euroasiática y africana en dirección NO-SE, subperpendicular a la falla de Nekor, fue responsable de su inactividad, lo que contribuyó posiblemente al desarrollo de otra falla o zonas de falla en el basamento, con una orientación N-S y un régimen sinistral, adecuado al nuevo campo de esfuerzos. Posiblemente, la existencia de niveles de despegue previos, algunos de ellos con muy baja cohesión y fricción (unidades de *Flysch* o rocas triásicas bajo las Zonas Externas) permitió que la deformación de la parte más alta de la corteza, con grandes pliegues y fallas normales, fuese diferente a las deformaciones que ocurren en la parte profunda, rígida y sismogénica.

Las grietas cosísmicas superficiales, que indican extensión en dirección NO-SE, tampoco se pueden interpretar como grietas escalonadas asociadas a una falla profunda, pues de ellas se deduciría un régimen dextro

embargo, no existe ninguna superficie previa que pueda utilizarse de forma totalmente fiable para identificar estas estructuras, aunque la instalación en el futuro de redes geodésicas precisas podrían confirmarlas.

### Conclusiones

Las cordilleras Béticas y Rifeñas son, aparentemente, simétricas desde el punto de vista geológico (*figura 1*). Sin embargo, la sismicidad y las deformaciones actuales son claramente asimétricas (Ruano, 2003). Mientras que en la Cordillera Bética se produce esencialmente el desarrollo de grandes pliegues sobre niveles de despegue, en la Cordillera Rifeña se desarrollan fallas cuya actividad se propaga hasta las zonas frontales.

Las deformaciones en zonas interiores de cordilleras con una estratificación mecánica de la corteza responden de un modo netamente diferente a las zonas frontales, donde se desarrollan pliegues y fallas inversas que se correlacionan con la actividad sísmica. El interior de la Cordillera del Rif (región de Alhucemas) muestra una deformación que afecta a toda la corteza, pero que es diferente en la parte superior

El estudio de la región de Alhucemas sugiere que las fallas situadas en materiales rígidos entre 10 y 15 km de profundidad, para gradientes geotérmicos normales, y bajo esos niveles de despegue pueden acumular energía elástica suficiente para producir terremotos de efectos destructivos. Para el estudio de la actividad actual de los despegues corticales, es necesario la investigación y el desarrollo de otras técnicas que comienzan a aplicarse en la actualidad (análisis de variaciones del relieve mediante técnicas geodésicas y variación de las propiedades geofísicas, entre otras) que permitirán determinar en el futuro la peligrosidad de origen sísmico en estas regiones.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a proyectos de colaboración internacional financiados por el MEC, la Agencia Española de Cooperación Internacional y la Agencia Andaluza de Cooperación Internacional.

## Bibliografía

- Andrieux, J. (1971). La structure du Rif Central. Étude des relations entre la tectonique de compression et les nappes de glissement dans un tronçon de la chaîne alpine. Ed. Notes et Mém. Serv. Géol. Maroc, 155 pp.
- Azzouz, O. (1992). Lithostratigraphie et tectonique hercynienne des terrains paléozoïques ghomarides du Massif des Bokoya (Rif Interne, Maroc). *Thèse 3ème cycle*, Univ. Mohammed V, Rabat, 208 pp.
- Bargach, K.; Ruano, P.; Chabli, A.; Galindo-Zaldívar, J.; Chalouan, A.; Jabaloy, A.; Akil, M.; Ahmamou, M.; Sanz de Galdeano, C. y Benmakhlof, M. (2004). Recent tectonic deformations and stresses in the frontal part of the Rif Cordillera and the Saïss Basin (Fes and Rabat regions, Morocco). *Pure Appl. Geophys.* 161, 521-540.
- Benmakhlof, M.; Galindo-Zaldívar, J.; Chalouan, C.; Sanz de Galdeano, C.; Ahmamou, M. y López-Garrido, A. C. (2005). Cinemática y paleoesfuerzos en la zona de falla transcurrente de Jebha-Chrafate (Rif septentrional, Marruecos). *Geogaceta*, 38, 71-74.
- Bezzeghoud, M. y Buforn, E. (1999). Source parameters of 1992 Melilla (Spain, Mw=4.8), 1994 Alhoceima (Morocco, Mw=5.8) and 1994 Mascara (Algeria, Mw=5.7) earthquakes and seismotectonic implications. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 89, 359-372.
- Calvert, A.; Gómez, F.; Seber, D.; Baranzagi, M.; Jabour, N.; Ibenbrahim, A. y Demnati, A. (1997). An Integrated geophysical investigation of recent seismicity in the Al-Hoceima region of North Morocco. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 87, 637-651.
- Chalouan, A. (1986). Les nappes Ghomarides (Rif Septentrional, Maroc), un terrain varisque dans la Chaîne Alpine. *Tesis Doctoral*, Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 317 pp.
- Chalouan, A.; Ouazani-Touhami, A.; Mouhir, L.; Saji, R. y Benmakhlof, M. (1995). Les failles normales à faible pendage du Rif interne (Maroc) et leur effet sur l'amincissement crustal du domaine d'Alboran. *Geogaceta*, 17, 107-109.
- Cherkaoui, T. E.; Hatzfeld, D.; Jebli, H.; Medina, F. y Caillot, V. (1990). Etude microsismique de la région d'Al Hoceima. *Bull. Inst. Sci. Rabat*, 14, 25-34.
- DeMets, C.; Gordon, R. G.; Argus, D. F. y Stein, S. (1994). Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimate of current plate motions. *Geophys. Res. Lett.*, 21 (20), 2191-2194.
- El Azzouzi, M.; Bernard-Griffiths, J.; Bellon, H.; Maury, R. C.; Piqué, A.; Fourcade, S.; Cotten, J. y Hernandez, J. (1999). Évolution des sources du volcanisme marocain au cours du Néogène. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 329 (II), 95-102.
- Frizon de Lamotte, D. (1985). La structure du Rif Oriental (Maroc). Rôle de la tectonique longitudinale et importance des fluides. *Tesis doctoral*, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 436 pp.
- Galindo-Zaldívar, J. y González-Lodeiro, F. (1988). Faulting phase differentiation by means of computer search on a grid pattern. *Ann. Tectonicae*, 2, 90-97.
- Galindo-Zaldívar, J.; González-Lodeiro, F. y Jabaloy, A. (1989). Progressive extensional shear structures in a detachment contact in the Western Sierra Nevada (Betic Cordilleras, Spain). *Geodin. Acta*, 3, 73-85.
- Galindo-Zaldívar, J.; González-Lodeiro, F. y Jabaloy, A. (1993). Stress and palaeostress in the Betic-Rif.
- González-Lodeiro, F.; Aldaya, F.; Galindo-Zaldívar, J. y Jabaloy, A. (1996). Superposition of extensional detachments during the Neogene in the internal zones of the Betic cordilleras. *Geol. Rundsch.*, 85, 350-362.
- Keller, E. A. y Pinter, N. (1996). Active Tectonics: Earthquakes, Uplift, and Landscape. Ed. Prentice Hall, New Jersey. 362 pp.
- Leblanc, D. y Olivier, P. (1984). Role of strike-slip faults in the Betic-Rifian orogeny. *Tectonophysics*, 101, 345-355.
- López Casado, C.; Molina Palacios, S.; Delgado, J. y Peláez, J. A. (2000). Attenuation of intensity with epicentral distance in the Iberian Peninsula. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 90, 34-47.
- Meghraoui, M.; Morel, J. L.; Andrieux, J. y Dahmani, M. (1996). Pliocene and Quaternary tectonics of the Tell-Rif mountains and Alboran Sea, a complex zone of continent convergence. *Bull. Soc. Géol. France*, 167 (1), 141-157.
- Monié, P.; Galindo Zaldívar, J.; González-Lodeiro, F.; Goffé, B. y Jabaloy, A. (1991).  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology of Alpine tectonism in the Betic Cordilleras (southern Spain). *J. Geol. Soc. London*, 148, 288-297.
- Moratti, G.; Piccardi, L.; Vannucci, G.; Belardinelli, M. E.; Dahmani, M.; Bendkik, A. y Chenakeb, M. (2003). The 1755 "Meknes" earthquake (Morocco): field data and geodynamic implications. *J. Geodyn.*, 36 (1-2), 305-322.
- Muñoz, M. y Udías, A. (1980). Estudio de los Parámetros y Serie de Réplicas del Terremoto de Andalucía del 25 de Diciembre de 1884 y de la Sismicidad de la Región Málaga-Granada. En: El Terremoto de Andalucía de 1884. (I.G.N., Ed.). Madrid. 95-139.
- Ramdani, M.; Tadili, B. y El Mrabet, T. (1989). The present state of knowledge on historical seismicity of Morocco. En: Proceedings of the Symposium on Calibration of Historical earthquakes in Europe and Recent Developments in Intensity interpretation. European Seismological Commission. (Payo, G.; Radu, C. y Postpischil, D., Eds.), IGN, Madrid. 257-279.
- Reicherter, K. R.; Jabajoy, A.; Galindo Zaldívar, J.; Ruano, P.; Becker-Heidmann, P.; Morales, J.; Reiss, S. y González Lodeiro, F. (2003). Repeated palaeoseismic activity of the Ventas de Zafarraya Fault (S. Spain) and its relation with the 1884 Andalusian earthquake. *Int. J. Earth Sci.*, 92 (6), 912-922.
- Ruano, P.; Galindo-Zaldívar, J. y Jabaloy, A. (2004). Recent tectonic structures in a transect of the central Betic Cordillera. *Pure Appl. Geophys.*, 161, 541-563.
- Stich, D.; Mancilla, F.; Baumont, D. y Morales, J. (2005). Source analysis of the Mw 6.3 2004 Al Hoceima earthquake (Morocco) using regional apparent source time functions. *J. Geophys. Res.*, 110 (B06306), doi:10.1029/2004JB003366.
- Sylvester, A. G. (1988). Strike-slip faults. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 100, 1666-1703.
- Wells, D. L. y Coppersmith, K. J. (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 4, 974-1002.

# La revista Gemas y Minerales

La revista *Gemas y Minerales* nace de la necesidad que existe, en España, de contar con una publicación de información y actualidad gemológica, comparable a lo que sucede en otros países con publicaciones como: *Gems&Gemology*, *Journal of Gemmology*, *Australian Gemmologist*, *Mineralogical Record*, etc. Esta publicación pretende estar en la línea de las grandes revistas del mundo, profundizando en diversos aspectos de esta ciencia, por medio de la publicación de artículos propios e internacionales, pero también artículos de divulgación al alcance de todo el mundo.

Las gemas han tenido siempre un papel importante en la historia de la humanidad y han fascinado por su extraordinaria belleza. Mientras que en los primeros siglos había muy pocas, y reservadas a determinadas clases sociales, actualmente casi toda la sociedad puede disfrutar de piedras decorativas como ornamento y adorno. Sin embargo, la oferta actual de piedras preciosas es tan abundante que, para el no experto, resulta casi imposible conocer la gran variedad que existe actualmente en el mercado y las que, continuamente, se descubren. Esta revista pretende servir de ayuda y dar una amplia visión de conjunto del mundo de las piedras preciosas.

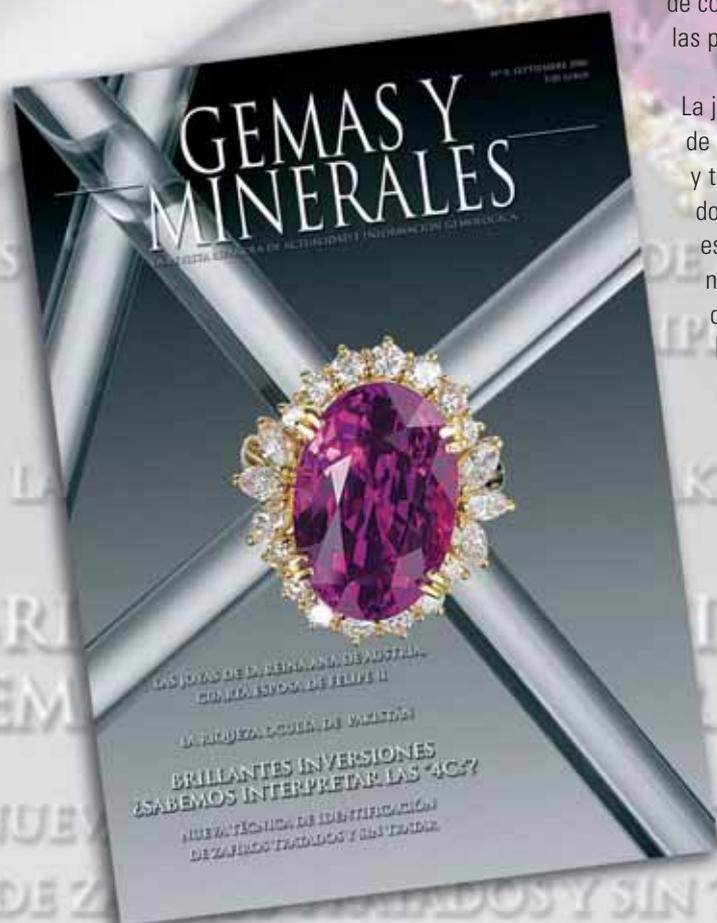
Ha sido menester la publicación masiva de los objetos hallados en los galeones españoles naufragados, para que se reconozca la calidad de la joyería española del siglo XVI, tanto en el diseño como en la riqueza de los materiales empleados, con un excelente trabajo del metal y de las piedras preciosas. La pintura es una de las fuentes más importantes para el conocimiento de las joyas y, naturalmente, el retrato de corte es el más útil para este menester. Los artículos de interés gemológico ayudarán a estar al día en las últimas síntesis, tratamientos e imitaciones. Tal vez pocas personas conozcan la constante evolución que tiene esta ciencia.

El "TEMPUS" es, pues, muy importante y se necesita una revista dedicada al estudio de las gemas y minerales que mantenga al público informado de los últimos avances y descubrimientos.

La revista está redactada de forma tal que pueda entenderla el no especialista y que, además, sirva también al especialista. Una gran ventaja es la conexión entre el texto y la fotografía que, hay que decir, es de gran calidad.

Esperamos que esta publicación cuatrimestral sea una puerta abierta para todos aquellos que deseen colaborar y participar en esta maravillosa aventura de arañar la tierra para que expulse su tesoro más preciado, las gemas y minerales, y así poder conocer este maravilloso mundo de formación milenaria.

**Manuel Regueiro**



# Galicia es líder en la producción de **cuarcita** piedra natural

El mercado de la piedra utilizada desde antiguo en la construcción tradicional está actualmente en alza. Se están demandando cada vez más rocas, tanto en la restauración como en nueva construcción, que no se encuadran en el grupo de los granitos, pizarras y mármoles. Entre estas piedras utilizadas, sobre todo en solados y revestimientos, han tenido un crecimiento importante, en los últimos años, las rocas cuarcitas, especialmente en Galicia.

TEXTO | Ángel Ferrero Arias<sup>1</sup>, Alfredo Valbuena García<sup>2</sup> y Raúl Cueto Hirschberger<sup>3</sup>, ingenieros de Minas

Palabras clave

Galicia, cuarcita, piedra natural

En el conjunto de tipos y calidades de piedra de uso industrial que existen en el territorio español destacan, sobre todo, aquellas que se denominan habitualmente ornamentales y que, comercialmente, se encuadran en tres grandes grupos: granitos, pizarras y mármoles, compuestos cada uno de ellos por gran variedad tipológica. Son los materiales que quedan incluidos en estos grupos los que atraen prioritariamente nuestra atención como geólogos y, más aún, si, en mayor o menor medida, nos dedicamos a la interesante tarea de mejorar y transmitir el conocimiento de nuestro potencial minero, sea de una u otra manera. Sin embargo, en la última década se observa un significativo crecimiento del uso de otros materiales pétreos que no se podrían incluir en los tres grupos indicados, y que se han agrupado en ocasiones como "otras piedras", que, con las ornamentales, constituyen el conjunto de la "piedra natural".

Las rocas que se han utilizado desde tiempos antiguos en la construcción de megalitos, viales, edificios y otras construcciones, y cuya utilización ha continuado hasta la actualidad a través de los tiempos, son otra vez consideradas atractivas. Se mantienen en las restauraciones de construcciones antiguas y se extraen de nuevo para abastecer este mercado emergente que aprecia tanto su valor constructivo como estético y que,

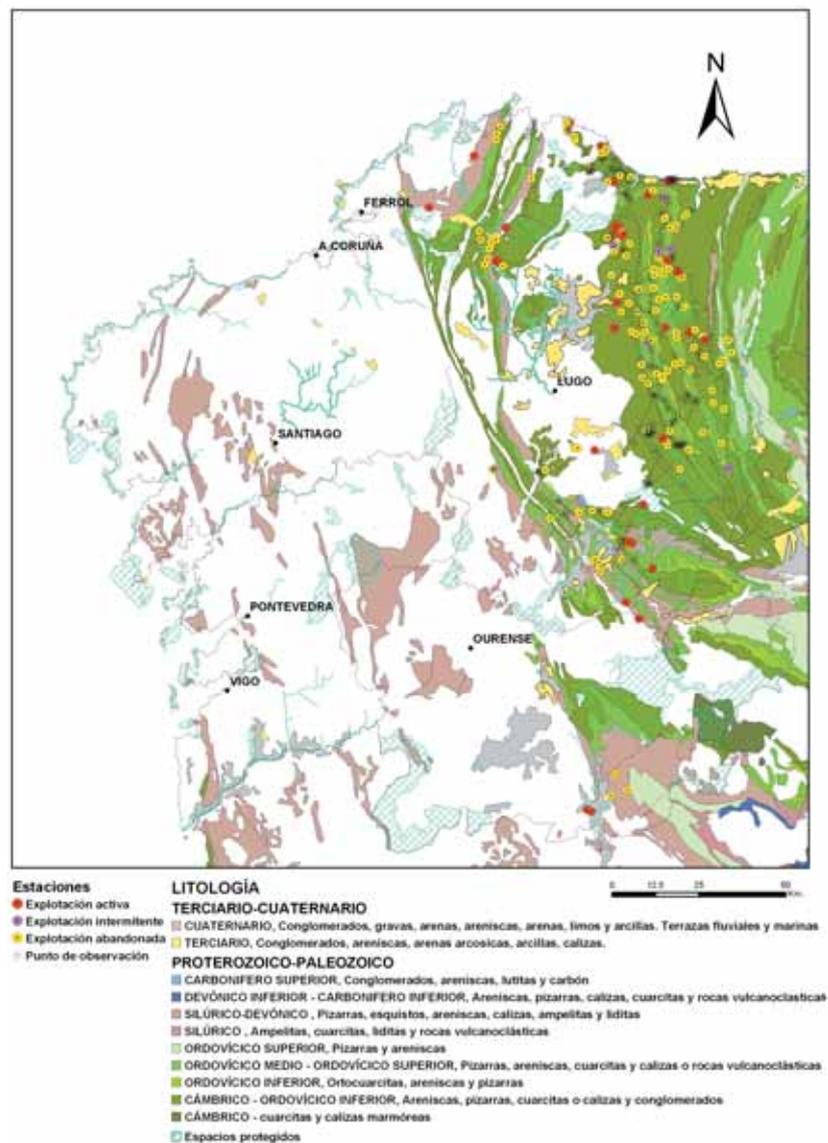


Figura 1. Situación general de las estaciones y materiales cuarcíticos (base geológica simplificada del Mapa Geológico de España (IGME) en Galicia).

<sup>1</sup> Instituto Geológico y Minero de España. Oficina de Santiago de Compostela.

<sup>2</sup> Consultoría de Geología y Geotecnia. Vigo; Oviedo.

<sup>3</sup> Instituto Geológico y Minero de España. Tres Cantos, Madrid.

aunque estando muy arraigado en lo local, se amplía y tiene cada vez más presencia en el mercado nacional superando, en ocasiones, su ámbito y enviándose más allá de nuestras fronteras.

Entre estas “otras piedras”, sin duda destacan las que podríamos decir que constituyen un grupo con denominación comercial “cuarcitas”, y de las que Galicia es la primera productora nacional. Si bien la mayoría de los trabajos sobre “piedra natural” tienen por objeto aquellas que se incluyen en los tres grandes grupos señalados (granitos, pizarras y mármoles), creemos que “otras piedras” y entre ellas las cuarcitas se merecen que les dediquemos este espacio.

### Las unidades geológicas cuarcíticas en Galicia

Los principales afloramientos de rocas cuarcíticas en Galicia se localizan, sobre todo, en su parte oriental, en los denominados Dominio del Olló de Sapo y Dominio del Manto de Mondoñedo, así como en las ventanas tectónicas de O Xistral y Monte Carballal, en las que afloran materiales del Dominio del Navia y Alto Sil, y en el Dominio de O Courel y Dominio de Truchas. Algunos tramos cuarcíticos con menos interés se encuentran en los materiales véndico-silúricos del Dominio Esquistoso de Galicia Trás os Montes que aparecen en la parte central y occidental de Galicia.

Las distintas litologías cuarcíticas-areniscosas se encuadran —con excepción de las arenas y gravas cuarcíticas de edades Terciario o Cuaternario— en varias formaciones del Paleozoico, con edades Cámbrico inferior (Cuarcita inferior de Cándana, Cuarcita superior de Cándana, Cuarcita de O Xistral); Cámbrico superior (Serie de los Cabos); Ordovícico inferior (Cuarcita Armoricana, lentejones de cuarcita, cuarcitas feldespáticas) y Silúrico (cuarcitas feldespáticas). Algunos tramos de interés se localizan en el Véndico (tramos de cuarcitas y esquistos).

La distribución de los materiales cuarcíticos en Galicia puede verse en la *figura 1*, en la que se han añadido, sobre una base



*Figura 2. Aspecto de una cantera de cuarcita en Monte Padornelo. Obsérvese el personal preparando en la cantera el producto comercial.*

geológica generalizada, las estaciones de toma de datos realizadas durante el proyecto de referencia “Cuarcitas de Galicia” (Ferrero Arias et al. 2005), bien correspondientes a explotaciones (activas o no) o a puntos de observación en otro tipo de afloramientos. En el mapa puede observarse que la zona oriental de Galicia es la más interesante para la prospección y extracción de estos materiales.

### Las cuarcitas

Bajo la denominación comercial de “cuarcitas” para piedra natural se extraen diversas litologías que, desde el punto de vista geológico, corresponden a cuarcitas, cuarcitas esquistosas, metareniscas, cuarzoesquistos, cuarzoilitas, esquistos biotítico-moscovíticos, esquistos con cloritoide, esquistos moscovíticos y pizarras de grano grueso más o menos arenosas. En algunos casos se han denominado por error cuarcitas a rocas esencialmente carbonatadas.

La actividad actual en Galicia se concentra, sobre todo, en las unidades geológicas del Cámbrico-Ordovícico inferior: cuarcita superior de Cándana, cuarcita de O Xistral, Serie de los Cabos y cuarcita Armoricana.

La caracterización general mineralógica y petrográfica de las muestras estudiadas durante la realización del proyecto de referencia, se hizo sobre la base de análisis químico, difracción de rayos X (DRX) y lámina delgada. La composición química



*Figura 3. Útiles para el trabajo de obtención de chapa y planchón.*

de componentes principales se obtuvo por análisis de fluorescencia de rayos X y, para el sodio, por absorción atómica. Se analizó también el contenido en carbonatos. En cuanto a los ensayos tecnológicos realizados, hay que hacer notar la mala adecuación de la normativa vigente, más orientada a rocas más homogéneas masivas (granitos y mármoles) o regularmente foliadas (pizarras), a este tipo de materiales que presentan una importante tendencia a abrirse en placas irregulares. En cualquier caso, los ensayos tecnológicos se hicieron sobre productos comerciales.

### Cuarcita superior de Cándana (sector de Mondoñedo)

La formación cuarcita superior de Cándana está constituida por cuarcitas, areniscas



Figura 4. Detalle del material extraído con laminaciones.

y pizarras y, localmente, conglomerados cuarcíticos. Esta formación aflora en el Dominio del Manto de Mondoñedo con potencias entre 150 y 300 m, apareciendo muy reducida en el Dominio de O Courel.

La única zona en explotación de materiales de esta unidad se localiza al este de Mondoñedo, donde hay siete explotaciones activas, de las cuales seis se sitúan en el Monte Padornelo y la otra en Monte de Arca. Se trata de pequeñas canteras del tipo cielo abierto ladera (figura 2), con un solo frente, en general menor de 150 m de longitud máxima, con anchuras máximas desde pocos metros a 85 m, y alturas máximas inferiores a 25-30 m, distribuidas en bancos (1 a 5 bancos), en general con alturas menores de 6 m.

Para la eliminación del recubrimiento ripable se utilizan retroexcavadoras o palas, y en muy pocos casos se utilizan explosivos para eliminar tramos estériles. El arranque del bloque primario o rachón se realiza manualmente con ayuda de palancas, picos o patas de cabra, y también utilizando palas de carga frontal o retroexcavadoras a las que, en algunos casos, se las ha adaptado un punzón o martillo hidráulico; en muy pocas

ocasiones se usan explosivos y martillo picador con este fin.

El bloque primario se trabaja en la misma cantera de forma manual mediante mazas, martillos, cuñas y cinceles (figura 3), realizándose sólo en dos canteras el corte de algunos productos mediante sierras circulares. Los productos obtenidos se paletizan en la misma cantera disponiéndose, en algunas de ellas, de carretillas para el transporte interno y carga de palés.

Por tanto, la maquinaria habitual en estas canteras es escasa y se limita a retroexcavadoras, palas de carga frontal, carretillas, martillos hidráulicos o neumáticos, compresores y, en algunos casos, sierras circulares. En general, se produce gran cantidad de rechazos, ya que los rendimientos no parecen superar el 50% del todo uno.

El empleo en algunas de estas canteras, en las que el trabajo manual es importante, suele ser superior a la media de empleo por cantera para piedra natural, situándose entre 2 y en torno a 10-13 empleados, en aquellas con alto ritmo de producción (75.000-90.000 m<sup>2</sup> al año).



Figura 5. Construcción tradicional realizada con materiales de Cándana superior de Monte Padornelo.

Los productos obtenidos, en general piedra en rama o simplemente desbastada, y en algunos casos cortada, son chapa de 1,5-3 cm de espesor para revestimientos, planchón de 3-5 cm para solados, y taco de 3-8 cm con 10 a 30 cm de fondo, y longitud superior a 10 cm para paredes y muros. La comercialización se realiza tanto en la misma cantera como a través de almacenes de distribución, y el ámbito de mercado es fundamentalmente local y regional, pero también nacional e incluso internacional.

El material extraído en estas canteras consiste en cuarcitas y areniscas blancas a grises y beige a marrones, de grano fino y en ocasiones foliadas, cuarzoquistos o cuarzofilitas grises y verdosas, y pizarras o filitas más o menos arenosas. Es general la presencia de laminaciones paralelas u onduladas (figura 4), así como laminaciones lenticulares y flaser. La exfoliación se produce a favor de los planos de laminación y por la presencia de foliaciones, o de lechos micáceos, en los términos más cuarcíticos.

La estructura de las capas cuarcíticas, en las distintas canteras observadas, es monoclin con buzamientos suaves, y la deformación tectónica está marcada por una foliación milonítica en cuarcitas-cuarzoquistos, y en algunos casos por la presencia de *boudins*, concentrándose la deformación de forma discreta subparalelamente a la estratificación, que aparece en muchos casos transpuesta.

**Tabla 1. Caracterización tecnológica de materiales cuarcíticos de Galicia (varias procedencias)**

| Unidad geológica       | Densidad aparente (kg/m3) | Porosidad abierta (%) | Absorción de agua a presión atmosf. (%) | R. al choque (cm) | R. a la compresión (MPa) | R. a la abrasión (mm) | D. por rozamiento (mm) | R. a la flexión (Mpa) | Choque térmico (%) | R. heladas (%) | Módulo elástico (Mpa) | M. Knoop (Mpa) | R. al SO2 (%) | R. a los aclajes (N) | Abs. por capilaridad (g/m2) |
|------------------------|---------------------------|-----------------------|---|-------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|--------------------|----------------|-----------------------|----------------|---------------|----------------------|-----------------------------|
| C. Armoricana          | 2.510-2.614               | 1,7-2,3               | 0,3-0,6                                 | 40-70             | 126-254                  | 18-22                 | 3,23                   | 8,7                   | 0,04               | 0,13           | 56.231                | 3.915          | 0,01          | 3.130                |                             |
| C. de O Xistral        | 2.640-2.644               | 0,6                   | 0,2-0,25                                | 110-120           | 258                      | 18,5                  |                        | 11,38                 | 0,03               |                |                       |                |               |                      | 1,05                        |
| C. superior de Cándana | 2.640-2.679               | 1,0-3,8 (6,3)         | 0,3-0,8                                 | 110-140           | 128,150                  |                       | 4,93                   | 13,2                  | <0,03-0,12         | 0,01           | 13.315                |                | 0,03          | 1.632                |                             |
| S. de los Cabos        | 2.560-2.676               | 1,8                   | 0,34-0,5                                | 55-140            | 106-195                  | 16-43                 | 3,75                   | 9,13                  | 0,03               | 0,13           | 59.210                | 4.513          | 0,03          | 3.190                |                             |
| Capas de Vilamea       | 2.720                     | 22                    |   | 110-140           | 135                      | 32                    |                        |                       | 0,03-0,06          |                |                       |                |               |                      |                             |

Se incluyen resultados como rango de valores.  
 (\*) Dada la escasez de datos, se incluyen ensayos realizados según normativa anterior.  
 Fuente: Laboratorio del IGME, Quiroga Calviño et al. (1997), empresas.

La utilización desde antiguo de los materiales de este sector de Mondoñedo en la edificación tradicional puede verse en numerosas construcciones de la zona (figura 5) así como en distintas construcciones de interés histórico en Mondoñedo y alrededores.

Desde el punto de vista mineralógico, se trata de rocas compuestas principalmente por cuarzo, presente en todas las rocas como mineral principal, acompañado por cloritoide en la muestra más rica en sílice (86,37%) de las analizadas y que, petrográficamente, se ha clasificado como una cuarcita con textura granoblástica. El resto de las muestras corresponden, en general, a composiciones principales de cuarzo, con más o menos moscovita y sericita también como minerales principales, entre los que se pueden encontrar, según la muestra: clorita, cloritoide, minerales de la arcilla, óxidos de hierro y opacos. Entre los minerales accesorios aparecen óxidos de hierro y opacos, circón, minerales de titanio (ilmenita-leucoxeno, en casos rutilo), biotita, clorita y turmalina. Sobre la base del estudio petrográfico realizado, estas rocas son esquistos, esquistos cataclásticos o miloníticos y cuarzoesquistos con texturas lepidoblásticas, a veces con bandas cataclásticas, granolepidoblásticas, miloníticas y esquistosas cataclásticas, que indican una intensa deformación.

En muchos casos, la esquistosidad se debe, en gran medida, a efectos de un metamorfismo dinámico con procesos de

deformación frágil-dúctil, siendo el principal mineral índice del metamorfismo el cloritoide, que, en ocasiones, parece ser posterior a la esquistosidad a la que, a veces, se adapta. En todas las muestras estudiadas el metamorfismo es de muy bajo a bajo grado, en facies de esquistos verdes en la zona de estabilidad de la clorita, con paragénesis más común: cuarzo, clorita, moscovita y cloritoide.

La presencia de clorita y cloritoide (con tamaños apreciables a simple vista, en algunos casos) da a las secciones de la roca una cierta coloración verdosa o gris-azulada verdosa, por lo que ofrece un aspecto muy interesante para su uso como piedra natural. Se ha utilizado en las



Figura 6. Operación de apertura de un bloque para obtención de placas.



Figura 7. Losas de unos 7 cm de espesor para suelos.

construcciones nobles de Mondoñedo, junto con caliza marmórea de las formaciones Calizas de Cándana y Calizas de Vegadeo, que afloran en el entorno.

Se trata en todos los casos analizados (tabla 1) de materiales resistentes al choque y a la compresión, en general con baja porosidad y absorción, y aunque no se pudo realizar el ensayo de desgaste por rozamiento (ausencia de superficies paralelas y lisas), la información en conjunto indica bajo desgaste, por lo que son materiales muy adecuados para revestimientos y solados, así como para la construcción de muros, siempre con superficies irregulares.

### Cuarcita de O Xistral (sector de Muras)

En el Dominio del Navia y Alto Sil (Dominio de la Ventana Tectónica de O Xistral y Ventana Tectónica de Monte Carballosa) la formación equivalente a la cuarcita superior de Cándana se denomina Cuarcita de O Xistral y presenta espesores superiores a 1.000 m.

De las cinco explotaciones activas en la formación Cuarcita de O Xistral, sólo en una se extrae piedra natural, correspondiendo las otras a áridos naturales y de machaqueo.

La explotación de "cuarcita" piedra natural que, actualmente, tiene un mayor desarrollo y proyección en Galicia se sitúa en esta formación y es la Cantera de Muras, que se encuentra cerca de la localidad de Muras, en el norte de la provincia de Lugo. La explota la empresa Piedra Natural de Muras, S.L., y la mayor parte del material extraído se usa en revestimientos y suelos de los edificios que se están construyendo en la Ciudad de la Cultura, en Santiago de Compostela.

Se trata de una explotación a cielo abierto de gran tamaño para este tipo de aprovechamiento, con más de 200 m de longitud de frente y unos 40 m de altura de talud afectado, en seis bancos de 3 a 4 m de altura cada uno. La maquinaria utilizada son excavadoras y palas cargadoras, y dúmpers y camiones para el transporte. Próxima a la cantera, la



Figura 8. Uno de los edificios en construcción en la Ciudad de la Cultura de Santiago. Se emplea la cuarcita de Muras tanto en revestimientos exteriores como interiores, suelos y cubiertas.

empresa dispone de una plataforma de trabajo del "rachón" y cobertizo para el corte con sierras circulares pequeñas y cizallas. En esta explotación (extracción y elaboración) están empleadas unas 12 personas. El "rachón" o "planchón" se arranca mediante retroexcavadoras, ocasionalmente adaptadas con un punzón.

En la plataforma de elaboración, el rachón se abre manualmente en placas (figura 6) y, en casos, se cortan, paletizándose para su comercialización.

La producción anual es del orden de las 3.500 t que se comercializan, en el ámbito nacional, como losas para revestimientos y suelos (figuras 7 y 8) con espesores entre 2 y 7 cm, y como tacos para muros de diversos tamaños. En la Ciudad de la Cultura se están utilizando, como falsas cubiertas, placas seleccionadas por sus superficies con coloraciones pardas a rojizas (figura 9).

Se trata de un potente paquete arenoso-cuarcítico de color blanco a blanco amarillento y grisáceo, con dos tramos limo-arcillosos de color gris, uno de ellos en la base de la explotación y el otro intercalado en la parte alta, con 20 m de potencia. La potencia total de la serie afectada por la explotación supera los 110 m. Las cuarcitas se presentan bien estratificadas (en bancos centimétricos



Figura 9. Cuarcita de Muras seleccionada por el color, y empleada como cubierta en un edificio en construcción en la Ciudad de la Cultura de Santiago.



Figura 10. Cantera Lastraspareiras, arranque mediante retroexcavadora adaptada con un martillo.



Figura 11. Detalle de las capas de cuarcita armoricana con lechos pelíticos que facilitan la obtención de placas.



Figura 12. Situación de las explotaciones de cuarcitas en el sector de Ribadeo.



Figura 13. Detalle de un frente de explotación de cuarcitas (siltitas) en el sector de Ribadeo.



Figura 14. Aspecto de una de las canteras en la Serie de Los Cabos en el sector de Ribadeo.

| Tabla 2. Estadísticas de la producción de areniscas y cuarcitas en España (2003) |                       |               |               |                   |                               |
|--|-----------------------|---------------|---------------|-------------------|-------------------------------|
| Ámbito   | Sustancia             | Nº Explot.(1) | Empleados (1) | Producción (t)(2) | Valor produc. (miles de €)(2) |
| España   | Arenisca total        | 158           | 506           | 2.775.480         | 23.462,69                     |
|  | Arenisca ornamental   | 105           | 318           | 336.114           | 15.278,61                     |
|  | Arenisca (otros usos) | 53            | 188           | 2.439.366         | 8.184,08                      |
|  | Cuarcita total        | 56            | 298           | 3.766.827         | 18.903,43                     |
|  | Cuarcita ornamental   | 29            | 133           | 56.519            | 3.709,26                      |
| Galicia  | Cuarcita (otros usos) | 27            | 165           | 3.710.308         | 15.194,17                     |
|  | Cuarzo                | 9             | 139           | 464.726           | 9.771,5                       |
|  | Arena y grava         | 27            | 144           | 4.248.660         | 18.712,02                     |
|  | Cuarcita total        | 27            | 128           | 1.281.927         | 2.485,93                      |
|  | Cuarcita ornamental   | 17            | 58            | 31.067            | 1.894,10                      |
|  | Cuarcita (otros usos) | 10            | 70            | 1.250.860         | 591,83                        |

(1) Minería específica; (2) Totales consolidados.  
Fuente: A partir de EME.

a decimétricos) y, exceptuando algunos tramos en que intercalan términos areniscosos y limo-arcillosos, son en general útiles como piedra natural, si bien con un rendimiento bajo.

Los contenidos en sílice (SiO<sub>2</sub>) en las 14 muestras analizadas es alto, superando el 94,37% y alcanzando, en una de las muestras, el 99,52%. Tienen bajos contenidos en alúmina (< 0,10%) y en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0,265%), así como de otros óxidos. Las características tecnológicas (tabla 1) son adecuadas para los usos ya indicados a los que se destinan estas cuarcitas.

En general, se trata de rocas compactas y muy resistentes en fresco, de color blanco y con cierta presencia de mica blanca (moscovita). Todas las muestras se clasifican petrográficamente como cuarcitas con texturas granoblásticas equigranulares o inequigranulares, en casos mostrando cierta deformación (extinción ondulante y elongación de los granos de cuarzo, orientación de microlitos de otros minerales). Tienen como componente principal cuarzo y, como accesorios, pueden aparecer algunos de los minerales siguientes: moscovita-sericita, circón, turmalina, esfena, óxidos de hierro y opacos.

### Cuarcita Armoricana (sector de O Courel)

Las cuarcitas de la formación Cuarcita Armoricana se explotan en cinco canteras. En dos de ellas se extraen áridos de machaqueo, y en las otras tres, piedra natural. Se trata de las canteras Aveneira y Pena Redonda, en el municipio de A Pobra

de Brollón, y Lastraspareiras, en el de Folgoso do Courel, todas en la provincia de Lugo.

Son pequeñas canteras a cielo abierto de tipo ladera en las que la maquinaria y el método de explotación es similar a los descritos (explosivos para el recubrimiento y martillo montado en retroexcavadora para el arranque (figura 10), preparándose también el producto comercial (losas y tacos con espesores entre 2 y 5 cm) en la misma cantera y, sólo en un caso, se corta mediante sierras circulares. El nivel de empleo varía entre 5 y 10 personas (Pena Redonda), y la producción de cada cantera se sitúa entre 1.000 y 9.000 toneladas al año (Pena Redonda) que se comercializan en los ámbitos locales y nacionales, para revestimientos, suelos y muros. En la cantera Pena Redonda los rechazos de piedra natural se emplean para obtener áridos de machaqueo en una planta próxima.

La serie explotada en estas canteras consiste en una alternancia de pizarras negras a grises, areniscas grises de grano medio y niveles cuarcíticos tabulares con potencias centimétricas. La estratificación en las explotaciones varía de subhorizontal (figura 11) hasta 20° de buzamiento, y la deformación es importante. El paralelismo entre estratificación y foliación favorece la obtención de placas.

Las muestras analizadas de las canteras de piedra natural activas dieron bastante contenido en sílice (> 91%), alcanzándose el 96,69% en SiO<sub>2</sub> en Lastraspareiras, con 1,31% en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y el 0,943% en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Tabla 3. Evolución de la producción de cuarcitas

| España                 | 1993        | 1994        | 1995        | 1996        | 1997        | 1998        | 1999        | 2000        | 2001        | 2002        | 2003        |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Explotaciones          | 18          | 22          | 23          | 22          | 24          | 25          | 23          | 27          | 28          | 47          | 56          |
| ornamental             |             |             |             |             |             |             | 8           | 12          | 12          | 23          | 29          |
| otros usos             |             |             |             |             |             |             | 15          | 15          | 16          | 24          | 27          |
| Empleo                 | 118         | 153         | 172         | 148         | 184         | 175         | 148         | 130         | 197         | 284         | 298         |
| ornamental             |             |             |             |             |             |             | 35          | 70          | 73          | 129         | 133         |
| otros usos             |             |             |             |             |             |             | 113         | 118         | 124         | 155         | 165         |
| Producción (t)         | 1.218.727   | 1.917.049   | 2.254.760   | 1.873.905   | 2.094.039   | 2.543.199   | 2.279.115   | 2.131.669   | 2.446.471   | 2.840.250   | 3.766.827   |
| ornamental             |             |             |             |             |             |             | 14.824      | 40.662      | 26.317      | 56.258      | 56.519      |
| otros usos             |             |             |             |             |             |             | 2.264.291   | 2.091.007   | 2.420.154   | 2.783.992   | 3.710.308   |
| Valor (miles de euros) | 5.295,03    | 7.782,28    | 11.034,85   | 9.047,04    | 9.860,31    | 11.704,64   | 11.021,02   | 11.711,21   | 11.252,63   | 15.034,59   | 18.903,43   |
| ornamental             |             |             |             |             |             |             | 1.185,12    | 2.249,92    | 2.192,72    | 3.560,70    | 3.709,26    |
| otros usos             |             |             |             |             |             |             | 9.835,90    | 9.461,29    | 9.059,91    | 11.473,89   | 15.194,17   |
| <b>Galicia</b>         | <b>1993</b> | <b>1994</b> | <b>1995</b> | <b>1996</b> | <b>1997</b> | <b>1998</b> | <b>1999</b> | <b>2000</b> | <b>2001</b> | <b>2002</b> | <b>2003</b> |
| Explotaciones          | 7           | 7           | 7           | 6           | 9           | 8           | 7           | 9           | 10          | 21          | 27          |
| ornamental             |             |             |             |             |             |             | 1           | 2           | 2           | 12          | 17          |
| otros usos             |             |             |             |             |             |             | 6           | 7           | 8           | 9           | 10          |
| Empleo                 | 49          | 46          | 48          | 45          | 75          | 67          | 68          | 63          | 69          | 121         | 143         |
| ornamental             |             |             |             |             |             |             | 10          | 11          | 11          | 58          | 73          |
| otros usos             |             |             |             |             |             |             | 58          | 52          | 58          | 63          | 70          |
| Producción (t)         | 723.300     | 863.468     | 803.299     | 888.199     | 1.138.915   | 1.237.361   | 1.103.019   | 834.928     | 818.231     | 1.083.608   | 1.281.927   |
| ornamental             |             |             |             |             |             |             | 1.970       | 1.887       | 2.396       | 18.478      | 31.067      |
| otros usos             |             |             |             |             |             |             | 1.101.049   | 833.041     | 815.835     | 1.065.130   | 1.250.860   |
| Valor (miles de euros) | 2.310,01    | 2.125,49    | 1.862,03    | 2.157,37    | 3.675,50    | 4.030,98    | 3.566,12    | 3.107,74    | 2.970,48    | 4.805,17    | 7.007,55    |
| ornamental             |             |             |             |             |             |             | 157,50      | 104,41      | 199,63      | 1.317,16    | 1.894,10    |
| otros usos             |             |             |             |             |             |             | 3.408,62    | 3.003,33    | 2.770,85    | 3.488,00    | 5.113,44    |

Fuente: Estadística Minera de España (EME). Se realizaron estimaciones de algunos datos no recogidos en la EME.

Se trata de cuarcitas de colores beige claro de grano medio a fino, recristalizadas. La textura es granoblástica con cierta microfisuración y elongación de los cristales por deformación tectónica. El cuarzo sobre todo, y algunos minerales sericítico-arcillosos, están como componentes principales, pudiendo tener como accesorios: moscovita, turmalina, circón, óxidos de hierro, ilmenita-leucóxeno y opacos.

Los resultados de los ensayos (tabla 1) realizados sobre muestras de estas canteras y otros materiales de esta unidad indican un buen comportamiento mecánico para el uso habitual: suelos, revestimientos y muros.

#### Serie de los Cabos (sector de Ribadeo)

El sector de explotación más importante de cuarcitas piedra natural en la Serie de los Cabos se localiza en el municipio de Ribadeo, entre la carretera N-634 y el Cantábrico, a la altura de Rochela. Se sitúan aquí cuatro explotaciones (figura 12): Cantera Serantes (1), Cantera Figueirido-Xan Galo (2), Pizarras y Cuarcitas Manuel (3) y Devesa (4).

Tabla 4. Precio de las sustancias explotadas en España/Galicia

| España         | Calculado sobre la producción (euros/t) |  | Calculado sobre lo sectorizado (euros/t) |             |
|----------------|---|--|--|-------------|
|                | Minería específica                      |  | Minería específica                       | Rango       |
| Arenisca       | 8,45                                    |  | 8,47                                     | 1,80-56,37  |
| ornamental     | 45,46                                   |  | 46,12                                    | 40,67-56,37 |
| otros usos     | 3,36                                    |  | 3,35                                     | 1,80-7,35   |
| Cuarcita       | 5,02                                    |  | 5,02                                     | 2,31-83,85  |
| ornamental     | 65,63                                   |  | 65,63                                    | 38,10-83,85 |
| otros usos     | 4,10                                    |  | 4,10                                     | 2,31-9,39   |
| <b>Galicia</b> |   |  |  |             |
| Cuarcita       | 5,47                                    |  |  |             |
| ornamental     | 60,97                                   |  |  |             |
| otros usos     | 4,09                                    |  |  |             |

Fuente: EME 2003.

De las distintas unidades que componen la Serie de los Cabos son las Capas de Taramundi las explotadas para piedra natural, en este sector. Este miembro está constituido, de forma general, por pizarras y siltitas, con escasas laminaciones de areniscas (figura 13). La extensiva presencia de capas tabulares de siltitas grises con pátinas superficiales, coloraciones ocres a rojizas, y alguna intercalación de pizarras grises de tonos oscuros, permite la obtención de piezas (placas y tacos) para revestimientos, suelos y muros.

Se trata de canteras pequeñas de tipo corta (figura 14), de unos 100x100 m de superficie abierta y no más de 15 a 20 m de altura máxima de frente. Las capas, en la zona de explotación, se disponen con bajos buzamientos (N150°/10° E), y el tramo "cuarcítico" tiene de 20 a 25 m de potencia. Por debajo se encuentra un tramo de pizarras grises oscuras que se comercializa como pizarra rústica, también para revestimientos.

Desde el punto de vista petrográfico, las muestras analizadas en canteras activas, tomadas en el sector de mayor producción

actual en el municipio de Ribadeo, corresponden a cuarzoesquistos con biotita y moscovita, o a cuarzoesquistos cloríticos. En algunos casos están muy próximas al término petrográfico “esquistos” (pizarras rústicas). Los componentes principales son cuarzo, biotita y moscovita, con cierta presencia de clorita, producto de alteración de la biotita. Como accesorios están: circón, apatito, plagioclasa, feldespato potásico, opacos y turmalina entre los más frecuentes.

El número de empleados en las distintas canteras se sitúa entre 4 y 10 personas, empleándose la mayoría en la elaboración manual de la piedra natural. Cada cantera tiene una producción muy variable, que podemos establecer de forma orientativa en más de 1.000 a 3.000 toneladas al año. La comercialización de los productos se realiza en el mercado nacional e incluso internacional (Francia y Alemania).

Los resultados de los ensayos tecnológicos (tabla 1) de materiales de esta unidad y en este sector, tanto los términos cuarzoesquistos como los pizarrosos, son adecuados para los usos a los que se destinan (figura 15), y las variaciones que se han observado en las distintas probetas, así como los dados por diferentes fuentes se deben, en gran medida, a la variabilidad de estas rocas tanto desde el punto de vista estructural como composicional.

**Socioeconomía**

En la tabla 2 pueden verse los parámetros básicos de las rocas cuarcíticas y areniscosas explotadas en España y en Galicia. En España, se obtienen algo más de 2,7 Mt (en torno a 15,28 millones de euros) de arenisca, como piedra natural y para otros usos. En el año 2003, la arenisca piedra natural se extrajo en 158 explotaciones distribuidas en 21 provincias, siendo Lleida, con 87.374 t (3,44 millones de euros), la principal productora, seguida por Burgos (44.455 t), Baleares, Barcelona y Alicante. En Galicia no se registra ninguna explotación de piedra natural arenisca, que estarían incluidas con la cuarcita, ya que algunos de los recursos pueden corresponder a esta roca.

En España se extrajeron en el año 2003 (tabla 2) más de 3,7 Mt de cuarcitas con un

**Tabla 5. Comercio exterior de cuarcitas-areniscas en España y Galicia (año 2005)**

| Denominación  |                | Exportaciones |          | Importaciones |         | Export.-Import. |         |
|---|----------------|---------------|----------|---------------|---------|-----------------|---------|
|   |                | España        | Galicia  | España        | Galicia | España          | Galicia |
| Cuarcita, en bruto o debastada  | Toneladas      | 2.033         | —        | 4.378         | 958     | -2.345          | -958    |
|   | Miles €        | 349           | —        | 1.020         | 213     | -671            | -213    |
|   | P. medio (€/T) | 171,67        | —        | 232,98        | 222,34  |                 |         |
| Cuarcita, simplemente troceada por aserrado o de otro modo, en bloques o en placas cuadradas o rectangulares (exc. debastada)   | Toneladas      | 625           | 31       | 12.741        | 7.309   | -12.116         | -7.278  |
|   | Miles €        | 1.534         | 104      | 659           | 332     | 875             | -228    |
|   | P. medio (€/T) | 101,29        | 13,96    | 18,07         | 16,68   |                 |         |
| Arenisca, en bruto o debastada (exc. con las características de doquines, bordillos de aceras, veredas o losas)   | Toneladas      | 15.144        | 7.451    | 34.470        | 19.900  | -21.326         | -12.449 |
|   | Miles €        | 1.534         | 104      | 659           | 332     | 875             | -228    |
|   | P. medio (€/T) | 101,29        | 13,96    | 18,07         | 16,68   |                 |         |
| Arenisca, simplemente troceada, por aserrado o de otro modo, en bloques o en placas cuadradas o rectangulares (exc. con las caract. de adoquines, bordillos, veredas o losas) | Toneladas      | 4.321         | 7        | 7.029         | 292     | -2.708          | -285    |
|   | Miles €        | 1.705         | 8        | 1.697         | 72      | 8               | -64     |
|   | P. medio (€/T) | 394,58        | 1.142,86 | 241,43        | 246,58  |                 |         |

Fuente: Elaborado a partir de datos de la Estadística de Comercio Exterior de España.



Figura 15. Casa recientemente construida con cuarcita de la Serie de los Cabos.

valor total del orden de 18,9 millones de euros. En el 48,2% de las explotaciones de cuarcita se produce material para usos distintos de piedra natural, fundamentalmente se explotan para áridos de machaqueo, que representan el 98,5% en peso y el 80,4% en valor del total de la cuarcita extraída en España. Las provincias de Lugo (27.525 t) y León (10.861 t) son las principales productoras de cuarcita piedra natural, aportando el 67,9% en peso (63,9% en valor) del total. Galicia, desde sus provincias de Lugo y Ourense, aporta el 55%

en peso (51,1% en valor) de la piedra natural cuarcítica, y en torno al 33% en peso y valor de la cuarcita para otros usos, en el conjunto del Estado.

Para Galicia, líder en cuarcita piedra natural (Asturias lo es para áridos de machaqueo), la evolución durante el periodo 1993-2003 tiene un importante incremento en todos los parámetros básicos recogidos en la tabla 3, para los dos últimos años, muy superior al total del Estado.

El principal uso de esta sustancia corresponde a los áridos para carreteras (55,1% en peso, equivalentes a un 36,5% en valor), seguido del uso para hormigones, morteros y prefabricados, y como balasto. Con sólo una participación del 1,15% en peso, el destino de solados, pavimentos y bordillos, alcanza el 15,71% en valor, siendo el principal uso de estas rocas como piedra natural.

En la *tabla 5* se muestran los datos básicos de comercio exterior de areniscas y cuarcitas para España y Galicia. En todos los casos, el balance exportación menos importación es negativo en términos de valor económico y también de tonelaje para Galicia, siendo positivos para el conjunto de España, en tonelaje, sólo las partidas de areniscas. Si tenemos en cuenta la producción de estos materiales cuarcítico-areniscosos y el saldo negativo del comercio exterior, resulta un importante consumo aparente interno para Galicia (y España) de estas sustancias de las que tiene un enorme potencial minero. Existe, por tanto, un amplio margen para el crecimiento de la producción interna.

De "Cuarcita, en bruto o desbastada" la comunidad de Castilla y León fue la principal exportadora a través de León, con un 89,03% en peso (96,28% en valor) al precio medio de 185,64 €/t, en su mayor parte hacia Francia y, en mucha menor proporción, hacia Alemania, Países Bajos y Bélgica. La segunda comunidad fue el País Vasco, con 224 t, que, desde Vizcaya, fueron a Brasil y una escasa cantidad a China.

Respecto a la importación de este tipo de cuarcita, en Cataluña entraron (prácticamente todo por Barcelona) el 28,19% en peso (27,75% en valor) al precio medio de 229,34 €/t, procedentes de Brasil e India. Galicia fue la segunda comunidad importadora con 958 t (213.000 euros) al precio medio de 222,34 €/t, sobre todo por Ourense (882 t) y el resto por Pontevedra, y todo procedente de Brasil. Los principales países origen de estos productos fueron Brasil con el 64,32% en peso (66,08% en valor) e India con el 35,04% en peso (30,98% en valor).

De "Cuarcita, simplemente troceada por aserrado o de otro modo, en bloques o en placas cuadradas o rectangulares

(exc. desbastada)" la principal comunidad exportadora fue Cataluña con un 78,88% en peso del total (un 79,62% en valor), un precio medio de 507,10 €/t y con destino a Francia, a través de Barcelona, y una pequeña parte por Girona. Otras comunidades exportadoras fueron el País Vasco (99 t), Galicia (31 t), Andalucía (1 t), Aragón (1 t) y la Comunidad Valenciana. Los principales países de destino fueron Francia (79,04% en peso, 79,94% en valor), China (99 t) y Suiza (31 t), así como otros destinos poco importantes. Galicia exportó 31 t por un valor de 10.000 euros, y lo hizo a Suiza a través de A Coruña.

## Galicia es líder en la producción de cuarcita piedra natural de España, representando tanto en peso como en valor más del 50% de la producción

Galicia fue la principal comunidad importadora de este tipo con 7.309 t (el 57,37% en peso, el 54,96% en valor) al precio medio de 228,90 €/t. La provincia de Pontevedra importó desde Brasil la mayor parte (7.008 t), y el resto de lo entrado por Galicia (por Pontevedra, Lugo y Ourense) tuvo como países origen China e India. Detrás de Galicia las comunidades más importadoras fueron el País Vasco, Canarias, Castilla y León y Aragón. Los países de procedencia más importantes fueron Brasil, con el 66,78% en peso (el 68,73% en valor), China y Suecia, así como otros países de distintas partes del mundo.

De "Arenisca, en bruto o desbastada (exc. con las características de adoquines, bordillos de aceras, veredas o losas)" el 49,20% en peso (6,78% en valor) con un precio medio de 13,96 €/t, se exportó desde Galicia a través de la aduana de Vigo por carretera a Portugal, y solo 24 t a Francia. Las otras autonomías exportadoras fueron: Cataluña (3.393 t, que representaron el 22,40% en peso, el 67,47% en valor con un precio medio de 305,04 €/t), Navarra

(3.509 t), Aragón (768 t) y Andalucía (24 t). Portugal fue el principal destino (7.523 t) seguido por China (4.276 t) y Francia (1.838 t) con Italia, Bélgica, y otros países con menor importancia.

Del total de importaciones de estas areniscas en bruto o desbastada, Galicia importó 19.900 t por un valor de 332.000 euros, casi todo (19.398 t) por carretera desde Portugal, por Pontevedra, y el resto desde Brasil, por el puerto de Vigo. El País Vasco importó 1 t al precio de 5.000 euros, y otras autonomías (Andalucía, Canarias, Cataluña y la Comunidad Valenciana) recibieron importaciones con precios superiores a los 200 €/t, mientras que la Ciudad Autónoma de Melilla recibió 15.195 t a un precio medio de 5,99 €/t.

De "Arenisca, simplemente troceada, por aserrado o de otro modo, en bloques o en placas cuadradas o rectangulares (exc. con las características de adoquines, bordillos de aceras, veredas o losas)", en el año 2005, desde Andalucía (Córdoba), se exportó el 47,77% en peso (73,37% en valor) con un precio medio de 606,10 €/t. Otras comunidades exportadoras fueron Cataluña (1.816 t), la Comunidad Valenciana (410 t), Castilla y León (23 t) y Galicia (7 t con un valor de 8.000 €). Todo lo exportado por Galicia se hizo desde la provincia de Pontevedra, con Portugal como destino.

En cuanto a las importaciones de estas areniscas, Castilla y León (2.188 t a 144,42 €/t), la Comunidad Valenciana (1.886 t a 302,23 €/t) y Andalucía (1.251 t a 251,00 €/t) son las principales autonomías importadoras de estos productos. India es el principal país de procedencia con el 64,55% en peso (53,57% en valor) a 200,35 €/t, seguida por China con el 25,54% en peso (34,77% en valor). Pakistán, Portugal e Italia son otros países de origen. Galicia importó 292 t, la mayor parte desde la India (281,5 t) y el resto desde Portugal.

### Consideraciones finales

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el proyecto de referencia y lo aquí resumido para las áreas de mayor actividad, se hacen a continuación algunas

consideraciones en relación con el aprovechamiento de los materiales cuarcíticos en Galicia.

Lo primero que conviene destacar es la heterogeneidad de materiales que se encuadran en el término comercial "cuarcitas" como piedra natural (piedra de construcción). Engloban sobre todo cuarcitas más o menos esquistosas, metareniscas, cuarzoeskistos y esquistos más o menos silíceos. Desde el punto de vista minero, y teniendo en cuenta que la sustancia por la que se declara el derecho minero es importante, debería de tratarse el término con cierta flexibilidad (del mismo modo que se hace para el "granito"), si bien excluyendo rocas como las calizas (más o menos marmóreas) que aparecen en ocasiones en las mismas series y que son también objeto de explotación minera. También deberían excluirse los términos más "pizarrosos" como: pizarras, filitas y esquistos, que se extraen como productos "rústicos" y/o ornamentales principalmente para techados, que encajarían mejor bajo el término comercial genérico "pizarra".

### La normativa de piedra natural no se adapta bien a este tipo de roca con exfoliación irregular y no existencia de caras planas y paralelas

Una segunda consideración que entendemos de interés es la falta de una normativa adecuada a las características de estos productos. La obtención de piezas que permitan obtener las probetas establecidas en la actual normativa de piedra natural es difícil, incluso en las explotaciones activas, ya que el material, al perder humedad, se abre en muchos casos con espesores inferiores o muy próximos a lo establecido por la norma, sin poder obtener piezas con superficies planas y paralelas. Las unidades geológicas más interesantes para el aprovechamiento de cuarcitas piedra natural son las formaciones del Cámbrico y Ordovícico que aparecen en la

parte oriental de Galicia, en zonas de fuerte deformación tectónica y un metamorfismo de grado bajo: Serie de los Cabos y formaciones cuarcíticas del Grupo Cándana y la Fm. Cuarcita de O Xistral, y, ya en el Ordovícico inferior, la Cuarcita Armoricana y la parte alta de las Capas superiores del Río Eo.

En la Serie de Los Cabos, la extracción se centra en las Capas de Taramundi. Además del sector de Ribadeo, actualmente en explotación, podrían tener interés para piedra natural la zona de Vegadeo entre A Xunqueira y Leirado (también las Capas de Brés de este sector), así como la zona de A Pontenova desde O Bouloso a Moucende. De los materiales equivalentes al sur (las Capas de Vilamea) parecen interesantes los sectores de Vilagocende y la Gamalleira, en la zona de A Fonsagrada. Las Capas de Brés tienen interés inicial en la zona de San Martín de Oscos, en el sector de Sanxés (A Pontenova) y en el sector de Vilardiez (A Fonsagrada). Las Capas del Río Eo, y sobre todo las Capas superiores del Río Eo, presentan tramos que podrían aportar piedra de construcción (sectores de Silvela y del Monte en la zona de A Fonsagrada; sector de Mondigo en Ribadeo, y otras).

Las formaciones de cuarcitas, areniscas, cuarzoeskistos, filitas y pizarras del Cámbrico inferior "Grupo Cándana" son muy interesantes para la obtención de piedra natural del tipo cuarcitas para la construcción. Pueden obtenerse con varias coloraciones, desde blancas y cremas a grises y verdosas, así como ocre y rojizas. Han sido utilizadas en las construcciones nobles de Mondoñedo y otras localidades del entorno, y es la zona de Mondoñedo la que presenta una mayor actividad e interés dada la alta potencialidad de la formación Cuarcita superior de Cándana y también de la formación Cuarcita inferior de Cándana, sin olvidar que la formación Pizarras de Cándana contiene términos también útiles en la gama "cuarcitas", y sobre todo en la de "pizarras" que, aunque su mayor valor es el ornamental (para cubiertas), dan buen material de revestimiento y suelos en colores grises-verdosos.

En la formación Cuarcita de O Xistral puede extraerse piedra natural, siendo el color blanco intenso su principal atractivo, sobre todo en

los afloramientos de la Ventana tectónica de O Xistral (entre Vilalba y Burela), los recursos de estos materiales son muy importantes si bien quedan limitados por los espacios naturales protegidos declarados en la zona.

La formación Cuarcita Armoricana presenta interés para piedra natural, sobre todo en la parte SE de la provincia de Lugo, donde se está explotando en la zona de O Courel-A Pobra de Brollón. Existen también otras zonas que podrían tener interés (Alto das Coriscadas).

Son seguramente la situación geográfica y la existencia de medios de comunicación, junto con las disponibilidades de espacio para la explotación y la no existencia de condicionantes ambientales, factores muy importantes para el aprovechamiento de estas sustancias, extensamente presentes en el oriente de Galicia. Los núcleos actuales de producción de piedra natural se sitúan en sectores relativamente bien comunicados: Ribadeo, Mondoñedo, Monforte de Lemos, eje que probablemente tendrá un fuerte desarrollo futuro con la construcción de la "Transcantábrica" y el tren de alta velocidad.

La posibilidad de uso de áridos de machaqueo y piedra de construcción de los materiales aquí considerados, y el previsible desarrollo de la zona indica la necesidad de avanzar en la ordenación de este tipo de minería, que tiene un carácter rudimentario y muy superficial, afectando a superficies relativamente altas dado su bajo rendimiento cuando se trata de obtener piedra natural.

Por último, el fuerte incremento que ha tenido la extracción de cuarcitas en Galicia en los últimos años (sobre todo en el año 2002 y siguientes) indica un gran interés para esta sustancia de la que Galicia es líder en la producción de piedra natural, existiendo un importante consumo interno que podría absorber incrementos significativos de producción.

#### Bibliografía

Ferrero Arias, A.; Palmero Fernández, L.J.; Valbuena García, A.; Valero Bernal, D. y Cueto Hirschberger, R. (2005): *Cuarcitas de Galicia*. Documentos del Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

# El nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE)

El obligado cumplimiento de la nueva normativa de construcción aumentará la calidad de los estudios geotécnicos, que serán más exhaustivos y sujetos a unos requisitos comunes.

TEXTO | N. Paniagua, geóloga, secretaria técnica del ICOG

El pasado 17 de marzo, el Consejo de Ministros aprobó, mediante R.D. (BOE del 28 de marzo de 2006), el nuevo Código Técnico de la Edificación (CTE), marco normativo que establece las exigencias básicas de calidad, seguridad y habitabilidad de los edificios y sus instalaciones (figura 1).

La aprobación del Código Técnico de la Edificación supone la superación y modernización del vigente marco normativo de la edificación en España, regulado por el Real Decreto 1650/1977, de 10 de junio, sobre normativa de la edificación, que estableció las Normas Básicas de la Edificación, como disposiciones de obligado cumplimiento en el proyecto y la ejecución de los edificios.

Igualmente, el CTE crea un marco normativo homologable al existente en los países más avanzados, y armoniza la reglamentación nacional actual en la edificación con las disposiciones de la Unión Europea vigentes en esta materia.

La estructura del CTE se ha ordenado en dos partes: la primera define el contenido, objeto y ámbito de aplicación del proyecto, y los llamados Documentos Reconocidos; la segunda está formada por una serie de Documentos Básicos, dentro de los que se debe destacar, desde el punto de vista de la Geología, el de Seguridad Estructural. Cimientos SE-C, que incluye, en su capítulo 3, Estudio Geotécnico, la obligatoriedad de los mismos, que serán más exhaustivos y sujetos a unos requisitos comunes para todos los edificios en general.

El CTE y, en consecuencia, el capítulo 3, "Estudio Geotécnico del Documento Básico Seguridad Estructural-Cimientos (DB. SE-C)", entró en vigor el pasado 29 de marzo, una vez que fue publicado en el BOE. No obstante, se establece un periodo de aplicación voluntaria de doce meses, excepto en lo que se refiere al ahorro energético y la seguridad contra incendios, cuestiones cuyos preceptos se han aplicado a los seis meses.

El jueves 30 de marzo, se realizó la presentación del CTE en el Palacio Municipal de Congresos de Madrid (figura 2) y, tal y como se muestra en la foto adjunta, como representantes del ICOG asistieron el presidente, Luis E. Suárez Ordóñez, y el vicepresidente primero, José Luis Barrera Morate (figura 3).

## Convenio de colaboración

El 15 de junio, se formalizó un convenio de colaboración entre el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos y el Ministerio de Vivienda, cuyo objeto es determinar la colaboración entre dicho Ministerio y el ICOG, en aplicación del Acuerdo Marco de fecha 15 de junio de 2006, en relación con la difusión, información a los ciudadanos, formación de los contenidos y alcance del Código Técnico de la Edificación, entre los técnicos (figura 4).

A efectos del debido cumplimiento de este convenio de colaboración, las partes lo ejecutarán conjuntamente, de conformidad con lo previsto en el Anexo I

Palabras clave

**Código Técnico de la Edificación, vivienda**



Figura 1. Código Técnico de la Edificación.

del mismo, además de completarlas con actividades como las siguientes:

1. Realización de estudios y trabajos de investigación de interés, relativos al Código Técnico de la Edificación.
2. Organización de cursos, congresos, seminarios y conferencias relacionadas con el Código Técnico de la Edificación.
3. Coedición de publicaciones sobre el Código Técnico de la Edificación.
4. Promoción de actividades de interés común y de asesoramiento mutuo, así como cualquier otra actuación que resulte relevante en relación con el conocimiento y formación sobre el Código Técnico de la Edificación.



Figura 2. Presentación del CTE. De izquierda a derecha, el secretario general de Vivienda (Ministerio de Vivienda), Javier E. Ramos; el presidente del Consejo General de la Arquitectura Técnica de España, José A. Otero; el presidente de la Federación Española de Municipios y Provincias, Heliodoro Gallego; la ministra de Vivienda, M<sup>a</sup> Antonia Trujillo; el presidente del Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España, Carlos Hernández Pezzi; el presidente de la Asociación de Promotores y Constructores de España, Guillermo Chicote, y el director general de Arquitectura y Política de Vivienda (Ministerio de Vivienda), A. Rafael Pacheco.

El éxito de la puesta en marcha y aplicación del Código depende, en gran medida, de su asimilación por todos los agentes involucrados de los nuevos parámetros que incorpora, con el fin de mejorar la calidad de la edificación en España.

Cada uno de los diferentes colectivos implicados requiere un nivel de conocimiento sobre los contenidos del Código y su alcance, con respecto a sus intereses y responsabilidades y, en el caso de los técnicos, la formación para su correcto uso. En este punto, el ICOG prepara jornadas formativas sobre Estudios Geotécnicos y Cimentaciones en el CTE.

En un principio, los promotores y los colectivos de técnicos de la edificación, suministradores y constructores, son los más interesados en las implicaciones derivadas de la aplicación del Código, ya que condicionarán su labor profesional, el ámbito de sus responsabilidades, la validez de sus productos y la incidencia de los aspectos técnicos en los costes de la construcción.



Figura 3. Presentación del CTE. De izquierda a derecha: el director general de Arquitectura y Política de Vivienda (Ministerio de Vivienda), A. Rafael Pacheco; el presidente del ICOG, Luis E. Suárez; la ministra de Vivienda, M<sup>a</sup> Antonia Trujillo, y el vicepresidente del ICOG, José L. Barrera.

### Las dudas del geólogo

Desde el punto de vista de la labor del geólogo, el CTE ha modificado, en algunos aspectos, nuestro trabajo. Es decir, antes no existía una única normativa a la que poder ceñirse, sino que cada cual aplicaba

la norma que se ajustase a sus necesidades o a las del organismo de control técnico (OCT) del momento. De hecho, una de las muchas quejas que presenta el colectivo es que, dependiendo del OCT, el Estudio Geotécnico se tiene que ajustar a una normativa u otra (NBE,



Figura 4. La ministra de Vivienda, M<sup>a</sup> Antonia Trujillo, y el presidente del ICOP, Luis E. Suárez, firmando el convenio de colaboración entre el Ministerio y el ICOP.

Eurocódigo 7, EHE). Desde que el CTE sea de obligado cumplimiento, los geólogos tendremos un instrumento más a nuestro favor, ya que deberemos ajustarnos únicamente al CTE.

## El Estudio Geotécnico es un elemento necesario para la toma de decisiones en la redacción de la parte del proyecto relativa a la cimentación del edificio

Una de las opiniones que han llegado de algunos colegiados, en relación a la aplicación del CTE para Estudios Geotécnicos en edificios de pequeña superficie y naves industriales, es que es demasiado restrictivo con respecto a la prospección de campo que se ha de realizar, ya que se considera un encarecimiento del estudio.

Otro de los recelos que tiene el colectivo respecto a la obligatoriedad de aplicación

del CTE en el Estudio Geotécnico, y que está planteando múltiples dudas, es la dependencia o no de la licencia de obras. A este respecto, hay que comentar varias cosas: la primera de ellas es que, como se ha mencionado anteriormente, el CTE está en vigor desde el 29 de marzo de 2006 y será de obligado cumplimiento a partir del 29 de marzo de 2007.

Las disposiciones transitorias del CTE sólo hablan de la aplicación del CTE a los proyectos que soliciten licencia. El Estudio Geotécnico es un elemento que es necesario para la toma de decisiones en la redacción de la parte del proyecto relativa a la cimentación del edificio. El cliente del Estudio Geotécnico debería informar a quien se lo encargue sobre sus intenciones relacionadas con la petición de licencia, con el fin de que se conozca si será antes o después del 29 de marzo de 2007,

momento a partir del cual ya será plenamente obligatorio todo el CTE.

La cuestión crucial puede ser si algún proyecto con licencia solicitada antes de esa fecha no se empieza a construir en el plazo máximo de tres meses desde que se otorgó, como fija la transitoria cuarta, ya que en esa circunstancia la licencia perdería valor y el proyecto debería acomodarse al CTE. Podría darse el caso de que un estudio geotécnico realizado sin considerar el CTE tuviera que rehacerse a posteriori, así como el proyecto para el que se hubiera solicitado.

Por todo ello, parece razonable que el ICOP esté recomendando a sus colegiados que todos los Estudios Geotécnicos se realicen conforme a las exigencias del CTE, aunque estemos en los meses de periodo voluntario hasta marzo de 2007.

### Para más información:

En la página web del ICOP se ha creado un espacio en el cual se encuentra a disposición de todos los colegiados toda la documentación que el Colegio está desarrollando con respecto al CTE (normativa, lista de chequeo, circulares, etc.).

Por otra parte, en la Secretaría Técnica del ICOP se intentará solventar las dudas que sobre el CTE expongan los colegiados.

# Causas de siniestralidad de proyectos visados por el ICOG (años 2001-2005)

## Recomendaciones para minimizar la responsabilidad civil de estudios y proyectos visados

El ICOG ha realizado un estudio de las causas de siniestralidad de proyectos visados en el periodo de cinco años, desde el uno de enero de 2001 al 31 de diciembre de 2005. En la tabla 1 se especifican las causas de siniestralidad.

TEXTO | Luis E. Suárez Ordóñez, presidente del ICOG

Palabras clave  
**Minería, cazatalentos**

Con el fin de minimizar, en el futuro, las causas de siniestralidad de los estudios y proyectos visados por el ICOG, se analiza la estadística de siniestralidad registrada en el ICOG, con el objetivo de disminuir las reclamaciones y *demandas de responsabilidad civil contra los colegiados* y, en consecuencia, congelar e incluso disminuir el importe de las pólizas de responsabilidad civil de los estudios y proyectos a visar en los próximos años.

A continuación se repasan las causas de siniestralidad de los estudios y proyectos visados en el ICOG durante el periodo 2001-2005, estableciendo las recomendaciones y pautas de ejecución para minimizar la responsabilidad civil.



Figura 1. Deslizamiento en Ibiza.

### 1. Deslizamiento de terreno de la ladera o de la excavación (32% de los casos)

Como criterio de actuación al colegiado, se recomienda un estudio general del terreno donde se ubica el solar de cimentación para vislumbrar y prospectar posibles deslizamientos globales que afecten al terreno de cimentación del edificio (*figura 1*).

Si se detectan potenciales zonas de deslizamientos de ladera que pudieran afectar al solar donde se va a realizar el estudio geotécnico, se deberá advertir al promotor o proyectista de esta circunstancia para ampliar el estudio geotécnico, comprendiendo el estudio de estabilidad de la ladera. *En el caso de que el promotor no acepte encargar la ampliación del estudio, se deberá reflejar en los antecedentes y conclusiones del informe geotécnico que el estudio geotécnico no aborda el estudio de los deslizamientos de la ladera o de la excavación, comentando, en su caso, que esta circunstancia se ha advertido al promotor o técnico responsable del proyecto del edificio.*

Asimismo, se deberá informar en el estudio geotécnico del método más adecuado y seguro de ejecución de la excavación de las cimentaciones, y de las consecuencias de su incumplimiento.

### 2. Rotura de una conducción telefónica, eléctrica, ... por sondeos de prospección del estudio geotécnico, con daños o no en edificios colindantes (23% de los casos)

Nunca se deben realizar prospecciones geotécnicas, sondeos, calicatas, etc., sin un previo inventario de servidumbres afectadas. Para ello, se deberá reclamar al promotor o proyectista que informe por escrito al director facultativo de las servidumbres afectadas por las potenciales prospecciones geotécnicas.

Si el promotor desconoce o no nos proporciona las potenciales infraestructuras afectadas (conducciones de agua, cables eléctricos, cables telefónicos, gaseoductos, etc.), *se debe valorar económicamente, por parte del geólogo, la realización del inventario de posibles servicios afectados y adjuntarlo como una partida más del presupuesto.*

En el caso de no disponer de datos fiables sobre las potenciales servidumbres afectadas, antes de realizar cualquier prospección geotécnica, sobre todo en zonas urbanas, *se deberá realizar una calicata manual o una prospección, por medio del aparato Dinatel o aparatos geofísicos ligeros.*

| Tabla 1. Causas de siniestralidad de proyectos visados por el ICOG (2001-2005)   | Nº de siniestros | Porcentaje de siniestros |
|--|------------------|--------------------------|
| Deslizamiento de terrenos de la ladera o de la excavación  | 7                | 32%                      |
| Errores de definición de cota de cimentaciones y sus parámetros geotécnicos  | 4                | 18%                      |
| Corte de una conducción telefónica eléctrica por sondeos de prospección del EG con daños o no en edificios colindantes | 5                | 23%                      |
| Errores de la ripabilidad de un terreno y cambio de método de excavación   | 2                | 9%                       |
| Ejecución de pozos de captación de agua en lugar inadecuado situado por Estudio Hidrogeológico                         | 1                | 4,5%                     |
| Inadecuado estudio de las condiciones hidrogeológicas del terreno  | 1                | 4,5%                     |
| <b>Total</b>   | <b>22</b>        | <b>100%</b>              |

En cualquier caso, la afectación de servidumbres enterradas por prospecciones geotécnicas no sólo puede provocar problemas de responsabilidad civil graves, sino que podría generar responsabilidades de tipo penal, por causar daños a personas, como ha ocurrido en el pasado, con heridas a maquinistas de trenes o electrocución de sondistas.

### 3. Errores de definición de cota de cimentaciones y sus parámetros geotécnicos (18% de los casos)

Para realizar un estudio geotécnico, *el proyectista nos debe definir con concreción el tipo de edificio y la cota de cimentación* con objeto de que el autor del estudio geotécnico establezca los parámetros geotécnicos, de acuerdo con esa cota de cimentación.

Si por cualquier causa *no tenemos definido por el proyectista, como es preceptivo, la cota de cimentación*, se deberán reflejar los parámetros geotécnicos de una forma nítida en una profundidad determinada sobre las cotas de sondeo, *que deberán ser siempre en cualquier caso ser referidos, a coordenadas x, y, z, y referenciados a puntos fijos del terreno*, como postes, vallas, mojones, etc.

### 4. No realización de las recomendaciones del estudio geotécnico en el proyecto constructivo (9% de los casos)

En este caso, la responsabilidad civil no es del autor del estudio geotécnico, pero

para evitar reclamaciones y demandas judiciales se deben expresar de manera clara y precisa las recomendaciones del estudio geotécnico.

### 5. Errores de determinación de la ripabilidad de un terreno y cambio del método de excavación (9% de los casos)

Cuando se aporten recomendaciones sobre la ripabilidad de un terreno, se deberá ser muy cautos en las mismas y referirla siempre en función del método de excavación, es decir, *la ripabilidad siempre debe ir asociada a una máquina de excavación*, como puede ser el martillo picador, D-9, D11, explosivos, etc.

En cualquier caso, la ripabilidad de un terreno se puede obtener por velocidad sónica, complementada por el método de Louis, o por el método de Muir-Wood.

### 6. Ejecución de pozos de captación de agua en lugar inadecuado (4,5% de casos)

A la hora de realizar un estudio hidrogeológico, se deberá tener presente, en las conclusiones del mismo, las consideraciones y recomendaciones sobre perforación y explotación de los acuíferos. En cualquier caso, de acuerdo con el artículo 179 del Reglamento de Dominio Público Hidráulico, "si el uso (de las aguas de un permiso de investigación de aguas subterráneas) fuera el riego, será necesario un informe agronómico suscrito

por técnico competente sobre la conveniencia de la transformación", que se responsabilizará de la calidad y la salinidad de las aguas para el riego.

Un caso de este tipo ha costado una indemnización por responsabilidad civil de 56.000 euros, más honorarios de peritos y letrados, a la compañía de seguros de responsabilidad civil contratada por el ICOG.

### 7. Inadecuado estudio de las condiciones hidrogeológicas del terreno (4,5% de casos)

De acuerdo con el CTE, en las conclusiones de un estudio geotécnico se deberá informar de las condiciones hidrogeológicas del terreno. *Si el estudio se realiza en verano, se deberá advertir en el informe geotécnico que el estudio hidrogeológico deberá completarse en condiciones hidrogeológicas desfavorables (en invierno).*

Por último, se informa a los colegiados que, a la hora de realizar estudios geotécnicos, *tengan muy presente estas recomendaciones para minimizar la responsabilidad civil de los estudios y proyectos geológicos y geotécnicos, recomendando en cualquier caso, que escriban para el cliente y también para el juez, que potencialmente analizará la responsabilidad civil del estudio geotécnico.*

En cualquier caso, se recomienda a los colegiados *que valoren la realización de una visita y estudio sumario de refrendo del estudio geotécnico realizado, cuando se complete la excavación de la cimentación, para aquilatar y confirmar los parámetros y recomendaciones geotécnicas del estudio geotécnico.*

En función de lo expresado, *se recomienda a todos los colegiados que tengan muy presente estas recomendaciones* y, en caso de duda, se pongan en contacto, con Nieves Paniagua, secretaria técnica del ICOG, para que reciban el asesoramiento adecuado en relación con los estudios geotécnicos del terreno en el CTE y, en concreto, de la responsabilidad civil asociada.

# Casa Montero

## La mina de sílex más antigua de la península Ibérica

El reciente descubrimiento y excavación de la mina de sílex de Casa Montero (Madrid) ha confirmado la importancia que este recurso mineral ha tenido desde el Pleistoceno hasta nuestros días en la región.

**TEXTO** | Marta Capote<sup>1</sup>, licenciada en Historia (mcapote@ih.csic.es); Nuria Castañeda<sup>1</sup>, licenciada en Geografía e Historia; Susana Consuegra<sup>1</sup>, licenciada en Prehistoria y Arqueología; Cristina Criado<sup>1</sup>, licenciada en Historia; Pedro Díaz-del-Río<sup>1</sup>, doctor en Prehistoria; M<sup>a</sup> Ángeles Bustillo<sup>2</sup>, doctora en Ciencias Geológicas; José Luis Pérez-Jiménez<sup>2</sup>, licenciado en Ciencias Geológicas

Palabras clave  
**Meseta, sílex, minería, Neolítico**

En julio de 2003 se realizaron los estudios arqueológicos previos a la construcción de la carretera de circunvalación de Madrid M-50. De esta forma se localizó la mina de sílex de Casa Montero (Madrid), situada sobre las formaciones miocenas que constituyen pequeños cerros junto a la fértil vega del río Jarama (*figura 1*). Los estudios geológicos han definido en esta zona cuatro episodios síliceos formados por varios niveles de nódulos y capas lenticulares de sílex, ópalos y sílex opalinos que se intercalan entre arcillas magnesianas y dolomías (Bustillo y Pérez-Jiménez, 2005; *figura 2*).

Las tres campañas de excavación, realizadas entre septiembre de 2003 y julio de 2006, han permitido conocer tanto la extensión y antigüedad de los trabajos mineros, como los procesos de extracción y aprovechamiento del sílex. La zona documentada de la mina tiene una extensión de 4 ha, aunque recientes estudios llevados a cabo en el entorno indican que la minería prehistórica se extiende hacia el oeste, ocupando de forma más dispersa hasta una decena de hectáreas. En cuanto a la cronología,

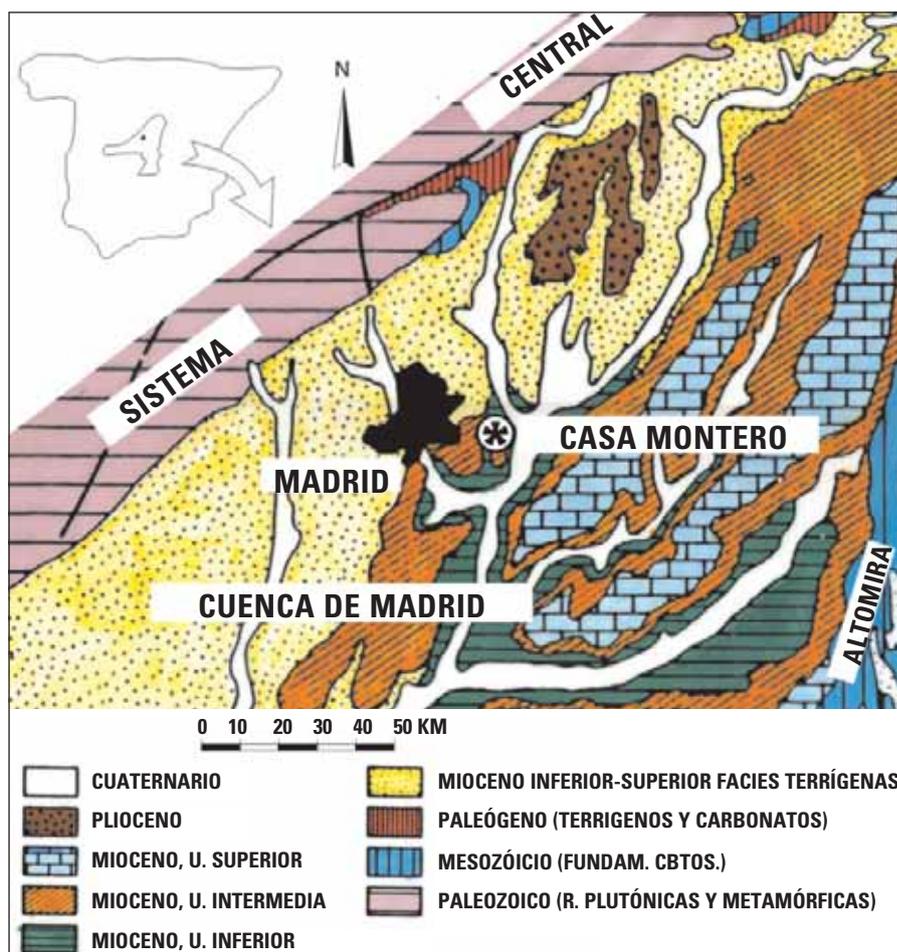


Figura 1. Mapa geológico con la localización de Casa Montero (Modificado de Alosa-Zarza et al., 2004).

1. Instituto de Historia. Madrid. CSIC.  
2. Museo Nacional de Ciencias Naturales.

durante el Pleistoceno superior inicial se produjo en Casa Montero el aprovechamiento superficial de los afloramientos de sílex. Sin embargo, corresponden al Neolítico (*ver glosario*) los primeros trabajos de extracción mediante la excavación de pozos, los más numerosos y novedosos en el marco de la Prehistoria de nuestro país. Junto a las evidencias extractivas prehistóricas se encuentran otras pertenecientes a época moderna y contemporánea, con pozos y fosas de tamaño y profundidad variable y que, sin duda, en algunas zonas han hecho desaparecer los vestigios más antiguos.

Se trata, en suma, de un auténtico paisaje minero histórico que da testimonio del aprovechamiento de un recurso natural desde el Paleolítico hasta la actualidad en el entorno de Madrid (*figuras 3 y 4*). En la actualidad, el extraordinario apoyo institucional de la Dirección General de Patrimonio Histórico de la Comunidad de Madrid y el apoyo financiero de Autopista Madrid Sur, S.A., ha permitido que el Consejo Superior de Investigaciones Científicas lidere uno de los proyectos de investigación más ambiciosos de la Arqueología española.

**La explotación de sílex neolítica**

La minería neolítica de Casa Montero se caracteriza por la explotación de las vetas de sílex mediante la excavación de pozos verticales de los que, hasta la fecha, se han reconocido en planta 3.897 y excavado 324. Su distribución a lo largo de las 4 ha estudiadas no es homogénea: la mayor concentración se produce en una banda central que pierde densidad de este a oeste (*figura 5*). Pese al considerable tamaño del yacimiento, la mina de Casa Montero es relativamente pequeña si la comparamos con otras minas neolíticas europeas como Krzemionki, en Polonia, o Jablines, en Francia (Borkowski, 1995; Bostyn y Lanchon, 1995) (*figura 6*).

La cronología de la explotación minera se ha establecido con dataciones absolutas de C<sup>14</sup> sobre fragmentos de madera carbonizada, que confirmaron lo

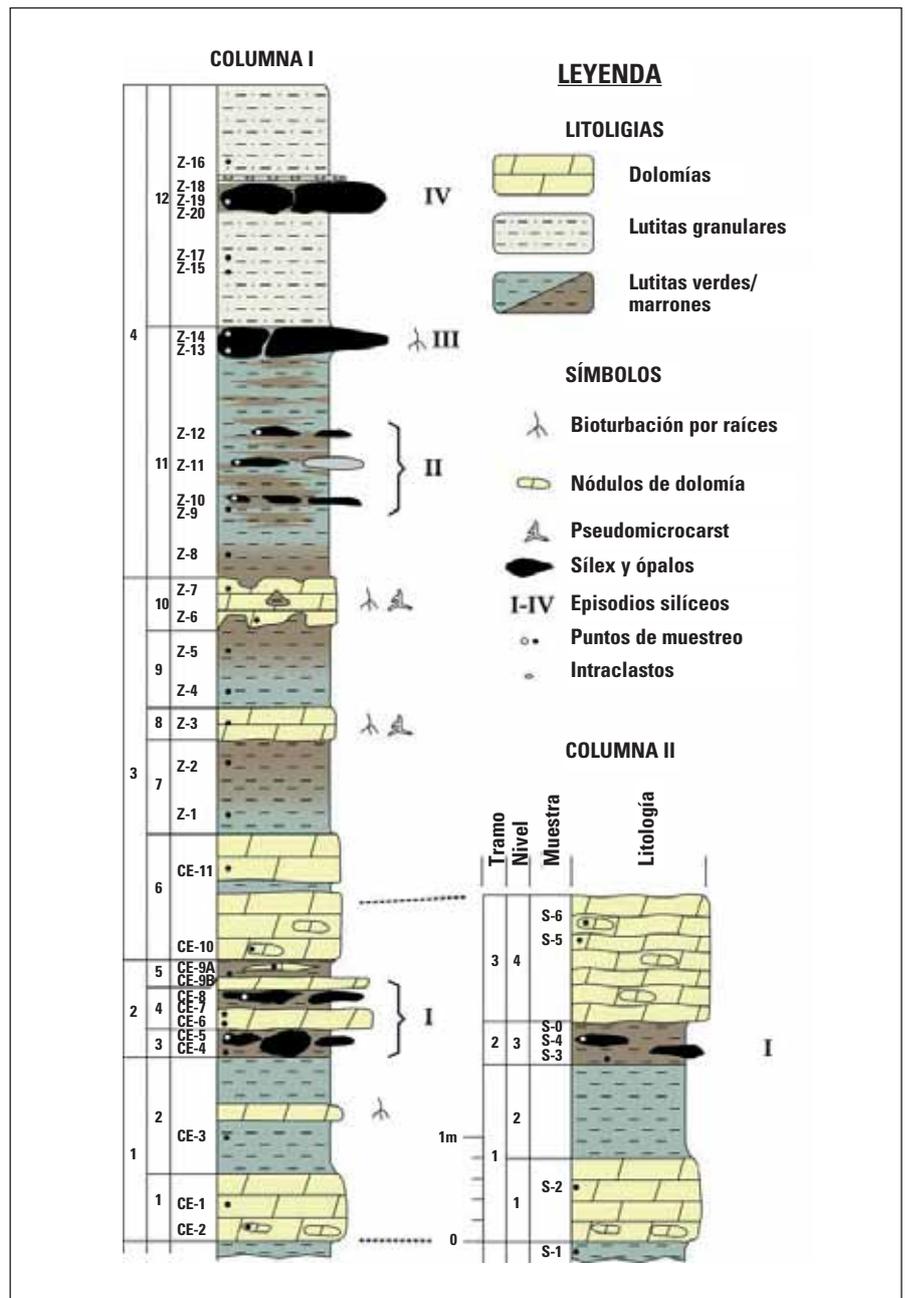


Figura 2. Columna estratigráfica de Casa Montero, con los episodios silíceos I-IV.

que ya indicaban los escasos fragmentos de cerámica encontrados: se trata de un Neolítico antiguo (c. 5400-5200 cal AC) (*figura 7*). Esto convierte a Casa Montero en la segunda mina más antigua de Europa, después de la italiana de Defensola (Galiberti et al., 1997). En todo caso, el inicio de estos trabajos mineros en Europa corresponde siempre a los primeros productores de alimentos, aunque se prolongan en algunos casos a lo largo de la Edad del Bronce. En Casa Montero, y mientras se completa el estudio de los materiales de la última campaña, no hay argumentos que

permitan alargar la explotación prehistórica a épocas posteriores al Neolítico. Sin embargo, se han registrado estructuras mineras de época moderna y contemporánea que explotan el episodio silíceo inferior allí donde aflora.

**¿Por qué en Casa Montero?**

La cuenca del Tajo se caracteriza por la abundancia de recursos silíceos que incluso afloran superficialmente, y que han sido objeto de aprovechamiento a lo largo de toda la Historia. Sin embargo, hasta la fecha no se habían conocido

explotaciones intensivas del carácter y antigüedad de la de Casa Montero, lo que se explica por las características del sílex de esta zona.

La caracterización del sílex se ha llevado a cabo, en primer lugar, de forma macroscópica, aplicando criterios como la materia, la translucidez, la presencia de impurezas, el brillo, el grano, el tipo de córtex o la calidad para la talla (Luedtke, 1992: 63-70). Estos rasgos característicos han dado lugar a una clasificación del material síliceo explotado en Casa Montero en siete tipos.

Posteriormente, se ha realizado un estudio petrológico mediante difracción de Rx (DRX), microscopía óptica de luz polarizada y microscopía electrónica (MEB) con análisis por Energía Dispersiva (ED) (figura 8). Estas analíticas han resultado muy interesantes, porque han permitido alcanzar tres objetivos básicos: en primer lugar, comprobar la validez de la caracterización macroscópica; en segundo lugar, establecer cuatro grandes grupos de materias primas; por último, ha permitido explicar qué hace especial al sílex de Casa Montero.

Efectivamente, el análisis petrológico ha permitido definir una serie de características de las materias primas extraídas de Casa Montero, que serán sumamente útiles a la hora de establecer si las piezas líticas encontradas en otros yacimientos pueden proceder de la mina neolítica o no. De hecho, el sílex de Casa Montero tiene unas propiedades muy particulares que van a permitir su caracterización. Mientras que el episodio síliceo situado en la base de la secuencia estratigráfica está constituido exclusivamente por sílex, y se formó mediante la silicificación de niveles dolomíticos nodulares y lenticulares, los tres episodios superiores (los explotados en el Neolítico) están compuestos por ópalo y sílex opalino, y se formaron por silicificación de esmectitas magnesianas (figura 2). Estos sílex opalinos frecuentemente presentan una parte exterior con un contenido más alto en ópalo CT y restos de arcilla, mientras que



Figura 3. Vista general de la zona del valle del río Jarama próxima al yacimiento de Casa Montero (Madrid).



Figura 4. Vista de la topografía minera que aún se conserva en el entorno inmediato de Casa Montero.

la parte interna está compuesta principalmente por cuarzo microcristalino. La diferente composición de la parte interior es el resultado de la recristalización de ópalo CT para formar cuarzo (este proceso se define en petrología como envejecimiento), dando lugar a un núcleo de cuarzo de grano fino.

Los mineros neolíticos se habrían beneficiado de dos características específicas de estos niveles síliceos: por un lado, los pozos serían sencillos de excavar debido a la inclusión de las vetas de sílice entre niveles de arcillas; por otro lado, el proceso de envejecimiento de la materia prima favorece la formación de una zona



Figura 5. Vista aérea del yacimiento: de Este a Oeste decrece la densidad de pozos. Se observan con claridad los pozos excavados y como manchas circulares de tonalidad grisácea los no-excavados.

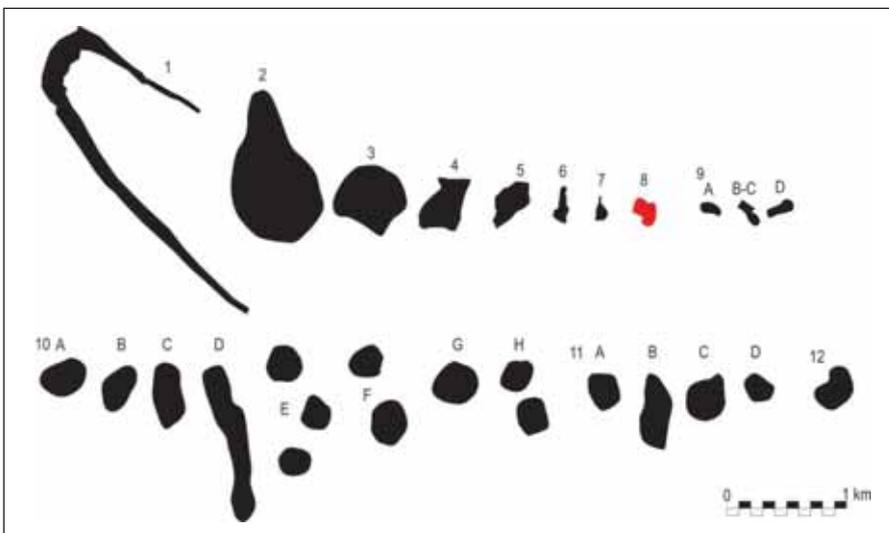


Figura 6. Comparativa de la extensión de diversas minas europeas. 1. Kremionki (Polonia); 2. Swieciechów-Lasek (Polonia); 3. Jablines (Francia); 4. Rijckholt (Holanda); 5. Grimes Grave (Inglaterra); 6. Ozarów (Polonia); 7. Church Hill (Inglaterra); 8. Casa Montero (España); 9A. Mononville, 9B. Poirier au Beurre, 9C. Bois Daupleix, 9D. Cote de Bar (St Mihiel, Francia); 10A. Les Pennecières, 10B. Le Buisson Gendre, 10C. Le Grand Bois Marots, 10D. Champignolles/Orlets, 10E. Les Chailloutières, 10F. Le Berquin, 10G. Le Haut des Vagands, 10H. Le Pley (Pays d'Othe, Francia); 11A. Blanc-Saule, 11B. Grange Mange-Petit Mange, 11C. Château d'Eau, 11D. Fournets (Etreilles-et-la-Montbleuse, Francia); 12. Wierzbica 'Zełe' (Polonia).

interior dentro de los nódulos, que es de muy buena calidad para la talla. Aunque la existencia de vetas síliceas en niveles de arcillas es un fenómeno común en la cuenca de Madrid, los procesos de envejecimiento como el documentado en Casa Montero no son frecuentes (Bustillo y Pérez Jiménez, 2005).

Además de su potencial utilización como base para una comparación con materias primas encontradas en otros yacimientos, estas particularidades del sílex de Casa Montero nos ayudan a comprender algunos de los motivos de su elección como lugar de aprovisionamiento de materias primas: se trata de una materia prima de gran calidad por un lado (estructura micro y criptocristalina) y que se talla con relativa facilidad (figura 8).

## El trabajo en la mina

### Los pozos de extracción

En la actualidad, ya se conocen algunos aspectos fundamentales sobre cómo se desarrollaba el trabajo de los mineros neolíticos. En primer lugar, cómo eran los pozos mineros. Son estructuras sencillas y de diámetro reducido, que oscila entre 0,85 y 1,5 m de diámetro máximo, en la boca. En otras minas europeas, las dimensiones son mucho mayores, lo que facilitaba el trabajo en grupos de hasta 20 personas, según Felder (en Barber et al., 1999). En Casa Montero, por el contrario, el trabajo en cada pozo sólo podría ser individual y siempre con el apoyo de otra persona en el exterior, que realizaría la extracción de los materiales.

En general, puede decirse que los pozos son muy semejantes entre sí, tanto por lo que se refiere a su morfología como por lo que respecta a sus rellenos y materiales arqueológicos. Pese a ello, se han establecido distintos tipos de pozos en función de la morfología de su boca y de su comportamiento en profundidad (figura 9).

Los pozos *irregulares* se encuentran en la zona oriental del yacimiento. Tienen una profundidad máxima de 2,50 m y sus paredes son sinuosas, a veces con huecos resultantes de la extracción de nódulos, e incluso comunicación accidental mediante oquedades amorfas y angostas.

Los pozos *chimenea* tienen unas profundidades que oscilan entre los 0,45 y los 10 m. Presentan paredes regulares y de tendencia muy vertical. Se ha registrado cierta variabilidad en función de la morfología de su boca, por lo que estos pozos chimenea pueden, a su vez, subdividirse en pozos cilíndricos, pozos con boca en cubeta y pozos con boca en embudo. Son abundantes los aprovechamientos intensivos en los laterales del pozo, especialmente en las cotas inferiores de éstos, dando lugar a covachas irregulares que se convierten en las zonas de mayor debilidad de la estructura. La profundidad de estos



Figura 7. Fragmentos cerámicos con decoración impresa, muy característicos del Neolítico antiguo de la Meseta.

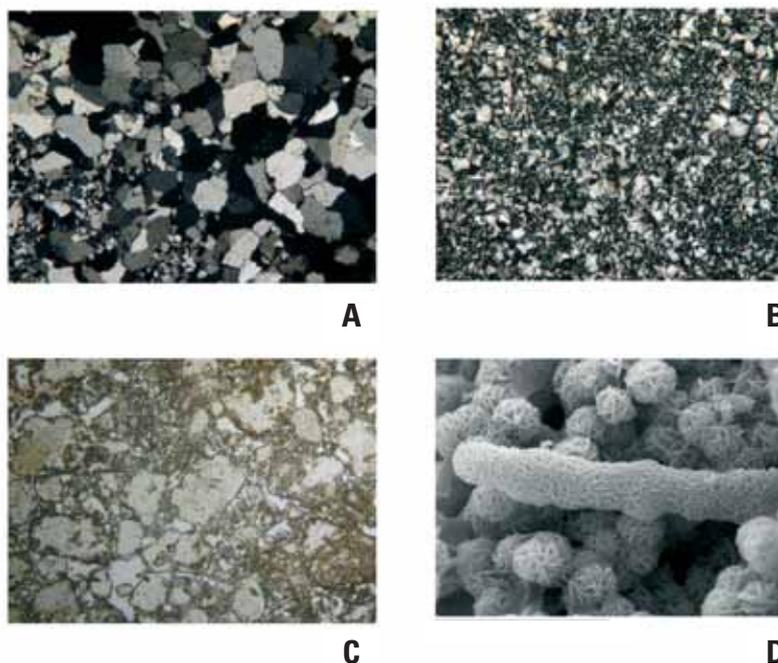


Figura 8. A y B. Dos aspectos de los sílex de cuarzo que constituyen los episodios silíceos en los alrededores de la explotación de Casa Montero. Los cristales de cuarzo muestran varias formas y tamaños y tienen colores blancos y grises. El sílex de la figura (a) está formado por grandes cristales de cuarzo y no fue utilizado en el Neolítico. El ancho de todas las fotos de microscopía óptica de esta lámina equivale a 2 mm. C y D. Los ópalos no muestran cristales en microscopía de luz transmitida porque tienen un tamaño muy pequeño. Lo que se observa en la foto de microscopía óptica de luz transmitida (foto izquierda) son aspectos de la arcilla magnesiánica que fue silicificada. Hay que observar los ópalos en un Microscopio Electrónico de Barrido (foto derecha) para poder ver los cristales que son como placas que se cruzan formando esferas. El ancho de la foto del MEB equivale a 40 micras.

aprovechamientos hace que, se comuniquen de forma accidental varios pozos.

Un caso excepcional lo representa el conjunto de pozos chimenea documentados en la zona central del yacimiento, durante la campaña de

2005-2006. En ellos se excavaron, entre las cotas -1,50 a -2 m, galerías angostas que comunicaban las estructuras a partir de un ensanchamiento producido por la explotación intensiva del episodio 2 de sílex situado a esa profundidad (figura 10). El estudio exhaustivo de las

estratigrafías de estos pozos permitirá conocer exactamente el proceso, pero todo parece indicar que la explotación intensiva de ese nivel silíceo se produjo cuando, tras excavarse el pozo hasta el fondo, se rellenó y fue entonces, antes del cegado definitivo, cuando se realizaron galerías y ensanchamientos.

Entre los pozos cilíndricos se encuentran algunos *pozos de tanteo*, que evidencian un buen conocimiento de la geología del lugar por parte de los mineros neolíticos. Se trata de estructuras con una profundidad máxima de 1,50 m, en las que se dejó de profundizar al alcanzar el nivel de arcillas, que está por debajo del episodio silíceo 2, indicativas de que ya no quedaban niveles de sílex opalino que explotar.

En las paredes de los pozos se han documentado acondicionamientos realizados por los mineros para facilitar sus labores extractivas. Uno de estos son los *pates*, oquedades practicadas en las paredes para insertar los pies al descender y al ascender (figura 11). Otro acondicionamiento lo constituyen dos orificios enfrentados de sección circular, interpretados como sujeción para un travesaño que hiciera las veces de polea.

Herramientas mineras

Es importante señalar que en la mayoría de las minas prehistóricas europeas se

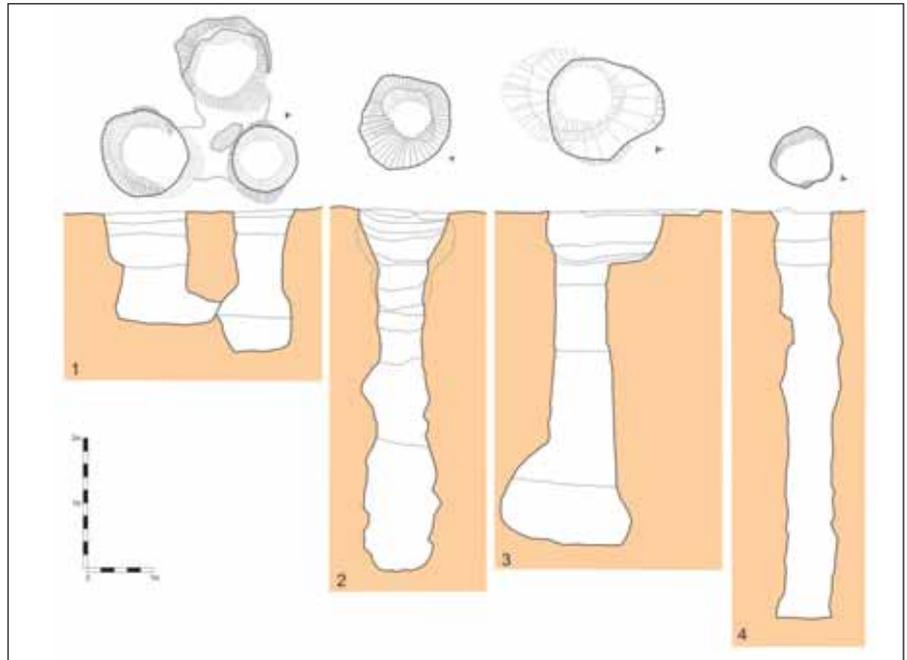


Figura 9. Planta y sección de los distintos tipos de pozos de Casa Montero. 1-pozos irregulares; 2-pozos chimenea. Representación de la variabilidad de la boca: a-cubeta; b-cilíndrico; c-embudo.



Figura 10. Detalle de excavación lateral en la que se observa la veta de sílex.



Figura 11. Pates en la pared de un pozo.



Figura 12. Fragmento de asta.

han documentado herramientas relacionadas con la excavación de las estructuras de extracción. Se trata generalmente de herramientas de asta o hueso, ya sean picos de asta como los de la mina de Wierzbica (Lech y Lech, 1984) o Grimes Graves (Barber et al., 1999), o palas hechas con escápulas como las recuperadas en la mina de la Edad del Bronce de Kargaly (Rovira y Martínez Navarrete, 2005). En Casa Montero, en cambio, son muy escasos los útiles de hueso (figura 12). Sin embargo, son más abundantes las herramientas de piedra relacionadas con las actividades mineras.

Las herramientas pueden clasificarse en dos grandes grupos en función de la actividad para la cual se destinan: un primer grupo de herramientas para la excavación de los pozos (por ejemplo, picos, mazas, cuñas) y la extracción de materias primas (grandes percutores), y un segundo grupo de herramientas para el mantenimiento de la explotación minera (por ejemplo, raederas, denticulados).

Las herramientas mineras pueden realizarse a partir de materiales traídos de fuera del yacimiento, como es el caso de las cuarcitas de las terrazas del Jarama destinadas a mazas y grandes percutores, o bien pueden proceder de los desechos de la talla del sílex en la propia mina, como ocurre con los picos y las cuñas. La mayor parte de estos últimos objetos son seleccionados entre los distintos fragmentos desechados procedentes de la talla y cuya morfología se debe al azar. Además, los soportes de estas piezas se eligen cumpliendo ciertos requisitos como el tamaño, el peso y formas apuntadas o angulosas. En la mayor parte de estos objetos, la configuración es prácticamente inexistente o se reduce a facilitar el enmague.

- Las *mazas* (figura 13). Se está trabajando con la hipótesis de que estas mazas golpeasen cuñas o picos que penetraran en la tierra a modo de cincel. Los grandes *percutores* se utilizarían para partir grandes nódulos y hacerlos más manejables.



Figura 13. Vista de la parte activa de una maza de cuarcita.



Figura 14. Pico de sílex.



Figura 15. Marcas de pico en las paredes de un pozo de Casa Montero.

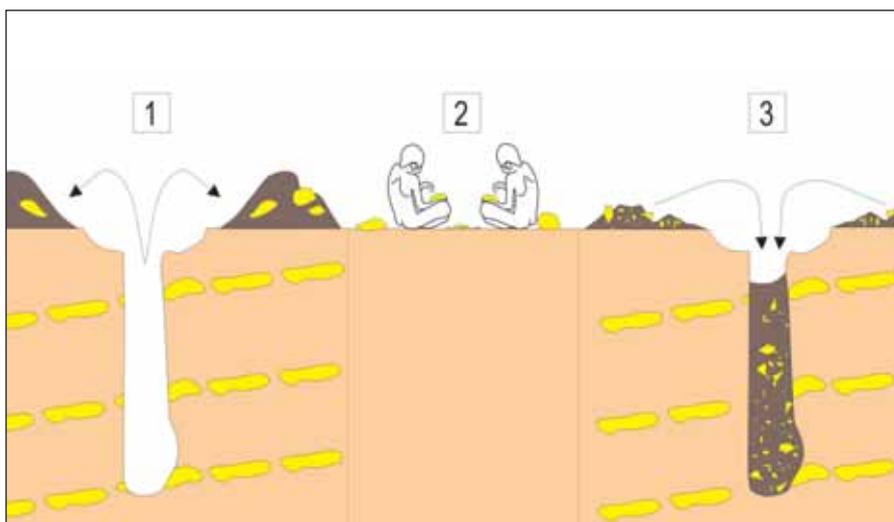


Figura 16. Esquema del proceso de excavación, talla del sílex extraído y colmatación de los pozos.

- Las *cuñas* se utilizarían para descalzar nódulos.
- Los *picos* (figura 14) se emplearían para excavar los pozos y, por tanto, pueden ser responsables de las huellas que aparecen en muchos de ellos. Se trata de huellas con sección en "v", que suelen presentarse en grupos de marcas verticales o ligeramente oblicuas (figura 15).

En cuanto a las herramientas destinadas al *mantenimiento* de los diferentes trabajos mineros (acondicionamiento y fabricación de enmangues, escalas, cordajes y otros), se documentan una serie de piezas configuradas mediante retoque sobre fragmentos desechados de la producción lítica, como elementos de descortezado y desbastado, y fragmentos informes. Estos objetos suelen ser denticulados amplios y abruptos, raederas, raspadores y buriles.

### El procesado del sílex

Una vez realizada la excavación del pozo, localizadas las vetas apropiadas y extraídos los nódulos necesarios, en el exterior de la estructura, pero junto a ella, se seleccionaban los nódulos; algunos eran probados, otros desechados sin más, y algunos eran desbastados, configurados y explotados. Posteriormente, y antes de comenzar la excavación del pozo contiguo, todos los desechos de sílex procedentes de estos trabajos eran arrojados al pozo junto con las tierras de su excavación, rellenándolo completamente (figura 16).

Esto explica la altísima densidad de material lítico hallado en el interior de las estructuras y que éste se concentre mayoritariamente en la parte inferior del pozo.

En la mina se han documentado todas las categorías de la Cadena Operativa Lítica, desde el aprovisionamiento de materia prima hasta el abandono, excepto los productos. Se han reconocido dos tipos de cadenas operativas, una destinada a la producción de lascas, y otra, mayoritaria, destinada a la obtención de láminas. Éstas no se encuentran en el yacimiento, lo que indica que eran transportadas a los poblados para su acondicionamiento definitivo y uso. La gestión de la materia



Figura 17. Conjunto de material lítico recuperado en uno de los rellenos de un pozo. Se observa la variedad de tipos de sílex.



Figura 18. Remontaje que permite la reconstrucción del proceso de talla. Se puede apreciar además que la materia prima está constituida por sílex en el interior y ópalo en el exterior, como resultado del proceso de envejecimiento que tiene lugar en Casa Montero.

prima en la propia mina tenía dos ventajas principales. En primer lugar, evitaba acarrear hasta los poblados un volumen excesivo de material inservible. En segundo lugar, sólo así cada expedición podía garantizar que obtenían todos los soportes que se necesitaban en cada momento.

### Algunas reflexiones

Un objetivo primordial de la investigación deberá ser el análisis de cuestiones relacionadas con las estrategias de

explotación de la mina. Entre ellas estarían: el acceso libre o restringido a los recursos de la mina por parte de los grupos del entorno, la existencia o no de una planificación espacial de las estructuras de extracción, la periodicidad y duración de las expediciones, la especialización de los trabajadores o el proceso de aprendizaje de las labores extractivas y de talla.

Por último, en la mayoría de las minas neolíticas europeas, el objetivo final de la explotación es la elaboración de preformas

de hachas que luego serían pulimentadas. Así se ha determinado en yacimientos como Jablines (Bostyn y Lanchon, 1995), Krzemionki (Salacinski y Migal, 1997; Balcer, 2002) o las minas inglesas (Barber et al, 1999). Pero en Casa Montero, como hemos visto, el objetivo principal de la

explotación lítica es la producción de soportes laminares, como ocurre también en la mina polaca de Tomaszów (Schild, 1995). Estos diferentes objetivos deben responder a necesidades distintas de los grupos que explotaban las minas en cada caso. Parece obvio que se puede eliminar

el valor estético del sílex de Casa Montero, pero sólo futuros estudios de su uso y distribución, así como de las estrategias de explotación de la mina, permitirán establecer la importancia social de este recurso en el marco de la Prehistoria de la Meseta.

## Glosario

- **Cadena Operativa Lítica:** Secuencia de pasos o fases del proceso de producción de útiles líticos, desde la adquisición de la materia prima hasta su abandono.
- **Configuración:** Fase de la Cadena Operativa Lítica en la que se da forma a la materia prima para adaptarla al tipo de producto que se desea obtener.
- **Córtex:** Superficie exterior de los nódulos o cantos de materia prima, que puede formarse como resultado de procesos químicos o mecánicos. No resulta apropiada para la talla.
- **Descortezado:** Fase de la Cadena Operativa Lítica en la que se elimina el córtex.
- **Desbastado:** Eliminación de las impurezas de la materia prima que se va a trabajar.
- **Lámina:** Producto de la talla lítica que se caracteriza por tener filos paralelos y generalmente es por lo menos el doble de larga que de ancha.
- **Lasca:** Cualquier fragmento de materia prima pétreo que se desprende como resultado de la talla intencional. Las lascas pueden ser un objetivo buscado por el tallista o, por el contrario, el desecho resultante del proceso de talla. Pueden ser soportes para fabricar una enorme variedad de utensilios, como raederas, raspadores o denticulados.
- **Neolítico:** Periodo posterior al Paleolítico y las etapas de transición denominadas Epipaleolítico y Mesolítico. Las poblaciones humanas comienzan a producir alimentos practicando la agricultura y la ganadería. Otros rasgos que se identifican con el Neolítico son: la primera producción cerámica y la fabricación de útiles de piedra pulimentada. En la Meseta comenzó hace 7.500 años, aproximadamente.

## Bibliografía

- Alonso-Zarza, A.M., Calvo, J.P., Silva, P.G., y Torres, T. (2004). Cuenca del Tajo, en J.A. Vera ed., *Geología de España*. SGE-IGME: 556-563. Madrid.
- Balcer, B. (2002). *Ćmielów, Krzemionki, Świeciechów. Związki osady neolitycznej z kopalniami krzemienia*, Instytut Archeologii i Etnologii Polskiej Akademii Nauk, Warszawa.
- Barber, M, Field, F. y Topping, P. (1999). *The Neolithic Flint Mines of England*, English Heritage, Swindon.
- Borkowski, W. (1995). Prehistoric flint mines complex in Krzemionki (Kielce Province), *Archaeologia Polona* 33: 506-524.
- Bostyn, F. y Lanchon, Y. (1995). The Neolithic flint mine at Jablines, 'le Haut-Chateau' (Seine-et-Marne), *Archaeologia Polona*, 33: 297-310.
- Bustillo, M. A. y Pérez-Jiménez, J. L. (2005). Características diferenciales y génesis de los niveles silíceos explotados en el yacimiento arqueológico de Casa Montero (Vicálvaro, Madrid), *Geogaceta*, 38: 243-246.
- Consuegra, S., Gallego, M<sup>a</sup>. M. y Castañeda, N. (2004). "Minería neolítica de sílex de Casa Montero (Vicálvaro, Madrid)", *Trabajos de Prehistoria*, 61(2): 127-140.
- Consuegra, S., Castañeda, N., Díaz del Río, P., Criado, C. y Capote, M. (2005). La M-50 salva la minería neolítica. *Huellas. Actuaciones de la Comunidad de Madrid en el Patrimonio Histórico*. Consejería de Cultura y Deportes, Dirección General de Patrimonio Histórico, Comunidad de Madrid: 39-50.
- Consuegra, S., Gallego, M<sup>a</sup>. M. y Castañeda, N. (2005). Explotación minera de sílex neolítica de Casa Montero (Vicálvaro, Madrid), *II Simposio de Minería y Metalurgia Históricas en el Sudoeste Europeo*, Madrid, 2004: 45-52.
- Díaz del Río, P., Consuegra, S., Castañeda, N., Capote, M., Criado, C., Bustillo, M.A. y Pérez-Jiménez, J.L. (2006). The earliest flint mine in Iberia. *Antiquity* 80, nº 307. <http://www.antiquity.ac.uk/projgall/diazdelrio/>
- Galiberti, A., Di Lernia, S., Fiorentino, G. y Guarascio, M. (1997). New Data on the Neolithic Mine of Defensola, Vieste (Italy), en A. Ramos-Millán y M.A. Bustillo, *Siliceous Rocks and Culture*: 211-222, Universidad de Granada.
- Lech, H. y Lech, J. (1984). The Prehistoric Flint Mine at Wierzbica 'Zełe': A Case Study from Poland, *World Archaeology* 16(2): 186-203.
- Luedtke, B. E. (1992). *An Archaeologist's Guide to Chert and Flint*. Archaeological Research Tools 7, Institute of Archaeology, University of California, Los Angeles.
- Rovira Llorens, S. y Martínez Navarrete, M. I. (2005). Kargaly: esplendor minero en la Edad del Bronce, *Tierra y Tecnología* 27: 29-38.
- Salacinski, S. y Migal, W. (1997). Production of Banded Flint Square Axes, en A. Ramos-Millán y M.A. Bustillo, *Siliceous Rocks and Culture*: 337-343, Universidad de Granada.
- Schild, R. (1995). Tomaszów, Radom Province, *Archaeologia Polona* 33: 455-65.
- Whittle, A. (1995). Gifts from the earth: symbolic dimensions of the use and production of Neolithic flint and stone axes, *Archaeologia Polona* 33: 247-260.

# Nueva Zelanda

## Tierra de terremotos (*He whenua na Ruaumoko*)

En este artículo se presenta un resumen del conocimiento actual sobre la tectónica activa de Nueva Zelanda, su influencia en el paisaje y algunas consideraciones sobre la actividad tectónica futura.

“La Tierra se sacude  
El mar brama  
¡Oh el dolor que siento!  
La Tierra se sacude  
y ¡se rompe!”

“Rūana te whenua  
Whatiwhati te moana  
Au te ahora te mamae i ahau e  
Rūana te whenua  
Whatiwhati  
Hei!”

(Canción tradicional maorí)



**TEXTO** | Pilar Villamor (Dra. CC. Geológicas) p.villamor@gns.cri.nz y el Grupo de Geología de Terremotos de GNS Science, Nueva Zelanda: Kelvin Berryman, Robert Langridge, Russ Van Dissen, Nicola Litchfield, Ursula Cochran, Andy Nicol, Mark Stirling y Kate Wilson

Palabras clave  
**Nueva Zelanda, terremotos, tectónica, neotectónica**

La tradición oral maorí está repleta de alusiones a la actividad tectónica de Nueva Zelanda. Ante los ojos del científico del siglo XXI, Nueva Zelanda es, además, un laboratorio natural para el estudio de la tectónica activa porque los signos de actividad geológica quedan claramente registrados en el paisaje. Esta circunstancia se debe tanto a procesos puramente geológicos como a características geográficas y actividad humana. La preservación de elementos de la tectónica activa en el paisaje depende del balance entre la velocidad de los fenómenos que generan esos elementos (velocidad de desplazamiento de fallas, velocidad de levantamiento de costas...) y la velocidad de los fenómenos que los destruyen (por ejemplo, tasas de sedimentación y erosión). En grandes extensiones de Nueva Zelanda,

este balance es muy favorable para la preservación de los elementos de tectónica activa. Esto se debe, por un lado, a que Nueva Zelanda está situada en el cinturón de fuego que circunda al Océano Pacífico, entre las placas tectónicas australiana y pacífica, lo que le confiere una gran actividad sísmica y volcánica. Por otro lado, la forma elongada del país y su posición en latitudes medias del hemisferio sur le confiere un clima húmedo con abundante vegetación subtropical que preserva los elementos morfotectónicos de ser erosionados.

En Nueva Zelanda se dan, además, dos hechos no relacionados con la geología que, también, contribuyen a la conservación y clara expresión de la tectónica activa. El primero es su escasa población, cuatro millones de habitantes, a pesar de su

extensión semejante a la del Reino Unido. Esto ha determinado un desarrollo urbanístico moderado, lo que a su vez ha garantizado la conservación de las formas del paisaje. El segundo, paradójicamente, es la deforestación masiva que Nueva Zelanda ha sufrido en tiempos relativamente recientes (la colonización europea empieza a mediados del siglo XIX) que ha hecho desaparecer el 75% del bosque original. En otras palabras, los bosques han favorecido la preservación de los elementos morfotectónicos más recientes, y la deforestación masiva los ha expuesto a los ojos de los científicos.

### El contacto de placas tectónicas

Nueva Zelanda se sitúa en el contacto convergente de las placas tectónicas australiana y pacífica (*figura 1*).

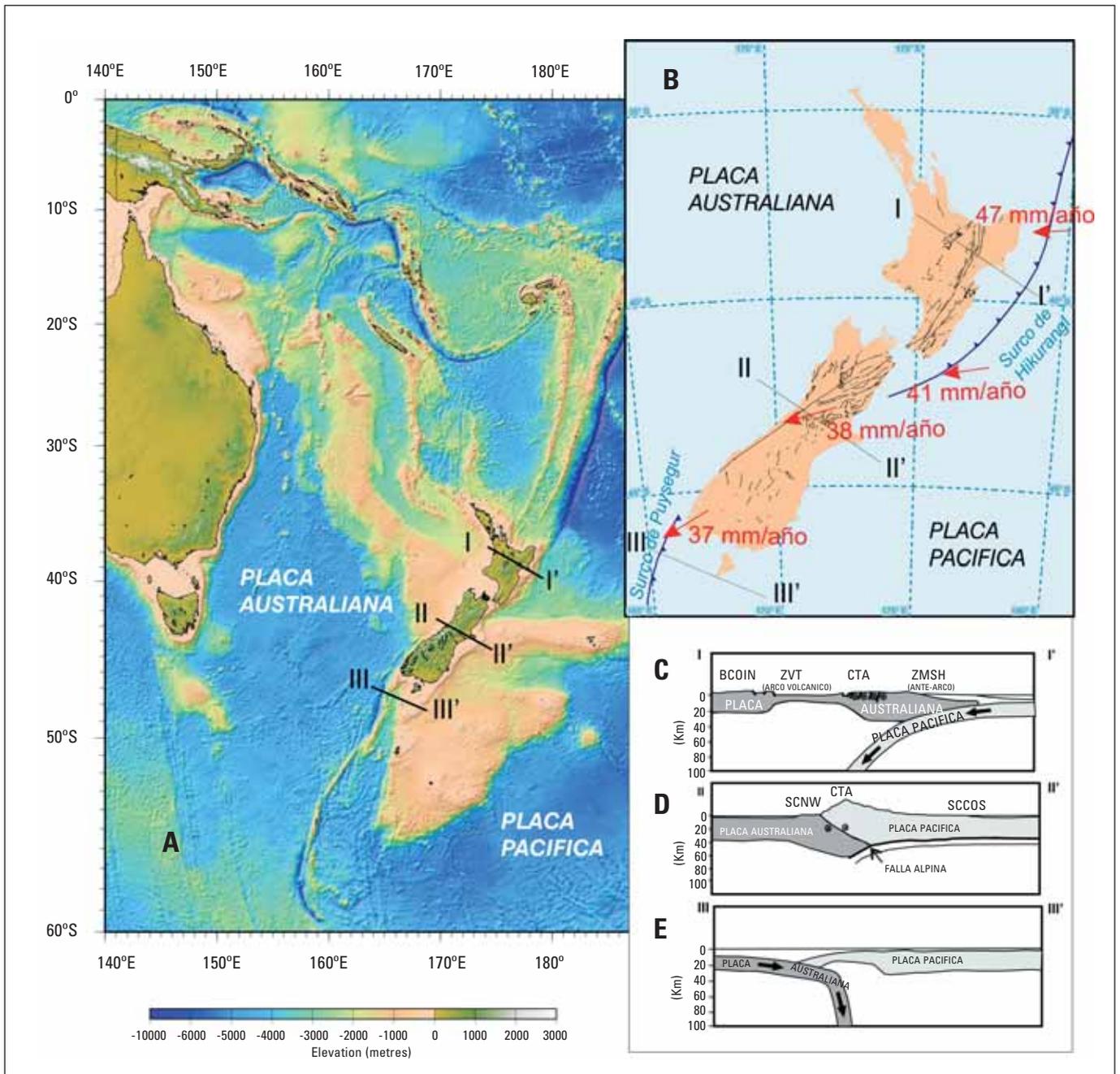


Figura 1. A. Relieve del continente neozelandés. Nótese que sólo la región deformada por el contacto de placas se eleva sobre el nivel del mar. B. Contexto tectónico del contacto de las placas australiana y pacífica en la latitud de Nueva Zelanda. Movimiento relativo de placas de DeMets et al. (1994). Corte transversal esquemático del contacto de placas en la Isla Norte (C), en la Isla Sur (D) y al sur de la Isla Sur (E).

La deformación asociada con este contacto ha elevado parte de la corteza continental sobre el nivel del mar. Sin embargo, esta parte subaérea representa sólo la espina dorsal del continente neozelandés, pues su mayor extensión se encuentra bajo el océano (figura 1A). El vector del movimiento relativo entre las placas tectónicas tiene una dirección que varía desde una orientación perpendicular a la dirección del contacto de placas en el norte de la Isla Norte, a una orientación sub-paralela al contacto en el centro de la Isla Sur, a, finalmente, una

orientación perpendicular al contacto al sur de la Isla Sur. La magnitud de este vector, también varía a lo largo del contacto con un acercamiento de las placas de 47 mm/año, en el norte, y 37 mm/año en el sur (DeMets, et al. 1994; figura 1B).

El tipo de contacto también es variable a lo largo de su extensión (figura 1). En la Isla Norte las placas se ponen en contacto mediante una subducción de la placa pacífica bajo la australiana, dando lugar al margen de subducción de Hikurangi, que

es la continuación del surco de Tonga-Kermadec (figura 1C). En la Isla Sur, este contacto tiene lugar mediante una colisión oblicua continente-continente, que ha dado lugar a los mayores relieves de la región, los Alpes del Sur (el monte Mt Cook tiene 3.764 m de altitud; figura 1D). Al sur de la Isla Sur, el contacto de placas vuelve a ser de tipo subducción, dando lugar a la zona de subducción de Puysegur, aunque en este caso la placa australiana es la que subduce bajo la placa pacífica (figura 1E).

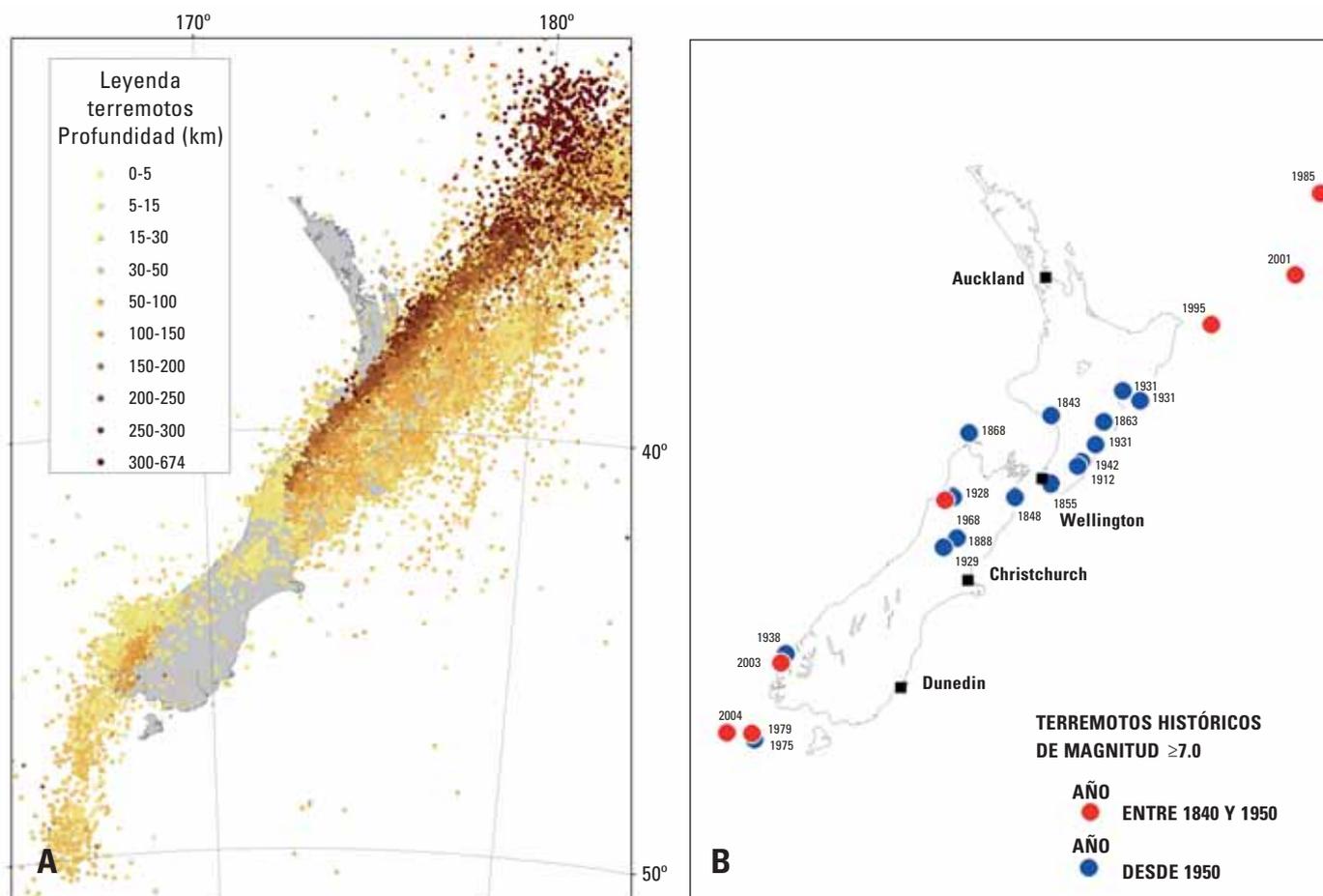


Figura 2. A. Distribución espacial de la sismicidad en Nueva Zelanda para el periodo 1840-1996 y para terremotos de magnitud  $\geq 4$ . B. Distribución espacial de la sismicidad en Nueva Zelanda para el periodo 1840-2004 y terremotos de magnitud  $\geq 7$ .

El carácter de corteza superior de las placas pacífica y australiana, a distintas latitudes, condiciona el tipo de contacto de placas. Así, por ejemplo, en la latitud de la Isla Norte la corteza superior de la placa australiana es de carácter continental, mientras que la corteza superior de la placa pacífica es de carácter oceánico. La mayor densidad de la placa pacífica ha facilitado la subducción en el contacto desde hace  $\sim 25$  Ma (figura 1C). Sin embargo, esta corteza oceánica es una corteza engrosada y de menor densidad que la corteza oceánica común (la plataforma de Hikurangi; figura 1A), por lo que el plano de Benioff tiene un buzamiento bajo comparado con otras zonas de subducción con corteza oceánica antigua.

En el centro de la Isla Sur, el contacto de placas se sitúa entre dos porciones de corteza continental (figura 1D). La baja densidad de la corteza continental en ambas placas no permite la subducción y, por tanto, las placas entran en colisión. El vector del movimiento relativo entre las

placas tiene una dirección oblicua al límite de placas, lo que da lugar a una tectónica de desgarre tan importante como la compresiva. La deformación de las placas en este contacto está representada, principalmente, por una única estructura de desgarre-inversa, la falla Alpina, que absorbe casi toda la deformación paralela al límite de placas y gran parte de la perpendicular (Berryman et al., 1992; Norris y Cooper, 2000).

Al sur de la Isla Sur, la corteza de las dos placas es de carácter oceánico. En esta zona, las placas han entrado en un proceso de subducción ( $\sim 6$  Ma; Lebrun et al., 2003), creando la zona de subducción de Puysegur. Estas condiciones dan lugar a una subducción con un plano de Benioff de buzamiento elevado (figura 1E). Las características del contacto no han producido aún zonas de continente elevadas sobre el nivel de mar, razón por la cual no se trata esta parte del contacto de placas en este artículo.

La convergencia rápida entre las placas pacífica y australiana (figura 1B) genera una sismicidad muy elevada (figura 2A). Así, y a pesar del corto registro histórico de Nueva Zelanda ( $\sim 250$  años), se han registrado numerosos terremotos de magnitud  $> 7.0$  (figura 2B) desde mediados del siglo XIX. La sismicidad actual se concentra en un eje de dirección NE-SO de anchura variable, siguiendo la geometría del contacto de placas. Estudios de tasas de deslizamiento de fallas activas (véase en Berryman et al., 2006, un resumen de estudios de fallas activas en Nueva Zelanda; figura 3) y medidas de deformación geodésica actual mediante GPS (Beavan y Haines, 2001), muestran que gran parte de la deformación de la placa superior se concentra en la espina dorsal de Nueva Zelanda.

#### División en provincias tectónicas

En el presente artículo se divide Nueva Zelanda en provincias tectónicas, es decir,

en regiones que, por su características tectónicas homogéneas o por su posición geográfica con respecto al límite de placas, juegan un papel específico en la cinemática del contacto de placas. Esta división es una simplificación de la realizada por Berryman y Beanland (1991) y Berryman (1994). Las provincias tectónicas se delinean sub-paralelas al contacto de placas, es decir, en la dirección NE-SO, y son las siguientes. De norte a sur y de este a oeste (figura 3):

- Zona de margen de la subducción de Hikurangi (Isla Norte y norte de la Isla Sur).

- Cinturón Tectónico Axial (Islas Norte y Sur).
- Zona Volcánica de Taupo (Isla Norte).
- Bloques y Cuencas del Oeste de la Isla Norte.
- Montañas y Cuencas de Nelson-Westland y Canterbury-Otago-Southland (Isla Sur).
- Plataforma de Canterbury-Chatams (Isla Sur).

Las distintas características del contacto de placas justifican la división del país en las provincias tectónicas mencionadas arriba. Estas características son:

- La anchura de la banda de deformación asociada al contacto de placas, la cual varía a lo largo del mismo, debido al cambio de buzamiento del plano de Benioff y al cambio del tipo de contacto, de una subducción a una colisión.
- El grado de acoplamiento a lo largo del plano de contacto de las placas, que determina la mayor o menor facilidad del plano de Benioff para deslizarse, produce sectores en los que gran parte del movimiento relativo entre las placas se traduce en deformación tectónica de la placa superior, mientras que en otros sectores la deformación de esta placa es mínima, pues la mayor parte del movimiento se concentra en el plano de subducción.
- El cambio de oblicuidad del vector de movimiento con respecto al límite de placa. Éste produce sectores en los que la componente de deslizamiento perpendicular al contacto es predominante frente a sectores en los que la componente principal es paralela al contacto.
- La distancia al contacto de placas. La cercanía o lejanía de la provincia tectónica al contacto de placas no sólo influye en el tipo de régimen tectónico sino también en la tasa de actividad geológica.

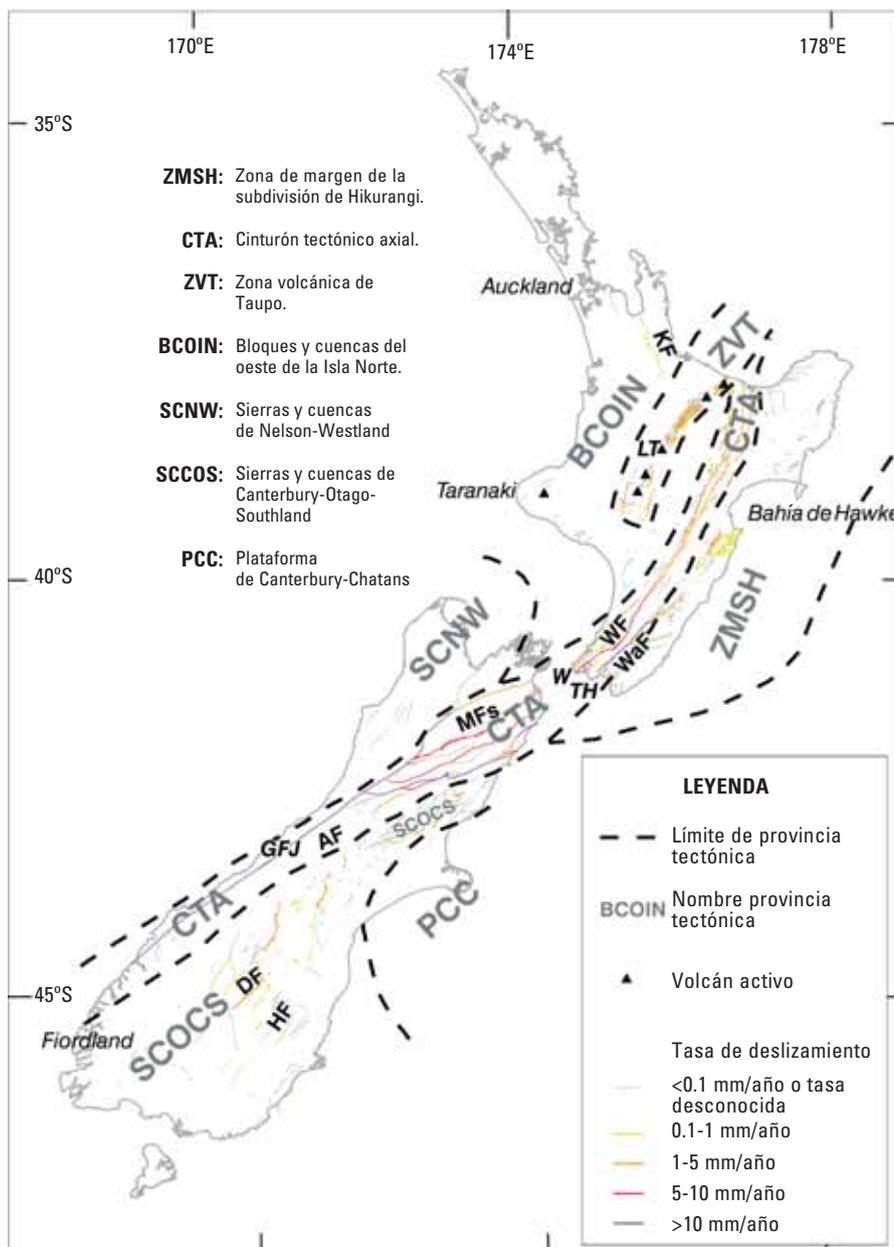


Figura 3. División de Nueva Zelanda en provincias tectónicas (modificado de Berryman, 1994). Localización y valores de tasas de deslizamiento de las fallas activas. Los datos de fallas activas provienen de la base de datos de fallas activas de GNS (<http://data.gns.cri.nz/af/>). Fallas mencionadas en el texto y/o figuras son: KF, falla de Kerepehi; AF, falla Alpina; WF, falla de Wellington; WaF, falla de Wairarapa; MFS, fallas de la región de Marlborough; HF, falla de Hyde; DF, falla de Dunstan. LT, Lago de Taupo. GFJ, Glaciar de Franz Josef.

**Zona Margen de la Subducción de Hikurangi**

La zona más oriental de la placa australiana en la Isla Norte y parte de la Isla Sur está representada por el ante-arco (*fore-arc*) de la subducción. Esta zona comprende la franja costera oriental de la Isla Norte y una amplia franja oceánica. Denominamos esta zona como Zona de Margen de la Subducción de Hikurangi (ZMSH; figura 3).

La tectónica de esta zona está condicionada por diferencias en el carácter de la subducción que delinea dos subprovincias, al norte y sur de la Bahía de Hawke (figura 3) (Litchfield et al., 2006). La subducción en la parte más septentrional de la ZMSH se caracteriza por la carencia de sedimentos marinos en el surco, una corteza de la placa pacífica más densa y numerosos bancos submarinos. Esto da lugar a procesos de: a) erosión del frente de la placa pacífica (erosión tectónica); b) menor acoplamiento entre las placas (Wallace et al., 2004);

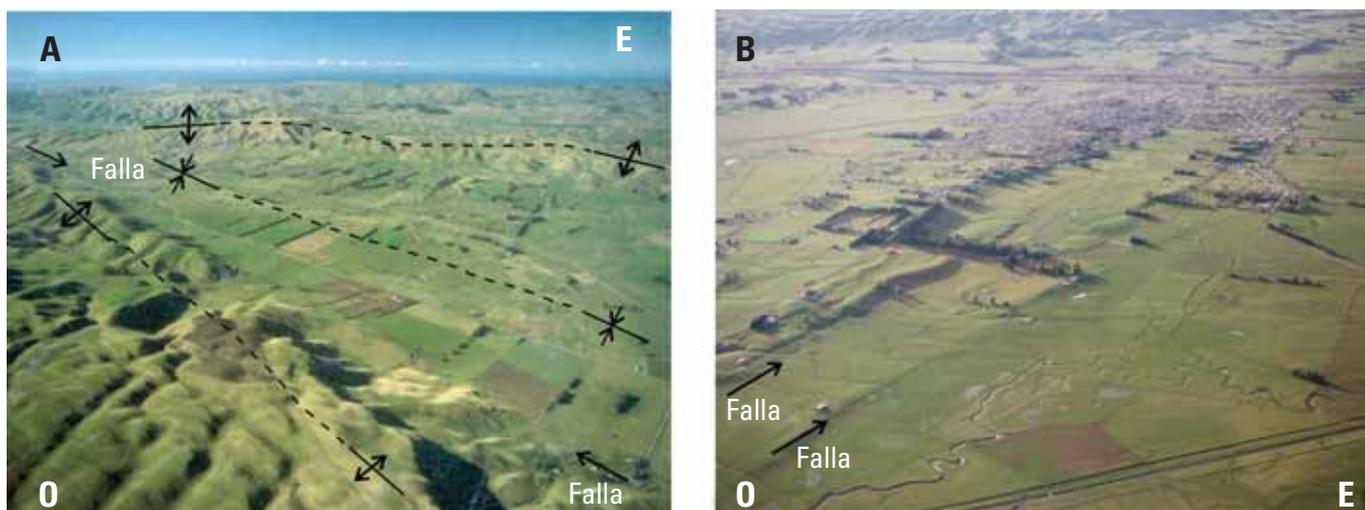


Figura 4. Zona de Margen la subducción de Hikurangi, sur de Hawke Bay (régimen tectónico compresivo). A) Valles y lomas de dirección NE asociadas a pliegues y fallas inversas. B) Escarpe reciente en terraza aluvial de ~ 25 ka asociado a fallas inversas. Fotos de la Biblioteca de fotos de GNS (<http://images.gns.cri.nz/shop/photolib/>).

y c) transporte de los sedimentos marinos a lo largo del plano de subducción (*sediment underplating*). En la zona sur de la ZMSH, la subducción presenta abundantes sedimentos marinos y una corteza de la placa pacífica más ligera, que da lugar a: a) formación de un prisma de acreción; y b) mayor acoplamiento entre las placas.

En tierra, estas diferencias se manifiestan en el tipo y tasa de actividad tectónica. En la parte más septentrional de la ZMSH, el bajo acoplamiento de las placas es responsable de que la deformación se

concentre principalmente en el plano de subducción, mientras que la placa superior está sometida a baja deformación. La deformación en la placa superior se expresa mediante fallas normales de baja tasa de movimiento (véanse referencias en Berryman et al., 2000). Sin embargo, en esta zona se dan valores de levantamiento regional muy elevados debido a la presencia de sedimentos marinos y bancos marinos en el plano de subducción (tasa de levantamiento de 1 mm/año hasta 4 mm/año) (Litchfield et al., 2006). Como consecuencia, la erosión es

muy alta y se dan procesos de encajamiento de ríos muy acelerado (por ejemplo, terrazas fluviales de ~ 25 ka de edad se sitúan a ~ 100 m de altitud sobre el nivel del río; Berryman et al., 2000).

Al sur de la Bahía de Hawke, el alto acoplamiento de las placas da lugar a una tectónica compresiva con una tasa de deformación de moderada a alta. En esta zona predominan los pliegues y fallas inversas en sedimentos marinos de edades muy recientes, Mioceno a Pleistoceno Superior (Kelsey et al., 1998), que forman

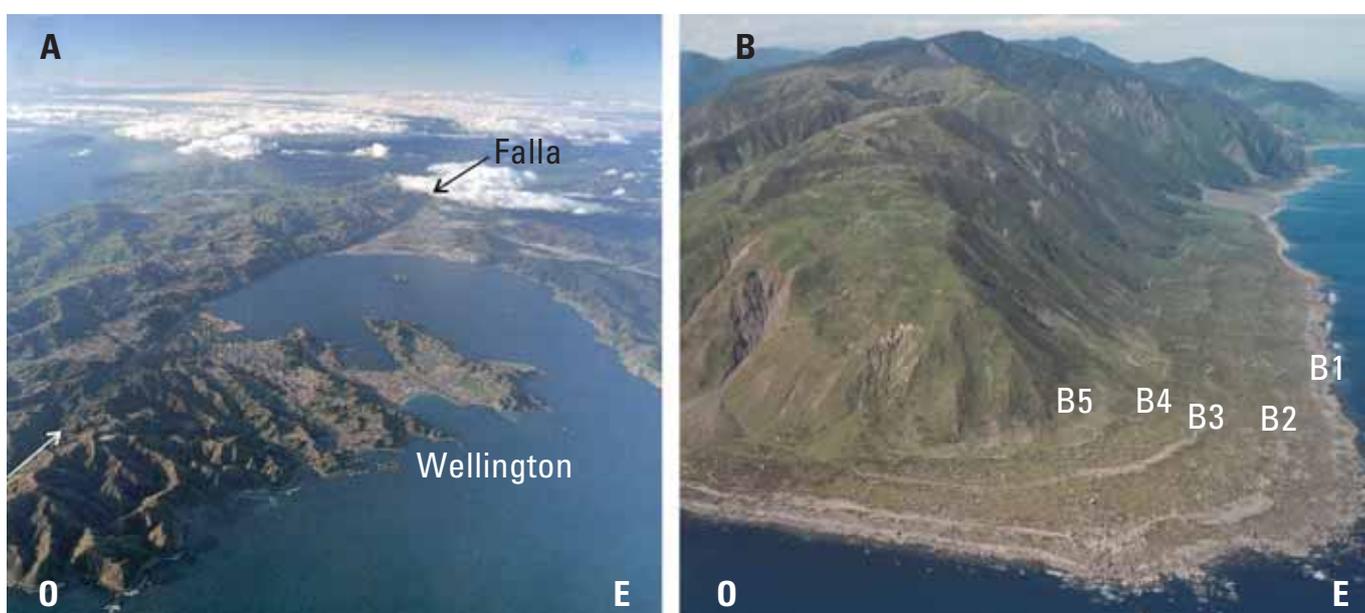


Figura 5. Cinturón Tectónico Axial en la Isla Norte (régimen tectónico de desgarre). A) Vista aérea de falla de Wellington, falla dextral-inversa con una tasa de deslizamiento de 6-7,6 mm/año, longitud de 65 km, magnitud de terremoto de 7,4, e intervalo de recurrencia de 600 años (Stirling et al., 1998). B) Levantamiento cosísmico de playas costeras en la zona Turakirae Head. Se muestran barras litorales de distintas edades (en años B.P.: B1=actual, B2=95, B3=2.220, B4=4.767, B5=6.765) que han sido elevadas de forma cosísmica con la rotura de la falla de Wairarapa (MacSaveney et al., 2006). Fotos de la Biblioteca de fotos de GNS (<http://images.gns.cri.nz/shop/photolib/>).

“A lo largo de la costa, además de la elevación regional de toda la zona, se dan procesos locales de elevación y hundimiento producidos por movimientos en estructuras tectónicas individuales”

parte del prisma de acreción (Cashman et al., 1992). Estas estructuras activas configuran un paisaje de lomas y valles suaves elongados en los que las lomas representan anticlinales asimétricos, asociados a fallas inversas (generalmente buzando hacia el oeste), y los valles representan sinclinales (figura 3). Las tasas de deformación de estas estructuras son del

orden de 0,1 a 1 mm/año (Kelsey et al., 1998). Las características de la subducción de esta zona también dan lugar a un levantamiento regional pero de tasa mucho menor que en la zona norte (< 1mm/año; Litchfield, et al., 2006).

A lo largo de la costa, además de la elevación regional de toda la zona, se dan

procesos locales de elevación y hundimiento producidos por movimientos en estructuras tectónicas individuales, tales como fallas en la placa pacífica o por rotura cosísmica del plano de subducción. Estudios recientes de tectónica activa en la costa están avanzando el conocimiento en los grandes terremotos de la interfase de subducción (Cochran et al., 2006), la amenaza sísmica más grande (asociada a terremotos de magnitud > 8.0 y generación de *tsunamis*) y la más desconocida (por falta de casos históricos) de la Isla Norte. En zonas de hundimiento como, por ejemplo, en estuarios de la zona norte de la Bahía de Hawke, se ha podido identificar la presencia de pequeños levantamientos mediante el estudio de cambios en el



Figura 6. Cinturón Tectónico Axial en la Isla Sur (régimen tectónico de desgarre-inverso). La falla Alpina es la principal estructura del contacto de placas en la Isla Sur. La falla es dextral-inversa con una tasa de deslizamiento de  $26 \pm 5$  mm/año, longitud de 400 km, magnitud de terremoto de 8.1, e intervalo de recurrencia de 270 años (Stirling et al., 1998). La elevada tasa de deslizamiento lateral ha producido el desplazamiento lateral de las morrenas laterales de edad pleistocena (indicado con una flecha en la figura). La elevada tasa de deslizamiento vertical da lugar a una fuerte erosión, a la presencia de gran carga de sedimentos en los arroyos y ríos (la deposición de estos sedimentos produce extensas llanuras de agradación), y a la bajada de los glaciares hasta casi nivel del mar. Foto de la Biblioteca de fotos de GNS (<http://images.gns.cri.nz/shop/photolib/>).

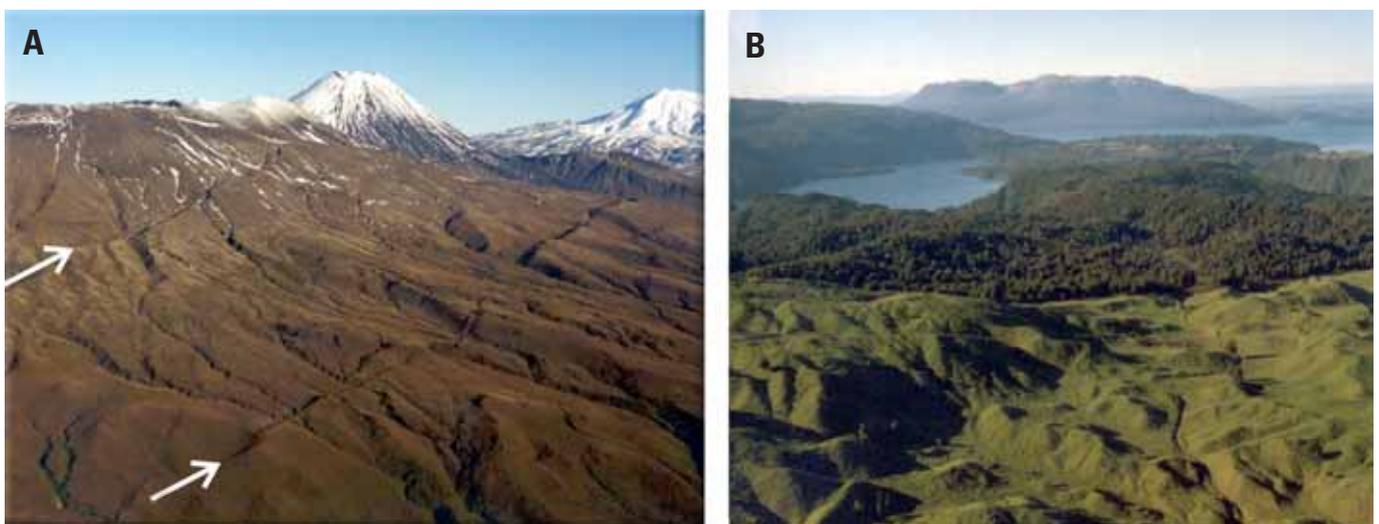


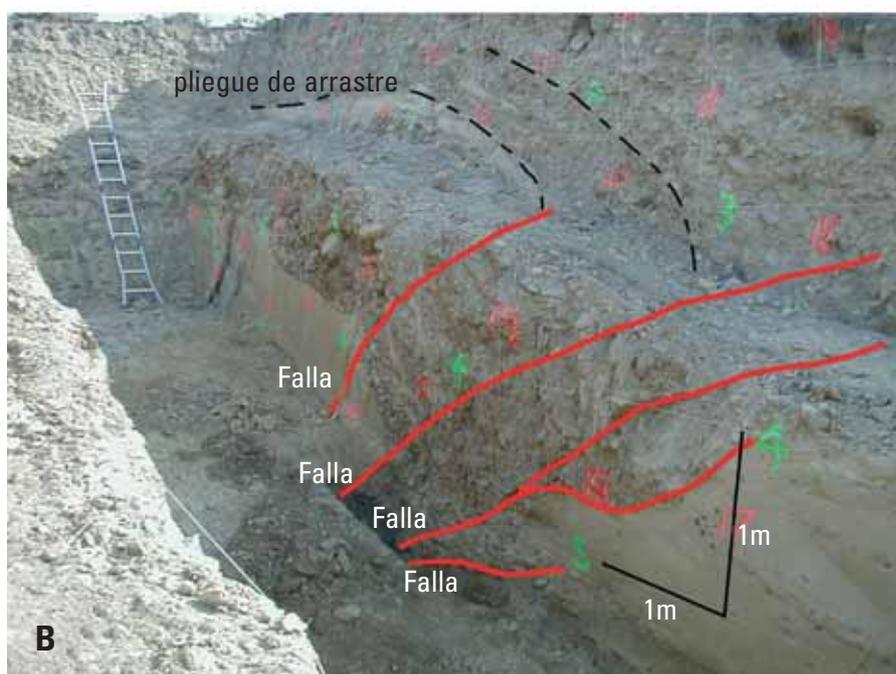
Figura 7. Zona Volcánica de Taupo (régimen tectónico extensional). A) Estrato-volcanes y fallas normales en la zona andesítica del sector sur de la ZVT. B) Calderas (lagos) y domos en la zona riolítica en el sector central de la ZVT. Fotos de la Biblioteca de fotos de GNS (<http://images.gns.cri.nz/shop/photolib/>).

ecosistema del estuario (salinidad, profundidad), que se producen por la dislocación del plano de subducción. En algunos casos, estos cambios están claramente asociados a depósitos de *tsunami*.

### Cinturón Tectónico Axial

El Cinturón Tectónico Axial (CTA; *figura 3*) se extiende a lo largo de la Isla Norte y Sur de Nueva Zelanda. En la Isla Norte, esta provincia forma parte del ante-arco de la zona de subducción de Hikurangi, mientras que en la Isla Sur es la zona principal del contacto de placas, que es de tipo colisional. A pesar de esta diferencia, esta zona se caracteriza porque en ella predominan estructuras que están absorbiendo la deformación paralela al contacto de placas, es decir, fallas de desgarre de movimiento lateral derecho. El cambio de la oblicuidad del vector de movimiento relativo de placas (más paralelo al contacto de placas hacia el sur) da lugar a que las estructuras de desgarre tengan tasas de deslizamiento cada vez mayores hacia el sur (*figura 3*). A su vez, las estructuras de desgarre van adquiriendo un papel cinemático más relevante, hasta que una de ellas, la falla Alpina, se convierte en el contacto de placas absorbiendo un  $\sim 75\%$  de la deformación total del contacto de placas (Norris y Cooper, 2000).

En la parte norte de la Isla Norte, la fallas que forman el CTA tiene tasas de deslizamiento de 0,5 a 2 mm/año y una importante componente extensional (Mouslopoulou et al., 2006, en prensa). Sin embargo, en la parte meridional de la Isla Norte, las tasas de deslizamiento son elevadas, hasta 11 mm/año, y la componente perpendicular a la traza es



*Figura 8. Sierras y Cuencas de Otago (régimen tectónico compresivo). A) Foto aérea de la falla de Hyde, falla inversa con una tasa de deslizamiento de  $0,3 \pm 0,2$  mm/año, longitud de 45 km, magnitud de terremoto de 7.2, e intervalo de recurrencia de 10.300 años (Stirling et al., 1998). B) Zanja paleosísmica en la falla de Dunstan, falla inversa con una tasa de deslizamiento de  $0,6 \pm 0,3$  mm/año, longitud de 60 km, magnitud de terremoto de 7.4, e intervalo de recurrencia de 5.700 años (Stirling et al., 1998).*

Dissen y Berryman, 1996), y la falla de Wairarapa (con 6-11 mm/año; Van Dissen y Berryman, 1996), que produjo el mayor terremoto histórico de Nueva Zelanda (el terremoto de Wairarapa, en 1855, de magnitud 8.1; Grape y Downes, 1997). Asociado a este terremoto, y a otros

paleoterremotos analizados sobre la falla de Wairarapa (Van Dissen y Berryman, 1996), se produjo un levantamiento cosísmico de la costa, en la parte donde la falla se extiende en el mar (Mc Saveney et al., 2006; *figura 5b*).

En la zona norte de la Isla Sur, el CTA también es conocido por el sistema de fallas de Marlborough, y contiene estructuras con velocidades de 6 a 23 mm/año, algunas de las cuales han generado terremotos históricos (véase, por ejemplo, Langridge y Berryman, 2005). Finalmente, en la zona central y meridional de la Isla Sur, el CTA está constituido por una estructura principal, la falla Alpina, que absorbe  $\sim 27$  mm/año de

“La alta tasa de actividad tectónica en Nueva Zelanda se refleja tanto en la elevada sismicidad actual, como en la ocurrencia de un gran número de terremotos históricos, a pesar de la corta duración del período histórico de Nueva Zelanda ( $\sim 250$  años)”

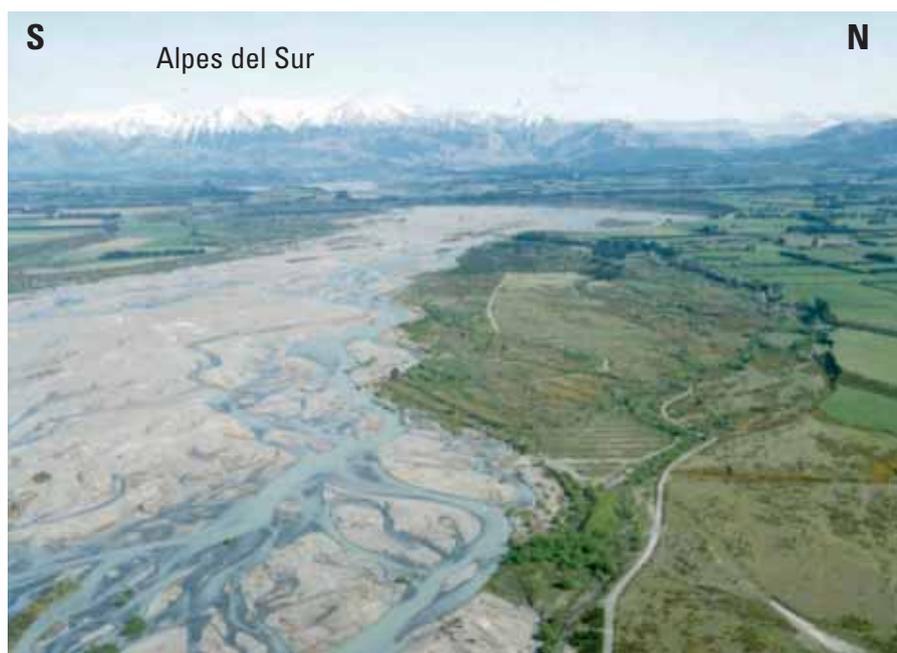


Figura 9. Grandes ríos braided en la zona de la Plataforma de Canterbury-Chatams. A pesar de la gran distancia a la cuenca de recepción, los ríos mantienen su carácter braided hasta su desembocadura debido a la gran carga de sedimentos proveniente del levantamiento de los Alpes.

los 37 mm/año de movimiento relativo entre las placas australiana y pacífica (Norris y Cooper, 2000). Estas tasas de deslizamiento a lo largo del CTA se traducen en terremotos con períodos de recurrencia que varía entre 5.000 y 250 años.

A pesar de que las estructuras activas son principalmente de desgarre, en el CTA se dan, paradójicamente, los relieves más elevados de Nueva Zelanda (las Sierras Axiales y los Alpes del Sur; figura 1B). El relieve del CTA en la Isla Norte es, sin embargo, un elemento heredado de una etapa anterior de la evolución del contacto de placas en la que el prisma de acreción se situaba geográficamente donde ahora se sitúa el CTA. En la actualidad, el relieve en la zona norte del CTA se mantiene con grandes elevaciones debido al rápido levantamiento regional de esta zona (véase apartado anterior; Litchfield et al., 2006).

En la Isla Sur, debido al cambio en el carácter del contacto de placas y el comportamiento mixto de desgarre e inverso de la falla Alpina, los Alpes del Sur están actualmente sometidos a un levantamiento de 10 mm/año (Norris y Cooper, 2000). La falla Alpina absorbe gran parte de este levantamiento dando lugar a un descenso abrupto de la

elevación en la vertiente oeste de los Alpes del Sur. La gran diferencia topográfica condiciona un elevado gradiente de precipitación anual entre el oeste (con una media de 2.000 mm anuales) y el este de los Alpes del Sur (con una media de 500 mm anuales), así como el descenso de glaciares desde 3.500 m hasta casi el nivel del mar, en el lado Oeste (figura 6).

#### Zona Volcánica de Taupo

La presencia de vulcanismo y un régimen extensivo en la mitad septentrional de la Isla Norte, la Zona Volcánica de Taupo (ZVT; figura 3), se debe, también, a variación latitudinal de la propiedades mecánicas del contacto de placas. Wallace et al., (2004) proponen que la colisión en la Isla Sur produce un efecto de torsión en las provincias tectónicas al este de la ZVT (CTA y ZMSH) que rotan en sentido horario, abriendo una gran fisura que permite la extensión cortical y la intrusión de magma.

En la ZVT la estructura tectónica se ha definido como el *rift* de Taupo, que se localiza geográficamente en el mismo área que los volcanes, constituyendo, por tanto, una cuenca intra-arco volcánico (Villamor y Berryman, 2006a; figura 7A).

Esta es una diferencia principal respecto al resto del surco de Tonga-Kermadec, donde la cuenca extensional se sitúa tras el arco volcánico. Otra peculiaridad de la ZVT es que el tipo de vulcanismo varía a lo largo del *rift*, con vulcanismo andesítico y dacítico predominante en el sur y norte de la ZVT, y riolítico en el centro (Wilson et al., 1995). Esta diferencia en el tipo de vulcanismo genera un paisaje distinto en ambas zonas de región, con estrato-volcanes dominando las zonas andesíticas (figura 7a), mientras que en la zona central dominan los grandes lagos en calderas derivadas de erupciones riolíticas explosivas (por ejemplo, el lago de Taupo, de 27 km de diámetro), alternando con domos volcánicos en (figura 7b).

El *rift* de Taupo tiene una dirección NE-SO y una anchura que varía entre 14 km en la zonas norte y 40 km en la sur (Villamor y Berryman, 2001). La estructura está segmentada en la dirección NO-SE (Rowland y Sibson, 2001) configurando zonas en las que predomina una estructura de graben asimétrico, y zonas donde se dan *horst* y *grabens*. El régimen extensional se expresa mediante fallas normales de muy pequeña longitud y espaciado con valores de tasa de deslizamiento entre 1,5 y 0,2 mm/año, y que, conjuntamente, contribuyen a unos 6 mm/año de extensión (Villamor y Berryman, 2001). Diferencias de la geometría de la zona activa del *rift* de Taupo a lo largo de su eje, tales como distinta anchura, distinto espaciado de fallas, distinto espesor de la corteza sismogenética o distinta edad de comienzo de la extensión, han llevado a Villamor y Berryman (2006b) a establecer un modelo de propagación del *rift* hacia el sur coincidiendo con grandes erupciones riolíticas.

#### Bloques y Cuencas del Oeste de la Isla Norte

La provincia de Bloques y Cuencas del Oeste de la Isla Norte (BCOIN; figura 3) es la zona tectónicamente más estable de la Isla Norte. La influencia del límite de placas disminuye hacia el NO, lo cual se ve reflejado en la escasez de estructuras activas y en su tasa de deslizamiento que disminuye hacia el

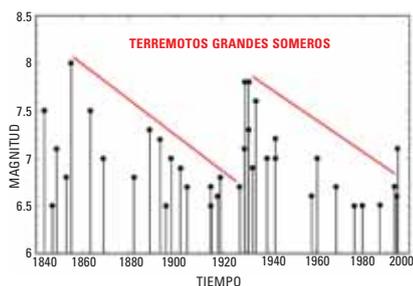


Figura 10. Distribución temporal de terremotos de magnitud  $\geq 6.5$  en Nueva Zelanda. Nótese el patrón cíclico de ~ 70-80 años para la ocurrencia de grandes terremotos. Figura facilitada por Russell Robinson.

oeste. En la mitad norte de la BCOIN predominan fallas normales de dirección NO-SE con tasas de deslizamiento de  $\leq 1$  mm/año. Un ejemplo es la falla de Kerepehi (Persaud et al., 2003), única falla activa de un *rift* extinto ligado a la subducción durante el Mioceno (King, 2000). Otras fallas de menor tasa de deslizamiento y dirección semejante se sitúan algo más al NO, cercanas a Auckland.

En la mitad meridional de la BCOIN, al oeste de la Zona Volcánica de Taupo, el relieve está estructurado en pequeñas cadenas montañosas de dirección NE-SO. Estas formas están relacionadas con la fallas normales que fueron activas durante periodos de extensión de la ZVT en etapas anteriores (la actividad pudo haber cesado hace unos 300.000 años; Villamor y Berryman, 2006a).

La BCOIN contiene, además, dos zonas volcánicas activas. El volcanismo de la región de Auckland (figura 3) no está asociado a la subducción sino al tipo intraplaca. El volcanismo de la región de Taranaki (figura 3) sí parece estar relacionado con la subducción. Tanto el vulcanismo de Taranaki como el sistema de fallas normales al que está asociado muestran una propagación hacia el sur similar a la propagación del *rift* de Taupo, aunque con distinta cronología (King and Thrasher, 1992).

### Sierras y Cuencas de Nelson-Westland y Canterbury-Otago-Southland

La región de las Sierras y Cuencas de Nelson-Westland (SCNW) y la región de Sierras y Cuencas de Canterbury-Otago-Southland (SCCOS) se sitúan al NO y SE

de la falla Alpina respectivamente (figura 3). El relieve de ambas regiones está compuesto por sierras bajas y valles elongados en dirección NE-SO y NO-SE asociados a pliegues y a fallas de tipo inverso con planos de buzamiento elevado y tasas de deformación bajas ( $\leq 1$  mm/año; Berryman y Bealand, 1991; Nicol et al., 1994; figura 8). Este paisaje es semejante al descrito para la parte sur de la ZMSH. La diferencia principal entre el paisaje de las provincias descritas en este apartado y la ZMSH es que la extensa superficie geomorfológica que delinea los anticlinales y sinclinales es de edad cretácica en la SCNW y la SCCOS, y pliocena en la ZMSH.

### Plataforma de Canterbury-Chatams

Al norte de la SCCOS la banda de deformación del contacto de placas se adelgaza considerablemente, de forma que la tasa de deformación es extremadamente baja en la región de Christchurch. Esta zona ha sido descrita como la Plataforma de Canterbury-Chatams (PCC) y es prácticamente estable (Berryman, 1994). El paisaje de la PCC se caracteriza por extensas llanuras formadas por abanicos aluviales de baja pendiente provenientes de los Alpes del Sur. Estas llanuras están sometidas a una subsidencia lenta (véanse referencias en Berryman, 1994). Ríos de carácter *braided* desde su origen hasta su desembocadura en el océano Pacífico, depositan grandes cantidades de sedimentos que provienen de la gran erosión a la que están sometidos los Alpes del Sur, debido a su elevada tasa de levantamiento (figura 9).

### Actividad tectónica futura

La alta tasa de actividad tectónica en Nueva Zelanda se refleja tanto en la elevada sismicidad actual, como en la ocurrencia de un gran número de terremotos históricos (figura 2B), a pesar de la corta duración del periodo histórico de Nueva Zelanda (~ 250 años). La mayor parte de los terremotos históricos grandes (magnitud  $\geq 7.0$ ) han tenido lugar desde 1840 a 1950, mientras que en los últimos 50 años la actividad ha sido muy escasa (figura 2B). En la figura 10 se muestra el patrón de ocurrencia de terremotos de magnitud  $\geq 6.5$  en el tiempo.

Esta gráfica muestra dos ciclos de ~ 70-80 años de duración que comienzan con grandes terremotos de magnitud  $\geq 7.5$  y continúan con terremotos de magnitud decreciente. De este patrón puede interpretarse que la energía elástica acumulada en el contacto de placas se libera en ciclos que comienzan con un gran terremoto. La gráfica muestra, también, que probablemente nos encontremos actualmente en la parte final de un ciclo.

Si a tal interpretación le añadimos los resultados de estudios paleosísmicos de algunas grandes fallas, que indican que éstas están cercanas al final de su ciclo sísmico, es decir, cercanas a la rotura (por ejemplo, la falla Alpina; Norris et al., 2001), es posible que en los próximos 20 años alguna región de Nueva Zelanda experimente un terremoto devastador. En los últimos años algunos terremotos de magnitud  $\geq 6.5$  han sido registrados cercanos a la costa de Fiordland (en 2003 y 2004; figura 2b y 3). ¿Representan estos terremotos en Fiordland el principio de un nuevo ciclo? Si es así, ¿qué fallas romperán, la falla Alpina, el plano de subducción? ¿Zonas de población elevada, como la región de Wellington, formarán parte de este nuevo ciclo?

Por el momento, sólo podemos utilizar todas las herramientas disponibles para seguir acumulando conocimiento, desarrollando modelos numéricos cada vez más sofisticados que expliquen la liberación de la energía, intentado comprender los patrones de interacción entre distintas fallas, y, ¿por qué no?, confiar en que Rauamoko (dios maorí de los terremotos y volcanes) nos ilumine.

### Agradecimientos

Estamos muy agradecidos a José Luis Barrera por invitarnos a presentar este resumen; a José Martínez Díaz, Rafael Benites y José Luis Barrera por revisar el artículo; a Russel Robinson, Jim Cousins, Mauri MacSaveney y Dan Barker por facilitar figuras y referencias bibliográficas.

## Bibliografía

- Beavan, R.J., Haines, J. (2001). Contemporary horizontal velocity and strain rate fields of the Pacific-Australian plate boundary zone through New Zealand. *Journal of Geophysical Research. Solid Earth.*, 106 (B1): 741-770.
- Berryman, K. R. (1994). The Quaternary tectonic framework of New Zealand and relationship to earthquake hazard. *Journal of Geography*, 103 (7):799-808.
- Berryman, K., Beanland, S. (1991). Variation in fault behaviour in different tectonic provinces of New Zealand. *Journal of Structural Geology* 13(2): 177-189.
- Berryman, K. R., Beanland, S., Cooper, A. F., Cutten, H. N., Norris, R. J., Wood, P. R. (1992). The Alpine fault, New Zealand: variation in Quaternary structural style and geomorphic expression. 1992. *Annales Tectonicae*, Supplement to Volume 6, 126-163.
- Berryman K., Marden M., Eden D., Mazengarb C., Ota Y., Moriya I. (2000). Tectonic and paleoclimatic significance of Quaternary river terraces of the Waipaoa River, east coast, North Island, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* 43 (2): 229-245.
- Berryman, K, Van Dissen, R, Villamor, P, Langridge, R, Litchfield, N, Nicol, A, Cochran, U., Wells, A., Stirling, M. (2006). Digging up New Zealand's Largest Earthquakes: Paleoseismology Research at GNS Science. In: *Earthquakes and urban development: New Zealand Geotechnical Society 2006 Symposium, Nelson, February 2006. Institution of Professional Engineers. Proceedings of technical groups, Institution of Professional Engineers New Zealand* 31(1): 369-383.
- Cashman, S.M., Kelsey, H.M., Erdman, C.F., Cutten, H.N.C., Berryman, K.R. (1992). Strain partitioning between structural domains in the forearc of the Hikurangi Subduction Zone, New Zealand. *Tectonics*, 11(2):242-257.
- Cochran, U., Berryman, K., Zachariassen, J., Mildenhall D., Hayward, B, Southall, K., Hollis, C., Barker, P., Wallace, L., Alloway, B., Wilson, K. (2006). Paleocological insights into subduction zone earthquake occurrence, eastern North Island, New Zealand. *Geological Society of America Bulletin*, 118 (9/10): 1051-1074.
- DeMets, C., R. Gordon, G. Argus, D. F., Stein. S. (1994). Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions, *Geophysical Research Letters*, 21, 2191-2194.
- Grapes, R., Downes, G. (1997). The 1855 Wairarapa, New Zealand, Earthquake-Analysis of historical data. *Bulletin of the New Zealand Earthquake Engineering Society*, 30: 271-368.
- Kelsey, Harvey M., Hull, Alan G., Cashman, Susan M., Berryman, Kelvin R., Cashman, Patricia H., Trexler, James H., Jr., Begg, John G. (1998). Paleoseismology of an active reverse fault in a forearc setting; the Poukawa fault zone, Hikurangi forearc, New Zealand. *Geological Society of America Bulletin*, 110: 1123-1148.
- King P.R. (2000). Tectonic reconstructions of New Zealand: 40 Ma to the present. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 43 (4): 611-638.
- King, P.R.; Thrasher, G.P. (1992). Post-Eocene development of the Taranaki Basin, New Zealand: convergent overprint of a passive margin. *En Watkins, J.S.; Zhiqiang, F.; McMillen, K.J. (eds). Geology and geophysics of continental margins. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists. AAPG memoir*, 53: 93-118.
- Langridge R.M., Berryman K.R. (2005). Morphology and slip rate of the Hurunui section of the Hope Fault, South Island, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* (1): 43-57.
- Lebrun, J.F., Lamarche, G., Collet, J.Y. (2003). Subduction initiation at a strike-slip plate boundary; the Cenozoic Pacific-Australian plate boundary, south of New Zealand. *Journal of Geophysical Research, B, Solid Earth.*, 108 (9): Art. No. 2453.
- Litchfield, N., Ellis, S., Berryman, K, Nicol, A. (2006). Subduction related uplift in the Hikurangi Margin, New Zealand. *Journal Geophysical Research. Earth Surface*.
- McSaveney, M., Graham, I.J., Begg, J.G., Beu, A.G., Hull, A.G., Kim, K., Zondervan, A. (2006). Late Holocene uplift of beach ridges at Turakirae Head, South Wellington coast, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 49: 337-358.
- Mouslopoulou, V., Nicol, A., Little, T.A. & Walsh, J.J. (2006) (en prensa). Terminations of large strike-slip faults: an alternative model from New Zealand. In: *Tectonics of Strike-Slip Restraining and Releasing Bends in Continental and Oceanic Settings. Geological Society of London, Special Publication*.
- Nicol, A., Alloway, B., Tonkin, P. (1994). Rates of deformation, uplift, and landscape development associated with active folding in the Waipara area of North Canterbury, New Zealand. *Tectonics*, 13 (6): 1327-1344.
- Norris R.J., Cooper. A.F. (2000). Late Quaternary slip rates and slip partitioning on the Alpine Fault, New Zealand. *Journal of Structural Geology*, 23: 507-520.
- Norris, R.J., Cooper, A.F., Wright, T., Berryman, K. (2001). Dating of past Alpine fault rupture in south Westland. *Earthquake Commission report*, 99/341.
- Persaud, M., Berryman, K.R., Villamor, P. (2003). Paleoseismology of the Kerepehi Fault, Hauraki graben. *Geological Society of New Zealand miscellaneous publication* 116A: 118.
- Rowland, J.V., Sibson, R.H. (2001). Extensional fault kinematics within the Taupo Volcanic Zone, New Zealand: soft-linked segmentation of a continental rift system. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 44: 271-283.
- Stirling, M.W., Wesnousky, S.G., Berryman, K.R. (1998). Probabilistic seismic hazard analysis of New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 41: 355-375.
- Van Dissen, R.J., Berryman, K.R. (1996). Surface rupture earthquakes over the last ~1000 years in the Wellington region, New Zealand, and implications for ground shaking hazard. *Journal of Geophysical Research. Solid Earth*, 101(B3): 5999-6019.
- Villamor, P., Berryman, K.R. (2001). A late Quaternary extension rate in the Taupo Volcanic Zone, New Zealand, derived from fault slip data. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 44: 243-269.
- Villamor, P., Berryman, K. (2006a). Late Quaternary geometry and kinematics of faults at the southern termination of the Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 49: 1-21.
- Villamor, P., Berryman, K.R. (2006b). Evolution of the southern termination of the Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 49: 23-37.
- Wallace, L.M., Beavan, J., McCaffrey, R., Darby, D. (2004). Subduction zone coupling and tectonic block rotations in the North Island, New Zealand. *Journal Geophysical Research* 109, B12406, doi:10.1029/2004JB003241.
- Wilson, C.J.N., Houghton, B.F., McWilliams, M.O., Lanphere, M.A., Weaver, S.D., Briggs, R.M. (1995). Volcanic and structural evolution of Taupo Volcanic Zone, New Zealand: a review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 68: 1-28.

# Interpretación de la Geología: las geo→rutas del **Parque Natural del Alto Tajo**

El Parque Natural del Alto Tajo se ubica en el sector oriental de la provincia de Guadalajara, incluyendo también una zona del noreste de la provincia de Cuenca (*figuras 1 y 2*). Es uno de los cuatro parques naturales de Castilla-La Mancha y fue declarado como tal en el año 2000. Con sus 105.000 ha de superficie constituye uno de los espacios naturales protegidos más extensos de España y de Europa. Engloba a 35 términos municipales y la localidad más importante del entorno es Molina de Aragón, que queda fuera del perímetro protegido.

**Texto** | Luis Carcavilla Urquí, doctor en Geología. TRAGSATEC

El curso alto del Tajo es el elemento vertebrador del Parque y por ello le da nombre, si bien el nacimiento del río se sitúa en la provincia de Teruel. El Tajo presenta en este sector un trazado muy encajado, al igual que casi todos sus tributarios, lo que da lugar a una extensa red fluvial en la que los cañones fluviales adquieren especial relevancia y desarrollo.

Los aspectos geológicos destacan entre los muchos valores naturales que hacen, del Alto Tajo, uno de los enclaves de mayor valor natural de la península Ibérica. Pero al margen de este rico patrimonio geológico, quizá lo que proporcione una mayor singularidad a este espacio natural, desde el punto de vista geológico, sea la gran variedad geológica que presenta, lo que permite al público visitante observar una enorme diversidad de elementos geológicos, muchos de los cuales tienen un alto potencial didáctico-divulgativo.

La geodiversidad del Alto Tajo está representada por la presencia de importantes series estratigráficas del Silúrico, Ordovícico, Triásico, Jurásico y Cretácico superior. También la diversidad litológica es excepcional, con potentes afloramientos de pizarras y cuarcitas, conglomerados, areniscas, calizas dolomías, arenas y rocas volcánicas

(dacitas). Pero sobre todo, es la variedad de elementos geomorfológicos lo que proporciona a este espacio protegido un excepcional interés de cara a la divulgación-interpretación. Además del cañón fluvio-kárstico del río Tajo, que da nombre al Parque Natural, destacan otros cañones que ríos como el Arandilla y el Gallo han labrado sobre las areniscas y conglomerados del Buntsandstein (*figura 3*). Además, manifestaciones kársticas como cavidades, dolinas, poljés, surgencias y relieves ruñiformes (*figura 4*). También espectaculares pliegues y cabalgamientos (*figura 5*), niveles ricos en fósiles (entre ellos uno de los yacimientos más importantes de la Península de graptolitos) y edificios travertínicos de grandes dimensiones (algunos de los cuales están activos en la actualidad). A esto hay que sumar la presencia de cascadas (*figura 6*) y lagunas de agua salobre, diversas manifestaciones periglaciares como turberas y ríos de bloques (*figura 7*), y niveles ricos en minerales como Aragonitos y Jacintos de Compostela. Además, numerosos afloramientos constituyen excelentes ejemplos para relacionar la geología con el patrimonio cultural y las costumbres y los usos que los habitantes de la zona han dado al suelo, lo que hace aún más evidente que, el Alto Tajo, es un lugar ideal para

Palabras clave

**Alto Tajo, interpretación, geodiversidad, Guadalajara**

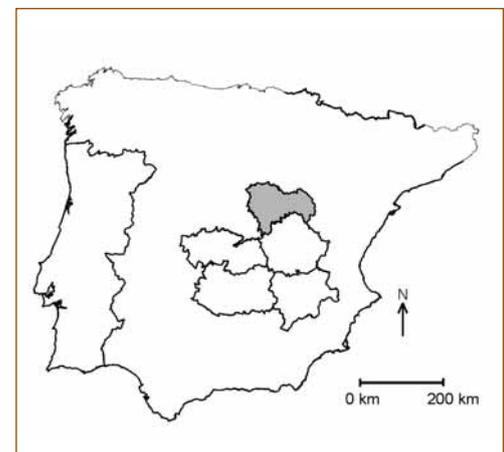


Figura 1. Localización de la Comunidad de Castilla-La Mancha y de la provincia de Guadalajara.

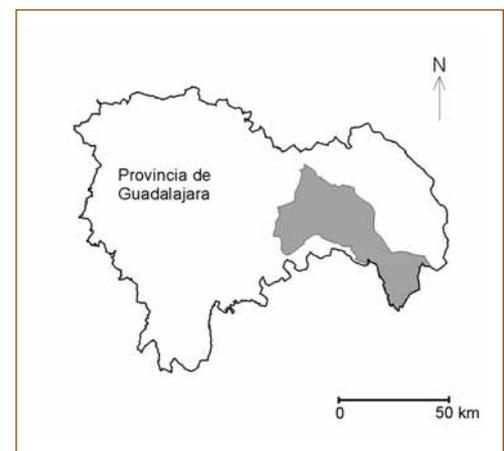


Figura 2. Provincia de Guadalajara y localización del Parque Natural de Alto Tajo.

desarrollar una iniciativa de aproximación de la geología al público general.



Figura 6. Los travertinos del Salto de Poveda. Geo→ruta 7.

equipadas con material interpretativo estático. Se eligieron los itinerarios autoguiados como sistema ideal para la interpretación porque permiten acercar al público visitante a lugares concretos de manera autónoma, por lo que son sistemas relativamente económicos y que permiten al público elegir su propio ritmo y el momento de la visita. Además, permiten canalizar y distribuir el movimiento de los visitantes dentro del espacio protegido, constituyendo una importante herramienta de gestión.

### Las geo→rutas

Así se ha denominado a los itinerarios dedicados a la interpretación de la geología del Parque Natural del Alto Tajo. Han sido puestas en marcha en junio de 2006 y son nueve (figura 8), siendo su objetivo acercar al público general los aspectos geológicos más significativos del Parque mediante unas rutas que se pueden recorrer a pie o en vehículo, siendo la mayoría de ellas de carácter mixto. Recorrer una ruta íntegramente puede llevar entre dos y cinco horas dependiendo de la ruta elegida, ya que algunas de ellas proponen excursiones a pie opcionales que alargan la duración del recorrido. Muchas rutas empiezan o acaban

en áreas recreativas o poblaciones que poseen infraestructuras de hostelería, lo que facilita la logística de la visita.

Las rutas se han diseñado de manera que no sólo se atiende al interés de los elementos geológicos visitados, sino también que representen los principales conjuntos paisajísticos del Parque. Por ello, hay rutas que suben a los puntos más altos de la sierra, que recorren los cañones del Tajo y otros ríos, como el Gallo y el Arandilla, o que discurren por el páramo. Esto proporciona una variedad que hace que cada una de las rutas tenga su interés particular y la diferencie del resto. Además, también se ha atendido a la distribución geográfica a la hora de diseñar las rutas, de manera que cubren gran parte del Parque.

Cada ruta tiene aproximadamente unas 10 paradas y tiene un título que relaciona los lugares visitados. Estos títulos hacen de hilo conductor y han sido pensados de manera que resuman las características geológicas visitadas y que, en cierto modo, animen a la visita. Algunos ejemplos de títulos son "Secretos escondidos en las rocas", "En el interior del cañón" o "Un mosaico de geodiversidad".



Figura 7. El río de bloques del Arroyo del Enebral. Orea. Geo→ruta 9.

Por otro lado, la elección de las paradas de cada ruta ha respondido a varias premisas. En primer lugar, se buscaba que fueran lugares con alto potencial interpretativo, que sirvieran para ilustrar a los visitantes algún aspecto geológico de interés. Es tan rico el patrimonio geológico del Alto Tajo y tan alto su potencial didáctico, que el principal problema al que nos enfrentamos a la hora de diseñar las rutas fue elegir qué

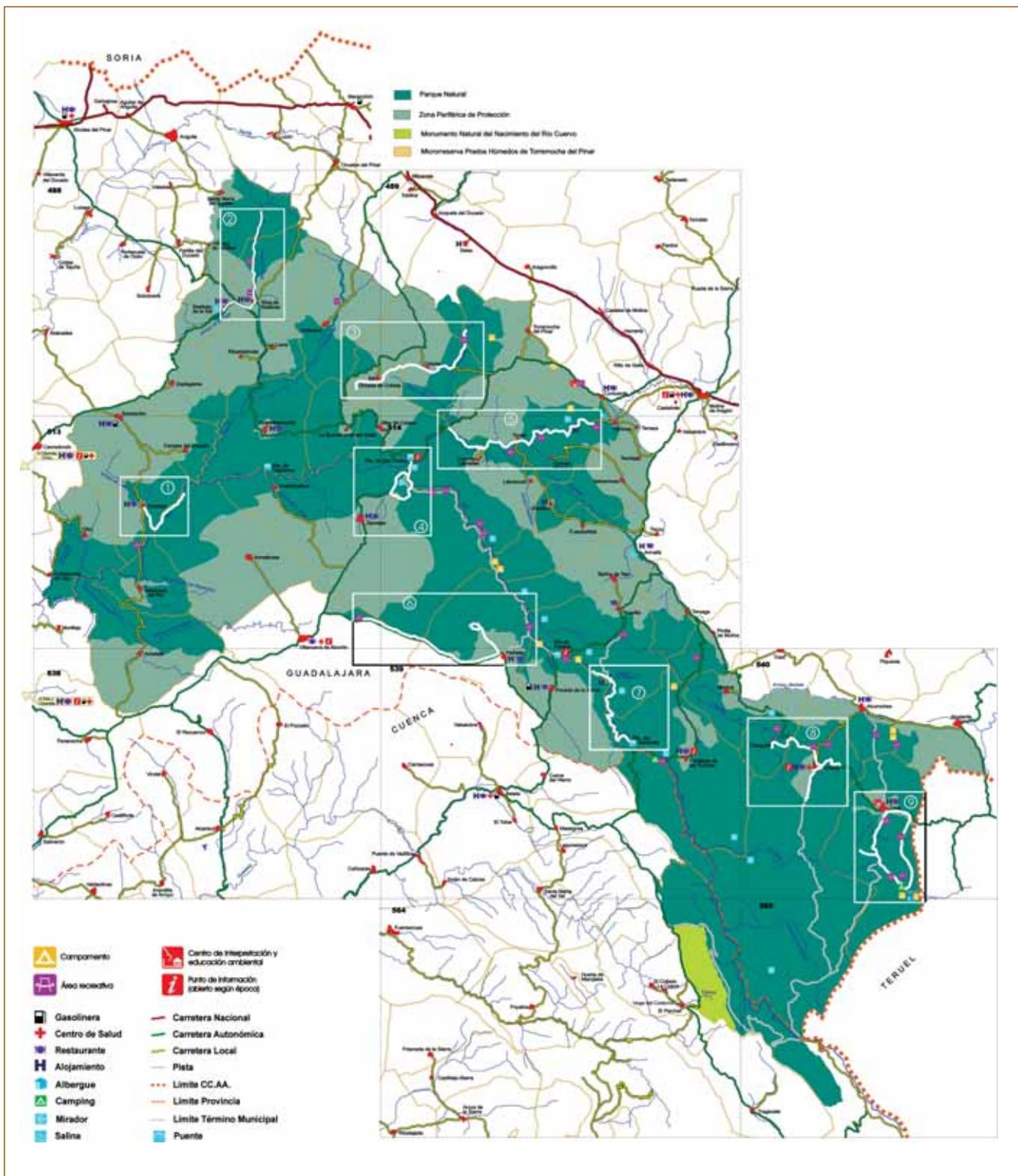


Figura 8. Mapa del Parque Natural del Alto Tajo y localización de las nueve geo-rutas.

paradas eran descartadas en cada ruta, para que no fueran demasiado largas. Por otro lado, también se buscaba un acceso cómodo y seguro, exento de riesgos potenciales y que tuviera fácil enlace con las otras paradas de la ruta. También se valoró la fragilidad de los enclaves, de manera que la visita no amenazara la

conservación de los elementos en los que se centra la interpretación, hecho especialmente importante en lugares susceptibles de sufrir los efectos del vandalismo o expolio. Por último, se buscó la conexión con otras infraestructuras presentes en el Parque, ya fueran de tipo recreativo o interpretativo.

Cada parada está equipada con paneles interpretativos o con placas de cerámica. En total, se han instalado 40 paneles y 37 placas cuyo objetivo es facilitar la interpretación de afloramientos y morfologías. También se han instalado tres áreas experimentales que permitirán, de manera interactiva,



Figura 9. Folletos de las geo-rutas.

entender mejor los procesos geológicos que han actuado en el área del Parque Natural. A esto hay que sumar la edición de un folleto para cada ruta y uno general que explica las características geológicas del Parque (figura 9). Este último folleto hace hincapié en la diversidad geológica que presenta el Parque Natural, y describe las principales características geológicas del mismo. En el futuro está planeado editar una guía geológica que complemente la información ya disponible.

### ¿A quién están orientadas?

Es fundamental entender que este proyecto se enmarca en un espacio protegido, cuyos visitantes acuden en busca del contacto con la naturaleza y demandan actividades de ocio. Por ello, las rutas han sido diseñadas para un público general, con unos conocimientos muy básicos de geología, que es el perfil medio del visitante a este espacio protegido. Es, por tanto, una iniciativa de interpretación cuyo objetivo, más que aleccionar a los visitantes sobre aspectos geológicos, es transmitir una información de manera atractiva y con un mensaje sugerente, que permita al público entender cómo se formaron algunos de los elementos geológicos presentes en el Parque. Por ello, no hemos perdido nunca de vista el trasfondo recreativo que debe primar en este tipo de iniciativas, en las que la motivación de la visita proviene del propio sujeto y suele realizarse en días festivos y periodos vacacionales.

Aún así, hemos pretendido satisfacer la demanda de dos grupos diferentes de visitantes. Por un lado, la de las



Figura 10. Uno de los paneles interpretativos instalados en el Parque.

personas que visitan el Parque y que, sin recorrer las rutas, se encuentran los paneles, ya que estos están situados en lugares muy visitados. El primer objetivo del panel será provocar la curiosidad y atraer la atención del visitante, mediante un diseño gráfico lo más atractivo posible. Se pretende que estas personas entiendan la información proporcionada en los paneles y, si les gusta, que se animen a recorrer la ruta entera. Por ello, la información de los paneles suele ser muy básica y ausente de tecnicismos, y puede entenderse sin necesidad de haber leído los paneles anteriores de la ruta.

El otro público potencial es el de las personas que se animen a recorrer las rutas. Para ello necesitarán hacerse con el folleto que explica la ubicación exacta de las paradas. Pero además, el folleto proporciona una información adicional sobre cada parada, con un nivel de complejidad algo mayor al de los paneles. También se establece la relación entre las diferentes paradas de la ruta, permitiendo entender la ruta no como una sucesión de paradas independientes, sino como un recorrido que cuenta con un argumento que queda reflejado en el título de la ruta.

Con la futura edición de la guía de campo se pretende cubrir las necesidades de un público más especializado, incluso que

sea útil a grupos de escolares que acudan acompañados de un profesor. Y por último, aunque esté orientada a un público general, pensamos que las geo-rutas también son interesantes para los geólogos, en especial para aquellos que no conozcan el Alto Tajo, ya que les permitirá localizar afloramientos interesantes.

### Paneles, placas y áreas experimentales

Cada parada de la ruta está equipada con un panel, una placa de cerámica o un área experimental. Los paneles son de tres tamaños diferentes (los más grandes tienen 1,50 m x 0,75 y los más pequeños 0,70 m x 0,40), pero todos tienen el mismo formato (figura 10). En su extremo izquierdo se refleja el número de ruta y de parada, el logotipo de las rutas (un ammonites) y los iconos corporativos de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. El resto del panel se dedica al aspecto tratado en la parada, y se ha pretendido que los paneles tengan poco texto y muchas imágenes, ya sean fotos interpretadas, bloques-diagrama simples o dibujos. Cada parada tiene un título, que tiene como objetivo capturar la atención, de ahí que se suela recurrir a frases impactantes o que despierten, en cierto modo, la curiosidad.



Figura 11. Ejemplo de una de las placas de cerámica. Geo→ruta 3.

Las placas de cerámica tienen unas dimensiones similares a las de un DIN A4 (figura 11). Tienen una estructura muy parecida al de los paneles, y siempre cuentan con un dibujo o esquema del afloramiento en el que se sitúan, y un texto explicativo. Para su fabricación se combinan procesos digitales y artesanales, dando como resultado un soporte simple, resistente y muy atractivo. Por su pequeño tamaño suelen situarse sobre la roca del afloramiento que describen.

En tres rutas se ha instalado un área experimental. Se pretende que en ellas el público entienda mejor algunos procesos geológicos, como el plegamiento o la karstificación. Para ello, en una ruta se ha instalado un artefacto que recrea cómo se forman unos pliegues situados en esa parada; en otra ruta se expone una maqueta de un macizo kárstico en la que el visitante acciona un mecanismo que bombea agua y recrea cómo ésta circula en el interior del macizo kárstico, y en otra se ha instalado una colección de rocas del Parque en la que unas lupas de 12 aumentos permiten observar con detalle la textura de cada muestra. Buscando el equilibrio entre la experimentación y la resistencia al vandalismo, se pretende que estas áreas experimentales ofrezcan un punto de vista novedoso a la hora de observar los afloramientos geológicos.

### Otras infraestructuras

La puesta en marcha de estas rutas ha exigido la realización de varias obras relacionadas con el acondicionamiento del lugar donde se realizan las paradas, fundamentalmente aparcamientos y escaleras que facilitan el acceso. Pero también se ha aprovechado para realizar varias acciones de restauración de lugares degradados o modificados, así como para instalar protección física a lugares frágiles. Tal es el caso de varios edificios travertínicos activos, un yacimiento de fósiles de graptolitos situado en Checa, o un dropstone situado en esta misma localidad, de manera que la geoconservación y la divulgación han ido paralelas en este proyecto.

En total, la puesta en marcha de las geo→rutas ha implicado el trabajo de dos geólogos, el equipo gestor del Parque Natural, dos diseñadores gráficos, dos ceramistas, un carpintero, dos herreros, dos canteros, tres imprentas, un capataz de obra y una cuadrilla de obreros. Una ardua labor de coordinación ha sido necesaria para intentar que el trabajo fuera lo más fluido posible. Además, diversos investigadores ligados fundamentalmente a la facultad de Geología de la Universidad Complutense de Madrid han prestado su desinteresada colaboración, lo que se ha reflejado

en una evidente mejora del material interpretativo.

### ¿Cómo visitar las geo→rutas?

Tan sólo es necesario hacerse con el folleto de la ruta, en el que se explica cómo acceder a cada una de las paradas. Estos folletos están disponibles en los centros de interpretación (actualmente sólo funciona el de Corduente, pero en el futuro entrarán en funcionamiento los de Orea y Riba de Saelices). También se podrán adquirir en los puntos de información del Parque y en los establecimientos asociados. Los folletos son gratuitos y se pretende que en el futuro estén disponibles en internet para que el visitante se los pueda descargar desde su propio domicilio de manera gratuita.

El Parque Natural es muy extenso, por lo que algunas rutas están muy alejadas entre sí. Por ello conviene mirar en el mapa y planear qué parte del Parque queramos visitar en función del acceso escogido, y elegir la ruta más cercana. Como datos de referencia, Molina de Aragón se encuentra a unos 100 km de Teruel capital, a aproximadamente 150 de Guadalajara y Zaragoza, a 200 de Madrid y a 250 km de Valencia.

Otra opción es elegir el recorrido por su temática. Así, la Geo→Ruta 1 (Hundido de Armallones) describe los elementos que conforman un cañón fluvio-kárstico y el espectacular pliegue tumbado que cierra la hoz; la geo→ruta 2 (Riba de Saelices-Saelices de la Sal) se centra en la relación entre geología y paisaje; la geo→ruta 3 (Cobeta-Bco. del Arandilla) relaciona los aspectos geológicos con el patrimonio cultural y recorre este singular barranco; la geo→ruta 4 (Pte. de San Pedro-Mirador de Zaorejas) empieza con un áreas experimental dedicada al karst y realiza una espectacular visita a un edificio travertínico para finalizar con fantásticas vistas del cañón del Tajo; la geo→ruta 5 (Barranco de la Hoz-Cuevas Labradas) es la más enfocada a describir aspectos paleogeográficos, discurre por el famoso Barranco de la Hoz y tiene un área experimental dedicada al

plegamiento; la Geo→Ruta 6 (Sima de Alcorón-Peñalén) se centra en describir los problemas de la conservación del medio ambiente y visita varias manifestaciones kársticas; la geo→ruta 7 (Laguna de Taravilla-Salto de Poveda-Peralejos de las Truchas) recorre un tramo del cañón del Tajo y visita la siempre

atractiva Laguna de Taravilla; la geo→ruta 8 empieza en un área experimental dedicada a la diversidad litológica del Parque y presenta una gran variedad de elementos geológicos de distinta naturaleza; al igual que la geo→ruta 9 que recorre la Sierra de Orea, el sector más elevado del Parque Natural.

### Bibliografía

- Cocero, A. (1999). *Plan de Ordenación de los Recursos Naturales del Alto Tajo. TRAGSATEC y Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha*. (Inédito)
- Guerrero, L. y González Martín. (2000). Características geomorfológicas del modelado de construcción tobáceo del Alto Tajo en su fondo de Valle (Peralejos de las truchas-Guadalajara). *Geotemas* 1 (3), 376-378.
- Gutiérrez-Marco, J.C., Segura, M., Herranz, P. y Pieren, A. (2004). *Excursión al Alto Tajo. Asociación de Geólogos y Geofísicos Españoles del Petróleo AGGEP*. 16 p. (Inédito)
- Gutiérrez-Marco, J.C., Rábano, I., Herranz, P., San José, M.A., Sarmiento, G. y Pieren, A. (2001). *La sección de Checa (Guadalajara), un referente bioestratigráfico mundial para el Silúrico inferior. Comunicaciones de la V Reunión Nacional de la Comisión de Patrimonio Geológico de la Sociedad Geológica de España*. (Inédito)
- Lago, M., Gil-Imaz, A., Arranz, E., Bastida, J. y Pocoví, A. (1995). Emplazamiento, petrología y geoquímica del complejo volcano-clástico de Orea (Guadalajara, Cadena Ibérica Occidental). *Cuaderno Geológico de Laxe* 20, 195-212.

### Agradecimientos

Queremos agradecer la ayuda prestada por numerosas personas a la hora de preparar el material interpretativo. En especial al Dr. Álvaro García Quintana y al Dr. José Francisco Martín-Duque, ambos de la Universidad Complutense de Madrid, que se ofrecieron a revisar parte de los textos escritos. También queremos agradecer las entusiastas sugerencias realizadas por el Dr. Andrew Godfrey, del Servicio Forestal de EEUU, y el Dr. Tomas Hose, de la Buckinghamshire Chilterns University de Londres. Igualmente, las recomendaciones realizadas por personas no especialistas en geología, como numerosos técnicos de la Delegación de Guadalajara de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, compañeros de Tragsatec y a los numerosos amigos y familiares que se animaron a recorrer las rutas con los bocetos de los paneles y placas, cuya ayuda nos sirvió para mejorar notablemente el resultado final.



## 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)



# Destrucción en **Peña Corneira**

Peña Corneira es un paraje situado en la comarca del Ribeiro, entre los municipios de Leiro y Carballeda de Avia, en la provincia de Ourense. Su nombre se debe a un “cuerno de piedra” alargado hacia el cielo de unos 20 metros de altura destacando sobre un pétreo cúmulo de granodiorita que rodea todo el paraje. Desde lo más alto de este enclave, a unos 667 m, se observa una extensa vista panorámica de un peculiar paisaje granítico.

Esta zona presenta un modelado granítico excepcional dentro de los paisajes gallegos. Se trata de un conjunto de suaves cerros salpicados por “bolos graníticos” que forman los bordes de un macizo granítico postcinemático de planta circular. Se vislumbra, de este modo, un fascinante anfiteatro de bolas graníticas perceptible claramente desde las zonas más altas (como el alto de Cenlle). Esta forma circular se debe a una intrusión magmática producida hace unos 300 millones de años en la fase final de la formación de la Cadena Hercínica. La formación de los “bolos graníticos” se explica por procesos de fragmentación debido al diaclasado durante la descompresión. Se puede apreciar que las bolas no son del todo redondas, y que muchas veces la base sobre la que descansan es algo más estrecha; algunas presentan formas angulares que sólo tienen las aristas un poco redondeadas. También es fácilmente observable, sobre todo en los bloques más angulosos, cómo éstos parecen colocados en una especie de cuadrícula y cómo, en las zonas de roca más profunda, los bloques son completamente angulares separados por fracturas angostas. En la medida en la que nos aproximamos a la superficie se vuelven más y más redondas. Esta disposición nos da la clave para diferenciar un claro proceso de meteorización física por gelifracción. Producto de esta descomposición mecánica del granito, se forma un suelo arenoso o saprolito, propicio para el crecimiento de la

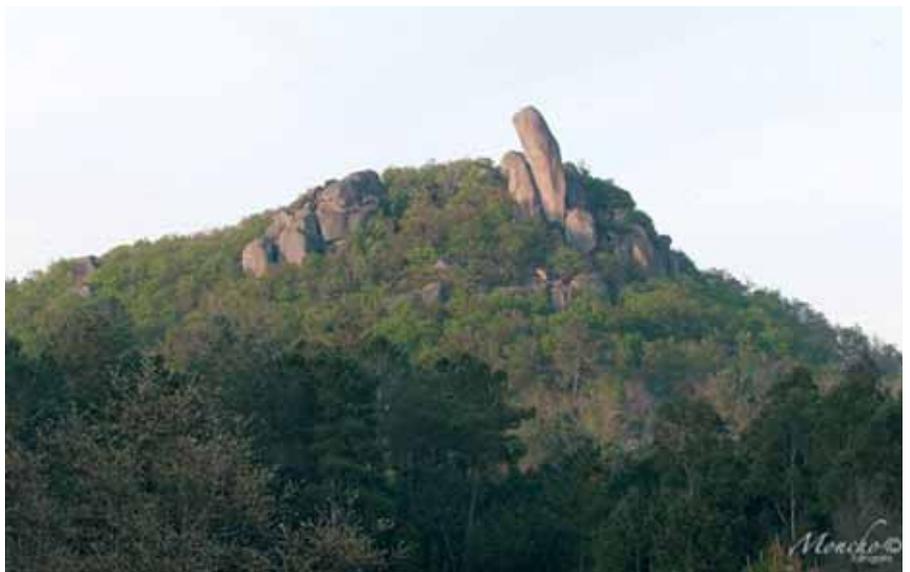


Figura 1. Panorámica de Peña Corneira desde Valdepereira.

“La continuada tala de los bosques, realizada desde época romana, hizo que el manto protector de la vegetación se hiciera insuficiente para mantener el suelo, produciéndose acusados procesos erosivos”

vegetación abundante que, según estudios de polen, hace 3.000 años cubría toda la superficie de Peña Corneira. La continuada tala de los bosques, realizada desde época romana, hizo que el manto protector de la vegetación se hiciera insuficiente para mantener el suelo, produciéndose acusados procesos erosivos. La lluvia

lavaba el área entre las bolas, dejando el esqueleto de bloques redondeados, un modelado dominado por crestas graníticas, en las que los *tors* son las más significativas. Se trata de formas convexas, con desarrollo vertical preferente, que aparecen en este sector en grupos de *tors* asociadas con otras

megaformas. Este tipo de formaciones son frecuentes en medios geomórficos con frecuentes tasas de degradación erosiva.

Sin embargo, Pena Corneira no es sólo importante en la comarca por su belleza paisajística y sus raras características geomorfológicas, debe tenerse en cuenta también su elevado interés etnográfico y arqueológico.

Por todas estas características, Pena Corneira es un espacio natural. Sus formaciones son recursos naturales no renovables de un elevado valor científico, cultural y educativo, que permiten estudiar e interpretar la evolución de la historia geológica de Galicia y los procesos que la modelaron. Este espacio debe resaltarse como punto de interés geológico y geomorfológico, y como una parte fundamental del patrimonio cultural.

Antiguamente, la explotación de la piedra en la zona de Pena Corneira se realizaba de una forma artesanal, con un equilibrio sostenible que beneficiaba a los canteros del entorno. Actualmente, esta actividad en la zona está destruyendo sus valores naturales. La explotación de la piedra es una actividad importante para la economía de la comarca del Ribeiro, sin embargo, ésta debe de realizarse de forma legal y ordenada sin dañar otros recursos explotables que también fundamentan la economía de la región como el turismo. En Pena Corneira existen dos

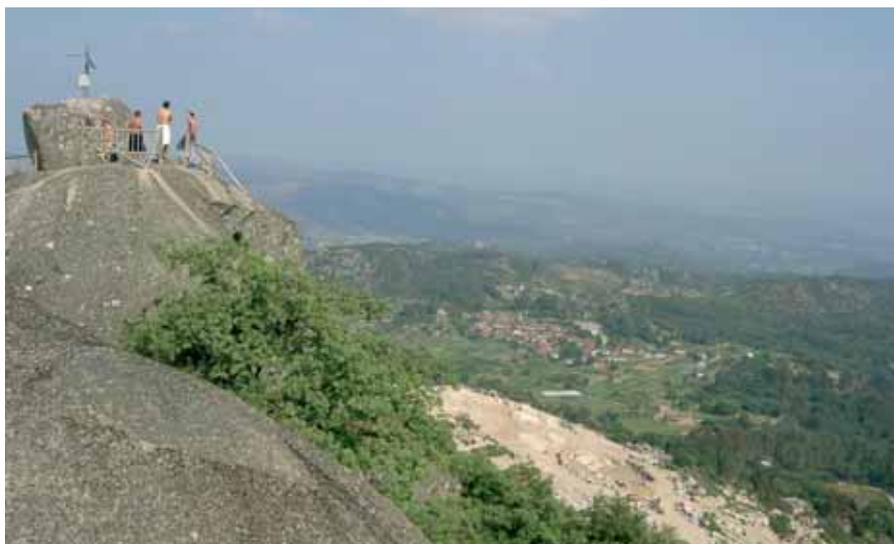


Figura 2. Mirador de Lamas. Equipamiento de uso público situado en el área de estudio cercano a una de las canteras en explotación.

a otra empresa anterior que tuvo que abandonar el área. Ambas canteras son observables desde un radio de varios kilómetros de distancia, y provocan grandes modificaciones en el área, destruyendo las formaciones geológicas existentes y generando impactos visuales graves con sus escombreras. Esta alteración conlleva a una incidencia visual que afecta directamente a la calidad paisajística debido a los fuertes contrastes que provoca. Es necesaria la planificación territorial de forma que se designen las áreas más aptas para la explotación minera en la comarca y cuáles tienen un alto valor geológico, ecológico y turístico.

El pasado mes de abril las administraciones

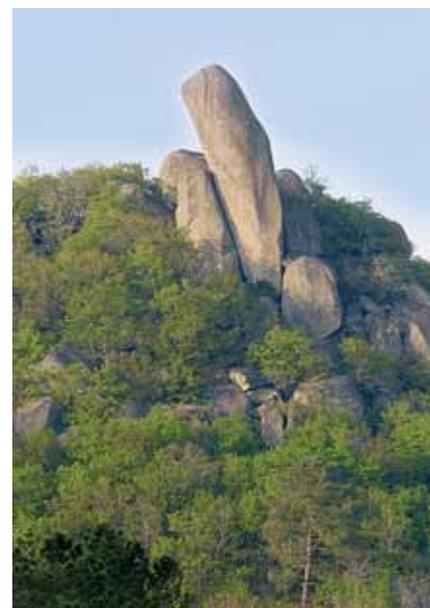


Figura 3. Pena Corneira: el elemento primordial del espacio natural.

**“El pasado mes de abril las administraciones gallegas comenzaron a hablar de declarar Pena Corneira como Monumento Natural, lo que supondría, únicamente admisibles los usos o actividades que no pongan en peligro la conservación de los valores que motivaron su declaración”**

canteras donde se arranca la materia prima para cementos y áridos, a pesar de que estas actividades ya fueron objeto de denuncias por parte del SEPRONA de la Guardia Civil y de multas impuestas por la Consellería de Medio Ambiente de la Xunta de Galicia

gallegas comenzaron a hablar de declarar Pena Corneira como Monumento Natural, figura regulada en la Ley 9/2001, del 21 de agosto, de Conservación de la Naturaleza, lo que supondría, según la propia ley, únicamente admisibles los usos o actividades

que no pongan en peligro la conservación de los valores que motivaron su declaración. Es necesaria la declaración con urgencia de esta figura de protección, la paralización de las explotaciones cercanas existentes y la restauración de los valores dañados de este patrimonio natural, único en Galicia. Queda claro que en Pena Corneira vale más hacer un parque geológico que destruirlo, realizando un aprovechamiento sostenible del mismo para que lo más valioso perdure y pueda ser disfrutado por las futuras generaciones.

*Pilar Selas Chao (Miembro de la Asociación Ecologista “Coto Frade”)*

# Teruel, un paraíso **dinosauriológico**

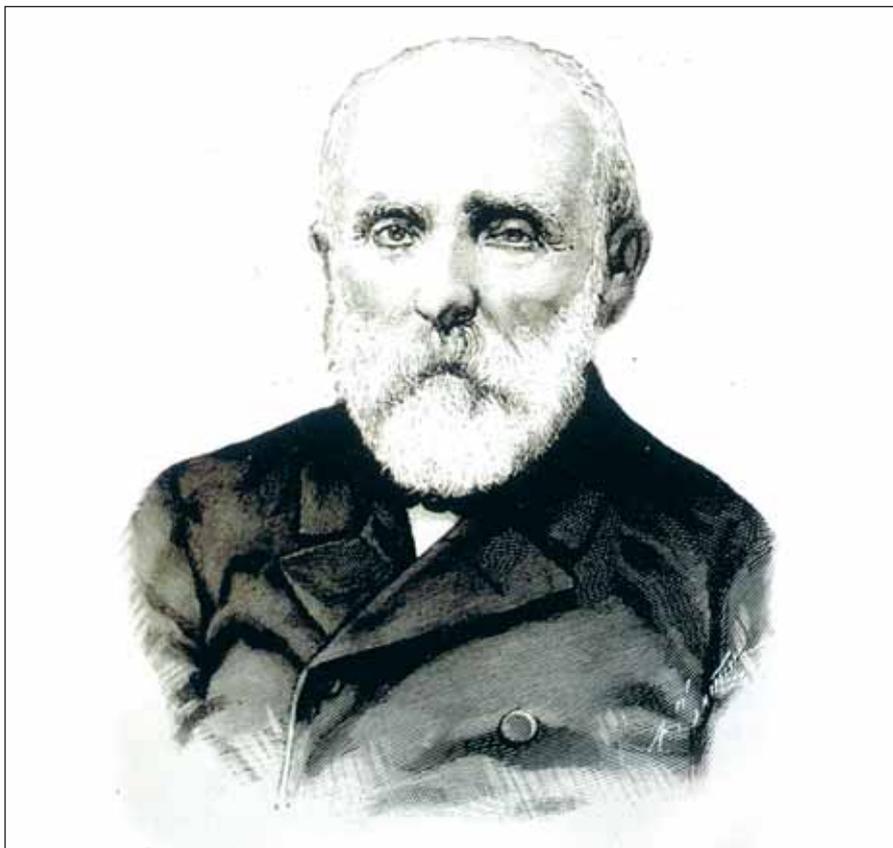
“¿Por qué hay en Teruel más dinosaurios que en otros sitios?” es la pregunta a la que más frecuentemente nos enfrentamos los paleontólogos turolenses. Los avances de la teledetección, atendiendo a cualquiera de sus modalidades, todavía no permiten saber dónde hay más restos de dinosaurios aguardando pacientemente a que un paleontólogo los localice y altere, consecuentemente, su plácido reposo entre sedimentos durante decenas de millones de años. Quién sabe, por tanto, cuál es el lugar español que más tesoros dinosauriológicos custodia, aguardando el momento en el que puedan ser desenterrados masivamente y reunidos por manos humanas, si es que eso llegase a suceder... Sin embargo, nadie discutirá que el nombre de la provincia surge rápidamente en cualquier conversación acerca de dinosaurios españoles.

**TEXTO** | Luis Alcalá, director gerente de la Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel-Dinópolis\*

Palabras clave  
**Dinosaurios, Dinópolis, Teruel**

## Pioneros

Los más informados reconocerán que, finalizando el tercer cuarto del siglo XIX, las referencias en las que Juan Vilanova y Piera (*figura 1*) citó por primera vez dinosaurios españoles, en 1872 y 1873, ya incluían fósiles de dinosaurios encontrados en Teruel, concretamente en la localidad de Utrillas, tan famosa geológicamente por la Formación del Albiense que lleva su nombre. Muchos otros tal vez lo conozcan porque el binomio Dinópolis-Teruel ha motivado su curiosidad, y podrían preguntarse por qué una de las instalaciones más innovadoras que han surgido tras la expansión mundial de la famosa iconografía de Spielberg se ha instalado en Teruel y no en otro lugar. Si estos últimos indagan en la historia de los dinosaurios turolenses, podrán constatar que tras la información pionera de Vilanova hubo un buen vacío informativo hasta que José Royo Gómez trajo de nuevo yacimientos de Teruel a la escena paleontológica: en 1920, Royo



*Figura 1. Juan Vilanova y Piera citó los primeros dinosaurios de Teruel.*

\* La Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel-Dinópolis (Gobierno de Aragón) está reconocida como Museo de Paleontología por el Departamento de Educación, Cultura y Deporte, como Grupo de Investigación Emergente por el Departamento de Ciencia, Tecnología y Universidad, es socio corporativo de la Sociedad Española de Paleontología, pertenece a European Network of Science Centers and Museums (ECSITE) y está inscrita en el Registro de Entidades Adheridas a la Estrategia Aragonesa de Educación Ambiental (EAREA).



Figura 3. Barranco de la Hoz, labrado por el río Gallo en las areniscas y conglomerados del Triásico inferior. Geo➤ruta 5.

### Antecedentes

La presencia de elementos geológicos de alto interés ya fue puesta de manifiesto en los estudios que precedieron a la declaración del Parque Natural. El geólogo Ángel Cocero los identificó en más de 125 puntos de interés geológico repartidos por todo el Parque y que fueron incluidos en el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales (PORN) del Parque. Por otro lado, numerosos trabajos científicos también han resaltado el interés de algunas secciones estratigráficas, yacimientos paleontológicos, afloramientos, estructuras tectónicas y formaciones geomorfológicas. Una poco habitual combinación de variedad y singularidad geológica para un espacio natural que, además, posee unos espectaculares paisajes que hacen atractiva la visita para cualquier tipo de público.

### Uso público del Parque Natural

Durante los meses de verano de este año se han puesto en marcha, en el Parque Natural, varias iniciativas de uso público en las que están presentes los aspectos geológicos. Son, fundamentalmente, las rutas geológicas que más adelante se

describirán, y la puesta en funcionamiento de dos centros de interpretación, uno en la localidad de Orea y otro en Corduente. Este último será el principal y el de mayores dimensiones, y si bien se dedica a mostrar el medio biológico del Alto Tajo, también cuenta con contenidos orientados a describir las características geológicas del Parque Natural. Para ello, a parte de varios paneles con textos e imágenes, se ha confeccionado una maqueta de grandes dimensiones que recrea un macizo kárstico, una sección del cañón del Tajo, en el que se explica su estructura geológica, una pequeña colección de fósiles, minerales y rocas, y una representación con muestras reales de la columna estratigráfica ideal de la zona.

Por otro lado, el importante papel que los elementos geológicos juegan en el contexto del Parque Natural llevó al equipo gestor de este espacio protegido a buscar una herramienta de interpretación que ofreciera a los visitantes una alternativa de ocio. Para ello, el geólogo Esaú Rodríguez diseñó una red de itinerarios autoguiados que recorriera los enclaves geológicamente más significativos del Alto Tajo. Partiendo de esta propuesta inicial y



Figura 4. Espectacular bogaz situado en la paramera de Villanueva de Alcorón. Geo➤ruta 6.



Figura 5. El Hundido de Armallones. Ocentejo. Geo➤ruta 1.

con la participación y supervisión directa de Rafael Ruiz, director-conservador del Parque Natural, desde Tragsatec se diseñaron las rutas definitivas que han sido

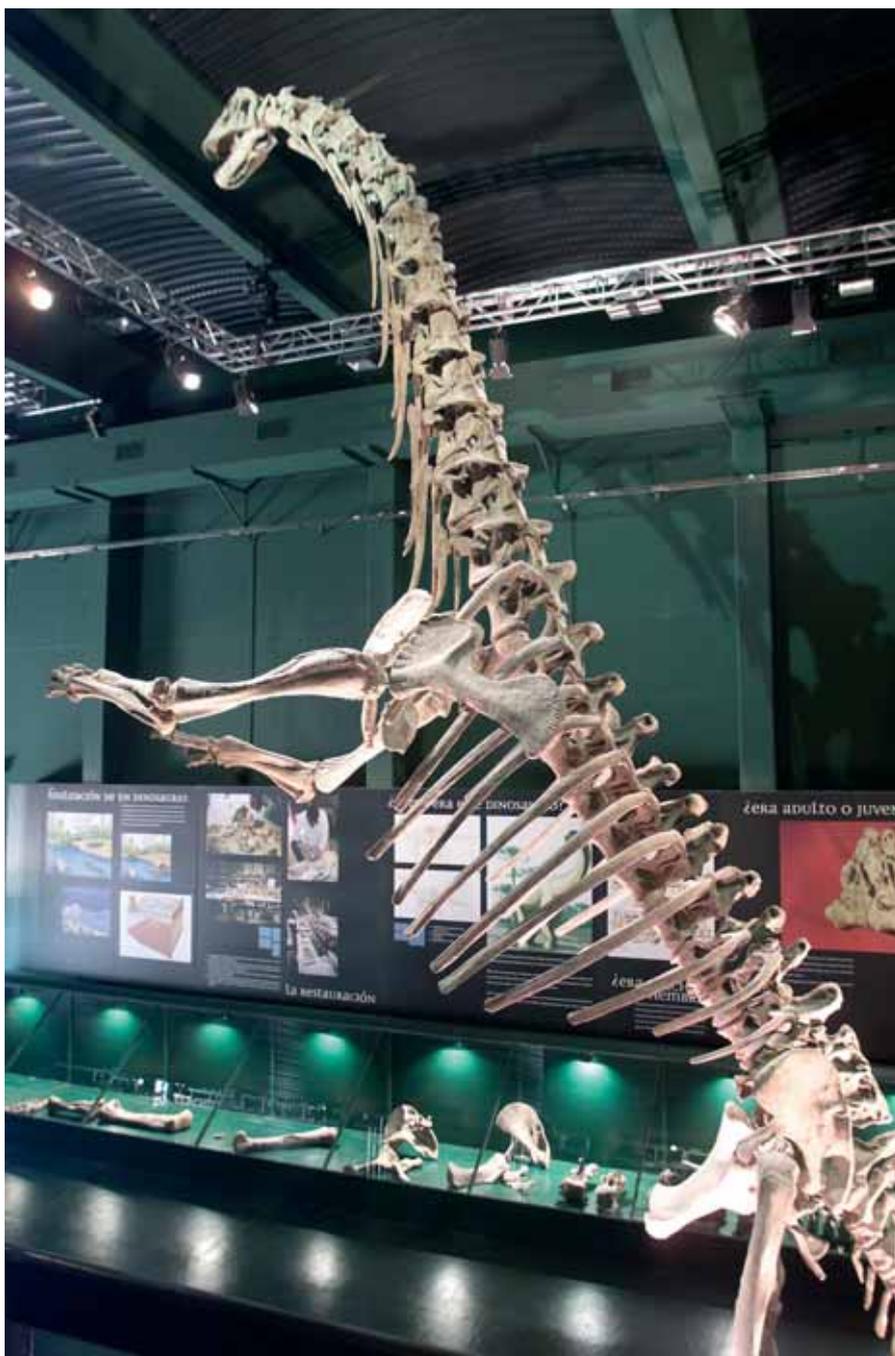


Figura 2. Reproducción de saurópodo en el museo-satélite de Peñarroya de Tastavins. Al fondo, vitrina con los restos originales.

estudió los yacimientos *wealdicos* del Maestrazgo, dedicando la mayor extensión a los yacimientos de Morella, pero se refirió a restos de dinosaurios de la vecina provincia de Teruel (los ya conocidos y citados por Vilanova, y una falange de pata posterior de un "*Iguanodon* talla *Mantelli*" procedente de Mora de Rubielos). Royo realizó las primeras aproximaciones documentadas a la paleontología de dinosaurios españoles, para cuyo reconocimiento visitó varios museos europeos y yacimientos como los de isla de Wight, en el Reino Unido.

Hubo que esperar hasta la década de los sesenta del siglo XX para que cristalizaran los primeros trabajos que describían con cierto detalle los fósiles de dinosaurios turolenses, llevados a cabo por Albert Felix de Lapparent. Se hacía eco Lapparent de los hallazgos realizados por José María Herrero, tantas veces citado por paleontólogos que le han dedicado varias especies de vertebrados mesozoicos. Herrero había ido recopilando los restos de vertebrados encontrados en sedimentos del Jurásico superior y Cretácico inferior de su localidad

de residencia: Galve. Dimas Fernández Galiano, ilustre naturalista turolense, mostró —representando al Instituto de Estudios Turolenses— el interés en dichos hallazgos, reflejados en una información periodística publicada el 11 de agosto de 1958 en el diario *Lucha*. El conocimiento de la noticia del hallazgo de huesos en Galve brindó a Lapparent la ocasión de acceder a los materiales de dinosaurios depositados en el Museo Provincial de Teruel. Una vez que se aceptó confiarle el estudio de los mismos, Lapparent mostró dos motivos de preocupación: su intención de no contrariar con su intervención a Fernández-Galiano y su deseo de que geólogos holandeses —que también estaban al tanto— no se llevaran piezas a su país, que estimaba debían permanecer en Teruel. Lapparent escribió: "Estimo que los geólogos holandeses que han visitado y tienen que visitar aún Galve no se llevarán en su país piezas que tienen que quedarse en España, y especialmente en Teruel". Se le contestó desde el Instituto que no debía preocuparse por ninguno de estos aspectos, a la vez que se le ofrecía la publicación de los resultados de su estudio en la revista *Teruel*.

El artículo se publicó en el número 24 de la revista (año 1960), incluyendo una descripción geológica sucinta del sinclinal de Galve y una cartografía del mismo realizada por el estudiante Yves Derréal, así como las características de los yacimientos ya visitados por Fernández-Galiano. Reconoció bastantes vértebras y huesos de la pelvis, que atribuyó a *Iguanodon bernissartensis*, además de diversos restos esqueléticos de un gran saurópodo procedente de otro de los yacimientos. Lapparent ya intuía que el saurópodo pertenecía a un género no descrito. Este material sirvió, bastante tiempo después —en 1987—, para la definición del primer taxón español correspondiente a un dinosaurio: *Aragosaurus ischiaticus*. *Aragosaurus* —"lagarto de Aragón"— vivió hace unos 125 millones de años y debió de medir unos 18 m de longitud.

Además, Lapparent notificó el hallazgo de un diente de *Megalosaurus* en Mora de

Rubielos durante una campaña realizada en 1954 con el que, aparentemente, no tuvo el mismo celo que demandaba a los geólogos holandeses respecto a la ubicación de los ejemplares recuperados, pues no se tiene constancia de la presencia del mismo en colecciones turolenses. Esta misma circunstancia se constata con los restos de saurópodos turolenses, a los que se refirió posteriormente, procedentes de Rubielos de Mora —no localizados— y Castellote, depositados en el Museo Nacional de Historia Natural de París. Circunstancia ilustrativa para contrastar el invocado interés galo por promover localmente este patrimonio la constituye la reciente contestación negativa desde dicho museo parisino a la solicitud del préstamo de algunos de los fósiles históricos recuperados por Lapparent en Castellote —sin un especial valor científico— para ser expuestos en la instalación que Dinópolis inauguraba en dicha localidad en abril de 2006, denominada *Un mundo cambiante*.

Galve se ha convertido con el paso de los años en un referente español de abundancia de restos de dinosaurios, pues se han documentado más de 50 localidades con restos de vertebrados continentales jurásicos y cretácicos, conteniendo tanto restos directos como indirectos y en las que, además, también se encontraron los primeros restos de mamíferos mesozoicos españoles. Así, además de *Aragosaurus*, allí se ha definido un nuevo saurópodo del Jurásico superior, un nuevo tipo de huevos de dinosaurio del Barremiense inferior y nuevos mamíferos mesozoicos (*Parendotherium herreroi*, *Galveodon nannothus*, *Lavocatia alfambrensis*, entre otros).

### Por doquier

Pero Galve, localidad pionera en la investigación de los dinosaurios españoles, no es el único lugar relevante de la provincia en esta materia. En Peñarroya de Tastavins, al noreste de la provincia, se excavó entre 1996 y 1997 una gran parte del esqueleto de un saurópodo (*figura 2*). Los numerosos huesos recuperados —los huesos de la

cadera, muchos elementos de las patas posteriores, las tres últimas vértebras dorsales, el sacro y 25 vértebras de la cola, entre otros restos— lo convierten en el ejemplar de saurópodo más completo encontrado hasta el momento en España. La sistemática de este nuevo Titanosauriforme del Aptiense Inferior y su paleobiología han sido objeto de una tesis doctoral defendida en 2006, en la Universidad de Zaragoza. Este dinosaurio, reconstruido en otra de las instalaciones de Dinópolis sita en la población donde se encontró, debió de medir unos 17 m de longitud y, a juzgar por las patologías detectadas —traumatismos en vértebras dorsales, una costilla e ilion derecho—, su vida debió de ser bastante

accidentada. Asociados a los huesos del dinosaurio se encontraron diversos tipos de invertebrados, que utilizaron el esqueleto como sustrato duro donde adosarse y vivir, dando lugar a un auténtico “dinosaurio arrecife”.

Además, nuevas localidades, como El Castellar, Josa o Aliaga se han sumado a las citadas desde tiempos clásicos (Utrillas, Castellote) (*figura 3*), Ejulve, Rubielos de Mora, etc.), dando lugar que se conozcan actualmente en torno a treinta municipios turolenses con restos de dinosaurios. Esto es la consecuencia lógica de que una buena parte de la provincia presenta destacados afloramientos

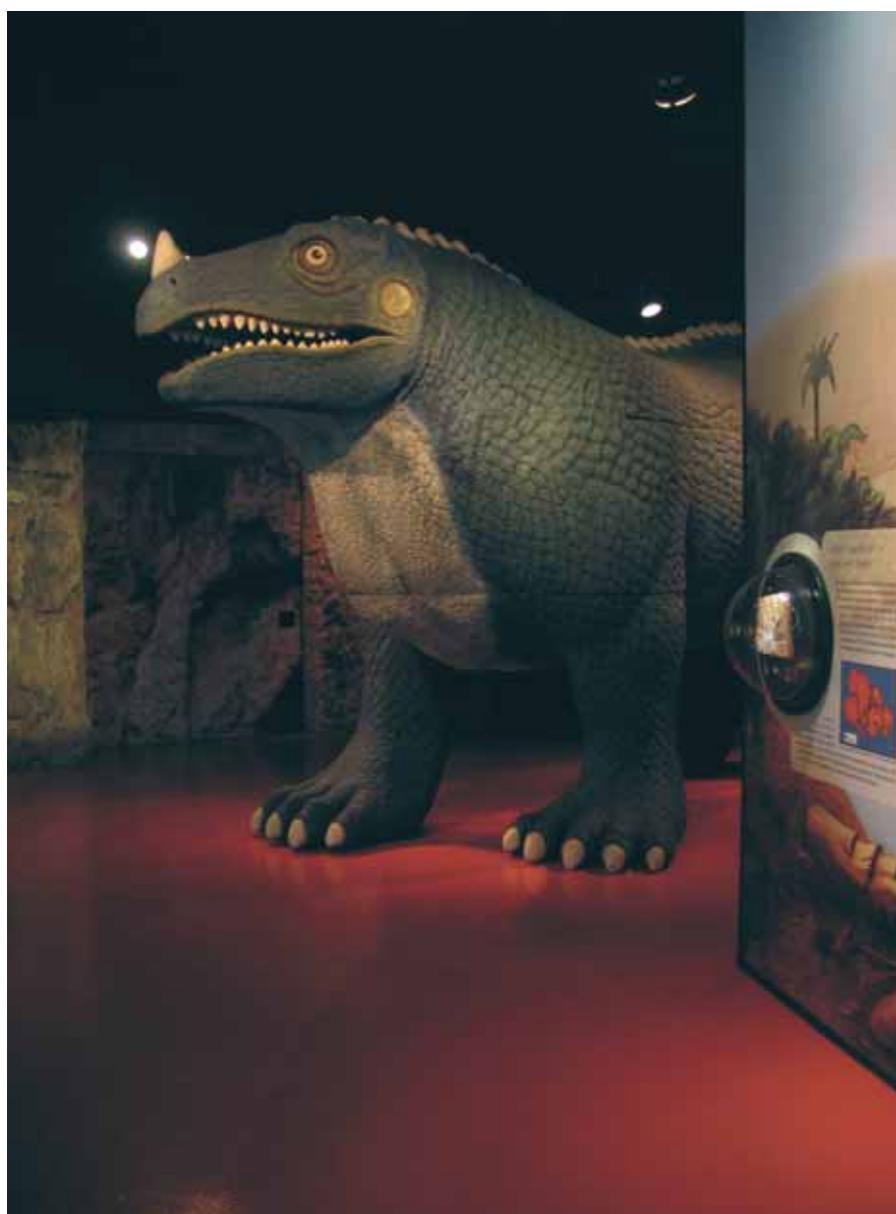


Figura 3. Réplica de la reconstrucción de Iguanodon realizada por Owen (satélite de Castellote).



Figura 4. Excavación del yacimiento de dinosaurios Barrihonda-El Humero (Riodeva).



Figura 5. Llegada de dinosaurios recuperados al Laboratorio de Paleontología de Dinópolis.

del tránsito Jurásico-Cretácico en facies continentales, potencialmente ricas en fósiles de vertebrados continentales. Lo anterior, unido a las buenas condiciones de exposición de los afloramientos —dado que la provincia cuenta tanto con un acusado relieve como con una escasa cobertura vegetal— permite que las rocas sedimentarias no sólo tengan un gran contenido en fósiles, sino que éstos sean fácilmente localizables.

### Un gigantesco hallazgo

Pero, sin duda, los restos más espectaculares de dinosaurios son los encontrados recientemente en Riodeva, como consecuencia directa del establecimiento en Teruel de un equipo permanente de paleontólogos promovido por el Gobierno de Aragón a través de su Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel, con sede en Dinópolis. Gracias a la actividad de prospección, englobada en

un marco de actuación cuyo objetivo —entre otros— es completar el registro dinosauriológico turolense, en Riodeva se han documentado hasta el momento más de una treintena de lugares con restos paleontológicos. Uno de ellos, localizado en mayo de 2003, permitió recuperar los primeros restos de “El Gigante Europeo”, un enorme dinosaurio saurópodo al que se le ha estimado una masa en vida que superaría las 40 toneladas, situándolo en el reducido grupo de los dinosaurios verdaderamente gigantes (figuras 4 a 6). El extremo de la cabeza y la punta de la cola se situarían bajo las canastas de una pista de baloncesto, la longitud de uno de los huesos de su extremidad anterior —el húmero— supera la estatura media de los españoles y una de sus falanges ungueales (uñas) llega a los 30 cm de largo. Además, la parte recuperada del esqueleto de este individuo —todos los huesos encontrados indican que se trata de un solo ejemplar, que todavía se está completando con la excavación de nuevos restos— es la más completa disponible para cualquiera de los dinosaurios gigantes conocidos. Otros restos de dinosaurios terópodos, restos postcraneales de estegosáuridos, elementos aislados de ornitópodos —y también restos de peces, tortugas, cocodrilos, invertebrados y plantas— acompañaban al gigante en el mismo yacimiento. Hay que destacar el intenso ritmo de trabajo desarrollado en dicho entorno: planificación del proyecto en mayo de 2002, inicio de la prospección en noviembre del mismo año, descubrimiento del yacimiento (llamado Barrihonda-El Humero), en 2003, presentación pública del hallazgo en febrero de 2004, instalación de los principales restos —ya preparados— en la exposición de Dinópolis en junio de 2006, y envío del trabajo científico para su publicación en 2006.

Este hallazgo demuestra cómo todavía en Teruel, a pesar de la tradición existente en la “caza del dinosaurio”, aún es posible encontrar paraísos para el paleontólogo, pues todo apunta a que Riodeva surtirá de información durante décadas a los interesados en conocer las características de estos seductores animales.



Figura 6. Paleontólogo de la Fundación junto al pie del dinosaurio gigante de Riodeva, comparado con la reproducción equivalente del dinosaurio más grande expuesto en Dinópolis (*Brachiosaurus brancai*).



Figura 7. Icnitas de saurópodo en el yacimiento El Pozo, El Castellar (Bien de Interés Cultural).

### Paso a paso...

En lo referente a yacimientos de los restos indirectos más conocidos, en la provincia de Teruel se han documentado numerosos afloramientos con icnitas de dinosaurios, de los que 13 han sido declarados Bien de Interés Cultural por el Gobierno de Aragón (BIC, Conjunto de Interés Cultural, Zona Paleontológica). Una de las características más notables de estos yacimientos, ubicados en seis términos municipales, es su amplio registro temporal, pues se sitúan en sedimentos del Jurásico superior (Titónico), Cretácico inferior (Berriasiense, Hauteriviense, Barremiense) y Cretácico superior (Cenomaniense). Asimismo, destacan las variadas morfologías que presentan las huellas fósiles conservadas.

Ríos Bajos, en Galve, es el yacimiento más antiguo localizado en Teruel; en él se han encontrado cinco icnitas aisladas y dos pares de huellas que pertenecen a dos rastros; todas ellas son tridáctilas terópodos. Barranco Luca, El Cantalar, Las Cerradicas y Corrales del Pelejón son otros cuatro yacimientos situados en Galve y declarados BIC. En Las Cerradicas fosilizaron huellas del ornitópodo cuadrúpedo más antiguo y pequeño que se ha registrado en el mundo hasta la fecha, mientras el entorno de Corrales de Pelejón está habilitado para su protección y visita.

Miravete, Ababuj, El Castellar (con cuatro afloramientos: El Castellar, Camino El Berzal, El Pozo y El Hoyo, figura 7), Ariño (Puente del Río Escuriza) y Abenfigo (Castellote) completan el grupo de yacimientos que gozan de la máxima protección de acuerdo con la Ley de Patrimonio Cultural de Aragón. Sin embargo, también se conocen otros afloramientos con icnitas en los mismos municipios o bien en otros (como por ejemplo los recientemente encontrados en Formiche).

### Una cinta de Moebius

Si sólo queremos conocer el resultado final de este cúmulo de apasionantes historias, ahorrándonos el laborioso proceso intermedio, la visita a las



Figura 8. Edificio principal del parque paleontológico Dinópolis en Teruel.

instalaciones de Dinópolis nos mostrará lo más destacado del panorama dinosauriológico turolense, dándonos, además, la oportunidad de disfrutar de su colección paleontológica general y de las diversas atracciones programadas, dirigidas fundamentalmente al público que constituye la cantera de potenciales investigadores en ciencia.

Pretende Dinópolis aunar diversión y ciencia, ocio y conocimiento, entretenimiento y aprecio por la apasionante Historia de la Vida (incluyendo la comprensión de sus métodos básicos de trabajo y el respeto por los elementos que conforman el edificio de la Paleontología, los propios fósiles), a la vez que propone meterse en la piel de un paleontólogo durante algunas horas. Así, trata de que estos

pares de conceptos no viajen por separado, sino que se ubiquen en una misma superficie, sin solución de continuidad: el modelo que representa la cinta de Moebius es la aspiración del parque paleontológico, de modo que se demuestre que “ciencia y diversión son palabras de una misma familia de conceptos, que avances paleontológicos y desarrollo regional van de la mano, incrementando la cultura científica de la sociedad y facilitando que los usuarios se diviertan con ello”.

Consta Dinópolis de una sede principal en Teruel (figura 8) que contiene fósiles originales, reproducciones de esqueletos y recursos audiovisuales (teatro virtual, documentales, juegos informáticos...) distribuidos a lo largo de sus tres salas principales: la sala del mundo acuático,

la sala de los dinosaurios y la sala de los mamíferos. Por otro lado, una gran parte de las instalaciones está dedicada al entretenimiento: rápido recorrido por un trayecto tematizado desde el *Big-Bang* hasta la extinción de los dinosaurios, representaciones teatrales, espectáculos de animación o actividades al aire libre. Siendo los dinosaurios el hilo conductor de la mayor parte de las instalaciones del parque, muchos otros seres vivos del pasado se encuentran representados en Dinópolis, cuya estructura quiere reproducir no sólo el mundo de los dinosaurios sino la Historia de la Vida en nuestro planeta.

No obstante lo anterior, en Dinópolis también se conocerá el proceso de hominización en la gran instalación denominada *El Último Minuto*, así como aspectos concretos de la paleontología y de la geología local en los museos-satélite de Dinópolis distribuidos en lugares emblemáticos de la provincia, dando lugar al denominado *Territorio Dinópolis*. Además de los ya citados de Peñarroya de Tastavins y Castellote, existen otros en Galve (dedicado a la preparación de un dinosaurio en el laboratorio), Rubielos de Mora (dedicado a cómo los paleontólogos clasifican a los seres vivos del pasado) y un centro asociado en Mas de las Matas —*Agua, Tiempo y Tierra*— que muestra las variaciones de los ambientes sedimentarios producidas en la zona durante el intervalo Jurásico Superior-Cretácico Inferior. Otros capítulos programados de esta *enciclopedia paleontológica tridimensional* se construirán en Albarracín y Concul, a los que se sumará alguna instalación en Riodeva, durante los próximos años.

### Vivero de información

Además, entre las actividades que se promueven desde Dinópolis están la realización y promoción de investigaciones (programa FOCONTUR: fósiles continentales turolenses-foco en turismo); la organización de congresos y encuentros científicos (*Workshop on Exceptional Preservation, European Palaeontological Association, 2003; 38ª Sesión Científica de la Sociedad*

“Consta Dinópolis de una sede principal en Teruel que contiene fósiles originales, reproducciones de esqueletos y recursos audiovisuales distribuidos a lo largo de sus tres salas principales: la sala del mundo acuático, la sala de los dinosaurios y la sala de los mamíferos”



Figura 9. La transmisión a la sociedad de los hallazgos paleontológicos turolenses y de su interpretación, objetivo primordial de los paleontólogos de Dinópolis.

Geológica de España, 2005; XVI Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Historia Natural, 2005; 31 Reunión Anual del Comité Nacional del Programa Internacional de Geociencias, PICG, 2006); la conservación de colecciones paleontológicas y de yacimientos paleontológicos; o el asesoramiento paleontológico en diversas actividades educativas (figura 9). La Fundación edita la serie de publicaciones

de difusión paleontológica ¡Fundamental! (figura 10)—ocho números hasta el momento— y la serie de artículos semanales *Fundamentos paleontológicos* (*Diario de Teruel*, 169 páginas disponibles al escribir estas líneas). Asimismo, promueve el Premio Internacional de Investigación en Paleontología *Paleonturología* y la revista científica especializada *Journal of Taphonomy*.

Actividades para profesores, alumnos o público en general (*Geología, Geódromo, Cursos Paleontología y Desarrollo* de la Universidad de Verano de Teruel), conferencias y talleres persiguen además convertir a Teruel en un lugar de encuentro para paleontólogos y naturalistas, ya sean profesionales o bien interesados en estas disciplinas.

### Un panorama de expansión

En Teruel se representa desde hace siglos un relato fascinante: la recuperación insistente y consistente de datos que complementan nuestro conocimiento de la evolución de los seres vivos y de sus circunstancias, mientras se reconoce, a su vez, la evolución del tratamiento de la información paleontológica. Desde que mamíferos fósiles se invocaran a principios del siglo XVIII para debatir acerca de la celebración de antiquísimas batallas o de la existencia de gigantes, hasta la reciente persecución de posibles vestigios de ADN en ranas fósiles de Libros, pasando por el permanente foco de atención que suponen los avatares de los dinosaurios, la provincia de Teruel conforma un escenario privilegiado para representar la búsqueda —por los paleontólogos— y el disfrute —por parte de la sociedad— de todo un mundo paleontológico.

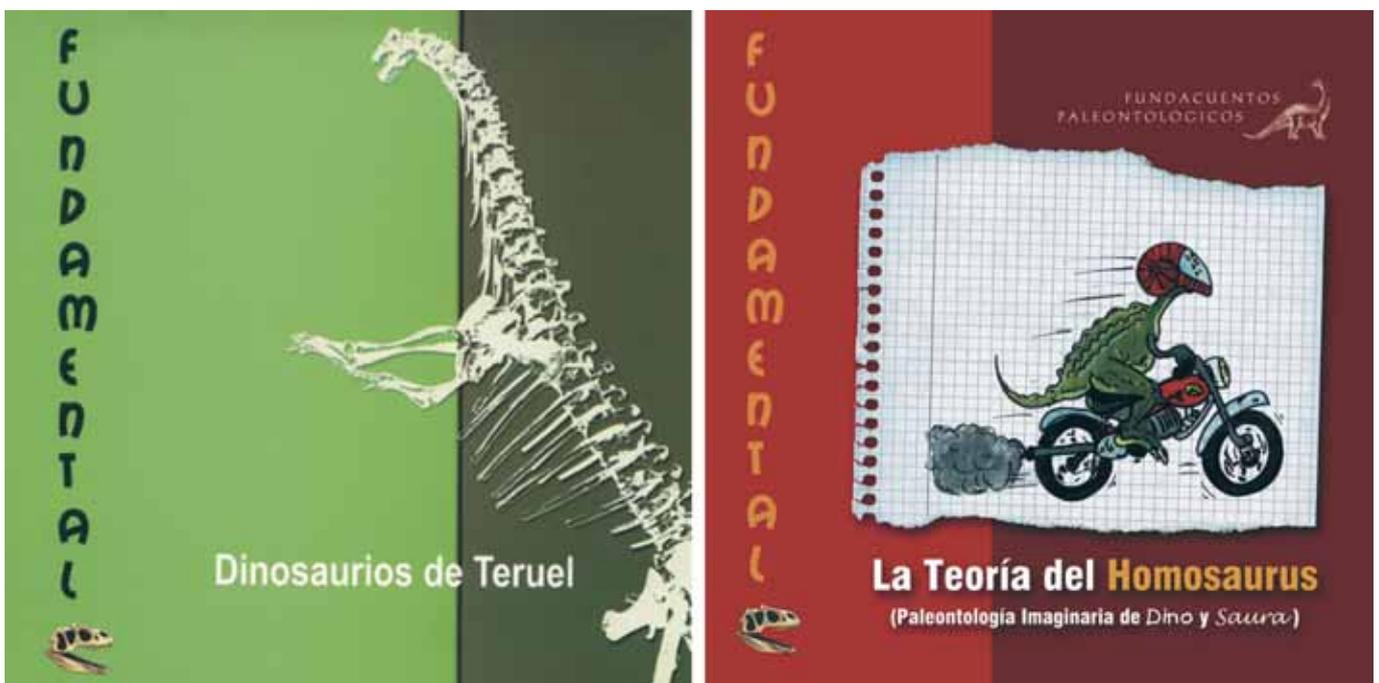


Figura 10. Serie de publicaciones ¡Fundamental! (desde la edición para especialistas, al cuento para público en general).

# Lo que **debe o no debe** ponerse en un estudio geotécnico

Últimamente, debido al nuevo marco general y legal originado por la ley de la edificación, se ha producido una gran proliferación de empresas y técnicos que se dedican a la realización de estudios geotécnicos. Lamentablemente, en esta proliferación se aprecia una cierta inexperiencia o desconocimiento de los autores. Este artículo tiene como fin u objetivo no la mera crítica, sino una invitación a recapacitar y estudiar para “no desacreditar” un campo técnico y profesional que requiere mucha preparación, como es la geotecnia.

**Texto** | Carlos J. de Miguel Jiménez de Embún, geólogo, Departamento de Asesoría Geotécnica. INTEINCO, S.A.  
Begoña Muñoz Martín. Geóloga, jefa del Departamento de Asesoría Geotécnica. INTEINCO, S.A.

Palabras clave  
**Geotecnia, estudios geotécnicos**

A continuación, se van a reproducir una serie de párrafos obtenidos de informes geotécnicos, intentando no sacarlos de contexto para no interpretarlos mal. Estos párrafos unas veces hacen referencia a errores de concepto o a definiciones erróneas. Otras veces, lo que se dice no está justificado. En ocasiones, es la redacción la que deja algo que desear, y no olvidemos que se trata de un informe técnico, cuyo lenguaje debe ser apropiado

y preciso. También, se deja ver lo poco técnico de sus conclusiones e incluso lo poco geológico.

Esto hace que nos encontremos con informes geotécnicos que no responden a su nombre, presentando ambigüedades, indefiniciones, interpretaciones erróneas e inseguridades a la hora de emitir conclusiones.

Como introducción, decir que nos encontramos situaciones en las que se hace una descripción del terreno basándose en ensayos de penetración dinámica con todo lujo de detalle, como por ejemplo: “arenas arcillosas de tonos marrones con gravas en su matriz”. Además incluso se acompaña del dibujo de la columna estratigráfica.

Los ensayos de penetración dinámica sirven para determinar la compacidad o consistencia de los terrenos atravesados y, con ello, realizar una estimación de la carga admisible o capacidad portante que puede soportar, sin extraer muestra que se pueda testificar o describir (figura 1).

Los ensayos de penetración deben ser completados con calicatas o sondeos que permitan identificar la estratigrafía del terreno; así se recoge en el Código Técnico de la Edificación (CTE) en su apartado 3.2.2.

Seguidamente, se van a incluir algunos párrafos tomados textualmente de los informes, que unos casos se comentarán y en otros se dejará a la interpretación del propio lector. Igualmente, se hará referencia a lo que sería apropiado basado tanto en recomendaciones de obligado cumplimiento como en nuestra opinión.



Figura 1. Ensayo de penetración dinámica.



Figura 2. Excavación con derrumbe, en un talud rocoso.



Figura 3. Ejemplo de cimentación directa.

En las siguientes conclusiones del informe geotécnico, no quedan claras las recomendaciones de cimentación:

1. "Valoración de la utilidad como sustrato de cimentación: ÚTIL, debido a su espesor suficiente, nula agresividad hacia el ambiente de hormigonado y presentar tensiones suficientes para el diseño de la cimentación. Estos materiales presentan como problema su emplazamiento, ya que aparecen a profundidades elevadas, a partir de 4,3 m desde la superficie, lo que dificulta su

utilización como sustrato de cimentación, máxime cuando por encima existe un estrato competente y adecuado para la realización de la cimentación"

Decir que se valora como útil un sustrato de cimentación es utilizar un lenguaje más bien coloquial, y nada técnico.

Se debe concluir recomendando la tipología de cimentación a una cota determinada y aportando los parámetros geotécnicos del terreno basados en su consistencia

o compacidad y justificaciones numéricas complementarias.

No se comprende muy bien toda la explicación siguiente, máxime cuando se va a realizar un sótano. Las conclusiones del informe son incomprensibles, y desde un punto de vista técnico, mejor no opinar.

2. "Como principal medida de acondicionamiento de la parcela analizada para acometer los trabajos de construcción es la eliminación de los escombros y vertidos existentes en la parcela. Posteriormente, se procederá al enrasamiento de la superficie y la eliminación de la capa superficial del terreno, antes de comenzar los trabajos de excavación de la planta sótano y de los elementos de cimentación necesarios. Dicho enrasamiento de la superficie en la que se situará la vivienda consiste en el nivelado de la superficie en la que se ubicará la vivienda dentro de la parcela con respecto del punto más bajo de dicha zona"

Al estar previsto la excavación para la ejecución de sótano, tanto los vertidos como el terreno vegetal serán eliminados con la excavación, por tanto, no influyen en los condicionantes de cimentación aun que sí en los taludes.

3. "Queda garantizada para estas cargas y esas cotas que las tensiones que van llegando al terreno nunca superan las tensiones admisibles del mismo, según la formulación de Boussinesq"

Boussinesq estableció un modelo de distribución de esfuerzos en el terreno y no un método para evaluar la tensión admisible del terreno.

Las cargas transmitidas por la estructura no deben superar las tensiones admisibles del terreno. Se debe incluir la justificación del cálculo.

4. "Si la carga admisible del terreno supuesta para la futura edificación es de 2,5 kp/cm<sup>2</sup>, la profundidad de cimentación será de -11 m respecto la calle"

Si se pretende transmitir al terreno una tensión de 2,5 kp/cm<sup>2</sup> es un poco complicado realizar una cimentación directa (figura 3) en este caso.

Las recomendaciones deberían ir encaminadas a la realización de una cimentación profunda mediante pilotes. Por tanto, se deberían aportar los valores de resistencia unitaria por punta y por fuste, así como recomendar la tipología de pilotes más adecuada a los condicionantes geotécnicos.

Seguimos con otra conclusión, en este caso creemos que es poco concluyente y, quizá, ambigua:

5. "Por tanto se recomienda buscar el terreno firme para su acondicionamiento como la cota de cimentación, como hemos comentado anteriormente las potencias son bastante variables, pero se estima a grandes rasgos que para que la tensión admisible sea de 2,5 - 3 kp/cm<sup>2</sup> se excaven unos 1,60/1,75 m, aún así, a medida que se vaya excavando, se verá las cotas porque las máquinas tendrán cierta dificultad de excavación"

Para alcanzar una tensión admisible del terreno de 3 kp/cm<sup>2</sup> será necesario profundizar del orden de 2 m hasta garantizar el apoyo en la roca sana (cimentación de pozos).

6. "Se detectó la presencia de agua a -3,30 m al finalizar el sondeo, tratándose, sin duda, de la propia agua de refrigeración utilizada durante la ejecución del mismo, dadas las características del sustrato y la concentración de sales"

¿Por qué se menciona que se ha encontrado agua? ¿Qué tiene que ver el contenido de sales con la presencia o no de nivel de agua?

En este caso se debería haber eliminado esta afirmación y decir si se ha encontrado un nivel freático o no. O realizar comprobaciones trascurridos unos días.

7. "Clasificación de la muestra de agua: Mediocre"

Aquí nos muestran una nueva clasificación para definir la agresividad del agua, que no se corresponde con ninguna clasificación normalizada desde el punto de vista geotécnico, ni con la definida en la Instrucción EHE.

Según la instrucción EHE, el agua presenta una agresividad débil, media o fuerte.

En cuanto a las descripciones geológicas, encontramos descripciones sobre la naturaleza del terreno, como la falta de definición:

8. "A partir del sondeo realizado se reconoce un solo estrato formado por ROCA CALIZA de color blanco grisáceo. Hay que destacar que las penetraciones dinámicas realizadas en el solar de estudio detectaron otro tipo de terreno no rocoso"

Se destaca que hay otro terreno pero no se dice de cuál se trata. Se debe definir la naturaleza de todos los terrenos prospectados.

Nos presentan una nueva definición de las rocas tipo pizarras:

9. "Las pizarras son terrenos Sedimentarios de Origen Externo"

Todos sabemos que se trata de una roca metamórfica ¡En algún momento se depositarían!

Y ahora, nos dan una nueva definición de terreno granular:

10. "A la vista de las muestras obtenidas, vamos a considerar el terreno como granular ya que aunque los finos representan porcentajes que superan el 50%, las plasticidades son bajas"

Esta clasificación no se corresponde con las habitualmente utilizadas en geotecnia, como la de Casagrande (terrenos granulares con porcentajes < 50% en finos). Tampoco, con la definida en el nuevo CTE, donde se considera un suelo cohesivo a partir de un 35% en finos.

Cambiando a otros parámetros, por desgracia es muy común confundir el índice de hinchamiento que se obtiene del ensayo Lambe con la presión de hinchamiento obtenida en edómetro, y, en este sentido, mostramos dos ejemplos:

11. "Se realizó un ensayo Lambe para determinar el potencial expansivo del material, obteniéndose un valor de presión de hinchamiento de 0,16 kp/cm<sup>2</sup>"

12. "Expansividad del terreno: el índice de hinchamiento correspondería a la máxima presión de hinchamiento, ya que este índice refleja el cambio de volumen



Figura 4. En primer término, presencia de agua en la excavación, y en segundo término, se observan unos pilotes formando una pantalla.

de la muestra saturada. El terreno que presenta un comportamiento expansivo marginal aparece desde los 0,90 m de profundidad hasta los 4,60 m. Debe considerarse que este estrato no corresponde a unas arcillas puras, sino que presentan fracción granular fina y media que no se considera en el ensayo ya que la muestra se pasa por el tamiz 2 UNE, de manera que la expansividad de este material será menor a la obtenida en el ensayo debido a la fracción arena y, por tanto, a la porosidad entre los

granos. Dentro de la clasificación marginal, este material se encuentra próximo al límite no crítico. Por tanto, considerando que presenta un cambio potencial de volumen de 2,77 y que la clasificación marginal se encuentra definida entre los valores 2 y 4, el hecho de que este ensayo no considera la fracción arena y que el estrato tiene una potencia definida menor de 4 m no se ha creído necesario considerar ninguna medida al respecto. Otro hecho a tener en cuenta es que el nivel freático se detectó a 5 m de profundidad”

Con estos datos podemos calcular el módulo de balasto relativo y asentamientos totales, hay que tener en cuenta que esta presunta cota de cimentación es relativa puesto que habría que buscar una cota mas profunda de cimentación para que la tensión admisible sea de 2,5 - 3 kp/cm<sup>2</sup>”

Los asentamientos obtenidos eran de un orden de magnitud de milímetros y los considera elevados. Entonces si hay que profundizar, ¿de qué sirve la placa de carga? El resultado del ensayo de la placa de carga hay que tomarla con reparos en el cálculo de las deformaciones del terreno en función de la carga, y especialmente por su zona de afección. La afección de una placa de 30x30 cm es de apenas 50 cm, y la de una cimentación dos veces su ancho, y hay que constatar que el terreno de afección es el mismo para poder extrapolar.

No se define la naturaleza del estrato competente, ni su profundidad, ni sus características:

La justificación anterior sobre la expansividad del terreno vuelve a cometer el error de equiparar el índice de hinchamiento y la presión de hinchamiento, valores procedentes de ensayos completamente diferentes. El ensayo Lambe es un ensayo cualitativo realizado sobre muestra remoldeada, y el ensayo de presión máxima de hinchamiento es un ensayo cuantitativo que se realiza sobre muestra inalterada.

Otro ensayo que se presenta a confusiones y a explicaciones que no convencen:

13. “Las placas de carga indican un asentamiento un poco elevado, esto se debe a los finos que aparecen tras el desmonte por la alteración antrópica.

14. “La profundidad a la cual aparece el nivel competente de cimentación no es muy profunda, y una vez ejecutado el vaciado se detectará en el fondo del mismo la presencia del estrato competente de cimentación, por tanto, se recomienda una cimentación superficial mediante zapatas”

Se debería definir la naturaleza del terreno con las cotas o profundidades a las que se recomienda cimentar.

15. “Se ha realizado un ensayo de Presión de Hinchamiento para conocer la posible expansividad del nivel geotécnico I (arcilla arenosa beige). El valor obtenido 0,68 kg/cm<sup>2</sup>, indica que esa es la tensión vertical que hay que aplicar al terreno para que no modifique su volumen frente a los cambios de humedad, por lo que este nivel no se considera expansivo”

Según los criterios de expansividad de Rodríguez Ortiz (1975)\*, el terreno presenta una expansividad media. Esto no



Figura 5. Máquina de sondeos.

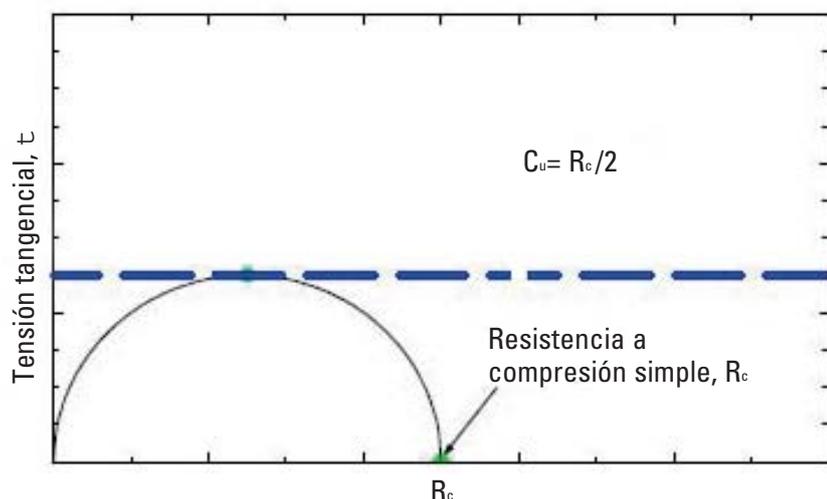


Figura 6. Resistencia al corte sin drenaje en el ensayo de compresión simple.

\* Rodríguez Ortiz, J.M. (1975): Las arcillas expansivas, su estudio y tratamiento. Bol. de Inf. del Lab. del Transporte y Mecánica del Suelo, 108:3-30.

impide que si se aplica una carga mayor a la indicada no se vayan a producir problemas debidos a esta propiedad.

¿Conforme a qué criterio se afirma lo siguiente?

16. "Aunque no se ha detectado la presencia de nivel de agua, es muy probable que se encuentre próximo a la cota de cimentación, por lo que se recomienda vigilarlo cuando se proceda a la excavación"

Si no se ha detectado agua debería indicarse que no es probable que aparezca durante las excavaciones, salvo que se conozca alguna causa por la que podría aparecer en cuyo caso se tendría que indicar igualmente (figura 4).

17. "El suelo no es agresivo al hormigón en algunas cotas"

Claro, en las que se ha tomado la muestra. Se debe indicar si el suelo es agresivo conforme a un muestreo, correspondiente a unos niveles geotécnicos definidos y correlacionables.

18. "Se ha estudiado la tensión de hundimiento mediante la expresión propuesta por Meyerhof para terrenos granulares. Para un valor de N de 13 obtendríamos una carga de hundimiento de 1,39 kp/cm<sup>2</sup> en el primer término de la ecuación, desestimando el segundo término de la ecuación, que considera la descarga del terreno, debido a la naturaleza granular de los materiales que aparecen por encima de la cota de cimentación"

Desestimar el segundo término de la ecuación que considera el empotramiento es factible y habitual, además deja del lado de la seguridad, independientemente del terreno, aunque estas formulaciones son para terrenos granulares. Realmente es la explicación final la que no es muy acertada. ¿Si es un terreno granular no se considera el peso de las tierras? ¿No pesa?

En este estudio realizan un ensayo edométrico para cuantificar los asientos,

pero no obtienen los asientos, ni hacen una estimación. Se desprende que, o bien desconocen cómo interpretar estos datos, o bien no se le ha querido dedicar más tiempo, partiendo de alguna hipótesis factible.

19. "El ensayo edométrico realizado sobre estos materiales refleja un asiento importante que considerar, sobre todo en el caso de utilizar como tipo de cimentación zapatas aisladas. No se ha podido cuantificar numéricamente, debido a que no se conocen las características de la cimentación, pero se ofrecen los datos suficientes para su valoración en el acta de ensayo"

En un estudio se debe siempre cuantificar los asientos, asignando valores de los diferentes parámetros del terreno a los distintos niveles detectados en la zona de influencia de la cimentación. Si no se dispone de datos concretos se puede hacer una estimación para dimensiones de una cimentación tipo para cargas del orden de magnitud de las recomendadas.

Volvemos, después de haber tratado otros parámetros, a mostrar más conclusiones de algunos estudios geotécnicos:

20. "CONCLUSIONES:

Se propone como sustrato de cimentación las litologías B y C que muestran las siguientes características que las hacen adecuadas: Capacidad portante aceptable, pudiendo ser adecuadas para el tipo de cimentación prevista y consecuente con las características del edificio. En este punto señalar que si se cimenta en la litología B, se recomienda estar por debajo de los dos primeros metros de esta litología, teniendo en cuenta también que es posible que haya desaparecido en algunas zonas de la parcela. Alta agresividad del medio hacia el ambiente de hormigonado, ya que los suelos contienen sulfatos en cantidades considerables. Profundidad aceptable, recomendándose una cimentación próxima a los 5 m.

Composición problemática, pero con soluciones posibles.

Asiento previsiblemente importante, en la litología C, aunque es un problema solventable y más con las características de las viviendas que realizar"

En este caso, cabe destacar la imprecisión, la indefinición y el carácter poco técnico y cualitativo de las conclusiones. No cuantifica ni la capacidad portante, ni la agresividad, ni los asientos, ni da soluciones a una "composición problemática" que no se sabe cuál es. Términos como capacidad portante aceptable, contenido en sulfatos en cantidades considerables, asiento previsible importante son, al menos, términos más bien coloquiales y, en sí, nada geotécnicos.

Más falta de definición:

21. "Cimentación mediante pilotes: otra solución posible sería la de una cimentación profunda mediante pilotes hasta encontrar un estrato resistente que soporte las cargas que le va a transmitir el edificio. Dado los golpes obtenidos en los penetrómetros realizados, consideramos que no se aprecia un cambio en profundidad que permita definir el inicio de este estrato teóricamente más resistente"

En este caso, se dejaron los ensayos de penetración dinámica a 6 m de profundidad, sin alcanzar el "rechazo", con lo que no es de extrañar que no se haya alcanzado el terreno resistente. Claramente falta completar la campaña de reconocimientos con sondeos (figura 5).

En un estudio se debe reconocer el terreno en la zona de afección del bulbo de tensiones de la cimentación. En cimentaciones por pilotaje, se debería reconocer el terreno en su zona activa y del orden de unas 5-6 veces el diámetro del pilote por debajo de la punta teórica de apoyo de los mismos, así como evaluar los parámetros geotécnicos del terreno necesarios para el diseño de los pilotes.

El siguiente párrafo muestra que no se tienen muy claros los conceptos:

22. "La carga admisible sobre el terreno no depende solamente de la resistencia del terreno, sino igualmente de las características de la construcción, en particular de las deformaciones admisibles debido a los asientos diferenciales, punto que no reflejan las penetraciones dinámicas"

La carga admisible viene determinada por la carga de hundimiento y por la limitación de asientos. Todo ello debido a la respuesta tenso-deformacional del terreno.

Volvemos a mostrar un reflejo de la inseguridad a la hora de dar resultados y la poca confianza en lo que se realiza:

23. "Estos trabajos consisten en determinar la capacidad portante del terreno derivada de la concepción de la resistencia a la penetración dinámica del subsuelo y en función de los resultados obtenidos en los ensayos. Los trabajos pues, se deben interpretar de un forma cualitativa, debido a las limitaciones propias de este tipo de ensayo como son el rozamiento de las varillas o de los falsos rechazos"

Los resultados y conclusiones deben ser cuantitativos, derivados de la interpretación razonable de los ensayos de terreno evaluando correcciones y limitaciones, siempre que los ensayos realizados sean adecuados al tipo de terreno y, por tanto, representativos.

Aquí el error podría volver a ser de concepto:

24. "En este caso se adoptan como parámetros de resistencia:

$C_u$ =cohesión;  $q_u$ =resistencia a compresión simple (resistencia al corte sin drenaje).

La  $C_u$  (ó  $S_u$ ) es la cohesión o resistencia al corte sin drenaje, que es la mitad de la  $q_u$  (resistencia a compresión simple). Esto se comprende observando el ensayo de compresión simple (figura 6).

Ahora se parte de una afirmación calificada de aceptación general, a la que no se hace

referencia bibliográfica del autor, ni a las condiciones y, por tanto, podríamos tener ciertas dudas sobre la fiabilidad de dicha afirmación.

25. "En general se acepta que la carga admisible sobre roca sea tres veces la resistencia a la compresión simple, lo que, utilizando un coeficiente de seguridad de 6, adecuado para rocas duras y cimentaciones pequeñas, nos daría una carga admisible igual a la mitad de la resistencia a la compresión simple"

Así, para comparar el orden de magnitud recordamos que hay diferentes métodos para hallar la carga admisible en una roca. Por ejemplo, una de ellas es la de considerar 0,2 veces la compresión simple (códigos americanos). El CTE remite a una expresión algo más compleja en el capítulo 4.3.4.2.

26. "No conocemos las características del proyecto, luces, alturas, si lleva sótano, etc. Por tanto recomendamos"

Una de las cosas necesarias para realizar unas recomendaciones de cimentación es conocer el proyecto que se quiere realizar en cuanto alturas, sótanos, etc. En esta situación habría que establecer primero unas premisas o condiciones y, en consecuencia, plantear recomendaciones.

La siguiente afirmación muestra una cierta falta de autoestima o inseguridad:

27. "Independientemente de las condiciones de evaluación que se definen, el petionario puede someter a mejor criterio del técnico que considere oportuno las conclusiones definidas en el presente informe"

Simplemente no se debería poner.

Algo que no tiene nada de sentido ni justificación, es otro problema de no tener los conceptos muy claros:

28. "En cuanto a los viales se refiere. Al verse libre de anteriores cargas, éstos

intentarán llegar a un nuevo estado de equilibrio, dando lugar a que por naturaleza se originen movimientos en la matriz arcillosa, que bajo nuevas cargas, aun siendo iguales, originen asientos que sin duda serán diferenciales, por ello, para evitar cualquier tipo de problema, sería conveniente colocar en el fondo del cajeadado, lámina geotextil drenante, que no contamine a la subbase y que pueda absorber los movimientos y asentamientos.

Cuando se excava un terreno, se produce un levantamiento del fondo debido a la propia descarga del peso de material excavado. Al edificar y volver a cargar el suelo, tenderá a recobrar su estado inicial produciéndose unos asientos, además de los propios, si la carga a transmitir es mayor que la descarga, pero esto no tiene que ver ni con los asientos diferenciales y, desde luego, no se evita poniendo geotextil.

Para finalizar, conviene señalar que en algunos informes geotécnicos, los últimos párrafos, atienden en numerosas ocasiones a quitarse responsabilidades, desacreditando sin darse cuenta el trabajo técnico propio realizado, de entre los que hemos elegido el siguiente:

29. "Las diferencias litológicas que pueden aparecer en el subsuelo no son responsabilidad de la empresa. La empresa no se hace responsable de los efectos que pueden aparecer de la construcción derivado de la cimentación sobre rellenos"

Un informe debe asumir las responsabilidades de todo lo reflejado. Aunque todo reconocimiento se basa en un muestreo, la labor del técnico reside en interpretar adecuadamente todos los datos obtenidos para llegar a unas conclusiones razonables.

### Agradecimientos

A Nieves Paniagua, por sus sugerencias para mejorar el texto.

# Descubriendo China

El Colegio de Geólogos ha organizado, en 2006, tres grupos de viaje para visitar China, pensados y dirigidos para geólogos. La idea era combinar un viaje turístico convencional con la visita a algunos lugares con características geológicas singulares. En mi opinión, el resultado ha sido perfecto y espero que tengamos oportunidad de perseverar con la idea en el futuro. Este artículo recoge las experiencias vividas por el primer grupo que viajó del 18 al 31 de agosto de 2006.

TEXTO | Manuel Regueiro, secretario del ICOG

Palabras clave

China, viajes

Creo que cuando se termina un viaje, nuestro cerebro hace limpia y reordena los recuerdos, algo así como pasar el desfragmentador y borrar los archivos inútiles o creados para operaciones más importantes en el disco duro de un ordenador. Los malos momentos instantáneos se borran en primer lugar (dolores, malestares, mareos y demás), después los malos momentos relacionados con estados de ánimo adverso. Quedan bien marcados en la zona de no olvidar, las risas y los paisajes geológicos o monumentales, las bromas y la solidaridad de los compañeros de viaje. Así que, un día después del regreso, procuramos dejar sólo los buenos momentos o aquellos que más nos impresionaron; incluso, lo que pueda quedar de mal recuerdo, lo dulcificamos o convertimos en recuerdos humorísticos. Hay pues, cosas que no olvidaremos nunca y recuerdos que desaparecen al volver al mundo de lo cotidiano. Este es un breve relato de mis recuerdos.

Recorrer una mínima parte de una China de 9,6 millones de kilómetros cuadrados (19 veces España) en doce días —es decir, algo así como ver España en un día— ha representado uno de esos viajes que llenan tu cabeza de momentos, imágenes y sensaciones espectaculares y, al mismo tiempo, inolvidables, con momentos, imágenes y sensaciones que ya han desaparecido al escribir estas líneas.

## Shangai. La ciudad de los mil rascacielos

Tras un oca a oca aéreo por Europa, aterrizamos en Shangai de buena mañana y con cara de pocos amigos. Pero hicimos de la desgracia virtud y, bajo el alegre mando de nuestro primer y jovial guía de habla hispana, nos reorganizamos para aprovechar cada minuto que pudiéramos tener los ojos abiertos.

Si hay algún lugar en el mundo que se asemeja a la ciudad del futuro, ese es Shangai. Recorrer la inmensa urbe de

impresionantes rascacielos nos dio la primera impresión local: el tráfico es de locos. Según el guía, te dan el carné al comprar el coche (yo ya dudaba de semejante aserto, luego se demostró falsa esta afirmación, como otras muchas cosas que los guías se inventaban sobre la marcha...). La sensación de que nadie respetaba las normas era patente, los coches y la multitud de bicicletas salían de todas partes y lo más impresionante era que nadie parecía tener miedo a morir...

Con los ojos pitañosos del cansancio del viaje, hicimos nuestra primera visita.



Figura 1. Vista de Shangai al atardecer con sus rascacielos.

Primera parada: el Jardín de Yu, hace bochorno y huele regular. Tras una vuelta por el exterior del jardín entre una multitud de turistas que hacen lo mismo y se pasean por una pasarela con antigua casa de té, entramos a los jardines hermosos y singulares con palacetes, teatros, recovecos, mucha piedra caliza haciendo rocallas y parterres de plantas y flores típicas de los jardines chinos. Lo más llamativo: el lugar está lleno —qué digo lleno: ¡muy lleno!— de turistas españoles (*quel dommage!*)

Después, el guía nos propone la visita a una fábrica de seda. Huele a parada obligatoria de compras pero no nos resistimos y vamos a verlo (estaba a bastante distancia del centro, pero bueno...). De entrada, nos hacen un pase de modelos con hermosos trajes de seda; agradecemos sobre todo el aire acondicionado. Después pasamos a ver cómo deshacen la madeja de los gusanos en curiosas máquinas industriales, para luego pasar a la zona de exposición de edredones (incluso nos enseñan cómo los fabrican de seda) y de ropa. Compras varias y cervecita fresquita en el bar del fondo.

Tras la visita pasamos al restaurante, cómodamente incorporado a la fábrica de seda, y nos enfrentamos a nuestra primera comida china con palillos. El sistema es curioso con un gran disco central por el que ruedan los diferentes platos a compartir mientras tú sólo tienes la taza de té, un cuenco para sopas y una cuchara de porcelana. La comida está bastante bien así que casi todos salimos contentos de la experiencia.

Por la tarde nos vamos al Templo del Buda de Jade, que incluye varios templos con budas de madera policromada de gran tamaño. La gente quema inciensos y reza devotamente. El Buda de Jade está en un edificio central con patio interior. Sorprenden los paseos exteriores con fantásticos bonsáis. El lugar está bastante desierto ya que no es hora de turistas.

Por la noche recorrido por el colonial Bund (malecón histórico de la ciudad) y paseo en barco por el río Huangpu. Magníficas vistas nocturnas de la ciudad de los 3.100 rascacielos: ¡eso dicen! (*figura 1*). Se

agradece la temperatura suave y la brisita, también las cervecitas chinas. En el bar del barco un prestidigitador espigado hace trucos malos para un público sobre todo chino poco animado.

Luego regreso al hotel y compras en tienda de bolsos y relojes. Primeros desastres con el regateo. Todo se aprende en China, pero hace falta algo de tiempo.

A última hora, cena en pizzería de la zona moderna con mucho ambiente, para compensar, bastante más caro de lo previsto. Dormir por fin.

### Los chinos también tienen PIG

Al día siguiente, madrugón para salir hacia Guilin, nuestro primer PIGCH (punto de interés geológico chino).

En Guilin visitamos la Cueva de la Flauta Roja, de la que no quedará nada en pocos años porque aquello parecía el metro en hora punta, sobre todo turismo chino. La cueva está alegremente iluminada por luces discotequeras amarillas, azules, verdes y rojas, muy al gusto chino. Impresionantes, no obstante, los laguitos interiores con reflejos.

Por la tarde, la mayoría optamos por ir a darnos un masaje (de pies o de todo) para reponernos. Fueron 12 euros bien gastados. Repuestos de nuestro primer

desfallecimiento, algunos hicimos un precioso recorrido nocturno en barco por los lagos del interior de la ciudad de Guilin. Una espectacular obra de ingeniería china con réplicas de puentes de todo el mundo, dos pagodas en el centro del gran lago final, barcos de mármol-salas de té, teatros al aire libre y fuentes diversas. Además de varios espectáculos musicales a la salida, pudimos ver cómo pescan con cormoranes los pescadores de la zona desde sus precarias balsas de bambú.

A la mañana siguiente, el plato fuerte de la visita a Guilin: el recorrido por el río Li. Aunque supongo que los paisajes serán más impresionantes al atardecer, lo cierto es que el recorrido es muy agradable y sobre todo entretenido. Los altos y escarpados montes de perfiles difusos por la niebla hacia el fondo (modelo replicado en tantas obras del arte chino) y que bordean el río con sus características formas redondeadas (*figura 2*), los continuos asaltos de vendedores de cosas generalmente inútiles (como los trozos de sal teñida de morado que hábilmente intentan colar por amatistas a 0,7€/unidad y que inevitablemente terminan en la basura del hotel cuando se hidratan y desmoronan) desde sus balsas de bambú, los búfalos de agua remojándose, las pequeñas, o no tanto, poblaciones ribereñas, los pescadores con cormoranes, e incluso los turistas chinos en sus balsas de coloridas sombrillas, hacen que el viaje



Figura 2. Relieves residuales de un paleokarst en el curso del río Li.

discurra relajado y sin tensiones. Nos dieron una comida a bordo no muy memorable y comprendimos pronto que si las cervezas (por cierto de 750 cc) estaban calientes, era porque las frías no iban incluidas en la comida y había que pagarlas aparte (esto de las cervezas calientes es también costumbre china, ¡jojo!). También típico del viaje es el licor de serpientes, un proto-aguardiente malo de solemnidad que tiene la cosa de estar metido en una frasca con serpientes muertas. La próxima vez me llevo un orujo para mejorar la calidad del producto.

El final del recorrido de 83 km es en el pueblo de Yang Suo, un mercadillo viviente donde te vuelves a enfrentar —ahora con más conocimiento de causa— a la milenaria técnica del regateo (abstenerse sosos). En el embarcadero foto típica con cormoranes y pescador para los coleccionistas de recuerdos. Después, en el autobús de vuelta a Guilin anécdotas de compras y timos (aunque las pérdidas eran de 3 o 4 euros.

### Dali o el marmol

Al día siguiente, en teoría, salida hacia Kumming para, tras una breve escala, volar a Dali. Sin embargo, nos informa la simpática y eficaz guía de que “se ha” cancelado el vuelo a Dali y tendremos que tomar otro más tarde, pasando varias horas en Kumming. Esta vez, el departamento de emergencias planificadoras tuvo que dividir sus esfuerzos para, por un lado, localizar una maleta perdida y, al mismo tiempo, hacer buen uso del mismo. Un nutrido grupo regidos, a regañadientes, por el desabrido guía de turno, esta vez ya de habla chinglesa, fuimos a ver dos hermosas pagodas en el centro antiguo de la ciudad entre las cuales había un amplio paseo flanqueado de edificios restaurados tradicionales de la época gloriosa del Kumming más imperial, para volver al aeropuerto y, resuelto el espinoso asunto de la maleta, tomar otro vuelo a Dali.

Llegamos a Dali cerca de la medianoche local, ya bastante baqueteados, para toparnos con la agradable sorpresa de un hotel espectacular en el sitio menos



Figura 3. Grupo de asistentes al viaje, en las Tres Pagodas.

previsto. Gracias al esta vez simpático guía por un día, tuvieron la amabilidad de dejar el restaurante abierto y, los más perspicaces, nos hicimos con un par de huevos fritos a la *chinoise* con *french fries* regado, este magnífico manjar, con cervezas templadas al más puro estilo inglés. Se agradeció el detalle, no obstante. Por fin, nuestras estupendas habitaciones del probablemente mejor hotel de los que visitamos en el viaje —desgraciadamente para menos de una noche— nos acogieron cálidamente para reponernos siquiera algo.

Otro madrugón (bueno algo menos) para, tras una visita al inmenso bufete del hotel a la caza de un desayuno comestible mezclado con cosas seguramente incomedibles que comían alegre y ruidosamente un amplio elenco de turistas locales de buen bolsillo y mejor saque, salir pitando al autobús, donde me estreno como traductor apócrifo. Nos espera el lago Er Hai (La oreja), muy próximo a Dali. Hacemos un fresco recorrido por el lago hasta la isla Jinsuo Dao, donde visitamos el templo multiconfesional local y hogar de ancianos y transitamos por un típico pueblo de pescadores, antes residencia de verano

de la realeza *nanzhao* (de la étnia Bai), con final de recorrido en el socorrido mercadillo de gangas chinas, camarón, pescado vivos y a la plancha, superalmejas y otras especies comestibles del lago. Luego regreso a Dali para visitar la ciudad amurallada más o menos restaurada y convertida —¡cómo no!— en alegre mercadillo. De especial relevancia eran los retretes públicos a la entrada de la ciudad, dignos de ser fumigados por especialistas en monos blancos. Al cuidador de la entrada, que nos cobró 50 céntimos, no parecía molestarle el olor.

Tras la visita y las compras —qué alguna hubo— comida china en restaurante local. No hubo consenso sobre la calidad en este caso, pero como ya no estábamos para más cornadas, hicimos lo que pudimos.

Tras el refrigerio, la consabida visita a tienda oficial, en este caso anunciada como impresionante taller de corte de piedra. Cómo la visita a las famosas canteras de Dali (en China decir Dali es decir mármol) era inviable debido a lo escarpado de su situación en unas montañas de las que la niebla no nos dejaba ver mucho y a que la carretera hasta ellas era de un carril y de tierra,



Figura 4. Relieve kárstico del Bosque de Piedra.

esperábamos resarcirnos con la planta de corte y pulido prometida. Resultó sin embargo un taller que no vimos y un gran almacén de piedras pulidas en forma de placas enmarcadas (como hermosos paisajes ondulados), ajedreces, vasos, cápsulas, mesas, jarrones inmensos y un largo etcétera difícil de describir. Lo más impresionante: una mesa de dos metros cuadrados de un mármol replegado espectacular, cuya adquisición para la sede del colegio no cuajó por falta de seguridad jurídica y miedo escénico.

De las compras, regreso al turismo y visita a las emblemáticas San Ta (Tres Pagodas) de Dali (figura 3), magníficas en sus diferencias y su férrea resistencia a los terremotos. Están situadas en la ladera de una colina con magníficas vistas al lago.

De allí, salimos hacia Lijiang por carretera, sin guía pero con chofer de autobús. Este hablaba muy bien —seguramente— el mandarín, pero en realidad nunca lo sabremos. Los 136 kilómetros de Dali a Lijiang parecían pocos sobre el plano, pero

la carretera era revirada y además subimos y bajamos cerros y montañas lloviendo a veces, con lo que se nos hizo bastante pesado. El ser conducido por carreteras chinas es también un ejercicio de autocontrol para cualquier ciudadano europeo que se precie de mantener sus puntos sin tacha, pero como se suele decir, de perdidos al río. Nuestro afable conductor, no obstante, no olvidó la sana costumbre de los guías de llevarnos a alguna tienda, y paró en algún punto indeterminado de la carretera en el que había una especie de gran almacén (con baños...) donde los más atrevidos pudieron comprar azafrán, culebra seca, hormigas o caballitos de mar secos, setas y un sinfín de especies. Naturalmente también había jade y objetos de joyería varios.

Llegamos a Lijiang bastante derrotados, también en la noche, con el anuncio de nuestro nuevo y más refulgente guía, el inefable Jack “El loco”, de que el hotel estaba en la parte antigua de la ciudad y por lo tanto el autobús no podía entrar hasta el mismo, razón por la cuál nos anunciaba una breve caminata de “quince

minutos” hasta el hotel. Vencidos y humillados por aquel ejercito rojo, hicimos de tripas corazón y encaminamos nuestros anhelos a que fuera verdad lo de los quince minutos. No fue verdad, pero tras el lío inicial de las maletas y una vez pudimos entrar en las habitaciones comprobamos que el paseo merecía la pena. El hotel era una belleza y las habitaciones aunque algo estrechas eran estupendas.

### El dragón entre tinieblas

A la mañana siguiente subida en autobús a las montañas nevadas del Dragón de Jade (Yuong Xue Shan), cuyas nevadas cumbres no pudimos ver por la niebla. Antes, el conductor se durmió perdiendo muchas posibilidades de cobrar propina y Jack nos relató su muy amplio currículum y su genealogía durante unos buenos veinte minutos, gracias a lo cual el recorrido se nos hizo corto. Jack es, según dijo, hijo de un rey (¡nada menos!) de Dali, pertenece al pueblo Bai y habla tantos idiomas que a veces no se entiende a si mismo. El Lijiang la mayoría

son de la étnia Naxi, según explica, que por cierto practica el matriarcado (lo llevan hasta el lenguaje, que es distinto del mandarín, y por ejemplo, en lenguaje Naxi, una piedra femenina (una cuarcita, por ejemplo) es una roca, mientras que una piedra masculina (un granito) es un guijarro). El pueblo Naxi escribe con jeroglíficos que son patrimonio de la humanidad, en un lenguaje denominado *dongba*.

Alcanzamos la cumbre por medio de un telecabina, aunque previamente hemos alquilado unas chupas chinas dado que hace frío y vamos de verano la mayoría, donde nos sorprende que los locales pertenecientes a la tribu de los Yi se han adaptado a las nuevas tecnologías y nos hacen una foto digital que imprimen rápidamente en una impresora y nos venden sobre la marcha. Lluve y hace frío allí arriba; no obstante, nos paseamos hasta un templo budista donde recibimos bendiciones varias y giramos los rodillos a tal efecto. Luego foto de rigor sobre inmenso yak con cara de pocos amigos y agradable picoteo de patatas asadas y pinchos de carne de yak, bastante sabrosa, mientras cantamos alegres canciones con el poco Yi que hemos aprendido, mezclado con el bai o el mandarín para mayor desconcierto de los locales.

Bajamos para comer algo y regresamos a Lijiang con parada en una mansión dónde se conservan pinturas murales Naxi. Después, tiempo libre para recorrer algo

del casco antiguo de Lijiang. Por último, cena en pizzería para compensar.

### De tigres y bosques de piedra

Otro madrugón para salir hacia el famoso Salto del Tigre en el río Jinsha Jiang por sinuosas carreteras y conductores temerarios. Luego, recorrido de cuatro kilómetros desde el aparcamiento hasta el salto por pista excavada en mármoles blancos. El tajo es impresionante con un desnivel brutal. Luego, fotos en los rápidos del río donde se encuentra la roca a la que se supone salto el tigre perseguido por los cazadores. Hay consenso de que la geología recuerda a las béticas...

Regreso a Lijiang con comida china en restaurante local. De nuevo los retretes atraen la atención del personal, que ya empieza a comprender el sistema. En Lijiang, visitamos el Museo de la Cultura Naxi, donde un brujo *dongba* firma textos pictográficos para el personal. Después, breve introducción a la ciudad de Lijiang reconstruida después del terremoto de 1996. Por la noche, algunos vamos a ver un espectáculo de música naxi bastante entretenido.

Al día siguiente, otro avión nos devuelve a Kuming donde una amable y curiosa guía nos lleva al Bosque de Piedra (figura 4). Al llegar, comida —por cierto muy buena— y espectáculo de pintor

chino en vivo. Después, recorrido por una ciudad encantada multiplicado por mil. El paisaje es magnífico y nos recreamos viendo el divertido resultado de la disolución de las calizas. Hay debate en la cumbre geológica por un cartel (figura 5) que indica que los niveles de nódulos de sílex en las calizas son el resultado del paso sobre ellas de coladas de lava (?). Creo que lo escribió algún guía.

Como nos queda tiempo para el siguiente vuelo, nos pasamos por el Museo de la Ciudad de Kuming para ver los dinosaurios que dicen exhibir. Para nuestro desconuelo están de obras y los tienen embalados. Nos endilgan, en cambio, un ruidoso recorrido por los antepasados habitantes de la ciudad que comerciaban con conchas, y una prolija explicación sobre el Pilar de Sustras de Dali de la dinastía Dong, hecho en arenisca. La guía nos cuenta la historia del animal mitológico que tiene treinta y cuatro kilómetros de largo y se traga doscientos dragones al día. Pena de fósil. Tras el recorrido, visitamos la tienda del museo dónde nos ofrecen té y café y antigüedades certificadas además de las habituales baratijas, ropa, falsificaciones, etc. Lo que hay que ver.

Después nos vamos a una ceremonia del té muy agradable y divertida para después



Figura 5. Cartel del Bosque de Piedra.



Figura 6. Guerreros de Terracota en el yacimiento de Xián.

darnos otro masaje de pies, que desde luego se agradece mucho. Finalmente, vuelo a Xián donde nos alojamos en un excelente hotel.

### El ejército de Terracota

En Xián visitamos los archifamosos Guerreros de Terracota (*figura 6*) que, desde luego, impresionan extraordinariamente, y comemos en el restaurante del complejo de edificios que albergan las zanjas con los guerreros. Luego, nos vamos a ver la Pagoda del Gran Ganso y las murallas de Xián. Por la noche, compras en el barrio musulmán y cena en MacDonalds.

Por fin, nos embarcamos en la última etapa del viaje con destino a Pekín. El hotel que nos recibe es supermoderno, pero el personal que lo gestiona no habla casi inglés, con lo que cunde algo el desconcierto. La verdad es que es muy cómodo y agradable.

### Todo puede ocurrir en Pekín

El primer día de Pekín lo dedicamos a visitar el yacimiento del Hombre de Pekín (*figura 7*) a 48 km al suroeste de la ciudad. Muy parecido al de Atapuerca (dolina rellena), su pequeño museo tiene fotos de la creación del Instituto Geológico Chino y originales de los primeros informes geológicos. Nos confiesan que siguen buscando los huesos del Hombre de Pekín que desaparecieron durante la 2ª Guerra Mundial. Comemos en un restaurante local y regresamos a Pekín. Por la tarde, la locura de las compras en el Mercado de la Seda y cena en la habitación porque el restaurante del hotel estaba cerrado a pesar de las indicaciones de la más sosa de las guías del viaje.

Al día siguiente visita muy tempranera a la Muralla China. Buena idea la visita temprana porque, a partir de las 10, se llena de personal. Ascendemos los más valientes hasta donde podemos, manchándonos las manos del óxido de los pasamanos, que no los han pintado para que te lleves el recuerdo. Bajamos sudados pero contentos de las vistas y lo impresionante de la muralla.

Regresamos de las murallas para la visita a la Ciudad Prohibida. Recorremos devotamente la serie de estancias, palacios, pasillos y puentes que se puede, porque algunos están de obras. Todo muy impresionante pero muy lleno de turistas. Terminamos en el jardín norte del complejo y nos vamos a comer a un restaurante muy elegante, por cierto.

De allí, los que tenemos cita en la Embajada de España en China, nos vestimos con nuestras mejores galas y nos vamos, en varios taxis, a la cita. Entramos como Pedro por su casa y el embajador, muy amable, nos da la bienvenida. Después, llega el Profesor Dong, vicepresidente de la Academia de Ciencias Geológicas China y nos liamos a comentar con él los mutuos temas de interés con la ayuda del paciente intérprete de la embajada. La reunión es un éxito y tras el intercambio de regalos nos hacemos la foto de rigor en la puerta de la embajada (*figura 8*). Por cierto, que en ese momento, el Sr. embajador ya sabía que había sido cesado y nombrado embajador de España en Mongolia (con sede en Pekín, ¡eso sí!).

La última tarde-noche la dedicamos a las compras alocadas en el Mercado de la Seda que desgraciadamente cierra a la



Figura 7. Cabeza del Hombre de Pekín en el yacimiento homónimo.

nueve. La cena de pato laqueado prevista de fin de fiesta no puede ser para todos y nos conformamos otra vez con un McDonalds. Cargados de camisetas, pantalones, corbatas, cazadoras, trajes de Armani, zapatos y relojes, regresamos al hotel con nuestro botín para proceder a pesarlo todo en la balanza de la habitación, ya que nos han advertido que si nos pasamos de los 20 kg por persona nos meten 30 euros de vellón por kilo.

Al día siguiente, otro tiqui-taca celeste para llegar a Madrid sanos y salvos y más contentos que unas pascuas. Besos y abrazos y la promesa de una cena de pato laqueado, aunque sea en Madrid, y a ver si organizamos otra parecida porque, desde luego, vale la pena.



Figura 8. Asistentes a la entrevista con el embajador español en Pekín. En primera fila de izquierda a derecha: Isabel Gómez, Macarena Regueiro, Luis Suárez, profesor Dong (vicepresidente de la Academia de Ciencias Geológicas China), José Pedro Sebastián de Erice (embajador de España en China), Roberto Rodríguez, Manuel Regueiro; en segunda fila, de izquierda a derecha, Jerónimo Matas, Ana María García, Carlos León, Ángel Carbayo, asistente del profesor Dong y David Suárez.

# Mi sinopsis de la Minería

Este artículo ofrece la perspectiva de una recién llegada al mundo del sector minero, así como su visión sobre los retos y desafíos a los que se enfrenta esta industria en el futuro, a escala mundial.

**TEXTO** | Barbara Dischinger. consultora. Meyer Hosking & Associates (Londres).

**FOTOS** | Manuel Regueiro

Palabras clave

**Minería, cazatalentos**

Soy cazatalentos del sector de la minería, en el que empecé a trabajar en junio de 2005. Me gustaría aprovechar la oportunidad que me brinda *Tierra y Tecnología* para expresar mi punto de vista sobre esta industria, como mujer y como persona que no trabaja en ella directamente.

Antes de junio de 2005, yo no sabía a ciencia cierta lo que significaba o representaba la minería. Para mí era tan sólo la imagen de un minero subido a un ascensor con un casco en la cabeza y la cara tiznada de humo. Un año después, creo que esa imagen no es muy representativa de la industria de la minería, hoy en día. Por desgracia, la mayor parte de la sociedad comparte mi ignorancia sobre la minería, y sólo los que trabajan, o han trabajado, en este sector, los que tienen estudios relacionados con él o están casados con un minero o minera, saben lo que es la minería. Antes de esa fecha yo no había pensado mucho en este sector ni me identificaba con ese dicho de que "todo lo que no sale de la tierra sale de la mina".

Se pueden decir muchas cosas sobre la minería. Yo voy a concentrarme en unas cuantas:

## Minería en general

*La minería es una actividad muy antigua.* Se remonta a los tiempos prehistóricos

y lleva practicándose sin interrupción, de manera masiva, desde que mejoraron los métodos de extracción y la tecnología. La mina más antigua que se conoce estaba en Suazilandia y se cree que tiene 43.000 años, aunque los arqueólogos chinos creen que fue construida, al menos, en el segundo milenio antes de Cristo. Se han recuperado algunos objetos de ella, sobre todo herramientas y objetos religiosos y decorativos, así como algunas armas y monedas. Los historiadores de la minería piensan que el principal uso que se le dio al metal durante muchos siglos fue la producción de moneda.

*La minería es una actividad que se practica en todo el mundo, en todos los continentes.* Esto se debe a que los ambientes geológicos ígneos, metamórficos y sedimentarios que generan los depósitos minerales, se desarrollan por igual en todas las partes del planeta. Las compañías mineras exploran estos metales y minerales y los extraen donde sea económicamente posible.

Hay algunos países de larga tradición minera que aún siguen copando gran parte de esta actividad en el mundo: Canadá, Estados Unidos, Perú, Chile, Brasil, Sudáfrica, Rusia, Australia y la CEI. La mayor parte de los congresos sobre minería, en los que se reúne toda la comunidad minera, tienen lugar en

estos países: Indaba, en Sudáfrica, en febrero; PDAC, en Toronto, en marzo; Diggers and Dealers, en Australia, en agosto; y Mines & Money, en Londres, en noviembre. Todos estos congresos o reuniones son fechas muy señaladas en el calendario anual de la minería. Minex es un evento reciente que tiene lugar cada año en Moscú, en octubre. No obstante, la minería es una actividad que comprende muchos más países; Europa, que solía ser uno de los continentes más representativos, tiene en la actualidad escasa actividad minera.

Hay muy pocos sectores que dependan tanto del precio de las materias primas, lo cual puede generar un mercado muy volátil. Debido a los altos precios y al auge de esta industria, hay muchos más proyectos viables, lo cual crea nuevas oportunidades y atrae a este mercado a muchas nuevas compañías mineras, que generan muchos nuevos empleos. En 2005, casi 60 compañías mineras de reciente creación figuraban en la lista del Alternative Investment Market (Mercado de Inversión Alternativa: AIM) de la bolsa londinense, y este año ya hay treinta nuevas más.

Un porcentaje relativamente alto de las acciones que cotizan en AIM corresponden al sector de la minería, lo cual también sucede en las bolsas de otros países como Australia, donde BHP



Figura 1. Gran explotación minera a cielo abierto.

Billiton es una de las compañías con mayor valor bursátil. Toronto y Londres conforman las grandes plataformas mineras a escala mundial (figura 1).

El coste de la extracción y procesamiento de metales es muy alto. La infraestructura también tiene un coste elevado, sobre todo si es necesario crear infraestructuras alrededor de un proyecto: puerto, vías férreas, carretera, suministro de agua, electricidad, etc. Por tanto, para una compañía minera sólo es posible obtener beneficios si los costes no son muy altos. Muchas compañías gastan mucho dinero en proyectos de exploración y luego deciden que no les es económicamente rentable explotar la mina, de modo que abandonan el proyecto hasta que bajen los precios de las materias primas, o bien hasta que ven el proyecto desde una nueva perspectiva.

*A los mineros les entusiasma la minería:* a los geólogos, ingenieros de minas, metalúrgicos, etc., les encanta su sector y hablan de él sin parar. Están orgullosos

de su trabajo y muy interesados en él, y da la impresión de que no es sólo por el dinero y por tener un trabajo, sino que les entusiasma lo que hacen. Los mineros forman una comunidad que se distingue de otras por lo técnico de su naturaleza y el hecho de que la minería se practique en todo el globo, lo que contribuye a que tengan un fuerte sentido de comunidad.

La comunidad de mineros se considera muy endogámica. Se trata de una comunidad cuyos miembros tienen estrechos vínculos, y la mayoría se conocen entre ellos. Sin embargo, en mi opinión, creo que esta comunidad no es tan pequeña. Se puede decir que la comunidad de una región o de un metal determinado es pequeña, pero no la comunidad minera a escala mundial. Muchos de sus integrantes siguen trabajando juntos en diferentes compañías a lo largo de su carrera. Cuando comienzas a analizar las compañías y su mano de obra, sobre todo sus juntas directivas, descubres diversos lazos que se remontan en el tiempo

—especialmente a un nivel directivo y de los miembros del consejo— y tejen una tela de araña que sólo pueden percibir los iniciados.

*La minería es, básicamente, un trabajo en equipo.* Poner en marcha un proyecto minero, de la fase de las prospecciones a la operativa, vender y comerciar con el producto, lleva diez años o más, y supone el esfuerzo conjunto de muchos equipos multidisciplinares durante cada fase del proyecto: exploración, prospección, concesión de permisos y licencias, estudios de viabilidad, estudios de viabilidad financiera, construcción, planificación y operación de una mina, metalurgia, laboratorios, relaciones comunitarias, relaciones gubernamentales, medio ambiente, logística, adquisiciones, transporte, cierre de una mina, legislación relativa a la minería, financiación, comercio, contabilidad, relaciones públicas y con inversores, investigación y desarrollo, relaciones con la prensa... y muchas cosas más.

Desde mi punto de vista, esta necesidad de trabajar en equipo a todos los niveles para conseguir entre todos algo más importante, así como el trabajar en lugares lejanos, son los motivos por los cuales la mayoría de las personas que trabajan en este sector son prácticas y afables.

Salud y seguridad. La Organización Internacional del Trabajo (OIT), así como la mayoría de los gobiernos, han legislado una serie de normas de seguridad que han de cumplirse en el sector de la minería. Pese a que la mayor parte de las compañías han mejorado significativamente las medidas relativas a la salud y seguridad en sus minas y la formación de su personal al respecto, sigue habiendo accidentes. Estos dependen de factores como el país en que se encuentre la mina, el método de extracción, el tipo de mineral, etc. Al analizarse y agruparse los datos en cada país por separado, no hay un conjunto de estadísticas totales válido a escala internacional (el pasado julio, Paul Moore publicó un interesante artículo sobre esta cuestión, titulado "Safe and Sound", en la revista de minería *Mining Journal*).

## En los países desarrollados, se hacen varios estudios para minimizar el impacto de la operación minera en el entorno: desde analizar la flora y la fauna que había en el lugar en el momento de la exploración hasta la planificación del cierre de la mina

*Medio ambiente y comunidades locales.* El medio ambiente cobra una importancia cada vez mayor, de comienzo a fin, en un proyecto. En los países desarrollados, se hacen varios estudios para minimizar el impacto de la operación minera en el entorno: desde analizar la flora y la fauna que había en el lugar en el momento de la exploración hasta la planificación del cierre de la mina. Antes de conceder una licencia de minería, la mayoría de los países hacen



Figura 2. Recuperación ambiental de una gravera.

una evaluación del impacto medioambiental de la operación propuesta. Hoy en día, es posible poner en funcionamiento una mina sin contaminar (figura 2).

Pero aún se hace mucho más para ayudar a las comunidades locales, invirtiendo dinero en programas sanitarios locales,

intereses locales y si se tienen en cuenta sus puntos de vista y sus preocupaciones. La compañía Río Tinto, por ejemplo, tiene una de las mejores políticas de responsabilidad corporativa, y se esfuerza por garantizar un desarrollo sostenible en todos los lugares en los que se instala ([www.riotinto.com](http://www.riotinto.com))

Esto significa, asimismo, que las compañías mineras pueden estar haciendo más en el campo de los proyectos medioambientales y comunitarios que los ayuntamientos. Es una forma de resarcir a la comunidad por extraer metales y minerales de sus tierras. Así y todo, debería ser responsabilidad del Gobierno el garantizar a los ciudadanos una calidad de vida.

### Mano de obra

*Los mineros están muy preparados.*

El sector de la minería es técnico y comercial a un tiempo, y para trabajar en él se requiere tener muchas habilidades y conocimientos diversos. La mayor parte de los mineros tienen varias diplomaturas o licenciaturas, especializaciones o doctorados (un número quizá mucho más alto que el de otros sectores de la economía).

*Experiencia.* La mayor parte de los miembros de las juntas directivas de las

compañías mineras son geólogos o mineros licenciados en Ingeniería de Minas que han ido subiendo de categoría, lo cual no siempre sucede en otros sectores. Es muy raro que una persona que no está metida en este sector industrial sea nombrada presidente de una empresa minera.

Como las minas están diseminadas por todo el mundo, las compañías envían a sus profesionales en calidad de expatriados. Estos ganan sueldos muy altos, lo que compensa las condiciones adversas

Además de sus conocimientos y de su habilidad, muchos profesionales de la minería tienen una vena *emprendedora* y, en algún momento de su vida, intentan emprender un proyecto, o varios proyectos, con un grupo de compañeros. Para muchos, los beneficios obtenidos compensan el trabajo duro, sobre todo si los precios de la materia prima son altos y puedes convertirte fácilmente en millonario y en tu propio jefe. Esto coincide de nuevo con mi punto de vista de que son buenos técnicamente y hábiles comercialmente.

*Movilidad.* Una de las consecuencias de que la minería sea una actividad que se practica a escala mundial es que la mano de obra tiene mucha movilidad, puesto que la minería se basa en la instalación de minas o la exploración de nuevos proyectos en prácticamente todos los

países. Debido a la frecuencia de sus viajes, la gente que trabaja en esta industria es más abierta, tolerante y diplomática que los que trabajan en otros sectores. Esto ha dado lugar a matrimonios mixtos, y hay bastantes trabajadores del sector de la minería que hablan varios idiomas.

Muchos profesionales de la minería trabajan *fly in fly out*, es decir, permanecen determinado período de tiempo (*fly in*) en un lugar lejano, alojándose en un campamento o pueblo instalado para los empleados, normalmente sin sus familiares, que sólo proporcionan alojamiento, comida, servicios de lavandería y actividades de ocio. Durante el período de *fly out*, vuelven a casa y se quedan con sus familias un corto periodo de tiempo. Estos turnos pueden ser de 5 días/3 días, 5 semanas/3 semanas o incluso 8 semanas/2 semanas y son iguales para todos. Esto implica un gran esfuerzo para las familias, sobre todo para las mujeres que quieren tener hijos o una carrera en la minería. En ocasiones, los mineros se trasladan con toda la familia a su nuevo empleo, porque las operaciones están más cerca de los pueblos y de la infraestructura de un país. Por tanto, muchas familias de un profesional de la minería se trasladan varias veces, un poco como sucede con los diplomáticos.

Como las minas están diseminadas por todo el mundo, las compañías envían a sus profesionales en calidad de expatriados. Estos ganan sueldos muy altos, lo que compensa las condiciones adversas, como por ejemplo no poder ver apenas a sus familias o trabajar en lugares remotos, en circunstancias a veces difíciles. Aunque esto sucede a menudo, las compañías tienden a contratar cada vez más a trabajadores en los países donde se instalan, en parte para reducir costes y mejorar el panorama social y económico de los países en los que operan, y también para mejorar su imagen.

En esta industria *hay pocas mujeres* (figura 3). En Canadá, en 2005, un 13,1% del total de la mano de obra de la minería era femenina (cifras procedentes de MITAC), lo cual representa un incremento respecto a años anteriores. Muchas mujeres tienen trabajos relacionados con la minería: relaciones públicas, relaciones con inversores, puestos financieros y de administración, trabajos relacionados con el medio ambiente, abogadas, corredoras de bolsa, empleadas de banca o de las áreas de responsabilidad social, salud y riesgos laborales, analistas o investigadoras; hay pocas que tengan trabajos técnicos u operacionales relacionados con la minería. El porcentaje de mujeres con un título relacionado con



Figura 3. Geóloga investigando un yacimiento de bentonitas en Cabo de Gata.

la minería y que trabaja en estos campos no llega al 5%, y probablemente esté más cerca del 1%.

En lo que ha sido un terreno tradicionalmente masculino, la presencia cada vez más frecuente de la mujer es un avance que reviste particular interés. Las mujeres han tenido un papel activo en esta industria, pero probablemente hayan pasado más inadvertidas. Países como Canadá y Australia han empezado a asociarse con el gobierno y el mundo académico para contrarrestar esta situación; sin embargo, la mayor parte de los países andan a la zaga. Varios países o ciudades, han formado un grupo de "Mujeres en la minería". El primero se fundó en Estados Unidos, en 1974. Yo comencé un grupo similar en Londres en abril de este año, que se reúne una vez al mes. (Para más información sobre las mujeres en la minería consultar: [www.womeninmining.blogspot.com](http://www.womeninmining.blogspot.com)).

*Falta de personal en la minería, que se acerca al pleno empleo.* Debido a los bajos precios de la materia prima y a una recesión a lo largo de muchos años, hubo pocas diplomaturas y licenciaturas relacionadas con la minería, lo que ha provocado una enorme carencia a escala mundial de personal cualificado, en todas las especialidades de la minería. Esta situación se hace actualmente más patente ahora que esta industria está en auge. Todo el mundo es consciente de esta carencia y nadie la discute. Sin embargo, no se ha hecho mucho para contrarrestarla. La realidad es que ha habido ciertas iniciativas locales, pero en ningún caso un esfuerzo sostenido a escala internacional.

Por otra parte, hay muchas más compañías mineras que antes, lo cual implica que hay más puestos de trabajo y más funciones que desempeñar. Debido a los altos precios de la materia prima, las compañías siguen necesitando más empleados para trabajar en nuevos proyectos, mientras que la mayoría de los empleados en este sector están contentos con su trabajo y no tienen otras aspiraciones laborales. Es probable que esta tendencia permanezca mientras persista el alza de los precios de la materia prima.

En años anteriores, los individuos que tenían que contratar personal se remitían a sus contactos para encontrar candidatos para un puesto de trabajo, ya que si ponían un anuncio en el periódico obtenían muchas respuestas. Ahora que la demanda supera la oferta, estas estrategias han dejado de funcionar. Los periodos de búsqueda de candidatos suelen durar más, las compañías empiezan a contratar a gente que no procede del sector de la minería y se hacen contratos más duraderos, o bien se contrata a jubilados.

La búsqueda de ejecutivos es la estrategia que les resulta más eficaz a las compañías, ya que permite que un consultor independiente busque los candidatos adecuados en todo el mundo, y que acceda a ellos con la mayor discreción. El consultor va más allá de la red de contactos del cliente, y se fija tanto en la experiencia y conocimientos del candidato como en su adecuación personal al puesto. Se trata de un servicio a medida que tiene un porcentaje elevado de éxitos. Muchos de nuestros clientes acuden a Meyer Hosking como último recurso, después de hacer una búsqueda infructuosa durante meses.

El hecho de que los candidatos para un puesto reciban regularmente ofertas de otras compañías y puedan elegir entre ellas negociando su sueldo, en pocas palabras, que se coticen tanto en el mercado, dificulta nuestro trabajo.

*Los niveles de sueldos* han aumentado en toda la industria, y gran parte de los recientes ejercicios de comparación de sueldos de Meyer Hosking revela que los

correspondientes a puestos directivos han aumentado alrededor de un 18% por año. El fenómeno comenzó hace aproximadamente tres años, alcanzando un aumento de poco más del 50%, durante ese periodo. Pese a estos incrementos, los sueldos siguen estando a la zaga de los de otros sectores. Seguramente, los sueldos seguirán subiendo hasta que los niveles salariales sean realmente competitivos en el mercado y puedan atraer a más gente con capacidad para trabajar en esta industria.

### El futuro de la minería

Con independencia de futuras recesiones, la minería es una industria con afán de permanencia, ya que la demanda de metales, minerales y piedras preciosas no va a descender. Se trata de un ingrediente fundamental en la industria y la economía de la sociedad. Mientras estamos hablando de ello, se están poniendo en marcha nuevas minas y nuevos proyectos, que necesitarán en el futuro quien los gestione y se ocupe de ellos. En consecuencia, es necesario encontrar e identificar nuevas fuentes de talento y atraerlo a esta industria.

Ahora que la minería es un sector boyante, hay más estudiantes que están cursando una diplomatura o licenciatura relacionada con ella, y que esperan desarrollar una carrera lucrativa en este campo. No obstante, en la industria actual hay un desfase de 10 o 15 años, que ellos no van a conseguir solventar. La mayor parte de los que entran en el sector de la minería lo hacen cuando acaban el colegio o la universidad, y ahí es donde hay que trabajar más.

**Barbara Dischinger** es licenciada en Ciencias Políticas por la Universidad Libre de Bruselas y lleva trabajando como consultora en el sector de la minería desde junio de 2005. Ha vivido en varios países europeos y americanos, y habla cinco idiomas. Meyer Hosking & Associates, con sede en Londres, es una consultora que tiene como finalidad la búsqueda de ejecutivos de alto nivel para las compañías del sector de recursos naturales, en todo el mundo, dedicados principalmente a la minería, metales y energía.

# Las Salinas de Imón y de La Olmeda (Guadalajara)

## Historia de la creación de un paisaje de la sal

El cloruro sódico, vulgo sal, no es un mineral cualquiera. Para empezar, es la única piedra comestible. Y no sólo se puede comer, sino que su ingesta es imprescindible para la supervivencia de hombres y bestias.

**Texto** | Katia Hueso & Jesús-F. Carrasco. Asociación de Amigos de las Salinas de Interior, katia@silente.net

Palabras clave  
**Sal, salinas, Imón, La Olmeda**

La sal ha sido causa de guerras y objeto de tributos. Se le ha llamado el oro blanco por su gran valor, ya pretérito. Tiene propiedades físico-químicas muy concretas, lo cual le confiere una gran variedad de usos: hay quien cita 14.000, aunque en la tabla adjunta se relacionan sólo algunos de los más comunes, en función de sus propiedades. Gracias a todo ello, la sal es protagonista de leyendas, refranes y creencias. La sal, en fin, ha acompañado al hombre a lo largo de su historia.

Así, la obtención de sal ha sido siempre una de las actividades productivas más importantes. Se conocen dos grandes métodos de producción de sal: evaporación de agua salada o salmuera y extracción de sal gema. Ambos métodos pueden utilizarse en solitario o en combinación, según las circunstancias del lugar.

Dejando de lado la minería de sal, sin duda bien conocida por los lectores, en este artículo centraremos la atención sobre la producción de sal por evaporación, más concretamente, por acción del viento y del sol: las llamadas salinas de evaporación solar. La región

| Propiedad   | Uso   |
|---|---|
| Potenciador del sabor y conservante                 | Consumo doméstico (sal de mesa, sal de cocina), industrias agroalimentarias (procesado y conservación de alimentos, fabricación de pan, piensos, quesos, etc.). |
| Bioactividad  | Industria farmacéutica (medicamentos, soluciones salinas), terapia (sales de baño, termas).   |
| Descenso del punto de congelación por debajo de 0°C | Industria frigorífica. Transporte (deshielo de carreteras).   |
| Estabilización de suelos                            | Construcción (sellado de fondos de embalses y depósitos).   |
| Fluidificante                                       | Industria siderúrgica (aleaciones de aluminio de alta pureza).  |
| Potenciador de la alcalinidad                       | Industria papelera (proceso de fabricación de celulosa y pulpa de papel).   |
| Floculante  | Sondeos (floculación de lodos).   |
| Antioxidante  | Industria metalúrgica (limpieza de acero).  |
| Disolvente  | Industria minera (separación de menas), elaboración de tintes.  |
| Antiséptico   | Industria de la piel (curtido y tratamiento de pieles).   |
| Coagulante  | Industrias químicas (fabricación de neoprenos y gomas).   |

Tabla 1. Propiedades y usos de la sal.

mediterránea es particularmente rica en el modelo de salina que nos ocupa: tan sólo precisa de una superficie plana y más o menos amplia para depositar la salmuera, y un clima favorable para que el viento y el sol hagan su trabajo de evaporación. Nuestro clima mediterráneo

favorece esta acción combinada de los elementos, pues el periodo de mayor calor coincide con el de mayor sequedad en el ambiente, produciéndose una evaporación óptima para la cristalización de la sal a partir de salmuera. En la península Ibérica, la época de obtención

de sal puede abarcar entre dos y seis meses, según la zona donde se ubique la salina.

Esta forma de obtener sal es la más conocida por ser la que se puede ver en muchas costas. Pero ese mismo sistema de evaporación solar en el interior del continente es algo que, en Europa, sólo se produjo en la península Ibérica: las salinas de interior. En España llegó a haber centenares de estas salinas funcionando. Y provincias sin costa como Jaén, Zaragoza, Albacete, Cuenca o Guadalajara tenían salinas, de diferente tamaño, donde se producían toneladas de sal todos los años (figura 1).

Unas de las salinas de interior más emblemáticas de nuestro territorio es el conjunto de las Salinas de Imón y de La Olmeda, en Guadalajara. Se trata de dos instalaciones salineras de unas 12 hectáreas cada una, situadas a unos 1.000 metros de altitud en la sierra norte de esta provincia, muy cerca ya de Soria (figura 2).

### Patrimonio natural del Valle Salado de Guadalajara

La región sobre la que están emplazadas las Salinas de Imón y La Olmeda, está fundamentalmente representada por materiales de los períodos Triásico y Jurásico, de hace unos 200-250 millones de años. En esta época ya habían aparecido insectos, peces, anfibios y reptiles. La vegetación estaba dominada por gimnospermas (las actuales coníferas). Las salinas propiamente dichas se encuentran sobre la facies Keuper, que corresponde al Triásico superior, y se caracteriza por una litología de arcillas abigarradas, limonitas y margas con gran abundancia de yesos y sales. Aparecen minerales como aragonitos y cuarzos idiomorfos, así como fósiles animales de *Myophriopsis reuperina*, *Pleuromya elongata* y *Myopharia elegans*. Se ha encontrado además polen fósil de *Convolutispora microrugulata*, *Cuneafisporites radialis*, *Retusotrilites hercinicus* y *Todispora major*. En Imón, se observan unas estructuras de



Figura 1. Mapa del Inventario Nacional de Recursos Minerales de Cloruro Sódico y Sales Potásicas editado por el ITGE en 1997, en el que se sitúan las explotaciones de sal que se encontraban activas aún en 1995. Muchas de las salinas de interior que aparecen aquí ya han cesado su actividad.



Figura 2. Vista parcial de las salinas de Imón con los almacenes o alfolíes de San Antonio (izq.) y San José (dcha.). En primer plano, las albercas o eras de cristalización de sal.

dolomías tableadas correspondientes al período de transición entre el Triásico y el Jurásico, de hace 200 millones de años. La hipersalinidad de los depósitos encontrados en la facies Keuper en Imón y La Olmeda puede tener su origen en el desaparecido mar de Thetys, que dejó una costra salina sobre la superficie. Ésta se encontraría actualmente enterrada y es atravesada en determinados puntos por

afloraciones de la capa freática, lo cual produce la presencia de manantiales salinos.

En la zona norte de la provincia de Guadalajara (valles de los ríos Henares y Salado) se han aprovechado otros afloramientos de este tipo para su explotación salinera. Además de Imón y La Olmeda, se conocen otras diez salinas que estuvieron en funcionamiento

en la zona en distintas épocas, a saber: Alcuneza, El Atance, Bujalcayado, Carabias, Paredes de Sigüenza, Riba de Santiuste, Rienda, Santamera (o Gormellón), Tordelrábano y Valdealmendras. Algunas de ellas están protegidas bajo la figura de Microrreserva y Lugar de Interés Comunitario gracias a flora y fauna halófila que albergan, considerada de especial interés para la Directiva Hábitats de la UE. Estas comunidades de halófitas, integradas en la Red Natura 2000, constituyen una rareza por su ubicación, a 1.000 metros de altitud y a más de 400 kilómetros de cualquier mar actual. Son, asimismo, extremadamente frágiles, pues su fisiología está preparada para sobrevivir en ambientes hipersalinos, en ausencia de competidores. La falta de actividad salinera y de mantenimiento de las instalaciones de obtención de salmuera hacen que el ambiente se dulcifique, lo que desplaza el nicho ecológico de las especies halófilas. Así, se abre el camino a las especies generalistas que, al tener mayor capacidad competitiva, invaden el hábitat.

### Patrimonio cultural de las salinas

Además de sus valores naturales, las salinas de Imón y de La Olmeda son ricas en patrimonio cultural. Aunque la



*Figura 3. Noria llamada de tiro o sangre, por ser impulsada por tracción animal. Este tipo de norias, de origen mudéjar, se han empleado hasta bien entrado el siglo XX.*

explotación de la sal en la comarca de Sigüenza está documentada desde la Edad Media, hay razones para creer que ya en la Edad del Hierro se obtenía el codiciado mineral en esta zona de Guadalajara. Existen numerosos asentamientos prehistóricos de esta época junto a manantiales de agua

salada. Esto, unido al hecho de que en aquella época ya se practicaba la ganadería (para lo cual es necesaria la sal), da argumentos a esta hipótesis.

Se cree que el paso de una obtención de sal a escala doméstica, a una escala industrial tuvo lugar durante el Alto Imperio Romano. Las salinas eran entonces administradas y explotadas por el Estado. Plinio ya describía el procedimiento de obtención de sal en el interior de Hispania, tanto por evaporación de lagunas de agua salada como de extracción de agua salada de pozos mediante máquinas que semejaban norias primitivas. Más adelante se emplearon norias de tracción animal para elevar el agua salada hasta la superficie. Estas norias, de tradición árabe, se han mantenido en funcionamiento de la misma manera hasta bien entrado el siglo XX (figura 3).

Según algunas fuentes, la caída del Imperio Romano tuvo como consecuencia que la obtención de sal se hiciera de nuevo a una escala más doméstica. De ser propiedad privada, pasaron a posesión real en el año 1137, durante el reinado de Alfonso VII. Dos años después, el rey donó el diezmo de las salinas de Imón al obispo de Sigüenza, Bernardo. Posteriormente, en 1144, dichos diezmos son donados al cabildo. Alfonso VIII cedió a manos privadas parte de las salinas. No es hasta 1334 que Alfonso XI las declaró de nuevo posesión real. Tanto la producción como el almacenamiento formaban parte del monopolio, no así su distribución.

Sin embargo, unos años después se fijó la jurisdicción donde se podía vender libremente la sal, debido a conflictos de mercado y competencia desleal. Estos conflictos continuaron aún durante un siglo, hasta que finalmente se permitió la venta de la sal de estas salinas en Madrid y su término.

Con el reinado de los Reyes Católicos, las salinas pasan de nuevo a manos privadas, pero en 1564, Felipe II las incorporó de nuevo a la corona. Ya en aquella época



*Figura 4. Vista del trabajo de recogida de la sal en las salinas de La Olmeda, hacia los años treinta del siglo XX. Aún se empleaban mulas con serones para transportar la sal hacia los alfolíes. Al fondo, se aprecia una noria.*

SALINAS de IMÓN y de la OLMEDA

SALINA DE Imón MES DE Septiembre DE 1927

RELACION de la sal entregada a los propietarios de las salinas de Imón y de la Olmeda por orden de la oficina central en Sigüenza durante la 17.ª campaña.

| CLASIFICACION |             | CLASIFICACION |               | CLASIFICACION |               | CLASIFICACION |               |
|---------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| N.º           | TIPO DE SAL | CLASIFICACION | CLASIFICACION | CLASIFICACION | CLASIFICACION | CLASIFICACION | CLASIFICACION |
| 1             | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 2             | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 3             | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 4             | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 5             | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 6             | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 7             | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 8             | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 9             | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 10            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 11            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 12            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 13            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 14            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 15            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 16            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 17            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 18            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 19            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 20            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 21            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 22            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 23            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 24            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 25            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 26            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 27            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 28            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 29            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 30            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 31            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 32            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 33            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 34            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 35            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 36            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 37            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 38            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 39            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 40            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 41            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 42            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 43            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 44            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 45            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 46            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 47            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 48            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 49            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 50            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 51            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 52            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 53            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 54            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 55            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 56            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 57            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 58            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 59            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 60            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 61            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 62            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 63            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 64            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 65            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 66            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 67            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 68            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 69            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 70            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 71            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 72            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 73            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 74            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 75            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 76            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 77            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 78            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 79            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 80            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 81            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 82            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 83            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 84            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 85            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 86            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 87            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 88            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 89            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 90            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 91            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 92            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 93            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 94            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 95            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 96            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 97            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 98            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 99            | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |
| 100           | 775         | 27            | 225           | 27            | 225           | 27            | 225           |

Figura 5. Albarán de la salina de Imón fechado en 1927, en el que se pueden distinguir los diferentes tipos de sal que se comercializaban entonces.



Figura 6. Vista actual del alfó de San Marcos, en La Olmeda, con evidente deterioro de su cubierta, debido a las inclemencias del tiempo y la falta de mantenimiento de los últimos años.

se producían 6.000 toneladas<sup>1</sup> de sal al año. Los beneficios de las salinas pasaron a manos del obispo de Sigüenza, Diego de Espinosa, en el año 1569; y, en el siglo XVIII, pasaron de nuevo al control real. Durante el reinado de Carlos III se modernizaron las instalaciones y se construyeron las que todavía hoy se pueden ver.

En el siglo XIX, las salinas de la provincia de Guadalajara representaban casi un 7% de la producción nacional de sal, sólo superadas por las salinas de Alicante, Cádiz, Ibiza y delta del Ebro. Las salinas de Imón y de La Olmeda surtían de sal a muchos pueblos del interior de España, con unas cifras de

## El paisaje de la sal en su contexto regional

De entre todas las formas utilizadas por la Humanidad para obtener sal común, hay una que se puede decir que, en Europa, es propia de la península Ibérica: las salinas de interior. Este tipo de salina comparte con las de la costa el aprovechamiento de la radiación solar y el viento para evaporar la salmuera. Entre España y Portugal hubo centenares de estas salinas funcionando. En el territorio de la actual Comunidad de Castilla-La Mancha, existieron alrededor de medio centenar de ellas a lo largo de la historia, aunque hubo también minas de sal y aprovechamiento de lagunas salobres.

Especialmente rica en salinas es la provincia de Guadalajara, que en su día contó con 25 instalaciones, lo que constituye muy probablemente más del 10% de las salinas de interior de toda España. Este patrimonio, muy lentamente, se va reconociendo por parte de las autoridades: dos de ellas (Imón y Saelices de la Sal) han sido declaradas Bien de Interés Cultural. Además, al norte de Sigüenza se creó, en 2003, la Microrreserva "Saladares de la Cuenca del río Salado", para proteger hábitats salinos, muchos de los cuales se encuentran en los alrededores de antiguas salinas. Esa simbiosis de elementos naturales y culturales asociados a las salinas se denomina *paisaje de la sal*. Así, desde la Asociación propugnamos una protección y planificación integrada del patrimonio cultural y natural de la sal en su conjunto, como paisaje cultural, que debe ser dado a conocer y aprovechado como un recurso divulgativo, de investigación y para el desarrollo socioeconómico local.

producción de 8.500 toneladas al año. Contaban entonces con unos 150 trabajadores. En 1869, se abolió el estanco de sal, permitiendo su libre circulación y comercio. Unos años después, en 1873, se constituyó el "Condominio de propietarios de las Salinas de Imón y de La Olmeda", actuales propietarios de las instalaciones. La producción en aquella época rondaba las 9.000 toneladas anuales, con unos 100-160 trabajadores en campaña (figura 4). Con la introducción de vagonetas, que sustituyeron en parte a las mulas, se mantuvo la producción de sal, pero trabajaban en las salinas tan sólo 30 personas.

La mejora de la red de comunicaciones en la segunda mitad del siglo XX hace que la sal del interior no sea tan competitiva como la sal de la costa, cuya campaña tiene una duración mucho mayor que la del interior. En los años noventa, la producción agoniza: no es económicamente rentable (figura 5), es difícil encontrar trabajadores para la cosecha de sal y las instalaciones van

deteriorándose a gran velocidad. En el año 1993, se realizó la última cosecha de sal en las salinas de Imón y de La Olmeda. Y, como eran las últimas que quedaban en funcionamiento en el valle del río Salado, con ellas cesó la actividad salinera en esa zona.

Ahora, en los albores del siglo XXI, se ha llegado a un punto sin retorno. La explotación salinera ya no es posible, y las edificaciones, que datan del siglo XVIII, se hunden bajo el peso de las inclemencias meteorológicas. La falta de sal que sostenga las vigas tan sólo hace que este deterioro se acelere. En un intento de salvar el rico legado arquitectónico de las instalaciones, las salinas de Imón fueron declaradas Bien de Interés Cultural en 1992, sin que ello haya impedido su progresivo deterioro hasta la fecha. Si nadie lo impide, no serán el viento o la lluvia, sino el vandalismo, el que termine por hacer desaparecer estos impresionantes lugares (figura 6). Serán el último eslabón en la cadena del abandono y el olvido como fueron las últimas en dejar la producción.

1. 140.000 fanegas, donde 1 fanega castellana equivale aproximadamente a 44 kg (finales siglo XV).



Figura 7. Este tipo de edificaciones albergaban las norias. El trabajo en las norias se realizaba durante todo el año, por lo que era necesario resguardarse de las inclemencias del tiempo. Los edificios eran, por lo general, de planta octogonal, para semejar una planta lo más circular posible y permitir así el trabajo de giro de la mula en torno a la noria.

**El proceso de obtención de la sal en Imón y La Olmeda**

Además de la intensa historia vivida por las salinas, son sus instalaciones actuales las que hacen que constituyan un testimonio agonizante de una actividad preindustrial de gran importancia económica regional. Los edificios, instalaciones e ingenios hidráulicos utilizados durante siglos son los que se han empleado, casi sin cambios, hasta la última cosecha, en 1993. La salmuera se extraía de pozos someros mediante norias de sangre o de tiro, llamadas así porque eran impulsadas por un animal. La instalación se encontraba protegida por pequeños edificios octogonales sin ventanas, que evitaban el trabajo a la

intemperie en los rudos inviernos de la meseta y daban sombra en el verano (figura 7). Tienen la particularidad de que las vigas del tejado se sostenían por la presión ejercida por las mismas sobre el centro de la cubierta y los muros de apoyo, sin necesidad de un pilar que lo sostuviera. El agua extraída de los pozos caía de los cangilones a una artesa de madera y se conducía, por unos canales, hacia unos grandes estanques llamados *recocederos*, de aspecto similar a una piscina convencional. El agua permanecía allí durante el invierno y la primavera, donde se producía la decantación de minerales no deseados. También aumentaba la concentración de sal, puesto que se producía una primera evaporación, gracias a la exposición constante al sol y al viento (figura 8).

Los *recocederos* comunicaban, mediante conducciones hechas de madera en muchos casos, con otros estanques de menor tamaño llamados *calentadores* y con las balsas de cristalización o *albercas*. Se dirigía el agua hacia unos u otras en función de la concentración de la salmuera. Las *albercas* tenían una superficie de unos 16 m<sup>2</sup> de media y una profundidad de unos 15 centímetros. Estaban separadas por tablones de madera con pequeñas aperturas que permitían el paso del agua para efectuar el llenado homogéneo de los distintos grupos de *albercas* (figura 9).

En verano, la cristalización de la sal se producía rápidamente, de modo que era



Figura 8. Vista de las albercas de la salina de La Olmeda. Aquí se cristalizaba la sal. Los caminos empedrados, llamados caballones, servían también para sacar la sal a secar antes de ser llevada a los almacenes.



Figura 9. Vista de las viviendas y la capilla de las salinas de La Olmeda en la actualidad. Aquí vivían los jornaleros durante la campaña de la sal. En primer plano, un *recocedero* o balsa de concentración de salmuera.

necesario cosechar la sal de las *albercas* cada semana. La cosecha se realizaba empujando la sal hasta el borde de la *alberca* por medio de unas herramientas llamadas *rodillos*. El *rodillo* es una especie de rastrillo sin dientes y con el mango largo. Esa operación recibía el nombre de *arrodiillar*. La sal se amontonaba en unos caminos anchos, empedrados, con caída a ambos lados, para que se terminase de escurrir el agua que pudiera haber sido arrastrada. Estos caminos reciben el nombre de *caballones*. De ahí se transportaba en serones, en carretillas, en vagonetas o volquetes (según la época), a los almacenes o *alfolies*. En los almacenes se guardaba y envasaba para su venta.

En todos los procesos descritos se usaban herramientas muy sencillas y máquinas de uso común en la extracción del agua durante milenios. Los materiales usados para recoger, almacenar y distribuir el agua y la sal eran: madera, piedra, barro y morteros hechos a partir de materiales de la zona más próxima. Cómo, cuándo y cuánta agua mover de un lugar a otro lo ponía la paciencia y la experiencia del salinero. Oficio, por otro lado, ya desaparecido, del que quedan pocos testimonios vivos.

**La Asociación de Amigos de las Salinas de Interior**

La Asociación de Amigos de las Salinas de Interior es una entidad sin ánimo de lucro, privada e independiente, que se dedica a la investigación, recuperación, puesta en valor y difusión del patrimonio natural y cultural de salinas y del paisaje de la sal. La Asociación nació en 2002 en Sigüenza (Guadalajara). Las principales actividades de la asociación son la organización de eventos relacionados con sus fines; la asistencia técnica en materia de uso público, turismo, planificación y desarrollo local de zonas salineras; la investigación relacionada con la historia, arquitectura, ecología, etnología, etc., de salinas y la divulgación de los valores naturales y culturales de la sal, que se traduce en asistencia a congresos, jornadas, ferias, etc., y en la publicación de artículos en prensa general y especializada.

Para más información sobre la Asociación de Amigos de las Salinas de Interior, pueden dirigirse a los autores en el teléfono/fax 91 855 41 60 o en el correo electrónico [katia@silente.net](mailto:katia@silente.net).

# El Museo de **Historia Natural** "Luis Iglesias" de la Universidad de Santiago de Compostela

En el centenario de la creación del Museo de Historia Natural de Santiago de Compostela, se relata en este artículo una breve historia del mismo. El Museo guarda una de las dos únicas colecciones que hay en el mundo de modelos cristalográficos realizada por el cristalógrafo francés René-Just Haüy.

**TEXTO** | Ánxela Bugallo Rodríguez, Dra. en Biología, y Carlota García Paz, Dra. en CC. Geológicas. Universidad de Santiago

Palabras clave  
**Museo, Haüy, Luis Iglesias, cristalografía**

Se cumplen ahora cien años de la creación, en 1906, del Museo de Historia Natural en la Universidad de Santiago de Compostela. En aquel momento, era catedrático de Historia Natural de esta Universidad y conservador del Museo Antonio García Varela, discípulo de Ignacio Bolívar y, como él, muy partidario de la utilización de las colecciones de historia natural en la enseñanza de esta materia. El museo se instaló, en aquel entonces, en unos locales específicamente diseñados para él dentro del edificio central de la Universidad.

El museo era realmente una continuación del primer Gabinete de Historia Natural fundado, durante el curso 1840-1841, bajo la dirección del primer profesor de la recién creada Cátedra de Historia Natural, Antonio Casares Rodríguez.

## Un poco de historia

El Gabinete original se había formado a partir de algunos objetos ya existentes en los gabinetes científicos de la Universidad y, sobre todo, de las colecciones que los profesores elaboraban para el aprendizaje de sus



Figura 1. La colección de modelos cristalográficos de Haüy en el Museo de Historia Natural de la USC. (Foto Xan Guerra)



Figura 2. Pieza de la colección Haüy. (Foto Xan Guerra)

alumnos, en una etapa en la que primaba una orientación práctica y experimental en la enseñanza de las ciencias. De esta primera época cabe destacar la llegada de dos importantes colecciones procedentes de Francia: la colección de animales-tipo, que el rector José Viñas compra en París en el año 1845, y la colección de modelos cristalográficos elaborada por el abate René-Just Haüy (*figuras 1 y 2*), joya del patrimonio histórico-científico de la Universidad de Santiago, a donde llega en el año 1847.

Con el paso de los años, primero el Gabinete y luego el museo, se van enriqueciendo con piezas y colecciones donadas por particulares y las que provienen de diversos centros de investigación. En cierta medida, se puede afirmar que en esta institución se conservan huellas de la labor de algunos de los más sobresalientes científicos gallegos de los siglos XIX y XX, así como de la investigación que actualmente se está realizando en diversos departamentos universitarios, particularmente aquellos ligados a la Facultad de Biología.

Quizás no hubiera existido un museo de historia natural en la Universidad compostelana de no haber coincidido

en ella, a mediados del siglo XIX, un grupo de profesores de alta talla científica, entre los que destacaba el propio Antonio Casares. Casares fue el primer titular de la cátedra de Química creada en Santiago en 1845, y primer decano de la Facultad de Farmacia fundada en 1857 (heredera del antiguo Colegio de Farmacia de San Carlos). Posteriormente, Casares fue también rector de la Universidad de Santiago, entre 1872 y 1888, año de su fallecimiento. Pero lo importante no fueron sus cargos, sino su gran curiosidad científica, que lo llevó a investigar en campos muy variados, entre los que podríamos citar:

- El análisis de la composición de las aguas minerales y potables de Galicia. Fue el primer químico de la Península en aplicar el análisis espectral como técnica instrumental, lo que, entre otras cosas, le permitió la determinación de rubidio y cesio en las aguas gallegas.
- El estudio de varias vías para la síntesis de éter y cloroformo. El día 20 de diciembre de 1847 se realizaron en el Hospital Real de Santiago (hoy Hostal de los Reyes Católicos) dos operaciones con el cloroformo obtenido por Casares, las primeras realizadas en España,

simultáneamente a otra que tuvo lugar en Barcelona.

- En el año 1851 hizo el primer experimento con luz eléctrica efectuado en España, utilizando un arco voltaico con el que iluminó el edificio de la Universidad.
- Tras el análisis de muestras de minerales de níquel recogidas en Cabo Ortegal (A Coruña), describió, junto a Martínez Alcívar, dos nuevas especies minerales, la zaratita (*figura 3*) y la morenosita. La denominación de la primera fue en honor de Antonio Gil de Zárate (1793-1861), por aquella época director general de Instrucción Pública, y la de la segunda, en homenaje a su amigo el boticario de cámara Antonio Moreno Ruiz (1796-1852).

### El museo hoy

En la actualidad, el museo ocupa los sótanos de la Facultad de Química, hasta donde fue trasladado desde sus dependencias en el antiguo edificio central de la Universidad; entraba así a formar parte de las instalaciones correspondientes a la Facultad de Ciencias, situada en el nuevo *campus* universitario (ahora Facultad de Química y *campus* sur). La inauguración del edificio tuvo lugar el 13 de septiembre de 1961. Era entonces director del museo el catedrático de Biología General de la Facultad de Ciencias Luis Iglesias, y lo fue hasta su jubilación, en 1965. Cuatro años después, y por acuerdo de la Facultad de Ciencias, se decide que el Museo lleve su nombre.

En sus actuales instalaciones, las colecciones botánicas, faunísticas y geológicas que posee el Museo de Historia Natural "Luis Iglesias" están distribuidas en tres salas:

### Zoología

Las dos salas más amplias están dedicadas a colecciones zoológicas. En la primera de ellas se exhibe una representación de fauna mundial, destacando aquí la colección, ya mencionada, de "animales-tipo", integrada por especies representativas de los cinco continentes. Otro de los conjuntos



Figura 3. Zaratita de Teixidelos, Cabo Ortegal (A Coruña). (Foto Xan Guerra)

importantes mostrados en esta sala corresponde a los ejemplares zoológicos pertenecientes a la colección denominada "Biblioteca América". El nombre de la colección se debe a que el material que la constituye, no sólo faunístico sino también botánico y geológico, llega desde América a la Universidad de Santiago, acompañando un importantísimo material bibliográfico. Todo ello gracias a la iniciativa de un emigrante compostelano, Gumersindo Busto, que funda en 1904, en Buenos Aires, una institución cultural cuyo primer objetivo es: "contribuir a un mayor entendimiento entre los pueblos americanos y España, por medio de la difusión de todo lo relacionado con el progreso intelectual y material de los mismos".

En otra zona de esta sala de entrada al museo se expone la fauna marina. En ella se integran desde antiguas colecciones preparadas en seco hasta material más reciente conservado en alcohol y formol. Aquí se muestra, por ejemplo, la colección de peces secos que Víctor López Seoane (1832-1900), uno de los más relevantes naturalistas gallegos, regaló, en 1864,

al Gabinete de Historia Natural. Entre el material más reciente destaca la Colección Malacológica Rolán, probablemente una de las mejores colecciones particulares europeas, integrada por más de un millón de conchas, con ejemplares representativos de todo el planeta. Esta colección fue cedida al museo por su autor, el malacólogo Emilio Rolán Mosquera, el año 2004.

La segunda sala zoológica está dedicada fundamentalmente a Galicia; la mayor parte del material que aquí se exhibe corresponde a la etapa en que Luis Iglesias dirigió el museo. Destacan en la sala los 106 dioramas de fauna de Galicia, preparados por el taxidermista Santiago Vez Quijano y el propio Luis Iglesias, en los que los ejemplares, muchos de ellos regalados por colaboradores y profesores de la Universidad, se presentan intentando reproducir su hábitat, mostrando algunos de sus comportamientos característicos, sus relaciones con otras especies, su alimentación, etc. En esta misma sala se expone una pequeña parte de la colección de insectos del profesor Iglesias, constituida por más de seis mil ejemplares, que es el

resultado de sus propias investigaciones, ya que la entomología era su especialidad, y de cientos de especies exóticas remitidas por sus colegas.

### Botánica

La tercera sala del museo guarda las colecciones de geología y botánica. En la zona dedicada al mundo vegetal, junto a colecciones de maderas procedentes de Cuba o de frutos y semillas argentinas, se puede comprobar también una parte de la actividad desarrollada por algunos naturalistas gallegos.

En 1909 se constituye la sección de Santiago de la Real Sociedad Española de Historia Natural y surge paralelamente la idea de formar un museo dedicado exclusivamente a Galicia. Uno de los miembros fundadores de esta sección es el insigne botánico Baltasar Merino (1845-1917), quien se ocupa de preparar un Herbario Pedagógico de la Flora Gallega para la Universidad de Santiago. Tal y como se conserva actualmente el herbario, consta de 2.028 pliegos correspondientes a 516 géneros.



Figura 4. Vista general de la sala de Geología.

A esa misma etapa pertenece también la que puede considerarse como primera micoteca de Galicia, elaborada por otro de los miembros fundadores de la sección gallega de la Sociedad, César Sobrado Maestro (1876-1935), catedrático de Mineralogía y Zoología de la Universidad compostelana.

El museo guarda también un herbario de algas marinas, preparado en 1987 por los investigadores del Laboratorio de Algas Marinas de la Universidad. Los ejemplares fueron recogidos, fundamentalmente, en las costas gallegas, aunque incluye también algunas especies mediterráneas. Esta colección ha sido la base de una de las exposiciones que en los últimos años viene realizando el museo, concretamente la celebrada en el año 2002 bajo el título "As algas na nosa vida".

El contenido didáctico de la zona botánica se completa con un conjunto de figuras clásicas elaboradas en 1880 por el Dr. Auzoux y otros

modelos de estructuras vegetales utilizados en la enseñanza de esta materia.

#### Geología. Los modelos cristalográficos de Haüy

De nuevo en la sección geológica del museo (figura 4) encontramos huellas de la historia de la ciencia en Galicia. Destaca en esta zona la colección de modelos cristalográficos elaborada bajo la dirección de René-Just Haüy (1743-1821); la explicación de su llegada en 1847 a la Universidad de Santiago tiene como protagonista inicial a José Rodríguez González (1770-1824).

En tan sólo unos apuntes sobre la vida del que fue conocido como "Matemático Rodríguez", podríamos señalar que fue nombrado, por oposición, catedrático de Matemáticas Sublimas de la Universidad de Santiago, en 1801. Viajó a Francia para perfeccionar sus conocimientos, financiado, curiosamente, por una tertulia de personajes compostelanos que se reunía en una botica. Allí se dedicó a estudios geodésicos,

llegando a ser colaborador de los sabios franceses Biot y Arago en la determinación de la medida del arco de meridiano. Años más tarde, se traslada a Göttingen, donde estudia, con Werner, cristalografía y mineralogía; además, tanto aquí como en Inglaterra, se interesa por las investigaciones sobre la luz polarizada. En 1817 vuelve a París y cumple el encargo de la Universidad compostelana de adquirir los primeros instrumentos del Gabinete de Física. La amistad que le unía con el abate Haüy propicia que éste le regale, el 1 de marzo de 1819, una de las colecciones de modelos cristalográficos en madera que el propio abate había medido con el goniómetro de aplicación, numerado y etiquetado.

Después de la muerte de José Rodríguez, la colección pasa a manos de su gran amigo y heredero Julián Suárez Freire, director del Colegio de Farmacia de San Carlos, quien la deja como legado a su sobrino político Pedro Romero. Tras el fallecimiento de este último, en 1846, los modelos cristalográficos pasan a manos de su sobrino, el



Figura 5. Molar de mamut (*Elephas primigenius*) encontrado en Buxán (Lugo). (Foto Xan Guerra)

farmacéutico Luis Suárez, quien ese mismo año la vende a la Universidad por 4.000 reales.

La colección de modelos cristalográficos de Haüy constaba inicialmente de 1.024 ejemplares, correspondientes a 120 especies. En la actualidad, pese a que fue utilizada durante muchos años en las clases prácticas de cristalografía, todavía se conservan 1.001. En el mundo sólo existen dos colecciones de este tipo: la original, que se encuentra en el Jardín des Plantes de París, y esta réplica hecha bajo la dirección y vigilancia del propio Haüy.

Las antiguas colecciones de minerales y rocas que poseía esta institución procedían, como ya se ha señalado, de las donaciones de profesores y particulares, así como de las recolecciones que realizaban los profesores con sus alumnos. Muchas de estas muestras eran de Galicia; por ejemplo, entre 1852 y 1859, el profesor José Planelles y el encargado del Gabinete de Historia Natural, Isidoro Sánchez Salgués, se centraron en la recolección de minerales gallegos para enriquecer la sección de mineralogía. Pero quizás haya sido esta sección del Museo la

que mayores pérdidas ha sufrido a lo largo del tiempo, debido a traslados y almacenamientos con escasa vigilancia, épocas de desinterés oficial... e incluso a préstamos para alguna exposición.

Sin embargo, afortunadamente, entre la actual colección de minerales de Galicia todavía se conservan las muestras de zaratita  $\text{Ni}(\text{CO}_3)(\text{OH})_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (figura 3) y de morenosita  $\text{Ni}(\text{SO}_4) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , recogidas en el acantilado situado bajo la aldea de Teixidelo, en Cabo Ortegal, que, probablemente, sirvieron a Martínez Alcibar y Casares Rodríguez para describir estas especies minerales, en 1851.

En las mismas vitrinas dedicadas a Galicia destacan también ejemplares de minerales a los que una figura emblemática de la geología gallega, Isidro Parga Pondal, dedicó alguno de sus trabajos: la kotschubeita de la sierra de la Capelada, la nontronita de Chenlo, las arenas monacíticas de la ría de Arosa, las wolframitas de Brea, Carboeiro,...; pero la huella dejada por Parga en el Museo merece un apartado especial.

La relación de Isidro Parga Pondal con la Universidad de Santiago se inicia en 1923, un año después de licenciarse en Ciencias Químicas en Madrid, cuando es nombrado auxiliar de Química Inorgánica en la Facultad de Química. Desde ese momento, dado su interés en el campo de la geología, iniciado al conocer la obra del geoquímico ruso Vernadski, contribuye a enriquecer la sección geológica del Museo de Historia Natural; los ejemplares provienen tanto de sus propias investigaciones como de sus contactos y relaciones personales.

Fruto del interés de Parga es, entre otras cosas, la llegada de la principal colección mineralógica con que cuenta el museo, la colección Viqueira, porque fue la petición hecha por el profesor Parga al decano de la Facultad la que abrió las puertas de la Universidad a esta colección, realizada por el médico de Vilagarcía de Arousa, José Viqueira Barrio. La primera parte de esta colección, formada por casi seiscientos ejemplares, la adquiere el Patronato de la Universidad durante el curso 1927-1928 y, posteriormente, en 1940, se compra a los herederos de Viqueira la parte que este

último reúne entre 1930 y 1939. Los 818 ejemplares que constituyen la colección, que habían sido comprados por Viqueira a las mejores casas europeas de material científico, continúan siendo de gran utilidad en la enseñanza de la geología, ya que entre ellos aparecen representantes de todas las clases y subclases mineralógicas.

Otra de las colecciones de la sección de geología, la de rocas de los Alpes Suizos, fue traída directamente por Isidro Parga el año 1930 y, probablemente, procede de los recorridos realizados por esa zona en la época de su estancia en la Eidgenössische Technische Hochschule de Zurich, durante la realización de los estudios de doctorado.

Cuando Parga regresa a la Universidad de Santiago reanuda sus investigaciones sobre la geología de Galicia. El 3 de abril de 1936 inicia una serie de itinerarios con la intención de recoger muestras de gran parte de los afloramientos petrológicos gallegos; pero, desgraciadamente, los acontecimientos políticos interrumpen esta toma de muestras y, lo que es peor, la relación de Parga, como profesor, con la Universidad de Santiago. Probablemente se pierde en ese momento la oportunidad de contar, dentro de la universidad compostelana, con una importante escuela de geoquímica.

Durante casi setenta años, estas muestras de rocas de Galicia se conservaron en las instalaciones del museo envueltas en los periódicos de aquella época, donde se relataban los trágicos sucesos ocurridos en el año 1936. La reciente organización de la colección nos permitió conocer los itinerarios realizados por D. Isidro, pues, además del lugar de recogida, la pequeña etiqueta escrita por él indicaba la fecha en que realizaba el itinerario. Se comprobó, además, que la información obtenida en las salidas al campo quedó reflejada en trabajos posteriores de Parga, sobre todo en los capítulos dedicados a los datos geológico-petrográficos integrados en los Estudios Agrobiológicos de las provincias

de A Coruña (1966) y Pontevedra (1986). Ya sin relación directa con la Universidad, Parga Pondal siguió enriqueciendo la sección geológica del museo. Así, a mediados de los años sesenta, entrega diversos restos fósiles de Galicia que él había recogido en sus salidas al campo con López de Azcona y Torre Enciso. Entre ellos se encuentran los restos de un mamut (*Elephas primigenius*) (figura 5) que habían aparecido junto a una cantera de caliza dolomítica, explotada en Buxán (Lugo) para la fábrica de cementos de Oural. Pese al alejamiento involuntario de la actividad docente oficial, Parga Pondal sigue investigando y ejerciendo su

Lugo. La fábrica y el colegio habían sido fundados por la misma persona, Antonio Fernández López, gran amigo y estrecho colaborador de Isidro Parga Pondal.

## Epílogo

A lo largo de los últimos años, el Museo de Historia Natural de la Universidad de Santiago de Compostela sigue ejerciendo su labor didáctica y nutriéndose del resultado de las investigaciones que se llevan a cabo en los departamentos de esta Universidad, así como de las aportaciones realizadas por otras instituciones y personas particulares. La función docente no sólo se enfoca al

**“Ya sin relación directa con la Universidad, Parga Pondal siguió enriqueciendo la sección geológica del museo. Así, a mediados de los años sesenta, entrega diversos restos fósiles de Galicia que él había recogido en sus salidas al campo”**

magisterio desde su *Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, buscando permanentemente “el conocimiento geológico de Galicia”. La deuda que la institución universitaria tenía con él se mitiga, en parte, al ser investido, en 1983, *Doctor Honoris Causa* por la Universidad de Santiago de Compostela.

En 1998, doce años después de la muerte de Parga, y dos años antes de su centenario, llega al Museo una de las reproducciones del mapa en relieve a escala 1:100.000 de Galicia, hecha por él y su hermano Salvador, geógrafo. Sobre esta pieza aparece representada la información petrológica que se conocía en los años cincuenta. El mapa procedía del Laboratorio de Petrología y Edafología de la fábrica de Cementos Oural, laboratorio que fue dirigido durante un tiempo por Isidro Parga. Se conservó, probablemente desde 1955, en las instalaciones del Colegio Fingoi de

alumnado universitario, sino que se extiende a todos los niveles educativos, pues son muy numerosos los centros de enseñanza que lo recorren a lo largo del año en visitas guiadas, y para los que se han editado unidades docentes específicas. La labor de divulgación científica se amplía a toda la sociedad, particularmente en las épocas en que se realizan exposiciones temáticas.

## Bibliografía

Para una información amplia con bibliografía se puede consultar:

Bugallo Rodríguez, A. (2003). *O Museo de Historia Natural da Universidade de Santiago de Compostela*. Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico da Universidade de Santiago de Compostela.

# 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*

**www.icog.es**

**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