



Ilustre Colegio  
Oficial  
de Geólogos

# Tierra y Tecnología

REVISTA DE INFORMACIÓN GEOLÓGICA • Nº 37 • PRIMER SEMESTRE DE 2010



## Un viaje a bordo del *Saltillo*

- La Unidad Militar de Emergencias (UME) en Haití
- Influencias de los eventos sísmicos en las aguas subterráneas
- Patologías en edificación: nuevas tecnologías geotécnicas y geofísicas para su auscultación



Come for business, stay for pleasure  
*Come for business, stay for pleasure*

[www.exehotels.com](http://www.exehotels.com)

●●● Ventajas para los colegiados del Colegio de Geólogos:

- 1 - Detalle de Bienvenida a la llegada del hotel (cesta de frutas, botella de agua o bombones )
- 2 - No hay suplemento en el alojamiento para el acompañante.
- 3 - Pueden entrar en el hotel con una antelación de dos horas y salir cuatro horas más tarde.





**REVISTA DE INFORMACIÓN  
GEOLÓGICA**  
**Nº 37 • PRIMER SEMESTRE DE 2010**

**Edita:**

**Ilustre Colegio Oficial  
de Geólogos**

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

**COMITÉ EDITORIAL**  
EDITOR PRINCIPAL: J. L. BARRERA MORATE

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

**CORRESPONSALES**  
LUIS ALFONSO FERNÁNDEZ PÉREZ (ASTURIAS)

**SECRETARÍA**  
ÁUREO CABALLERO

**WWW.ICOG.ES** **ICOG@ICOG.ES**  
**WEBMASTER:** ENRIQUE PAMPLIEGA

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

**ISSN: 1131-5016**  
**DEPÓSITO LEGAL: M-10.137-1992**

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

#### **PORTADA**

EL *SALTILLO* EN SU AVENTURA TRASATLÁNTICA, CON  
EL GALLARDETE AL VIENTO, SÍMBOLO DE LOS NAVÍOS  
QUE ATRAVIESAN EL ATLÁNTICO. FUENTE: CASA DE  
SU MAJESTAD EL REY, FOTOGRAFÍAS CEDIDAS PARA  
LA EXPOSICIÓN ‘SALTILLO, LOS PRIMEROS 75 AÑOS’,  
CELEBRADA EN LA ETS DE NÁUTICA Y MÁQUINAS  
NAVALES (2007).

# Sumario

- 2 • EDITORIAL
- 3 • INFLUENCIAS DE LOS EVENTOS SÍSMICOS EN LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS
- 11 • CAPACITACIÓN DEL GEÓLOGO EN EXPLOTACIÓN MINERA *VERSUS* LA RESERVA  
COMPETENCIAL EN LA LEY DE MINAS. UNA NECESIDAD DE CAMBIO
- 17 • UN VIAJE A BORDO DEL *SALTILLO* (1932-2010)
- 30 • LA PARTICIPACIÓN DE LA UNIDAD MILITAR DE EMERGENCIAS EN EL TERREMOTO  
DE HAITÍ DEL 12 DE ENERO DE 2010 Y LOS SERVICIOS DE MAPA EN APOYO DE LA  
EMERGENCIA
- 43 • TEORÍA E HIPÓTESIS SOBRE EL ORIGEN DE LAS ESPECIES ANTES DE DARWIN
- 48 • EXPEDICIÓN GROENLANDIA 2009 (II). PUNTOS DE INTERÉS GEOLÓGICO DE LA  
REGIÓN SO
- 63 • PATOLOGÍAS EN EDIFICACIÓN: NUEVAS TECNOLOGÍAS GEOTÉCNICAS Y GEOFÍSICAS  
PARA SU AUSCULTACIÓN
- 74 • CREACIÓN DEL SERVICIO GEOLÓGICO Y DE LA CARRERA DE GEOLOGÍA EN LA  
REPÚBLICA DOMINICANA
- 81 • INVESTIGANDO TEMAS MINERO-AMBIENTALES EN EL NORTE DE CHILE: MÁS ALLÁ DE  
LOS MEGAPROYECTOS, LA INVESTIGACIÓN FORMATEADA Y LA RETÓRICA  
AMBIENTALISTA
- 91 • CONSTRUYENDO RELATOS. EL *STORYTELLING*. CONSTRUYENDO ÍTACAS
- 93 • PRESENTACIÓN DEL LIBRO *GEOLOGÍA Y VINOS DE ESPAÑA* EN EL MINISTERIO DE  
MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO
- 95 • REUNIÓN DE LA XIII PROMOCIÓN DE LA FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS DE LA  
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
- 97 • JORNADA SOBRE VOLCANES Y SEGURIDAD AÉREA EN EL COLEGIO DE GEÓLOGOS
- 99 • PRESENTACIÓN DE LA PLATAFORMA DE GEÓLOGOS EMPRENDEDORES
- 102 • INAUGURACIÓN DE LA JORNADA TÉCNICA INTERNACIONAL ‘PRESENTE Y FUTURO  
DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN ESPAÑA’

# Editorial

## La volatilidad geológica

**A**l igual que los vaivenes que vemos diariamente en la Bolsa, la geología española vive momentos de gran volatilidad. Lo mismo estamos en los máximos, que caemos en los mínimos del último lustro. Cambios en la legislación, cambios en los nombramientos, recortes presupuestarios o nuevos planes de estudios (la famosa Bolonia) están creando una incertidumbre en el mundo geológico que no se vivía desde hace muchos años.

Muchas cuestiones en España están cambiando rápidamente, y no nos referimos a la clase política. Sea por motivo de la crisis o por la presión de otras instituciones internacionales, el país tiene que ponerse al día, los ciudadanos perciben que esto se mueve. El colectivo de geólogos españoles también lo perciben, pero se preguntan si los cambios serán para bien o para mal. Es una buena pregunta de difícil respuesta. Por un lado, las leyes españolas van recogiendo, cada vez más, las necesidades de incorporar los estudios, informes y demás servicios geológicos a los articulados de las leyes, decretos o normas. Parece que los políticos, no sin la información constante de asesores e instituciones geológicas (entre ellas el ICOG), van teniendo mejores niveles de cultura geológica y comienzan a entender que la geología es una parte importante de la actividad social y, sobre todo, de la actividad profesional.

Pero la desgracia viene cuando la crisis económica golpea en la base del trabajo geológico: las obras de infraestructura y la edificación. La actividad en estos dos campos ha descendido lo suficiente como para que muchos geólogos, y otros muchos profesionales del sector, se hayan ido al paro; ahora, precisamente, que los servicios geológicos estaban incorporándose de manera rutinaria a la actividad profesional.

Y hablando de servicios geológicos, no podemos pasar por alto el cambio habido en el servicio geológico español: el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). También aquí la volatilidad de posiciones ha sido palpable. Ya sorprendió en el mes de mayo su rebaja de nivel administrativo. Las razones parece ser que fueron económicas: la famosa eliminación de direcciones generales dentro del Plan de Racionalización de la Administración. Puede entenderse que, dada la crisis, se quieran ahorrar costes, pero, según los cálculos realizados, el ahorro en costes de

personal será prácticamente inapreciable, ya que la mayoría de altos cargos que ocupaban los puestos suprimidos son funcionarios de carrera. Creo que se olvidan de la representación internacional que tiene un servicio geológico. Aunque los contenidos permanezcan —y esperemos que aumenten presupuestariamente— el rango administrativo es fundamental.

También sorprendió el nombramiento de la nueva directora del IGME, Rosa de Vidania, una bióloga procedente del CIEMAT, que ya en los meses de verano ha realizado profundos cambios en la estructura del organismo. El resultado de estos cambios ya se verá en los próximos meses. Sorprendió, igualmente, que su toma de posesión se realizara por primera vez en la historia en la sede del propio instituto, en vez de hacerlo en el ministerio. El IGME tiene mucho trabajo que realizar y, uno de ellos, tal vez uno de los principales, es la actualización de la cartografía MAGNA. Ahora que están aumentando las intervenciones sobre el territorio, donde el conocimiento geológico (en muchos casos especializado) es fundamental para la buena ejecución, disponer de una cartografía geológica precisa es algo muy necesario. Cada vez son más utilizados los mapas geológicos, no sólo en la ejecución de las infraestructuras, sino para la gestión de espacios naturales, la planificación de las costas, la conservación del patrimonio geológico, el estudio de los riesgos naturales, la selección de almacenamientos geológicos profundos, la búsqueda de recursos naturales y hasta para el desarrollo de algunas energías alternativas. Una reactivación de un Plan de Cartografía Geológica serviría, además, para crear puestos de trabajos en el colectivo de geólogos, tan afectado por la crisis.

Tal vez, lo mejor que ha podido surgir de la crisis es el aumento del carácter emprendedor de muchos geólogos. Empujados al paro con poca edad y con muchas ganas de trabajar, han empezado a concienciarse de que ser emprendedor puede ser una buena salida ante la crisis. Muchos de ellos están matriculándose en cursos de emprendedores, lo que no es habitual en un país donde se arriesga poco, se innova menos y en el que la mayoría de los estudiantes quieren ser funcionarios; y lo peor no es eso, es que el llamado "capital riesgo" no arriesga nada. Hay unos profesionales jóvenes que quieren cambiar ese panorama, y eso, siempre, es una buena noticia.

# Influencias de los eventos sísmicos en las aguas subterráneas

Desde tiempos remotos, el ser humano busca la herramienta que le permita predecir cuándo se producirá un terremoto. Millones de muertos, ruina y desolación de ciudades, regiones y naciones que ven detenida su evolución socioeconómica son causas que apremian a descubrir la “piedra filosofal” de las catástrofes. Comportamientos extraños de los animales, cambios en la atmósfera, en el medio geológico y ambiental, presencia de gases, premoniciones, etc., son objeto de estudio con ese fin. También son objeto de investigaciones los cambios en el acuífero y en las características físico-químicas e isotópicas de las aguas, siendo éstos de carácter presísmico, cosísmico y postsísmico. No obstante, son los primeros los que centran la mayoría de esfuerzos académicos.

**TEXTO** | Marc Martínez Parra, hidrogeólogo, IGME, m.martinez@igme.es

Palabras clave

**Terremotos, agua subterránea, sismicidad, hidrogeología**

La respuesta del medio acuífero ante estímulos de origen sísmico se agrupa, a grandes rasgos, en variaciones de las características del propio acuífero, del comportamiento del agua y de sus características físico-químicas e isotópicas. Así, se producen cambios en las condiciones de permeabilidad del acuífero, oscilaciones del nivel piezométrico y en el caudal de las fuentes, variaciones de las características físicas de las aguas subterráneas (conductividad, temperatura, turbidez, fuerza iónica, pH, Eh), de la composición química, tanto en iones mayoritarios como minoritarios (B, Hg, F, Rn, etc.), isotópica ( $^3\text{He}/^4\text{He}$ ,  $\delta\text{D}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $^{220}\text{Rn}/^{222}\text{Rn}$ , etc.) y en la concentración de los gases presentes (Rn,  $\text{CO}_2$ , He,  $\text{CH}_4$ , principalmente). Estas respuestas se producen de manera previa o presísmica, simultánea o cosísmica y postsísmica; sin duda, la presísmica es la de mayor interés no sólo científico, sino también social, ya que permitiría establecer algún tipo de herramienta útil para la predicción de sismos.

## Causas de la influencia de los sismos en los acuíferos

Los terremotos afectan tanto al fluido como a las propiedades del acuífero, produciéndose variaciones del nivel piezométrico y de las descargas del acuífero, con el fin de equilibrar las propiedades modificadas; asimismo, también cambian el quimismo de las aguas, con la incorporación de aguas provenientes de otros acuíferos

o de otros medios (mar, ríos, etc.) o removilización en el propio acuífero. Como mecanismos apuntados para ello son la expulsión de fluidos sobrepresionados en zonas sismogénicas, el colapso de una amplia red de fracturas de dilatación antes del terremoto, la compresión elástica de acuíferos confinados y los cambios de permeabilidad cerca de la superficie (Rojstaczer y Wolf, 1989; Koizumi *et al.*, 1996). Se ha apuntado, en relación con el terremoto de Hyogo-ken Nanbú (Koizumi *et al.*, 1996), que las variaciones postsísmicas del nivel freático, acompañadas de incrementos del caudal en fuentes, estaban asociadas a cambios en la presión de las aguas subterráneas.

Una teoría que conjuga distintos mecanismos es el denominado *bombeo sísmico* (Sibson *et al.*, 1975), que explica el transporte del fluido hidrotermal. Según la misma, una consecuencia del mecanismo de dilatación/difusión del fluido en terremotos superficiales es que volúmenes considerables de fluido son distribuidos rápidamente en la corteza, siguiendo fallas sísmicamente activas. El bombeo sísmico explicaría este fenómeno y su intermitencia. Básicamente, todo está relacionado con tres parámetros: la tensión tectónica, la resistencia a la rotura y la presión del fluido; su distinta combinación favorece al fenómeno sísmico y a la migración de los fluidos (figura 1). Así, con anterioridad al terremoto, la región en torno al foco se dilata en respuesta al incremento de tensión

tectónica, abriéndose grietas y fracturas; esta nueva porosidad provoca un descenso de la presión del fluido, lo que produce, a su vez, un aumento de la resistencia a la rotura, rellenándose las grietas con fluido. Este último fenómeno incrementa la presión del fluido y disminuye la resistencia a la rotura. Cuando la tensión tectónica iguala a la resistencia, se produce el terremoto. Al disminuir esta tensión, las grietas se relajan y los fluidos migran en la dirección aliviadora de la presión: las fallas y fracturas próximas. Irregularidades en la superficie de la falla e intersecciones con fracturas menores pueden actuar como canales, concentrando el flujo e incrementando la permeabilidad efectiva en la zona de falla. Es frecuente la existencia de salidas transitorias de agua a lo largo de las fallas o próximas a través de fuentes con terremotos moderados superficiales.

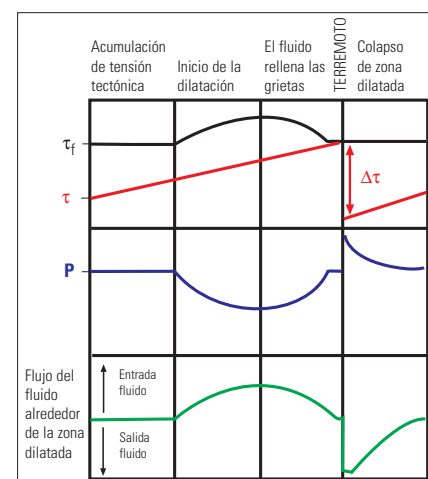


Figura 1. Diagrama sinóptico del proceso de bombeo sísmico (modificado de Sibson *et al.*, 1975).

## Determinación de sismos que pueden influir en las aguas subterráneas

Acotar áreas en las que se pueden estudiar señales asociadas a sismos, de carácter presísmico, cosísmico y postsísmico, resulta extremadamente complejo. Existen tres factores que dificultan la selección de áreas afectadas y sismos que pueden influir en las aguas subterráneas: la proximidad o coincidencia temporal de los mismos, la proximidad espacial en la zona de actividad sismotectónica y el rango de las magnitudes a partir de las que se puede considerar que afectan a los acuíferos. Descartar determinados sismos o áreas de influencia, en función de su lejanía espacial o temporal y de su baja magnitud, supone un riesgo en cuanto a descartar de antemano posibles orígenes y considerar que las variaciones pueden deberse a otros factores.

Dobrovolsky *et al.* (1979) evidenciaron la posibilidad de que fenómenos precursoros se encontrarían dentro o próximos a la zona epicentral, según la siguiente ley exponencial:  $DF=10^{0.45M}$ , donde M es la magnitud del sismo y DF se expresa en kilómetros. Esta área se denomina *área de preparación del sismo* y estaría asociada a las tensiones en la corteza terrestre. En 1981, Hauksson y Goddard confirmaron dicha aproximación mediante el estudio del radón en una surgencia termal en Islandia. Sin embargo, Takemoto (1991) define otra fórmula a partir de dos puntos de observación en Japón y que corresponde a  $\log r=0,51M-1,9$ . Pero una fórmula que define un radio fijo no contempla las diferentes heterogeneidades en cuanto a naturaleza litológica de los acuíferos, ni la existencia de fallas o estructuras que son focos de sismos y otras que no lo son. Roeloffs (1998) describe que para el sondeo "Haibara" (Japón) se establecía que las variaciones de nivel piezométrico se producían si la magnitud del sismo  $M \geq 0,69+2,45 \log D$ , donde D es la distancia que separa el sondeo del hipocentro (en kilómetros). También para la fuente termal Usami se describió que se producía incremento de temperatura por terremotos si  $M \geq 1,3+2,2 \log D$ . Para el sondeo "BV", que Roeloffs estudió en California (Roeloffs, 1998), se encontró una relación que permitía discriminar los pequeños cambios de nivel

piezométrico del "ruido de fondo"; la fórmula es:  $M \geq 1,55+1,82 \log D$ .

Sin embargo, Bowman *et al.* (1998) afirmaban que no existía razón física para que la región crítica fuese un perfecto círculo con centro en el epicentro, como indican Dobrovolsky *et al.* (1979) e, incluso, tampoco sería explicado si la forma del área tuviese una forma elipsoidal. Asimismo, como se ha indicado en los anteriores ejemplos, se han encontrado formulaciones matemáticas aplicables a determinadas captaciones, por lo que su generalización para una región, con unas determinadas fórmulas, puede no ser posible. Por ello, es preciso un estudio detallado durante un amplio periodo de tiempo, interanual, en el que se contemple un amplio monitoreo de manera continuada para evaluar los sismos y las estructuras a las que se pueden asociar los sismos y las influencias en los acuíferos y aguas subterráneas.

## Cambios físicos en el medio acuífero, en la piezometría y en su funcionamiento

Los sismos afectan a las propiedades y geometría del acuífero, produciendo cambios en el nivel piezométrico y en las descargas de los acuíferos a través de

manantiales y surgencias. No obstante, se debe conocer la evolución natural de la piezometría e hidrometría en los acuíferos estudiados, ante otras posibles influencias que generen variaciones, como la relación con la precipitación. Es por ello que se precisa disponer de datos diarios de pluviometría de la región y un conocimiento suficiente del funcionamiento hidrodinámico del acuífero.

El aumento de la permeabilidad a causa de los movimientos sísmicos explicaría el incremento de caudal en algunas fuentes, como en el caso del sismo de  $M=7,1$  en Loma Prieta (EE UU, 1989) (Rojstaczer y Wolf, 1989). Así, se puede establecer que la permeabilidad de una región tectónica depende de la duración e incremento del periodo de sismicidad y de la disminución de la misma durante los periodos intersísmicos. No obstante, otros cambios persisten y son difícilmente explicables: incrementos de caudales de fuentes y arroyos tras los terremotos, que se mantienen durante un periodo de meses e, incluso, años.

La selección de los puntos de observación es fundamental para determinar la posible influencia de los sismos en los parámetros y propiedades de los acuíferos. Los cambios de nivel piezométrico registrados en

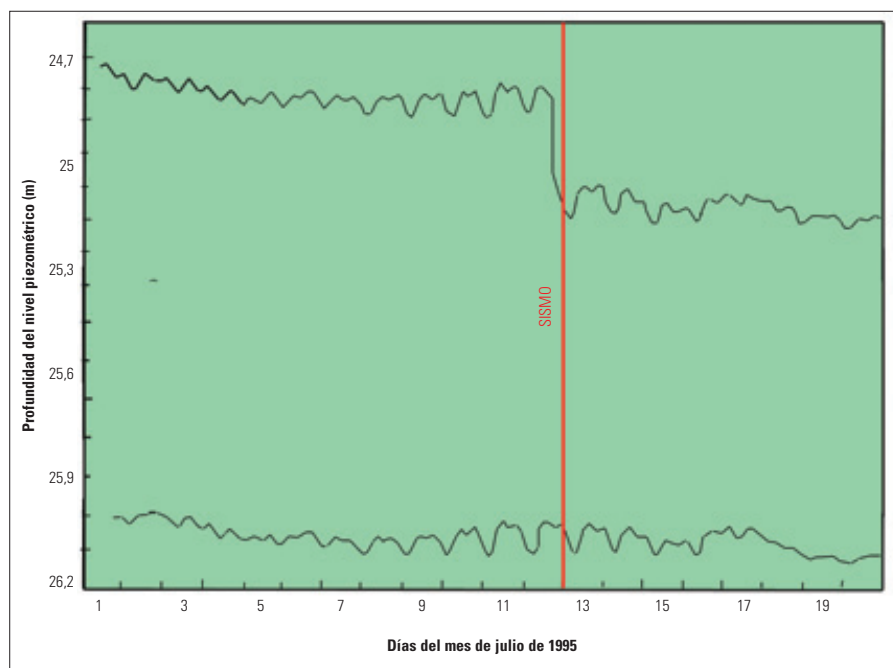


Figura 2. Variación del nivel en un sondeo situado cerca de la falla (arriba) y otro sito a 0,6 kilómetros del eje de la falla (inferior). La variación del 12 al 13 de julio no está asociada al cambio de presión atmosférica o precipitaciones ni efectos humanos, sino que se asocia a fallas activas (modificado de Kissin *et al.*, 1996).

captaciones pueden estar asociados a fracturas próximas afectadas por el terremoto (Rojstaczer y Wolf, 1989; Koizumi *et al.*, 1996). Se ha apuntado, en relación con el terremoto de Hyogo-ken Nanbú (Koizumi *et al.*, 1996), que las variaciones postsísmicas del nivel freático, acompañadas de incrementos del caudal en fuentes, están asociadas a los cambios en la presión del agua subterránea. En Turkmenistán, en sondeos entre 33 a 2.625 metros de profundidad, se registraron un gran número de variaciones del nivel freático, de corto y largo plazo, que reflejan la existencia de procesos geodinámicos activos, registrándose únicamente estas variaciones en las captaciones próximas a las fallas y en acuíferos confinados, siendo difíciles de diferenciar de otras causas para oscilaciones observadas en captaciones alejadas de las fallas. Estas anomalías responden a deformaciones irregulares relativamente rápidas en la zona de falla, acelerándose periódicamente y existiendo pulsaciones (Kissin *et al.*, 1996) (figura 2). Un 56% de las variaciones a corto plazo del nivel piezométrico precede o bien acompaña a los terremotos, siendo el 44% restante atribuible a movimientos asísmicos. Las amplitudes, que superan los 57 metros para un periodo de oscilación de dos a dos años y medio, pueden predecir fuertes terremotos y también en variaciones a corto término (más de cinco días). Existen grandes diferencias a lo largo de la falla activa. Gracias a las oscilaciones piezométricas se han establecido áreas más o menos estables en las fallas (Kissin *et al.*, 1996). Las variaciones del nivel piezométrico a corto plazo (figura 3) pueden ser de varios tipos: caídas o ascensos bruscos, pulsaciones, caída y ascenso con recuperación del nivel previo, o ascensos suaves y descensos suaves (Kissin *et al.*, 1996). La duración de estos fenómenos no suele superar las 24 horas y la amplitud de la variación no excede de 0,3 metros. Su origen es la respuesta a tensiones extensivas o compresivas o movimientos a lo largo de las fallas. Las fluctuaciones a corto y largo plazo pueden ser de distinto signo (ascenso y descenso); si coinciden cerca de la falla se acelerará la compactación, descompactación o desplazamiento de las rocas. Los movimientos de signo contrario

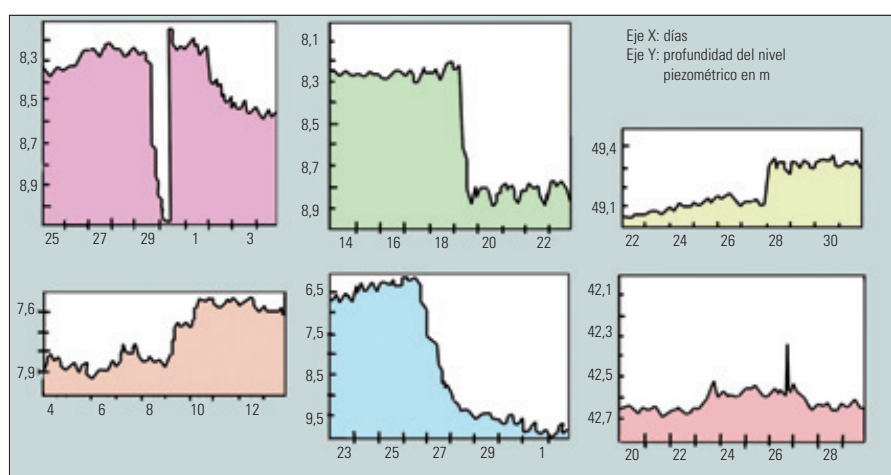


Figura 3. Típicos ejemplos de variaciones de nivel piezométrico en corto espacio de tiempo: caídas y ascensos bruscos, salto de caída, salto ascendente, ascenso suave, descenso suave y variaciones pulsacionales. Estos cambios no están siempre claramente asociados a sismos, siendo éstos de  $M=2,7$  a  $4,8$  y en distintos periodos más o menos próximos de los sismos a las anomalías (modificado de Kissin *et al.*, 1996).

son raros y pueden estar relacionados con deformaciones lentas. Estas anomalías previas a los terremotos se usan para predicción; en Italia se ha deducido una interrelación entre terremotos y anomalías producidas en los 28 días anteriores a los sismos (Albarello *et al.*, 1991). Ello se ha establecido estudiando las variaciones piezométricas en un pozo de 10 metros. Se puede pensar que las aguas profundas geotermales aportan agua a los acuíferos superficiales por aportes a través de un medio poroso. Sin embargo, ello muestra una característica común en este tipo de estudios: se caracteriza como evidencia de oscilación piezométrica un fenómeno asociado únicamente a una o varias captaciones, para las que sí pueden valer los comportamientos, pero que puede resultar difícilmente extrapolable a otros lugares o captaciones.

Acuíferos confinados y libres pueden comportarse de distinta manera frente a un sismo. Así, tras el terremoto de Alaska de marzo de 1964 (Waller, 1964), de  $M=8,4-8,6$ , los niveles piezométricos en el acuífero libre no se vieron afectados a grandes distancias del epicentro, pero sí los del acuífero confinado, que, tras un año del terremoto, no se habían recuperado totalmente.

La mayor parte de las variaciones de los caudales corresponden a incrementos del mismo, de carácter postsísmico. Ejemplo de ello son los incrementos asociados al

sismo de Borah Peak (EE UU,  $M=7,3$ , año 1983), en caudales de las fuentes y ríos en  $18 \text{ km}^2$ , produciéndose extrusiones de aguas fangosas en las calizas encajantes y “hervideros” de arena a través del aluvial (Wood *et al.*, 1985). Otro ejemplo lo suponen los incrementos de caudal asociados al terremoto de 1964 en Alaska (Waller, 1964), de  $M=8,4-8,6$ , llegando en algunos casos hasta un 200% durante seis semanas. Estos sismos no tienen que ser de gran intensidad; así, Stejskal *et al.* (2008) describieron que un conjunto de fuentes mostraron un incremento de caudal superior a un 40% y de manera cósmica durante sismos de  $M$  menor a 5. Estos aumentos pueden ser muy rápidos; tras el terremoto de Loma Prieta (1989,  $M=7,1$ ) (Rojstaczer y Wolf, 1991) se incrementaron los caudales de los arroyos y fuentes a los 15 minutos.

Un ejemplo de posible influencia de un sismo en España, se ha descrito relacionado con Fuente Caputa (Murcia), cuyo caudal, de 3,7-5,5 L/s, se secó horas después del terremoto de febrero de 1999 (Rodríguez Estrella, com. pers.), para incrementarse con posterioridad y disminuir progresivamente. Así, el 4 de marzo de 1999, 30 días después del sismo de Mula ( $M=5$ ), se estimó un caudal de 30 L/s y, a los 60 días, el caudal medido era de 9,71 L/s. En ese periodo la lluvia fue escasa, de 31-40 milímetros en el mes de marzo, volúmenes que en otras fechas no producen incremento de caudal en la fuente (Martínez y Durán, 2004).

## Variaciones en los componentes físicos, químicos e isotópicos de las aguas subterráneas

La utilización de la hidroquímica clásica y la isotópica permite caracterizar la actividad sísmica, observándose alteraciones de carácter presísmico, cósmico y postsísmico (Suer *et al.*, 2008).

Se han estudiado las anomalías asociadas a componentes del agua subterránea, en iones mayoritarios (Cl, SO<sub>4</sub>) o minoritarios (Hg, F, Rn), relaciones iónicas, conductividad eléctrica, temperatura y turbidez, de las que el que más éxito investigador ha tenido es el radón.

Según Barsukov *et al.* (1985), los iones mayoritarios y minoritarios tienen una alta estabilidad de los contenidos en periodos de actividad sísmica en reposo (variaciones en el fondo del 2-7%), pero son menos eficaces como herramientas precursoras, debido a la falta de técnicas eficaces de análisis para la monitorización continua.

El estudio de la evolución química de las fuentes termales resulta idóneo para observar las posibles influencias sísmicas. Ello se debe a que los cambios químicos pueden afectar, pues, al ser surgencias de acuíferos confinados, que son más sensibles a los cambios tensionales volumétricos, sus orígenes se hallan a más profundidad que las de otras aguas subterráneas y sus flujos se producen siguiendo zonas fracturadas en rocas del basamento, en áreas de fallas (Koizumi, 1996). El incremento de las fracturas puede afectar a la química de las aguas subterráneas, ya que las aguas atrapadas en los poros intersticiales y ricos en solutos, debido al esfuerzo tectónico, se liberan e incorporan a las aguas subterráneas, incrementando la salinidad. También puede asociarse a la entrada de aguas subterráneas procedentes de otros acuíferos, que cambian la composición química de las aguas; por ello, para estudiar la evolución de algún ión mayoritario determinante, debería conocerse primero la calidad química natural de las aguas de los acuíferos circundantes, superiores e inferiores.

Como anomalías presísmicas, se han descrito ascensos de la concentración de componentes iónicos de las aguas, en un entorno próximo a la falla o al conjunto de fallas activas en las que se situará el hipocentro del terremoto; sin embargo, estas anomalías pueden cesar días o semanas antes del terremoto. Asimismo, las anomalías pueden estar en función de la magnitud y distancia hipocentral del terremoto. Como ejemplo, destacar que se produjeron cambios previos al sismo de Hyogo-ken Nanbú (1995, M=7,2) en el quimismo de las aguas subterráneas, en pozos situados a 20 km del epicentro del terremoto (Tsonugai y Wakita, 1996).

Las anomalías postsísmicas, cuando se producen, suelen ser descensos de la concentración durante días a más de una semana hasta alcanzar de nuevo el contenido habitual, estando también en función de la magnitud y distancia hipocentral del terremoto. Estos descensos se han observado asociados al mencionado terremoto de Hyogo-ken Nanbú (Ohno y Wakita, 1996).

El radón  $Rn^{222}$  es químicamente inerte y altamente soluble en agua. Generalmente, el radón no escapa de la roca. Su contenido en el agua es inversamente proporcional al tamaño de la granulometría del acuífero, pero la formación de microfrazas reduce el tamaño de grano y aumenta la presencia del radón en el agua; por ello, sirve como trazador de cambios de los esfuerzos de la corteza causados por los terremotos.

Se han estudiado numerosas anomalías presísmicas y postsísmicas de su contenido en las aguas subterráneas, principalmente en la antigua URSS, China y Japón. La monitorización de una captación, fuente o sondeo puede resultar de gran interés en cuanto a identificar las variaciones del contenido en radón en las aguas subterráneas. Asociado al terremoto de Kobe (1995, M=7,2) se observó, en un pozo de 17 metros de profundidad y situado a 30 kilómetros al NE del hipocentro, incrementos en el contenido que se iniciaron meses antes (diciembre de 1993, 20 Bq/L), alcanzando en noviembre de 1994 los 60 Bq/L y llegando a alcanzar diez días antes un contenido en radón diez veces superior (mayor a 250 Bq/L) al inicio del control y empezar a descender siete días antes (*figura 4*). La temperatura, sin embargo, se ha mantenido estable durante el periodo estudiado. La explicación de esta anomalía y su relación con el terremoto está relacionada con la existencia de una falla situada a 500 metros al oeste del sondeo controlado, incrementándose el contenido en radón al acercarse a la misma, manifestando la existencia de tensión alrededor de la falla. Si las variaciones de radón pueden reflejar la formación de microfrazas en el acuífero, el descenso de su contenido diez días antes del evento sísmico puede relacionarse con un sellado de fraturas. A su vez, tras el terremoto se han observado valores irregulares, posiblemente debidos a que el *shock* sísmico no ha sido completo y se ha continuado liberando la tensión acumulada (Igarashi *et al.*, 1995).

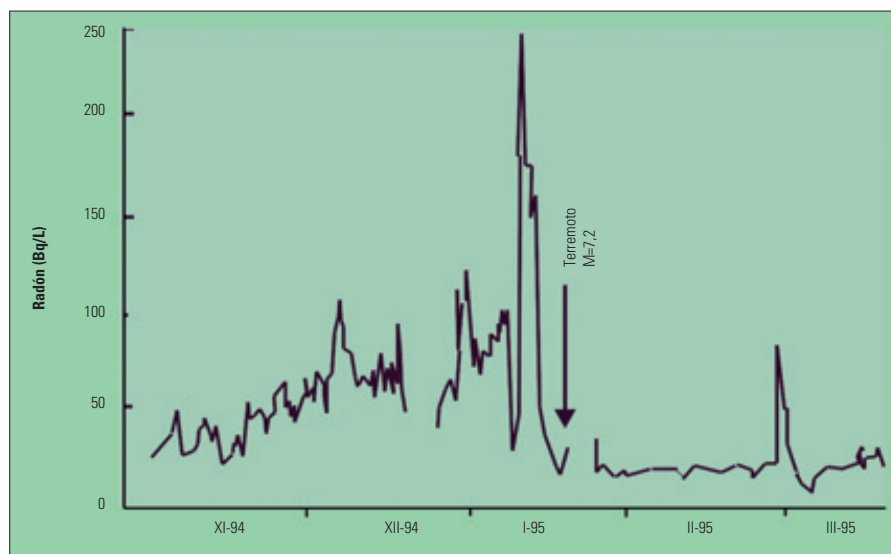


Figura 4. Contenido de radón en un pozo al sur de Nishinomiya (Japón), antes del terremoto de Kobe, del 17 de enero de 1995, de M=7,2 (Igarashi *et al.*, 1995).

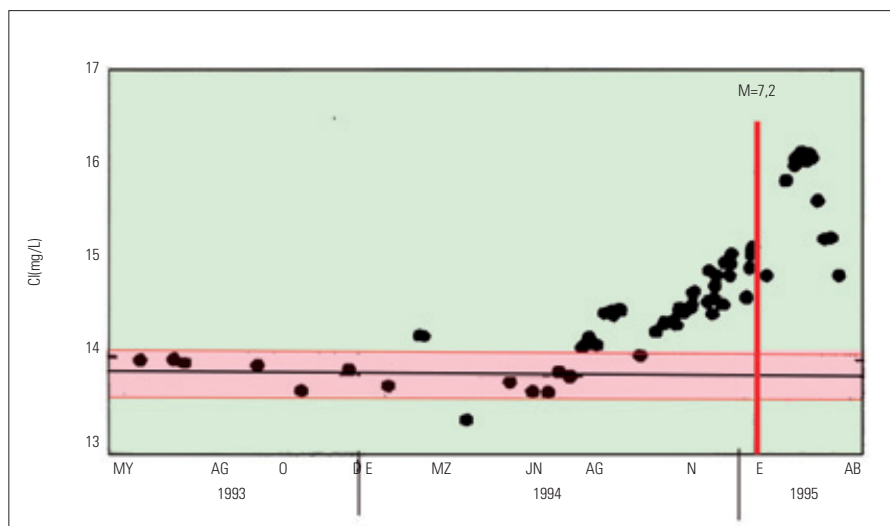


Figura 5. Variación temporal del Cl en agua subterránea antes y después del terremoto de Kobe de 1995, monitorizado en el sondeo ROK (modificado de Tsunogai y Wakita, 1995).

Las anomalías pueden ser presísmicas o postsísmicas y detectables en el plazo de dos días a una semana previo a los sismos, tal como se observó en el sondeo de 200 metros de profundidad próximo a fallas activas (Igarashi y Wakita, 1990).

Se producen afecciones combinadas de distintos parámetros, aunque no siempre los mismos, manteniéndose otros sin modificaciones. Así, tras el terremoto de Hyogo-ken Nanbú (1995,  $M=7,2$ ), el contenido de radón en un sondeo situado a 260 kilómetros decreció cerca de un 5%, aunque este descenso no va acompañado de cambios en el nivel piezométrico (Ohno

y Wakita, 1996), y sí previo al mismo se observaron variaciones en la temperatura e incluso turbidez en las aguas subterráneas en alguna área próxima.

Aunque se estudian la influencia de los sismos de magnitudes superiores a 5, en la India (Virk, 1998) se han correlacionado variaciones de radón en suelo y aguas subterráneas con eventos microsísmicos de pequeña magnitud ( $M=2-4$ ), acaecidos en el noroeste del Himalaya, y descensos de contenido del mismo tras el terremoto.

La distribución espacial de las anomalías no tiene por qué ser homogénea, como se

observó en distintas captaciones y fuentes en el norte y suroeste de China, unos afectados y otros no (Li, 1986), previamente a los sismos, en el entorno al área epicentral.

Los *cloruros* y *sulfatos*, como componentes mayoritarios, también muestran anomalías frente a la actividad sísmica. Este fenómeno se ha constatado en dos sondeos de 100 metros de profundidad, con contenidos iniciales constantes de cloruros y sulfatos, entre junio de 1993 y julio de 1994, incrementándose en agosto de 1994, y cuatro días antes del terremoto de Kobe ( $M=7,2$ , enero de 1995) aumentó un 10% más (figura 5) (Tsunogai y Wakita, 1995). Tras el terremoto siguió ascendiendo durante dos meses más y posteriormente empezó a descender la concentración. Asimismo, se han observado incrementos en cloruros y sulfatos en fuentes termales, días antes de un enjambre de sismos (magnitudes inferiores a 4,8) en la península de Izu (Japón) (Nishizawa *et al.*, 1998).

También se han manifestado variaciones en el contenido de cloruros en los Pirineos (sismo de  $M=5,2$ ) (Toutain *et al.*, 1997), donde se incrementó en unas fuentes hasta un 36. Tras el terremoto de Alaska (1964,  $M=8,4-8,6$ ), se observó un incremento de la concentración de cloruros en un área costera, pasando de 600 a 850 mg/L (Waller, 1964). También se produjeron aportes de fango y arena en fuentes y pozos durante horas o pocos días, aunque en algún caso llegaron a mantenerse durante dos semanas.

En Sicilia, se han observado ligeras variaciones en sulfatos asociados a enjambres de sismos (Favara *et al.*, 2007). También se advierten incrementos en el contenido de turbidez, como ya se observó en fuentes como la de Mula, en 1999 (Rodríguez Estrella, com. pers.), o en el sur de Italia (Pizzino *et al.*, 2003). En España, relacionado con el sismo de Mula (Murcia) de mayo de 1999 ( $M=3$ ), se observa que en los manantiales termales de Archena y Fortuna sí se producen incrementos en sulfatos y cloruros 20 y 8 días antes (Martínez y Durán, 2004) (figura 6). En Baños de Mula se advirtieron aumentos en el contenido químico de los iones mayoritarios,

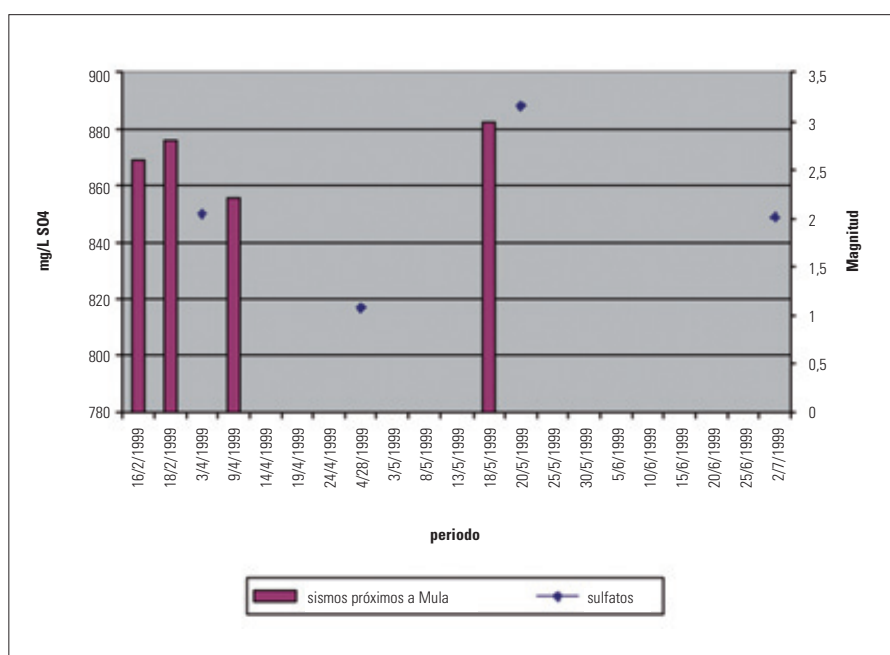


Figura 6. Evolución del contenido en sulfatos en Baños de Mula, en relación con el sismo de mayo de 1999, de  $M=3$  (modificado de Martínez y Durán, 2004).

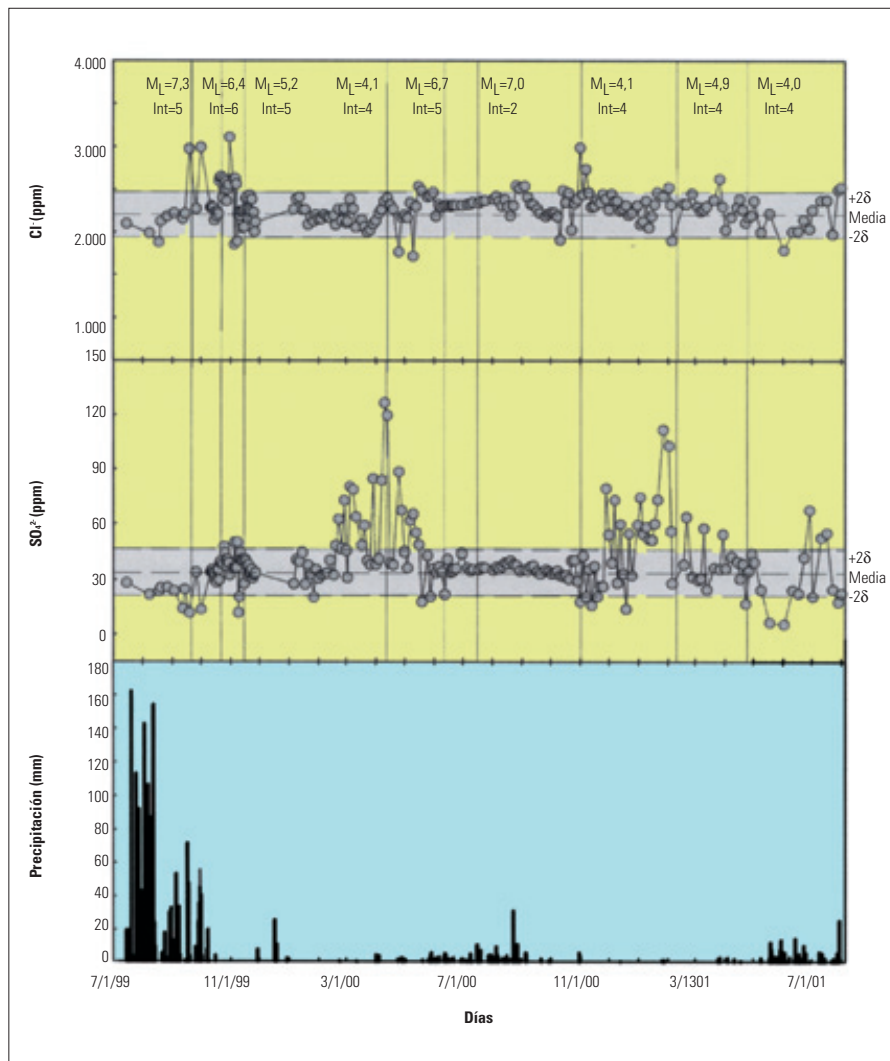


Figura 7. Utilización de la horquilla definida por  $2\sigma$  para determinar cuáles son las anomalías que se pueden considerar como tales, en el caso del contenido en sulfatos y cloruros (modificado de Song et al., 2006).

principalmente en el  $\text{SO}_4^{2-}$  (8,6%), tras los sismos, aunque sin monitorización no se puede precisar si este incremento se produjo antes del sismo (Martínez y Durán, 2004).

Respecto al *mercurio*, se ha estudiado la variación de su concentración como indicador en China (Yangfen et al., 1989; Zhang, 1991), donde fluctúa dentro de un estrecho rango, variando antes de los terremotos, con una amplitud superior en diez veces al valor de fondo, y en función de la magnitud del terremoto, finalizando este incremento antes del mismo.

El *fluoruro*, como elemento minoritario, también resulta un buen indicador. Según Guiru et al. (1985), se incrementa el F antes del terremoto de Ninghe (1976,  $M=6,9$ ). Se ha estudiado en Guangdong (China) la variación de F en las aguas

subterráneas antes de terremotos pequeños y moderados (Fang, 1985).

Respecto a los *isótopos estables* ( $\delta\text{D}$  y  $\delta^{18}\text{O}$ ), se han observado variaciones asociadas a sismos (Suer et al., 2008), con incrementos de  $\delta\text{D}$  en el caso de sismos en EE UU en el año 1980, o incrementos de  $\delta^{18}\text{O}$  en aguas termales en la isla de Vulcano (Italia), previos a actividad sísmica. Sato et al. (2006) estudiaron variaciones temporales de estos isótopos, aunque no encontraron nada significativo. No obstante, buscar posibles variaciones, causadas por la incorporación de aguas procedentes de otros niveles acuíferos a causa de los sismos, puede resultar de interés.

Tras el terremoto de Loma Prieta (Rojstaczer, 1991) se incrementa la *fuera iónica*, el *índice de saturación de la calcita* pasa de 0,4 a 0,8 y la temperatura

desciende 4 °C. Ello se ha atribuido a la entrada de agua aportada por el entorno, favorecido por el terremoto.

Se han estudiado variaciones periódicas de la *temperatura* en el periodo de mayo de 1983 a julio de 1984, causadas por liberaciones tensionales localizadas, inducidas a terremotos con pequeña intensidad sísmica (Koizumi, 1995). Cambios en la temperatura se han observado previos a los terremotos más superficiales próximos a la fuente artesiana termal de Usami (Mogi et al., 1988).

Como se ha descrito, se pueden estudiar diversos parámetros o características físico-químicas de las aguas, pero es común que se produzcan cambios en varias.

La interpretación de la variación del contenido de los diferentes iones u otras características no resulta fácil, ya que los análisis químicos y otras determinaciones incorporan una serie de variaciones tanto de origen natural, como incertidumbres de muestreo y analíticas. Por ello, Toutain et al. (1997) plantean el emplear una horquilla definida por  $2\sigma$  (desviación típica de la muestra), en la que se encontrarían dentro la mayoría de análisis y los que se saliesen de la misma podrían considerarse anomalías a estudiar. Para ello, se realiza el tratamiento estadístico descriptivo de las muestras de ese año y, para cada punto muestreado, se determina el valor medio de cada parámetro y la desviación típica del mismo ( $\sigma$ ). Se emplea la siguiente fórmula para los elementos mayoritarios:  $2\sigma\text{-C media}+2\sigma$ , con la que se obtienen dos valores que representados constituyen dos líneas que definen la horquilla en la que los parámetros que se excedan se considerarán anomalías a estudiar.

Así, Sheng Rong et al. (2003) observaron anomalías fuera de este rango únicamente en el caso de sulfatos y nitratos, con un incremento continuado y un descenso brusco tras el terremoto de Chi-Chi (Taiwán), en 1999. Otro ejemplo de este tratamiento lo describen Song et al. (2006), donde se identifican anomalías asociadas a sulfatos y cloruros en aguas termales y artesianas, debidas a diversos sismos en el centro-oeste de Taiwán (figura 7).

Sin embargo, la mayoría de estos sismos son de magnitudes >5, y siempre con respecto a iones mayoritarios.

## Conclusiones

Los movimientos sísmicos afectan a las propiedades de los acuíferos y a las características físico-químicas de las aguas subterráneas y de su comportamiento. La duración de estos efectos es muy variable: de días a meses. Estas anomalías se producen de manera presísmica, cósmica o postsísmica.

Se han observado cambios en la piezometría, permeabilidad, caudal de las fuentes, temperatura, pH, turbidez, fuerza iónica, conductividad eléctrica, componentes iónicos mayoritarios (principalmente Cl<sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), elementos minoritarios y traza (Hg, F, Rn, etc.), así como isotópica de las aguas subterráneas (<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He, δD, δ<sup>18</sup>O, <sup>220</sup>Rn/<sup>222</sup>Rn, etc.) y en la concentración de los gases presentes (Rn, CO<sub>2</sub>, He, CH<sub>4</sub>, principalmente).

Para su interpretación se establece una horquilla de oscilaciones naturales que permite hacer patente las anomalías de origen tal vez sísmico.

Para realizar estas determinaciones, se monitorizan de manera continuada fuentes y sondeos.

Las anomalías se encuentran asociadas a fuentes termales, captaciones, acuíferos libres y confinados, sismos de todo tipo de magnitud, al medio acuífero o a las aguas, a complejas estructuras o a fallas, con comportamientos en ocasiones predecibles gracias a fórmulas matemáticas, etc. Sin embargo, no se ha encontrado un patrón homogéneo o metodología que pueda aplicarse para todos los casos. La heterogeneidad y la impredecibilidad aún son predominantes en los estudios.

Resulta complejo en áreas tectónicamente activas, con continuos sismos de

intensidades inferiores a M=3, discernir cuáles han podido afectar a estas características de los acuíferos. Existen tres factores que dificultan la selección de sismos que pueden influir en las aguas subterráneas: la proximidad o coincidencia temporal de los mismos, la proximidad espacial, o no, a la zona de actividad sismotectónica y el rango de las magnitudes a partir de las que se puede considerar que afectan a los acuíferos. Asimismo, para determinar que la variación observada se trata de una anomalía no causada por el propio funcionamiento hidrogeológico u otras influencias ajenas a los movimientos sísmicos, es preciso conocer la estructura y el comportamiento hidrodinámico del acuífero estudiado, la captación monitorizada y un amplio periodo temporal con abundantes datos continuos, que permitan diferenciar los cambios asociados a los sismos del resto.

## Bibliografía

- Albareello, D.; Ferrari, G.; Martinelli, G. y Mucciarelli, M. (1991). Well-level variation as a possible seismic precursor: a statistical assessment from Italian historical data, *Tectonophysics*, 193, 385-395.
- Barsukov, V. L.; Varshal, G. M. y Zamokina, N. S. (1985). Recent results of hydrogeochemical studies for earthquake prediction in the USSR, *Pure and Applied Geophysics*, 122, 143-155.
- Bowman, D. D.; Ouillon, G.; Sammis, C. G.; Sornette, A. y Sornette, D. (1998). An observational test of the critical earthquake concept, *Journal of Geophysical Research*, 103, nº B10, 24359-24372.
- Dobrovolsky, I. P.; Zubkov S. I. y Miachkin V. I. (1979). Estimation of the size of earthquake preparation zones, *Pure and Applied Geophysics*, 117, 1025-10.
- Fang, X. (1995). An analysis on earthquake precursors of F superscript in groundwater, *Seismology and Geology*, 7, 1, 67-69.
- Favara, R.; Grassa, F.; Madonia, P. y Valenza, M. (2007). Flow changes and geochemical anomalies in warm and cold springs associated with the 1992-1994 seismic sequence at Pollina, Central Sicily, Italy, *Pure and Applied Geophysics*, 164, 12, 2411-2430(20).
- Guiru, L.; Fangliang, J.; Jihua, W. y Peiren, Z. (1985). Preliminary results of seismogeochemical research in China, *PAGEOPH*, 122, 219-229.
- Hauksson, E. y Goddard, J. G. (1981). Radon earthquake precursor studies in Iceland, *Journal of Geophysical Research*, 86, 7037-7054.
- Igarashi G. y Wakita, H. (1990). Groundwater radon anomalies associated with earthquakes, *Tectonophysics*, 180, 237-254.
- Kissin, I. G.; Belikov, V. H. e Ishankuliev, G. A. (1996). Short-term groundwater level variations in a seismic region as an indicator of the geodynamic regional, *Tectonophysics*, 265, 313-326.
- Koizumi, N.; Kano, Y.; Kitagawa, Y.; Takahashi, M.; Nishimura, S. y Nishida, R. (1996). Groundwater anomalies associated with the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake, *Journal of Physics of the Earth*, 44, 4, 373-380.
- Li, Z. (1986). Imminent anomalies of radon content before large earthquakes in China, *Journal of Physics of the Earth*, 34, supplement, 91-102.
- Mogi, K.; Mochizuki, H. y Kurokawa, Y. (1989). Temperature changes in an artesian spring at Usami in the Izu Peninsula (Japan) and their relation to earthquakes, *Tectonophysics*, 159, 1-2, 95-108.
- Martínez, M. y Durán, J. J. (2004). Respuesta de los acuíferos en el área de Mula (Murcia, SE España) a los movimientos sísmicos de 1999, *Geogaceta*, 36, 131-134.
- Nishizawa, S.; Igarashi, G.; Sano, Y.; Shoto, E.; Tsaka, S. y Sasaki, Y. (1998). Radon, Cl y So<sub>4</sub> anomalies in hot-spring water associated with the 1995 earthquake swarm off the east coast of the Izu Peninsula, Central Japan, *Appl. Geochem*, 13, 89-94.

- Ohno, M. y Wakita, H. (1996). Coseismic radon changes of the 1995 Hygo-ken Nanbu earthquake, *J. Phys. Earth*, 44, 391-395.
- Pizzino, L.; Cinti, D.; Barbieri, M.; Galli, G.; Voltattorni, N. y Quattrocchi, F. (2003). The October 31 (ml 5.4) and November 1 (ml 5.3) Molise earthquakes (Southern Italy). First results from geochemistry. CD-volume, *Geophysical research abstracts*, 5, 03640, EGS-AGU-EGU Joint Assembly.
- Roeloffs, E. (1998). Persistent water level changes in a well near Parkfield, California, due to local and distant earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, 103, B1, 869-889.
- Rojstaczer, S. y Wolf, S. (1991). Hydrologic changes associated with the earthquake in The San Lorenzo and Pescadero drainage basins, *Open File Report 91-567, US Geological Survey*, Menlo Park, California, E51-E64.
- Sato, T.; Machida, I.; Takahashi, M. y Nakamura, T. (2006). Geochemical changes in spring water associated with the 2000 eruption of the Miyakejima Volcano, Japan, *Pure and Applied Geophysics*, 163, 809-823.
- Sheng-Rong, S.; Wei-Yi, K.; Yaw-Lin, Ch.; Y-Chieh, L.; Chia-mei, L.; Li-Wei, K.; Tsanyao, F. Y. y Huann-Jih, L. (2003). Groundwater chemical anomaly before and after the Chi-Chi earthquake in Taiwan, *TAO*, 14, 3, 311-320.
- Sibson, R. H.; Moore, J. y Ramkin, A. (1975). Seismic pumping. A hydrothermal fluid transport mechanism, *Journal of the Geological Society of London*, 131, 653-659.
- Song, S. R.; Ku, M.W. Y.; Chen, Y. L.; Liu, C. M.; Chen, H. F.; Chan, P. S.; Chen, Y. G.; Yang, T. F.; Chen, C. H.; Liu, T. K. y Lee, M. (2006). Hydrogeochemical anomalies in the springs of the Chiayi area in West-central Taiwan as possible precursors to earthquakes, *Pure and Applied Geophysics*, 163, 675-691.
- Stejskal, V.; Malek, J. y Novotny, O. (2008). Variations in discharge and temperature of mineral springs at the Frantiskov lazne spa, Czech Republic, during a nearby earthquake swarm in 1985/86, *Studia Geophysica et Geodaetica*, 52.
- Suer, S.; Guleç, N.; Mutlu, H.; Hilton, D. R.; Çiftçi, C. y Sayin, M. (2008). Geochemical monitoring of geothermal Waters (2002-2004) along the north Anatolian fault zone, Turkey: spatial and temporal variations and relationship to seismic activity, *Pure and Applied Geophysics*, 165, 17-43.
- Takemoto, S. (1991). Some problems on detection of earthquake precursors by means of continuous monitoring of crustal strains and tilts, *Journal of Geophysical Research*, 96, 10377-10390.
- Toutain, J. P.; Muñoz, M.; Poitras, F. y Lienard, A. C. (1997). Spring water chloride ion anomaly prior to M=5.2 Pyrenean earthquake, *Earth Plan. Sci. Lett.*, 149, 113-119.
- Tsunogai, U. y Wakita, H. (1995). Precursory chemical changes in ground water: Kobe earthquake, Japan, *Science*, 269, 61-63.
- Tsunogai, U. y Wakita, H. (1996). Anomalous changes in groundwater chemistry-possible precursors of the 1995 Hygo-ken Nanbu earthquake, Japan, *Journal of Physics of the Earth*, 44, 4, 381-390.
- Virk, H. (1998). Prediction of Uttarkashi and Chamba earthquakes using radon precursory signals, *J. Earthquake Prediction Research*, 7, 89-97.
- Waller, R. M. (1964). Effects of the March 1964 Alaska Earthquake on the hydrology of the Anchorage area, *Geological Survey Professional Paper* 544-B, 17, 1 Plate.
- Wood, S.; Wurts, C.; Lane, T.; Ballenger, N.; Shaleen, M. y Totorica, D. (1985). The Borah Peak, Idaho earthquake of October 28, 1983-Hydrologic effects, *Earthquake Spectra*, 2, 1, 127-150.
- Yangfen, J.; Zonghua, W.; Chunsheng, S.; Jiazhen, W. y Hongren, Z. (1989). Earthquake prediction through the observation and measurement of mercury content variation in water, *Journal of Geochemical Exploration*, 33, 1-3.
- Zhang, W.; Shi, P. y Zhang, P. (1991). Mercury concentration as a new index of short-term and imminent anomalies, *Earthquake research in China*, 5 (1), 27-44.



**io institutosodontológicos**

**Ilustre Colegio  
Oficial de Geólogos**

### MUCHO MÁS QUE UNA CLÍNICA DENTAL

¡Más de 500.000 pacientes ya confían en nosotros!

- Calidad en el servicio
- Honestidad en el diagnóstico
- 400 profesionales de toda confianza
- Te ofrecemos servicio en 25 centros propios

¡VEN Y COMPRUEBALO TÚ MISMO!

**Condiciones especiales**

- 1ª visita, consulta y revisión **Gratis**  
Radiografías intrabucales **Gratis**  
Higiene bucal **22 €**  
Resto de tratamientos **20 % dto.**

**Ilustre Colegio  
Oficial de Geólogos**

No cerramos por vacaciones. Financiación a 12 meses sin intereses

BARCELONA  
ALCALÁ DE H.  
MADRID  
GIRONA  
TARRAGONA

VALENCIA  
CASTELLÓN  
ZARAGOZA  
L'HOSPITALET DE LL.  
MATARÓ

MANRESA  
GRANOLLERS  
SABADELL  
TERRASSA  
VIC

BADALONA  
CORNELLÀ  
VILANOVA I LA G.  
ST. BOI DE LL.

# Capacitación del geólogo en explotación minera *versus* la reserva competencial en la Ley de Minas. Una necesidad de cambio

Se realiza una reflexión sobre la evolución histórica de la legislación minera y las competencias preferentes que se atribuyen a los ingenieros de Minas, en detrimento de los geólogos.

**TEXTO** | Rubén Esteban Pérez, geólogo, Col. nº 2.900, EurGeol nº 639 EFG

Palabras clave  
**Minería, Ley de Minas**

## Geología e ingeniería de Minas: una base común para ambas disciplinas

Ha llovido mucho desde que Georgius Agrícola escribió *De Re Metallica* (publicado por primera vez en 1556) (figura 1). Hasta el siglo XVI, la figura del geólogo y del ingeniero de Minas, tal y como hoy en día las entendemos, se fundían en un mismo ente que se asemejaba más a un alquimista que a un técnico. Hablamos de una persona que bebía directamente de las fuentes de la *hermética*, que se movía en un mundo de metafísica, filosofía y espiritualidad y que pasaba su vida en el laboratorio buscando la piedra filosofal.

*De Re Metallica* fue la base de los estudios sobre explotación y tecnología minera durante 180 años tras su publicación. Constituyó el germen del declive de la alquimia occidental medieval con la llegada del auge de la ciencia moderna, basada en la experimentación. Varios de los libros (capítulos) que componen esta obra hablan de exploración e investigación de yacimientos mineros con gran profusión de detalles y con una base científica y técnica muy avanzada para esa época. Naturalmente, no habla expresamente de geólogos, pero tampoco de ingenieros de Minas; habla de mineros en sentido general, que investigan, descubren, delimitan y luego explotan venas minerales.

Hasta tal punto el ingeniero de Minas y el geólogo han estado directamente relacionados y hasta solapados en sus

atribuciones en la minería antigua y moderna que, en la primera traducción al inglés de esta obra, en 1912, Herbert Hoover (figura 2) (el que fue más tarde presidente de Estados Unidos), que era ingeniero de Minas, colaboró con su esposa, Louise Henry Hoover, que era geóloga.

Hasta el siglo XVII y XVIII, la geología como ciencia no alcanzó un desarrollo importante en el mundo de las ciencias naturales. En el siglo XVII la geología se fue fundamentando en la premisa de que de alguna forma había que demostrar que lo contenido en la Biblia era cierto; ahí comenzó su desarrollo.

En el siglo XVIII, su avance corrió parejo al de la minería: el conocimiento de

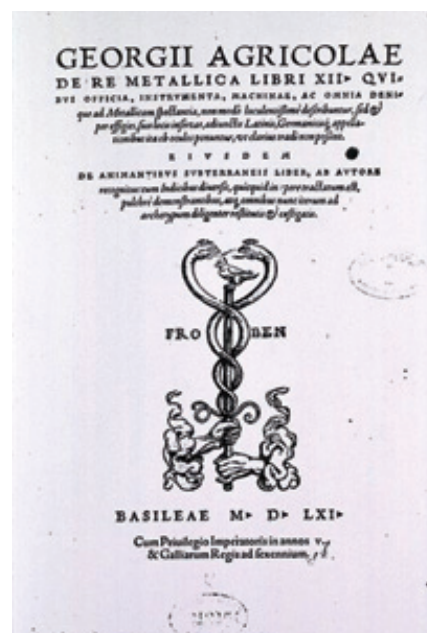


Figura 1. Portada de *De Re Metallica*.



Figura 2. Herbert Hoover y su mujer, la geóloga Louise Henry Hoover.

yacimientos y su disposición en el espacio tridimensional. Todo este progreso y el inicio de los estudios de Geología en las universidades (la primera fue el Museo Nacional de Historia Natural de Francia) fue debido al *boom* económico que la minería trajo al mundo de aquella época.

El término geología como tal, y el de geólogo como persona que se dedicaba a la geología, no fue concebido y recibido por la comunidad científica hasta que apareció publicado en la *Enciclopedia* de Diderot, en 1751.

### Legislación minera en España desde la edad media hasta la vigente Ley de 1973

En España, la primera regulación de la minería se remonta al año 1387. En ella, Juan I de Castilla (*figura 3*) se declaraba propietario de todas las minas y daba el derecho a cualquier persona del reino para investigarlas y explotarlás, a cambio de ceder al rey las dos terceras partes del producto neto obtenido.

En 1584, se dictaron las Ordenanzas de Felipe II, que desarrollaron por completo el principio de la regalía minera. Constituyeron un verdadero código minero, que estuvo en vigor durante 241 años.

Durante el reinado de Fernando VII se promulgó el Real Decreto de 4 de julio de 1825, por el cual se establecieron las concesiones reales como única vía para poder explotar las minas propiedad de la Corona.

Las minas no se declararon propiedad del Estado hasta la Ley de 1849. Posteriormente, un Decreto del ministro de Fomento inició, en 1868, un nuevo rumbo en la legislación minera al rechazar definitivamente el principio regalista y aceptar el dominio público sobre las minas. Estas bases desembocaron en la Ley de Minas de 1869 que se mantuvo vigente durante setenta y seis años aunque con algunas rectificaciones y ampliaciones.

Ésta fue sustituida por la Ley de Minas de 19 de julio de 1944, en la que quedan confirmadas y ampliadas las disposiciones



Figura 3. Retrato de Juan I de Castilla.

y orientaciones dictadas en la Ley de junio de 1938 y en el Decreto de septiembre de 1939.

Esta nueva ley reguladora recoge lo fundamental de la experiencia mundial en la materia y enuncia, en lo referente a las competencias propias de nuestra profesión, los siguientes puntos:

- Aparece el concepto de permiso de investigación como fase previa a la concesión de explotación.
- Se reestablecen los antiguos principios que obligan a investigar las minas y a mantenerlas en actividad.
- Todas las explotaciones mineras quedan sujetas a la inspección y vigilancia del Cuerpo Nacional de Ingenieros de Minas del Estado.

La Ley de Minas de 1944 es sustituida por la Ley de 21 de julio de 1973, que modifica tímidamente alguno de sus aspectos.

### El geólogo en la minería internacional en general y en la española en particular

De todo lo anterior podemos destacar que el siglo XVIII marcó la creación de los estudios de Geología y su auge, separados de los estudios de Minería; el geólogo se convirtió, en aquella época, en un científico meramente teórico, frente al minero, que

se especializó en la técnica de explotación minera.

La minería del siglo XIX, donde la revolución industrial y la importancia que España tenía en la exportación de minerales a nivel mundial, y el periodo de la dictadura de Franco, donde era necesario ser autosuficiente en la producción de materias primas para la industria, llevaron a un florecimiento de la investigación minera en el que los geólogos iniciaron una importante andadura en su reconocimiento por otros profesionales del sector, pero siempre desde un punto de vista previo a la explotación de la mina o al avance de los tajos.

La labor del geólogo en la exploración e investigación minera, en el ámbito internacional, es incuestionable. Está recogida en extensos e importantes trabajos, como los realizados por el geólogo Hugh E. McKinstry en la primera mitad del siglo XX.

También se recoge esta labor en los códigos de conducta profesional que, con carácter internacional, están publicados para la redacción de estudios de valoración de yacimientos minerales, con el objeto de que sirvan para profesionales no directamente relacionados con las ciencias de la Tierra, como *brokers*, inversores, ejecutivos, etc. En éstos, entre los que se encuentran el *JORC Code en Australasia*, el *UK Reporting Code en Europa*, el *CIM 43-101 en Canadá* o el *Samcode en Sudáfrica*, entre los más importantes, y que se utilizan en minería internacional, siendo habituales en los mercados financieros y bursátiles de muchos países, se habla claramente de quién es el técnico competente para realizar estudios de investigación de recursos geológicos y mineros. También indican a qué tipo de organizaciones debe pertenecerse y qué tipo de certificaciones deben poseerse para que se sea reconocido por los gestores de operaciones financieras y bursátiles basadas en recursos mineros.

El técnico reconocido, denominado en estos códigos como *competent person*, debe ser un titulado miembro de una

organización dentro de las denominadas ROPO (*Recognised Overseas Professional Organisation*). Para los geólogos españoles, puede ser la Federación Europea de Geólogos, a través del título de EurGeol, y, además, se debe contar con un mínimo de cinco años de experiencia probada en el tipo de mineralización o depósito que se esté considerando y en la especialidad en que la persona esté titulada.

Por ejemplo, el *JORC Code* indica, en su artículo 10, que si el técnico competente está preparando un informe sobre exploración de recursos minerales, su experiencia debe estar basada en exploración. Si, por el contrario, lo está preparando sobre estimación, tasación y evaluación de recursos minerales, su experiencia debe centrarse en estos términos, y si el informe va a versar sobre lo anterior, sumado a explotación de dichos recursos a partir de yacimientos concretos, su experiencia debe ser sobre esas materias. Dicho código, redactado y mantenido por el *Australasian Joint Ore Reserves Committee*, y cuya primera publicación fue en 1989, nos indica que la clave para definir a la persona competente es la “relevancia”, más allá de la titulación académica y, por supuesto, en ninguno de sus artículos ni apéndices habla de reserva de atribuciones para un determinado colectivo profesional. De igual forma se pronuncian los demás códigos, como el *UK Reporting Code*, que se redactó por vez primera en 2001, y sirve de base para los estudios que sobre exploración y explotación de yacimientos minerales se realizan para los bancos y mercados bursátiles europeos, entre ellos también el mercado español.

### La preconstitucional Ley de Minas de España de 1973

Nuestra actual Ley de Minas y sus reglamentos especifican claramente cuáles son las competencias que tienen los técnicos participantes en los trabajos relacionados con la minería y delimitan la actuación del geólogo, así como la de otros colectivos profesionales, frente al ingeniero de Minas, ingeniero técnico de Minas, perito de Minas y facultativo de Minas, conjunto de profesionales que en

adelante denominaremos “titulados en minas”.

Es curioso cómo, a ciertos efectos, un facultativo de Minas, que cuenta con una formación similar a la de un maestro industrial de formación profesional de los antiguos planes de estudios, pueda tener hoy en día, y de hecho las tiene dentro del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), mayores competencias en materia de minería que un geólogo u otro profesional especializado en Minería, que es titulado superior, e iguales competencias en muchos aspectos que un ingeniero superior de Minas. Y todo eso gracias a la preconstitucional Ley de Minas vigente y sin pasar por ninguna universidad.

La reserva de ley, que en lo referente a explotación de minas en todos sus aspectos y a la dirección tanto de minas como de establecimientos mineros hace esta anticuada legislación a favor de los titulados en Minas, nos relega a los geólogos y a un amplio conjunto de profesionales a un campo de actuación delimitado en la exploración de recursos geológicos.

Según estas normas, cualquier profesional titulado que no sea titulado en Minas, tiene prohibido el ejercicio de labores de dirección facultativa en explotaciones mineras y establecimientos de beneficio y aunque, como se ha comentado, sí que, con determinadas reservas tasadas por dicha ley, pueden realizar labores de exploración e investigación y labores de seguridad y salud, las empresas y, lo que es más lamentable, muchas administraciones ponen trabas e incluso vetan la posibilidad de realizar estos trabajos a quien no sea titulado en Minas.

La entrada en vigor del Real Decreto 1378/2001, por el que se aprueban los Estatutos del Colegio de Geólogos, nos dotó como colectivo de una herramienta fundamental, que es el disponer de un catálogo de actividades para el cual somos competentes. Entre ellas se encontraban diversas labores que chocaban frontalmente con la vigente legislación minera, pero que, aun así, figuraban.

Poco tiempo tardó el Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas en llevar el asunto a los tribunales de Justicia y, tras una enconada defensa por parte del ICOG, como no podía ser de otra manera a tenor de las legislación vigente, perdimos el pleito; del Real Decreto 1378/2001 se eliminaron todas las labores que sobre explotación de recursos geológicos y dirección de explotaciones e instalaciones mineras figuraban en la redacción original de dicha norma. Después de esto, poco más se ha hecho, y la labor del geólogo en minería ha quedado relegada, y esta vez con jurisprudencia al respecto, a un segundo plano.

La preconstitucional Ley de Minas vigente, que apenas ha sufrido modificaciones desde su redacción original, desarrolla una reserva de ley a favor de los titulados de Minas, en detrimento de todos los demás técnicos con posibles competencias en ciencias de la Tierra.

Esta legislación, además de no correr pareja con los tiempos actuales y con la normativa europea al respecto de minería, recursos minerales y libre prestación de servicios, deja un regusto decimonónico al acervo normativo español en la materia, que recuerda a otros tiempos donde la minería, en sentido amplio, era coto cerrado de titulados en Minas, así como la construcción lo era de otros titulados. Gracias al Código Técnico de la Edificación, diversos técnicos, entre ellos los geólogos, hoy en día son reconocidos como técnicos competentes.

### El negocio de la minería en España en el siglo XXI. Sus recursos humanos

Poca, por no decir nula, es la labor de investigación y exploración minera en España en la actualidad. Los geólogos tenemos competencia, compartida con los titulados en Minas, para realizar estas labores, pero nuestro país, así como la mayoría de los países de la Zona Euro, se encuentran en un mercado plano en lo referente a estas materias.

No obstante, hay diversas actuaciones financiadas por la Unión Europea para potenciar la investigación de recursos

Para sobrevivir en un mundo profesional competitivo y de libre prestación de servicios necesitamos que esta reserva de ley se derogue, que se modifique la Ley de Minas y que al geólogo se le permita trabajar en igualdad de condiciones en un ámbito para el que está perfectamente preparado



Figura 4. Cantera.

geológicos en Europa y el I+D+I en materia de tecnología de exploración, explotación y tratamiento de minerales, a la vista de la hegemonía que han adquirido los mercados emergentes y a los altos costes de transporte, pero hoy en día están en fase de desarrollo.

También se modificó, en 2007, el artículo 122 de la Ley de Minas, por el que toda prohibición del uso minero del territorio ha de ser motivada y no puede ser genérica, así que, aunque no ha sido de esta manera, debería haberse potenciado la investigación de recursos minerales hacia un desarrollo más sostenible de los mismos.

Los áridos de cantera o gravera y diversos minerales industriales conforman el núcleo de la industria minera española. Apenas queda minería metálica y el carbón está en recesión desde hace años. Los empresarios de áridos no demandan investigación de nuevos “yacimientos” y es testimonial la investigación que se realiza para minerales industriales, ya que una vez investigadas las áreas de yacimiento, su explotación choca en la mayoría de los casos con la legislación medioambiental o con la oposición general, principalmente de la Administración municipal y de grupos ecologistas, a iniciar actividades mineras nuevas, que retraen a los inversores.

Los proyectos mineros llegan a ser verdaderas “aventuras mineras”, dada la prolija y a veces confusa normativa y la, muchas veces, solapada competencia de las múltiples administraciones competentes en las materias que afectan a la explotación de recursos geológicos.

Sin embargo, la explotación de recursos geológicos y de instalaciones mineras vinculadas a los áridos tiene un presente y un futuro importante en España, y lo ha tenido en los últimos años. Según la Estadística Minera de España, realizada por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio en el año 2006 (última publicada), en nuestro país hay 4.292 explotaciones mineras activas, siendo las explotaciones de rocas ornamentales (figura 4) y productos de cantera/gravera (áridos) las que aglutinan el mayor porcentaje. Su facturación alcanza cifras millonarias y constituyen un sector estratégico en la economía nacional.

En estas explotaciones trabajan en nómina de las empresas casi 37.000 personas y son casi 7.000 las que desarrollan su actividad como servicios contratados. De este personal, son 3.706 los trabajadores que se encuadran en la categoría de “directivos y personal titulado” en nómina y 463 los “directivos y personal titulado” de contratas. En total trabajan

en las empresas mineras españolas 4.169 titulados.

De todos ellos el número de geólogos no alcanza el 5%, siendo el resto titulados en Minas. Los geólogos que trabajan en el sector, salvo raras excepciones, se dedican a labores de medio ambiente, calidad o seguridad, pero nunca a explotación o dirección de establecimientos de beneficio.

En una entrevista que el periódico *La Nueva España* realizó, en 2009, al decano de la Facultad de Geología de la Universidad de Oviedo, se indicaba que entre minería, medio ambiente e hidrogeología no sumaban más del 20% del total los geólogos que actualmente trabajan en España. Un elevado porcentaje trabaja en las diversas administraciones, estando encuadrada la mayoría de ellos en la docencia no universitaria y el resto en geotecnia.

### **El geólogo con la entrada en vigor de la Ley de libre prestación de servicios o Ley Ómnibus**

Como ya se ha visto, la legislación minera vigente en España apenas ha sido modificada desde su entrada en vigor. No tiene en cuenta temas básicos como la distribución territorial de competencias en el Estado de las Autonomías, la entrada

en la Unión Europea, con lo que conlleva de libre circulación de trabajadores en el territorio europeo, y otros importantes asuntos relativos a la modificación de determinados regímenes jurídicos y, sobre todo, no ha sido modificada en absoluto en lo referente a los titulados competentes que pueden desarrollar labores en minería.

Como esta Ley de Minas es preconstitucional, los diferentes Gobiernos que se han ido sucediendo desde la entrada de la democracia han intentado modificarla, aunque hasta la fecha ninguno de ellos ha acometido una reforma en profundidad de esta ley y tan sólo se han ido modificando aspectos de poca relevancia.

Con fecha de 27 de diciembre de 2009, entró en vigor la Ley 25/2009, de 22 de diciembre, de modificación de diversas leyes para su adaptación a la Ley sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio (Ley Ómnibus). Previamente, la entrada en vigor de la Ley 17/2009, de 23 de noviembre, sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio, incorporó parcialmente al derecho español la Directiva 2006/123/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2006, relativa a los servicios en el mercado interior.

Esta ley consolida los principios compatibles con las libertades básicas de establecimiento y de libre prestación de servicios y, al mismo tiempo, permite suprimir las barreras y reducir las trabas que restringen injustificadamente el acceso a las actividades de servicios y su ejercicio.

Dicha ley enfatiza el hecho de que los instrumentos de intervención de las administraciones públicas en este sector deben ser analizados pormenorizadamente y ser conformes con los principios de no discriminación en la prestación de servicios por el espacio europeo.

Es por esto que la Ley Ómnibus, para alcanzar el objetivo de reformar el marco regulatorio, procede a un ejercicio de evaluación de toda la normativa reguladora del acceso a las actividades de servicios y de su ejercicio, para adecuarla a los principios que dicha Ley 17/2009 establece.

## Sólo una modificación de la Ley de Minas en los apartados de competencias para ejercer actividades mineras puede mejorar la situación del geólogo y, por ende, de otros titulados en este sector tan importante

En su artículo 17 se modifican (de hecho quedan sin contenido) cuatro artículos de la Ley de Minas que, junto con la supresión de otro artículo del mismo título, en 1986, dejan su Título VIII sin contenido. De manera tan efectiva, el Poder Ejecutivo ha dejado el título de "Condiciones para ser titular de derechos mineros" vacío de contenido, porque está desfasado en su totalidad, al estar inmersos en una Unión Europea, donde hay libre circulación de personas, capitales y servicios.

La memoria justificativa de esta ley, cuando era proyecto de ley, en junio de 2009, y para su artículo 17, indica literal: "Las modificaciones propuestas en la Ley de Minas pretenden eliminar las restricciones a la libre circulación de trabajadores en el seno de la Unión Europea que aún quedaban en vigor".

Los datos de la Ley Ómnibus son demoledores, ya que se modifican 47 leyes y se eliminan 111 requisitos legales, de los cuales sólo 11 se sustituyen por otros menos restrictivos. Veintidós de esas modificaciones habilitan a determinados profesionales para el ejercicio de una actividad que hasta ese momento, por una u otra causa, tenían vetada.

Respecto a lo eliminado en la Ley de Minas, el propio Ministerio de Economía y Hacienda lo califica como "requisitos de carácter discriminatorio" para una parte importante de la población europea que no

podía hacer uso de sus derechos, en relación a ser titular de derechos mineros en España, al mismo nivel que los españoles.

Es curioso que el propio Tribunal Supremo, en su sentencia favorable al Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas, que se ha indicado anteriormente, otorga una "reserva de atribuciones" a los titulados de Minas y deja claro que la reserva que la ley hace a estos técnicos supera el hecho de que los geólogos estemos capacitados para desarrollar labores de explotación de minas y establecimientos de beneficio mineros.

Sólo una modificación de la Ley de Minas en los apartados de competencias para ejercer actividades mineras puede mejorar la situación del geólogo y, por ende, de otros titulados en este sector tan importante. Ya algunas autonomías están legislando en materia de minas, pues cuentan con competencia en dicha materia desde hace años.

La entrada en vigor en 2008 de la Ley de Minas de Galicia, primera ley que desarrolla la minería en una comunidad autónoma, a pesar de que no entra a modificar la competencia de los técnicos para la dirección de actividades mineras, porque es legislación básica del Estado, en su Exposición de Motivos sí que indica y reproduzco literal: "El largo tiempo transcurrido desde la aprobación de la Ley 22/1973, de 21 de julio, de minas, unido al carácter preconstitucional de esta norma, y de la Ley 6/1977, de 4 de enero, de fomento de la minería, acompañado de los fuertes cambios tecnológicos experimentados y de una mayor preocupación por la tutela ambiental y territorial de la sociedad civil, son elementos que obligan a la puesta en pie de una norma gallega que dé respuesta a los cambios producidos".

### La necesidad de una remodelación total en la Ley de Minas y la necesaria desaparición de la reserva de atribuciones a favor de los titulados en Minas

Han pasado 36 años desde que Francisco Franco promulgó la Ley de Minas

actualmente en vigor. En este tiempo se ha producido una revolución en la técnica y en la ciencia y se han creado o fomentado, lo mismo que han desaparecido, estudios universitarios que han incorporado al mercado laboral a profesionales muy cualificados en diversas materias y, entre ellos, a los geólogos especializados en Minería.

Hay geólogos que han estudiado con planes antiguos, alguno de ellos ya derogados, como lo fue, por ejemplo, la especialidad de "Materiales Geológicos" del Plan de 1977 de la Universidad de Oviedo, que contaba con una fuerte carga lectiva en materias relacionadas con la explotación de minas; de hecho, salieron de la universidad con un componente minero en su currículo académico muy importante y después han seguido trabajando en el sector de la minería.

Este tipo de geólogos están perfectamente cualificados para dirigir explotaciones mineras o establecimientos de beneficios mineros, tales como plantas de machaqueo, plantas de hormigón, instalaciones de residuos mineros u otras.

Pues bien, hoy por hoy es imposible que esto ocurra y, en el mejor de los casos, cuando alguno de estos geólogos llega a ocupar un puesto directivo en una empresa minera o relacionada con la minería, tiene a su cargo a varios titulados en Minas o depende de un titulado en Minas *freelance* para firmar, y digo, sólo firmar, planes de labores, proyectos varios, direcciones facultativas y otros documentos obligatorios en la praxis minera española.

Cambiar una ley con tan rancio abolengo y con el respaldo de un ministerio, el de Industria, con un Cuerpo de Ingenieros de Minas del Estado y con un Colegio Profesional de historia tan dilatada, es difícil. Tres son las vías posibles para hacerlo: la iniciativa legislativa popular que es inviable porque a ver de dónde sacamos 500.000 firmas que apoyen esta pretensión; el proyecto de ley que debería presentar el Gobierno a propuesta del ministerio del ramo; y la proposición de ley que es presentada por el Congreso o el Senado.

Ambos procesos de formación de leyes son complejos en su creación y tramitación, aunque no son imposibles. El proyecto de ley sería el más viable y debería emanar del Ministerio de Industria. Es cierto que la Ley de Minas ya se ha intentado modificarla en pasadas legislaturas y existen varios borradores de proyecto de ley, incluyendo su cambio de nombre.

El Ministerio de Industria debería ser sensible a esta reivindicación de nuestro colectivo y que, por extensión, se puede aplicar a otros colectivos profesionales. Se erró cuando se aprobaron los Estatutos de Colegio de Geólogos por Real Decreto; se perdió un litigio en el Tribunal Supremo por el mismo motivo; se ha perdido la oportunidad de cambiar esta flagrante discriminación en el desarrollo del proyecto de ley que adapta a nuestra normativa la Directiva 2006/123/CE y que ha dado lugar a la Ley sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio y a la Ley Ómnibus, pero nunca es demasiado tarde.

Queda la posibilidad de actuar ante el Ministerio de Industria o ante el de Medio Ambiente (al que está adscrito el ICOG) para las relaciones con la Administración General del Estado, para que este cambio se produzca, o actuar ante las instituciones europeas, una vez que ambas leyes hayan entrado en vigor a todos los efectos.

Para finalizar, un comentario para la reflexión. Es paradójico que un geólogo de un Estado miembro de la Unión Europea, donde puede desarrollar actividades de explotación de recursos geológicos o dirección de establecimientos de beneficio mineros, puede desarrollar estas actividades en su país de origen y en otros de la Unión donde exista una verdadera libertad de prestación de servicios y se haya transpuesto, literalmente y sin trabas históricas ni sustentación de leyes preconstitucionales, la directiva anterior, y, sin embargo, en España, al amparo del artículo 12 de la Ley 17/2009, de 23 de noviembre, pueda prestar servicios en territorio español en régimen de libre prestación sin más limitaciones que las establecidas, de acuerdo con lo previsto en dicha ley y en el artículo 13 de la misma,

indique literal: "13.2. Tampoco se aplicará la prohibición de establecer restricciones a la libre prestación de servicios a las siguientes materias y actividades, exclusivamente en aquellos aspectos expresamente previstos por su normativa específica: c) Las materias a que se refiere el Título II de la Directiva 2005/36/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 7 de septiembre de 2005, relativa al reconocimiento de cualificaciones profesionales, incluidos los requisitos de los Estados miembros en que se presta el servicio por los que se reserva una actividad a una determinada profesión".

Debemos y necesitamos para sobrevivir en un mundo profesional competitivo y de libre prestación de servicios que esta reserva de ley se derogue, se modifique la Ley de Minas y al geólogo se le permita trabajar en igualdad de condiciones en un ámbito para el que está perfectamente preparado. ¿Acaso hay restricciones para que el titulado en Minas realice trabajos de investigación y exploración minera?

## Bibliografía

- Hoover, H. C. y Hoover, L. H. (1912). Georgius Agricola: *De Re Metallica*, The Minino Magazine, Salisbury House, Londres.
- McKinstry, H. E. (1962). *Geología Minera*, Ed. Omega, Barcelona.
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2006). *Estadística Minera de España*.
- Monteserín, P. (2009). Entrevista al decano de la Facultad de Geología de la Universidad de Oviedo, *La Nueva España*, 18 de enero.
- Stoker, P. et al. (1999). *Joint Ore Reserves Comitee Code (JORC Code)*, Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
- Tuñón de Lara, M. (1988). *La minería, Revolución burguesa, oligarquía y constitucionalismo, historia de España*, Labor, Barcelona, T 8, 49-62.

# Un viaje a bordo del *Saltillo* (1932-2010)

Si nos embarcamos en estas páginas, realizaremos un interesante viaje por el tiempo a bordo del buque *Saltillo*, que pasó de ser la vivienda de un inglés puesto en seco en una campa en 1932, a regatear, navegar y llevar a su tripulación a eventos de todo tipo. El balandro fue capitaneado primero por Pedro Galíndez y, después, por don Juan de Borbón, padre del actual rey de España. En 1968 fue regalado a la Escuela de Náutica de Bilbao, para que los futuros marinos aprendieran en él el “arte de navegar”, y todavía hoy sigue cumpliendo a la perfección con este cometido.

**Texto** | Inés Pellón González, Mikel Lejarza Bilbao, Fernando Cayuela Camarero, profesores de la ETS de Náutica y Máquinas Navales (Universidad del País Vasco, UPV/EHU)

Palabras clave  
**Navegación a vela, siglos XX y XXI,  
Vizcaya, velero *Saltillo***

## Un velero holandés varado en la campiña inglesa

En 1929, Aristide Briand (1862-1932), a la sazón primer ministro de Francia, pronunció un discurso ante la Asamblea de la Sociedad de Naciones en el que defendió la idea de una federación de Estados europeos basada en la solidaridad, la búsqueda de la prosperidad económica y la cooperación política y social. Comenzaba así la década de los denominados “Felices Años 30” en Europa. Pero ni Briand ni sus coetáneos pudieron ver cumplidos estos ideales, porque, unos años más tarde, Adolf Hitler accedió a la cancillería alemana, y Europa se sumió en la catástrofe de la Segunda Guerra Mundial (1939-1945).

Pero antes de que ocurriera aquella tragedia, Vizcaya se encontraba en expansión, gracias al proceso de industrialización que se había producido en el siglo XIX. La minería, los altos hornos, las navieras y un gran número de industrias de todo tipo hicieron que se generara riqueza, se crearan infraestructuras, como los ferrocarriles, y se fomentara el comercio, con la consiguiente fundación de entidades bancarias. Paralelamente, se produjeron en la región importantes cambios en la estructura social, porque, además de la tradicional nobleza, surgió una poderosa clase burguesa, representada sobre todo por el sector empresarial. También llegaron a la zona industrializada una gran cantidad de trabajadores para las diferentes fábricas, procedentes, en su mayoría, de la emigración desde las zonas rurales.



Figura 1. La ría de Bilbao y sus dos orillas, según una fotografía de 1894, en la que se observan las localidades situadas en la margen derecha (Las Arenas y Algorta, pertenecientes al municipio de Getxo), tomada desde la margen izquierda, en la que se situaban Portugalete, Peñota y Santurce. Ambas orillas se unieron en 1893 con un transbordador, denominado puente de Vizcaya o puente colgante de Portugalete, que puede observarse en la fotografía, así como, al fondo, los acantilados de La Galea. Fuente: [www.kultura.ejgv.euskadi.net/.../foto1.jpg](http://www.kultura.ejgv.euskadi.net/.../foto1.jpg) (visitada el 30 de marzo de 2010).

El marco geográfico de esta situación era Bilbao y su ría, “la ría prodigiosa”, como la llamó el escritor Vicente Blasco Ibáñez en 1904, con sus características dos orillas. En la margen izquierda se concentraban las minas y las fábricas, y vivían los trabajadores; en la margen derecha habitaban los banqueros y empresarios, quienes veraneaban a ambos lados de la desembocadura natural de la ría de Bilbao (Portugalete y Las Arenas), que es una amplia ensenada, conocida como “El Abra”. Esta bahía ganó en seguridad para la navegación cuando el ingeniero de caminos Evaristo Churrua y Brunet (1841-1917) finalizó, en 1887, el denominado “muelle de hierro de Portugalete”, con el que se eliminaron definitivamente los

problemas de acceso a la ría para el tráfico de buques, al desaparecer con él una temida barra de arena situada en dicha localidad.



Figura 2. Fotografía de la construcción del muelle de hierro de Portugalete, tomada desde la margen izquierda en 1882. Se puede apreciar en primer plano la playa de Peñota (Portugalete) y, al fondo, de nuevo, los acantilados de La Galea. Fuente: <http://www.euskonews.com/03222zbk/gaia32201es.html> (visitada el 30 de marzo de 2010).

La tranquilidad de las aguas del abrigo del Abra favoreció la creación de un club náutico en los últimos años del siglo XIX, cuando “siete amigos” alquilaron una casa cercana a la ría y compraron un pequeño bote a remo con la que practicar este deporte. Más adelante adquirieron una yola —pequeña embarcación con casco alargado provisto de tablas a modo de asientos para la tripulación—, con la que ganaron el primer premio de las regatas internacionales de Bayona. Éste fue el embrión del Sporting Club de Bilbao, asociación deportiva cuyo principal objetivo era “estimular y fomentar toda clase de ejercicios físicos y, en especial, los marítimos”. En ella se puede apreciar una poderosa influencia británica, que se

percibe con claridad tanto en su nombre, como en su filosofía, que aunaba el deporte con el “juego limpio” o “caballerosidad”.

El que entonces era tesorero del club, Pedro Laiseca, propuso, en el año 1900, instalar un edificio flotante en medio del Abra, que sirviera de almacén o dique para las embarcaciones ligeras, que tuviera paños y cocina, salón, secretaría y demás servicios, necesarios para poder practicar los deportes náuticos cómodamente. Con este objetivo se construyó una batea, una gabarra que inicialmente tenía 25 metros de eslora, por 10 metros de manga y 1 metro aproximado de calado. En 1909 se le añadieron 9 metros más de eslora y disponía de dos cubiertas y una sentina, en la que se situaban un gran almacén para guardar las yolas, una bodega y, a partir de 1904, una cocina de carbón. Fue conocida inicialmente como la “casa-bote” o las “viejas tablas”, y se convirtió en el buque insignia del Sporting, hasta que fue hundida en 1981.



Figura 3. Tres fotografías de la sede del Sporting Club de Bilbao, denominada “casa-bote” o “viejas tablas”, tomadas desde la margen derecha de la ría de Bilbao. Al fondo, el monte Serantes (Santurce). Fuente: [www.euskomedia.org/imgsAuna/40013002.jpg](http://www.euskomedia.org/imgsAuna/40013002.jpg); <http://www.soleryllach.com/VentaDirecta/imgLotes/0/10/62/0106261g.jpg>; Revista General de Marina, 1906; reproducida en <http://www.vidamaritima.com/2009/05/tablas-viejas.html> (visitadas el 30 de marzo de 2010).



Figura 4. La “casa-bote”, mientras era transportada por un remolcador a lo largo de la ría de Bilbao. Fuente: <http://www.rcmarisc.es/historia.htm> (visitada el 30 de marzo de 2010).

Por ser una gabarra fondeada en medio del Abra, era necesario cargar el agua dulce en aljibes, así como transportar los diferentes suministros y a los socios con un gasolino, que los llevaba a sus residencias, situadas tanto en Portugalete como en Las Arenas. Durante el verano solía estar anclada en el Abra, cerca de Portugalete, mientras que en invierno se situaba ría arriba, en Axpe, donde se limpiaban los fondos y se realizaban las necesarias tareas de mantenimiento.

Hasta mediados del siglo XIX, en el puerto de Bilbao sólo circulaban mercancías basadas en actividades tradicionales, como los productos primarios que se importaban y los artículos que provenían de la propia Vizcaya, así como de las regiones circundantes, que se exportaban. Pero hacia 1860, con la explotación de mineral de hierro, demandada por el extranjero, y con el despegue de la producción de acero, cambió el tipo de actividad industrial vizcaína. En 1902 se creó, a la orilla de la ría, la factoría Altos Hornos de Vizcaya, que, junto con los hornos de coque, impulsaron el despegue de las industrias químicas de abonos y alquitranes, entre otras. Como consecuencia, florecieron numerosos talleres de mecánica, astilleros para reparaciones, fábricas de tornillería y herramientas, papeleras, cementeras, textiles, eléctricas, de abonos, de jabón, harinas, conservas, vidrio, ladrillos y baldosas, talleres de madera, mecánicos, etc. El puerto de Bilbao se tuvo que adaptar a estas nuevas necesidades y, en 1902, el rey Alfonso XIII viajó a Bilbao para inaugurar una obra que resultaría fundamental para el desarrollo de la actividad portuaria de la zona: el puerto exterior. Esta construcción generaría una gran lámina de agua al abrigo del dique de Santurce y del contramuelle de Algorta, que convertirían al puerto de Bilbao en el mejor y más seguro del golfo de Vizcaya.



Figura 5. Llegada de Alfonso XIII a Bilbao en 1902. Fuente: Foto Ortega (Bilbao).

El monarca llegó a bordo del buque *Pelayo* y, después de recorrer diferentes lugares de Vizcaya, colocó, con la ayuda de la grúa *Titán*, la última piedra del muelle exterior del puerto, que así quedó inaugurado de manera oficial. Con motivo de esta visita otorgó al Sporting la categoría de “Real”, por lo que pasó a denominarse, a partir de ese momento, Real Sporting Club de Bilbao (RSCB).

De forma casi paralela, cuatro años después de la fundación del Sporting, y también en Getxo, se creó otra sociedad náutica, el Real Club Marítimo del Abra, cuyo acto de presentación tuvo lugar en julio de 1902. Esta asociación también estaba orientada a realizar actividades náuticas, y la lista de los socios fundadores fue de 421, frente al considerablemente menor número del Sporting. Pronto se analizaron las distintas alternativas para encontrar una sede social, como eran fletar un buque o una casa flotante al modo del que tenía el Sporting, o bien construir un edificio en tierra, opción que prevaleció y se convirtió, sobre todo, en un lugar de reunión para los socios y sus familias. Ambos clubes náuticos se asociaron muchos años después, en 1972, unión que ha prevalecido hasta nuestros días; pero, en sus inicios, el Sporting se centró en la celebración de regatas, convirtiéndose en una curiosa mezcla de sociedad deportiva y exclusivo club masculino. El acceso a él estaba prohibido a los menores de 20 años de edad y, además, era necesaria la presentación de dos socios, más la aprobación de la Junta Directiva. El rey era su presidente de honor y, en 1904, se nombró vicepresidente honorífico al príncipe de Asturias. Las visitas veraniegas de Alfonso XIII a Bilbao fueron prácticamente constantes hasta la proclamación de la Segunda República.



Figura 6. De pantalón blanco, Alfonso XIII, visitante asiduo de los veranos vascos en esta época. Fuente: Revista General de Marina, 1906; reproducida en: <http://www.vidamaritima.com/2009/05/tablas-veijas.html> (visitada el 30 de marzo de 2010).



Figura 7. Plano correspondiente a la memoria de la Junta de Obras del Puerto de 1909, en el que se aprecia el proceso de relleno de arena de la costa hasta Santurce y el nacimiento de su nuevo puerto. También se puede observar que en esa fecha se estaba procediendo a extraer los restos de los barcos hundidos delante de la mojijonera de Las Arenas. Fuente: [http://mareometro.blogspot.com/2010\\_02\\_01\\_archive.html](http://mareometro.blogspot.com/2010_02_01_archive.html) (visitada el 30 de marzo de 2010).

El edificio fue construido por Vallejo, el fundador de las bodegas CVNE y de Seguros Aurora, en plena Belle Époque de Portugalete. Peru Galíndez estudió la carrera de abogado, participó en la fundación del Banco Comercial Agrícola, fue presidente de la Cámara de Comercio de Bilbao y del Banco de Vizcaya, así como alcalde de Portugalete. También fue presidente del Tribunal de Menores de Bilbao y vocal del Consejo Superior de Protección de Menores. En el año 1950 hizo donación del palacio Saltillo al patronato Casa del Salvador de Amurrio, para que sirviera de hogar tutelado a los muchachos que, al salir del reformatorio de Amurrio, se encontraran sin ningún otro hogar que les acogiese. El Tribunal Tutelar de Menores lo reformó y recubrió sus fachadas con ladrillo caravista. En la figura 8 se puede apreciar la suntuosidad de esta mansión y de las que tenía a su lado. Está tomada a principios del siglo XX y en ella se ve la playa de Portugalete con las casetas para el baño, y, en un ligero alto, los palacios de El Salto (a la izquierda) y El Saltillo (a la derecha), propiedades respectivamente de la familia del doctor Areilza y de Galíndez.



Figura 8. Vista del palacio Saltillo (a la derecha), antigua residencia de la familia Vallejo. Fuente: <http://bilbao.bi/files/2009/04/salttillo-300x210.jpg> (visitada el 30 de marzo de 2010).



Figura 9. Vista actual del edificio Saltillo. Fuente: Inés Pellón (2010).

El Sporting, junto con el Club Náutico de San Sebastián y el Club de Regatas de Santander, fundaron, en 1900, la Federación de Clubes Náuticos del Cantábrico, patrocinadora de la competición a vela denominada Copa del Cantábrico. El Sporting, además, fue el inspirador de la regata más antigua del país, la Copa Gitana, que continúa celebrándose hoy en día. Esta idea de asociacionismo se fue extendiendo y, en 1906, se creó la Federación Española de Clubes Náuticos, que fue la que participó en Londres en la creación de la IYRU (International Yacht Racing Union).

Uno de los socios fundadores del Sporting fue Juan Pedro Galíndez Quintana, casado con María Vallejo Arana el 19 de enero de 1891, en la parroquia de San Nicolás de Bari, de Bilbao<sup>1</sup>. Su hijo, Pedro J. Galíndez Vallejo, conocido como "Peru" Galíndez por sus amigos, es probable que naciera en 1891 en Portugalete<sup>2</sup>, en el edificio denominado Saltillo, perteneciente a la familia de su madre. El nombre de "Saltillo" se debía a que era necesario dar un salto desde la casa para acercarse a la antigua playa [en 1898, por Juan de Peñota], donde la familia tomaba los denominados "baños de mar", tan populares en esta época.

1. Archivo Histórico Eclesiástico de Bizkaia (AHEB), libro nº 7, folio 197.

2. Así lo indican las referencias consultadas, si bien nosotros no hemos encontrado, por el momento, su partida de nacimiento ni de bautismo en las diócesis vascas.

## La compra del *Saltillo*

Peru Galíndez heredó de su padre la afición por los deportes náuticos y llegó a ser un gran blandrista. Participó en los IX Juegos Olímpicos que se celebraron en Ámsterdam en 1928, tripulando un velero de 6 metros de eslora llamado *Fruits*, bajo bandera del RSCB<sup>3</sup>. Con otra serie de embarcaciones, denominadas *Frómista*, ganó varias regatas y, con el tiempo, fue elegido presidente del Sporting. Durante muchos años fue miembro de la Federación de Vela, antiguamente llamada “de Clubes Náuticos”, así como de la federación internacional IYRU, por lo que se desplazaba asiduamente a Londres con el fin de asistir a todas sus reuniones. Mientras tanto, se habían celebrado en España elecciones municipales, que llevaron a la victoria de la opción republicana y que tuvieron como consecuencia que el rey Alfonso XIII y su familia abandonaran el país. Con la proclamación de la Segunda República el 14 de abril de 1931, se convirtió en presidente del Gobierno provisional Niceto Alcalá-Zamora y Torres (1877-1949).

Por esta época, Galíndez deseaba adquirir un velero y, en uno de los viajes a Londres que realizó junto con su esposa Mercedes Maíz en 1934, se enteraron de la existencia de un inglés que vivía en un barco colocado en medio de una campa y que deseaba venderlo. Este curioso personaje se llamaba D. Lawrie, quien, dos años antes (en 1932), había adquirido el barco en el astillero G. de Vries-Lentch, de Ámsterdam, y se lo había llevado a su país sin esperar a que estuviera finalizado, llamándolo *Leander*. El trazado de las líneas del buque y el plano de aparejadura del barco habían sido diseñados por el arquitecto naval E. P. Hart, y el velero enamoró al matrimonio. Galíndez lo compró y lo envió al astillero inglés Campers & Nicholson para que concluyeran los interiores. Una vez terminado, lo trajo a Bilbao y lo bautizó con el nombre de *Saltillo*, en memoria del palacio familiar.

El barco era un *ketch*, es decir, un balandro de dos palos, que tenía el segundo colocado delante de la rueda del timón.

**Tabla 1. Características técnicas del velero *Saltillo***

|                                                |                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Eslora total                                   | 26,25 m                                                                                                                                                                           |
| Eslora en cubierta                             | 20,00 m                                                                                                                                                                           |
| Eslora entre perpendiculares                   | 18,74 m                                                                                                                                                                           |
| Manga                                          | 5,25 m                                                                                                                                                                            |
| Puntal                                         | 4,00 m                                                                                                                                                                            |
| Calado                                         | 2,88 m                                                                                                                                                                            |
| Desplazamiento                                 | 81,00 t                                                                                                                                                                           |
| Arqueo bruto T.R.B.                            | 61,00 t Morson                                                                                                                                                                    |
| Arqueo neto T.R.N.                             | 42,62 t Morson                                                                                                                                                                    |
| Altura palo mayor                              | 20 m                                                                                                                                                                              |
| Superficie vélica                              | 200 m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                |
| Aparejo                                        | Ketch                                                                                                                                                                             |
| Velas                                          | Foque, trínquet                                                                                                                                                                   |
| Palo mayor                                     | Cangreja con escandalosa                                                                                                                                                          |
| Palo mesana                                    | Marconi                                                                                                                                                                           |
| Materiales                                     |                                                                                                                                                                                   |
| Casco                                          | Acero                                                                                                                                                                             |
| Palos mayor y mesana                           | Madera de pino de Oregón                                                                                                                                                          |
| Bauprés                                        | Madera de pino de Oregón                                                                                                                                                          |
| Cubierta                                       | Madera de teca                                                                                                                                                                    |
| Motor y maquinaria auxiliar (en la actualidad) | Volvo Penta 150 HP, 6 cilindros<br>Alternadores eléctricos VETUS 30 KW, 2 unidades<br>Bomba sentinas Azkue<br>Bomba contraincendios Azkue<br>Bomba Lodos Itur<br>Hidróforos Azkue |

Fuente: ETS de Náutica y Máquinas Navales (2002: 12).

En su interior se encontraba una gran cámara con una cocina y un servicio; un salón-comedor; dos cabinas, una con dos literas y otra con una; otro servicio, y, por fin, la cámara de la tripulación (Zubiría, 1997: 20). En la *tabla 1* se especifican las características técnicas del barco.

Para poder regatear con el velero, Galíndez obtuvo la patente de navegación en 1935, documento que lo autorizaba para que pudiera “navegar y comerciar en todos los mares y puertos del globo”, de acuerdo con una legislación que se remonta al año 1748. Esta patente fue firmada, con fecha de 30 de junio de 1935, por el entonces presidente de la Segunda República, Niceto Alcalá Zamora.

Este mismo año de 1935, se celebró la conmemoración del jubileo de SS MM los Reyes de Inglaterra y, junto con lo más ilustre de la flota inglesa, el *Saltillo* fue el único yate español presente en una espectacular parada naval. Después de ella, el barco se trasladó a Belle Île (Bretaña) y a Arcachon para regatear. Pero esta época dorada llegó a su fin con la guerra civil española (1936-1939), al principio de la cual el barco fue alcanzado por una bomba. A pesar de que sólo le



Figura 10. Patente de Navegación del “yate a vela y motor *Saltillo*”. Fuente: Archivo del *Saltillo*, ETS de Náutica y Máquinas Navales.

causó desperfectos en un costado, tuvo como triste consecuencia la muerte de un perro llamado Foque, que estaba de

3. Página web del Comité Olímpico Español (COI): [www.coe.es/coe/bd.../FListaDepHOME?](http://www.coe.es/coe/bd.../FListaDepHOME?) (visitada el 30 de marzo de 2010).



Figura 11. El Saitillo en Portugal, en 1947. Fuente: Museo Naval de Madrid, fotografías cedidas para la exposición "Saitillo, los primeros 75 años", celebrada en la ETS de Náutica y Máquinas Navales (2007).

guardia a bordo. La reparación del velero se tuvo que posponer hasta el final de la guerra, que, con la victoria del franquismo, trajo drásticos cambios de todo tipo en el país. Por lo que se refiere al Sporting, en primer lugar, el nuevo Gobierno obligó a que los nombres de todas las sociedades tuvieran términos castellanos (Orden de 20 de mayo de 1940, BOE de 30 de mayo de 1940), por lo que el Real Sporting Club de Bilbao pasó a denominarse Real Club de Regatas, y sólo pudo recuperar su antigua denominación (RSCB) en 1957. En segundo lugar, se le obligó a cambiar la fotografía del rey Alfonso XIII, su presidente de honor, por la de Francisco Franco, hecho que contó con la oposición de bastantes de sus socios, monárquicos declarados. A pesar de ello, en marzo de 1939, Franco fue nombrado socio de honor del Sporting, si bien en 1941, el club solicitó a don Juan de Borbón, conde de Barcelona, hijo del rey Alfonso XIII y de la reina Victoria Eugenia de Battemberg, que fuera su

presidente de honor, igual que lo había sido su padre. Don Juan aceptó el ofrecimiento en Roma, ciudad en la que vivía exiliado desde la instauración de la Segunda República, en abril de 1931. Don Juan había recorrido medio mundo como marino, hasta que se casó, en 1935, con doña María de las Mercedes, y vivió en Cannes, Milán y Roma, en donde, el 5 de enero de 1938, nació su hijo don Juan Carlos, actual Rey de España.

Años después, en febrero de 1946, el matrimonio se trasladó a Portugal, para fijar su residencia en Estoril. Unos meses más tarde, en abril, se unieron a ellos sus hijos, los infantes doña Pilar, don Juan Carlos, doña Margarita y don Alfonso, para iniciar su etapa de exilio en el país luso. Don Juan tenía entonces 33 años y el infante don Juan Carlos era un niño de ocho años de edad. Poco tiempo después, en 1947, tenemos constancia de que el *Saitillo* ya se encontraba en Portugal, como muestra la *figura 11*.

En esta época se reanimaron las regatas en el Abra, a pesar de la Segunda Guerra Mundial que asolaba Europa, y por la que los veleros tenían la prohibición explícita de "hacer contacto con embarcaciones extranjeras en alta mar", y que hizo que no se celebraran las olimpiadas de 1940 y 1944. En 1948, y a pesar de que la Segunda Guerra Mundial había terminado, Europa se encontraba asolada por la guerra, por lo que cuando se anunció que se celebrarían los XIV Juegos Olímpicos en Inglaterra, se cuestionó si era prudente celebrar un festival en el que muchos países europeos estaban en ruinas y el pueblo, cerca de la inanición. Para limitar la responsabilidad del Reino Unido para alimentar a todos los atletas, se acordó que los participantes trajeran su propia comida y los excedentes de los alimentos fueron donados a los hospitales británicos. No se construyeron nuevas instalaciones, sino que para realizar las pruebas se utilizó el estadio de Wembley, que había



Figura 12. A bordo del Saltillo esperan, preparados para entrevistarse con Franco, Jesús Corcho, Pedro Galíndez, don Jaime, don Juan y don Alfonso de Borbón, el 25 de agosto de 1948. El texto escrito a mano es de Mercedes Maíz, esposa de Pedro Galíndez. Fuente: Museo Naval de Madrid, fotografías cedidas para la exposición "Saltillo, los primeros 75 años", celebrada en la ETS de Náutica y Máquinas Navales (2007).



Figura 13. Pedro Galíndez junto con don Juan de Borbón, conde de Barcelona. Fuente: Zubiría (1997:12).



Figuras 14a y 14b. Dos instantáneas de don Juan de Borbón a bordo del Saltillo. Fuente: Museo Naval de Madrid, fotografías cedidas para la exposición "Saltillo, los primeros 75 años", celebrada en la ETS de Náutica y Máquinas Navales (2007).

sobrevivido milagrosamente a la guerra. Tampoco se construyó una villa olímpica, sino que los deportistas masculinos fueron alojados en un campamento militar en Uxbridge, y las participantes femeninas en el colegio denominado Tierras del Sur. A pesar de todo, los Juegos resultaron un gran éxito, en los que participaron alrededor de 4.000 atletas en representación de 59 países, entre los que no se encontraban los derrotados Alemania y Japón. Desde el 29 de julio hasta el 14 de agosto de 1948, el *Saltillo*, capitaneado por Peru Galíndez, se dirigió a Londres para presenciar las competiciones de vela. A bordo se encontraban, entre otros invitados, don Juan de Borbón, conde de Barcelona, junto con su hermano don Jaime, duque de Segovia.

Una vez finalizadas las pruebas deportivas, el barco se dirigió a Arcachon, donde llegó el 21 de agosto. Hacía tiempo que Francisco Franco quería tener una entrevista con don Juan y, después de muchas gestiones y vicisitudes, se concertó una reunión entre los dos para el día 25 de agosto a las 12 de la mañana, en la mar, a cinco millas al norte

del monte Igeldo de San Sebastián. Franco acudió en el yate *Azor*, escoltado por el buque cazaminas *Tambre*; don Juan se presentó a bordo del *Saltillo*, acompañado por el duque de Sotomayor, su hermano don Jaime de Borbón y Peru Galíndez, entre otros. La entrevista, de varias horas, tuvo lugar en el *Azor*, y en ella se trató, entre otros asuntos, de la educación del príncipe don Juan Carlos en España. Franco había convertido a España en reino en 1947, con una Ley de Sucesión dictada en marzo, que fue aprobada por referéndum el día 6 de julio, pero aún estaba por definir quién sería el que ocuparía el trono cuando Franco faltara.

### Diecisiete años al servicio de la Casa de don Juan de Borbón

Una vez celebrada la entrevista, el *Saltillo* y sus tripulantes pusieron rumbo a Portugal y llegaron a Cascais el día 29 de agosto. Finalizado el verano, el barco emprendió el regreso a Bilbao para invernarse, puerto al que llegó el 6 de octubre de 1948. Así finalizó una etapa más de su existencia, porque, a partir de ese invierno, Galíndez cedió el

barco a don Juan, con su tripulación y con todos los gastos cubiertos, para que él y su familia disfrutaran de la navegación durante los veranos.



Figura 15. Imagen de la firma de S.A.R. don Juan de Borbón Battemberg como encargado de la Real Patente de Navegación del Saltillo, el 5 de julio de 1950. Fuente: Archivo del Saltillo, ETS de Náutica y Máquinas Navales.



Figuras 17a, 17b y 17c. Tres imágenes de don Juan Carlos a bordo del Saltillo. Fuente: Museo Naval de Madrid, fotografías cedidas para la exposición "Saltillo, los primeros 75 años", celebrada en la ETS de Náutica y Máquinas Navales (2007).

Al ser cedido a don Juan, el barco pasaba el invierno en Bilbao y era trasladado a Estoril todos los veranos. En ellos participaba en varias regatas, después de las cuales realizaba un cruceo por el Mediterráneo, haciendo escala en los puertos de Tánger,

Casablanca, Gibraltar, Argel, Portofino, Montecarlo, Mesina, Cagliari y Palermo, entre otros. A bordo se encontraban don Juan y su familia, así como cuatro marineros, naturales de Bermeo y de Ondárroa. En muchas ocasiones eran

acompañados por Peru Galíndez y su esposa, Mercedes Maíz, y por otros invitados y amigos. El barco también acudió a los actos de coronación de la Reina de Inglaterra, que incluyó una espectacular parada naval, celebrada el 15 de junio de 1953.



Figura 16. Don Juan de Borbón, junto con su hijo don Juan Carlos niño, a bordo del Saltillo. Fuente: Museo Naval de Madrid, fotografías cedidas para la exposición "Saltillo, los primeros 75 años", celebrada en la ETS de Náutica y Máquinas Navales (2007).



Figuras 18a y 18b. Interior del Saltillo en la primera época. Fuente: Zubiría (1997: 117).

En 1957, el barco invercó en Lisboa en vez de Bilbao, porque don Juan preparaba una travesía trasatlántica a vela, que se inició el 17 de marzo de 1958 desde el muelle del Buen Suceso, cercano a la torre de Belén, en Lisboa (Portugal). La tripulación estaba formada por don Juan, como capitán; el duque de Arión; el duque de Albuquerque; el almirante sir Arthur Rattray, amigo y compañero de don Juan desde su época en la marina inglesa; Eduardo Caro, Manuel Pinheiro y Jorge Arnoso, amigos de don Juan, y, por fin, la tripulación oficial del barco, los vascos Pedro Uriarte, José M<sup>º</sup> Burgoa, Evaristo Núñez y Dionisio Ortega. Durante el viaje observaron un curioso fenómeno, cuando vieron por la proa un resplandor poco natural. La radio les informó que había sido un satélite *Sputnik* ruso, que había caído al mar a unas 300 millas cerca de su posición. El primer puerto al que arribaron fue el de la isla de La Antigua, desde donde pasaron a las islas Vírgenes, y luego se desplazaron a las Bahamas. Allí recibieron un cablegrama de José María de Areilza, conde de Motrico y embajador español en Washington, en el que invitaba a don Juan a una recepción en la embajada. Ésta se celebraba para agasajar a los tripulantes del barco *Juan Sebastián Elcano*, en el que iba su hijo don Juan Carlos, embarcado como guardiamarina. Después de asistir a la reunión, don Juan continuó su viaje hasta Nueva York y, durante los días 26 al 28 de mayo, soportaron un huracán que les destrozó varias partes del barco, por lo



Figura 19. El Saltillo en su aventura trasatlántica, con el gallardete al viento, símbolo de los navíos que atraviesan el Atlántico. Fuente: Casa de Su Majestad el Rey, fotografías cedidas para la exposición "Saltillo, los primeros 75 años", celebrada en la ETS de Náutica y Máquinas Navales (2007).

que, una vez superado el peligro, se dirigieron a puerto para arreglar los desperfectos. Cuando el barco estuvo reparado pusieron rumbo de regreso y llegaron a Cascais el 24 de junio de 1958. La travesía había durado exactamente 100 días.

Durante los siguientes años, don Juan navegó con el *Saltillo* y acudió en él a numerosos eventos, como la boda de la princesa Diana de Francia con el heredero del ducado de Württemberg (1960), la Semana de Vela de los XVII Juegos Olímpicos de Roma (Nápoles, 1960)

o la boda de los duques de Kent (Inglaterra, 1961). El barco se engalanó especialmente para acudir al enlace matrimonial de don Juan Carlos y doña Sofía, que se celebró el 14 de mayo de 1962, en Atenas. Al finalizar la celebración, don Juan continuó de cruceiro por el Mediterráneo, pero sería el último que realizaría a bordo del *Saltillo*, porque estaba casi terminado su nuevo yate, el *Giralda*, en los astilleros Walsted de Thuro (Dinamarca).

### Un velero para aprender el "arte de la navegación"

La gran pericia de los "pilotos vizcaínos" para la navegación de altura era conocida en Europa desde "tiempo inmemorial", y, al iniciarse el siglo XVI, el Colegio de Pilotos Vizcaínos de Cádiz solicitó a los Reyes Católicos que confirmaran sus ordenanzas para formar a los marinos que atravesarían el Atlántico en la denominada "carrera de Indias". Al otro lado de la península, el consulado de Bilbao se interesó por la enseñanza de las ciencias náuticas desde su fundación en 1511, y a lo largo de la historia, el establecimiento de su docencia atravesó numerosas vicisitudes, hasta que las Juntas Generales de Guernica aprobaron, en 1739, establecer en Bilbao una escuela de náutica. La colaboración entre el Ayuntamiento de la Villa, el Consulado de Bilbao y la Diputación General del Señorío de Vizcaya hizo que la deseada escuela se fundara en 1740,

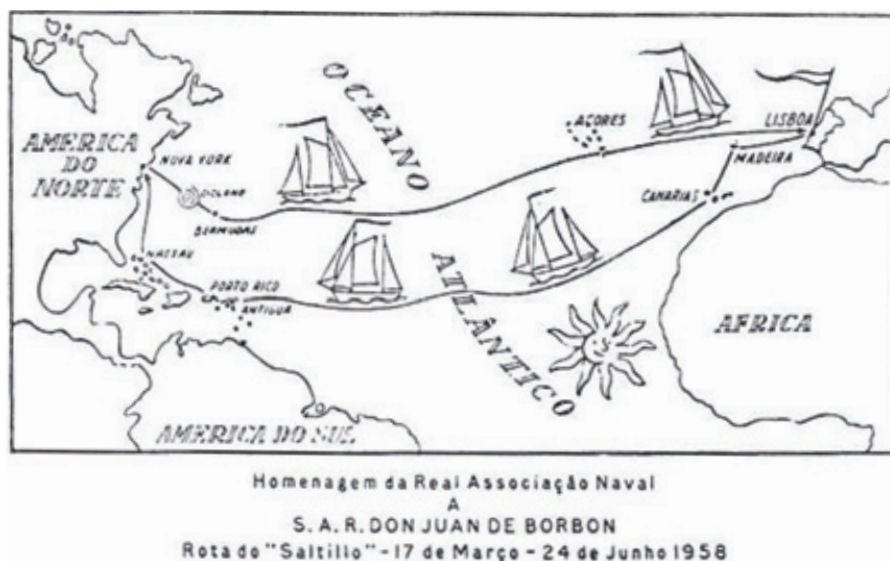


Figura 20. Placa conmemorativa de la travesía que la Real Asociación Naval Portuguesa regaló a don Juan de Borbón. Fuente: Zubiría (1997: 94).

impartiéndose las enseñanzas en el denominado Museo Matemático. Al comenzar el siglo XIX, las clases se establecieron en al menos dos casas de la capital vizcaína, hasta que, el 2 de abril de 1841, las Juntas Generales de Vizcaya aprobaron la creación de un Instituto de Segunda enseñanza en Bilbao. La Diputación, el Ayuntamiento y la Junta de Comercio se comprometieron a subvencionar la construcción de un nuevo edificio, así como a contribuir en su mantenimiento. El establecimiento se ubicó en la calle Iturrubide, en el lugar donde antes se encontraba el desamortizado convento de las Religiosas de la Cruz. El centro, denominado Colegio General de Vizcaya e incorporado a la Universidad de Valladolid, se inauguró en octubre de 1846. Las enseñanzas de Navegación comenzaron en el curso 1847-1848 y permanecieron en el espacio físico del Instituto durante todo el siglo XIX, con diversos vaivenes en su gestión, producidos por las discrepancias entre los diferentes ministerios a los que pertenecían los estudios de Segunda Enseñanza y los de Náutica (Ibáñez y Llombart, 2000).

Al comenzar el siglo XX, se reorganizaron estos estudios con varios decretos y se abandonaron las aulas del Instituto de Segunda Enseñanza para ocupar un local propio: el antiguo colegio de San Antonio, en el barrio bilbaíno de Deusto. Allí permaneció desde 1922 hasta el 14 de diciembre de 1968, fecha en la que se inauguró un nuevo y espectacular edificio, que es el que acoge las enseñanzas náuticas en la actualidad. A principios del siglo XX, los alumnos de Náutica realizaban sus prácticas a bordo de dos buques escuela: un velero y un vapor. El velero se llamaba *Ama Begoñakoa*, pertenecía a la naviera Sota y Aznar, S.A.



Figura 21. Don Gaspar Aspiazu, director de la Escuela Oficial de Náutica de Bilbao, en la toldilla del Saltillo, en un viaje de prácticas con los alumnos. Fuente: Zubiría (1997: 106).



Figura 22. Moneda de 5 ECUS con la figura de don Juan y del Saltillo (1993). Fuente: <http://cgi.ebay.es> (visitada el 15 de abril de 2010).

y fue construido en Escocia en 1902. Después de ser vendido a un armador inglés, fue desguazado en Hong Kong en 1933. El vapor, denominado *Marqués de Chávarri*, estuvo en activo desde 1926 hasta 1945, fecha en la que fue dado de baja por encontrarse muy deteriorado (Davalillo, 1995).

Cuando don Juan de Borbón estrenó su nuevo velero *Giralda*, el *Saltillo* volvió a su ataque habitual en Bilbao, donde los futuros marinos se habían quedado sin buque-escuela. Dándose cuenta de esta carencia, Peru Galíndez lo cedió a la Escuela Oficial de Náutica en 1968, de la que entonces era director Gaspar Aspiazu. El barco quedó amarrado a una boya situada en Peñota, muy cerca del centro docente. Tres años después (1971) falleció Pedro Galíndez, pero su barco siguió cumpliendo con su cometido a la perfección durante 18 cursos, hasta que, en enero de 1987, cuando se llevó a los astilleros Mendieta de Mundaka para realizar las tareas de mantenimiento rutinarias, una inspección realizada en el casco puso de relieve una serie de importantes deterioros, que incluso le impedirían mantenerse a flote en un breve lapso de tiempo. Ante la gravedad de la situación, y para salvarlo del desguace, se fundó la Asociación de Amigos del *Saltillo* el 19 de noviembre de 1987, agrupación de carácter filantrópico y cultural, cuyo principal objetivo era recabar medios materiales y humanos para la restauración del barco que, provisto de unos parches provisionales, se llevó a su amarre habitual en Peñota.

Después de muchos esfuerzos, el 2 de febrero de 1988 el barco fue puesto en el dique seco de los muelles de Axpe del puerto de Bilbao. Allí permanecía, a la espera de que la Asociación de Amigos del *Saltillo* encontrara los fondos económicos que subvencionaran su costosa reparación.

El 1 de abril de 1993 fallecía don Juan de Borbón y en el país se realizaron una serie de actos en su memoria. Uno de ellos fue la acuñación de una moneda de 5 ECUS por la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre, en octubre de 1993; en el anverso se encontraba una efigie de don Juan y, en el reverso, una figura del *Saltillo*. Con motivo de la inauguración de un monumento a su persona en Madrid, en 1994, la entonces directora de la Escuela de Náutica, Mercedes Herrera, y el capitán del *Saltillo*, Fernando Cayuela, llevaron personalmente la campana del barco a su viuda, doña María de Borbón, para que la colocase en el interior de la escultura. Dicen que el alma de un barco está en su campana, y doña María deseaba que permaneciera junto a don Juan. El escultor del monumento fabricó una reproducción

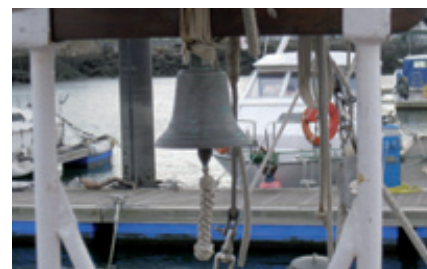


Figura 23. La actual campana del Saltillo, réplica de la original, que se encuentra en el monumento a don Juan de Borbón, en Madrid. Fotografía: Inés Pellón.

de dicha campana, que es la que actualmente se encuentra a bordo. Posteriormente, el 15 de julio de 1994, la Fábrica Nacional de Moneda y Timbre emitió un sello de correos con la imagen del *Saltillo*, con una tirada de 2.500.000 ejemplares, siendo su valor de 29 pesetas.

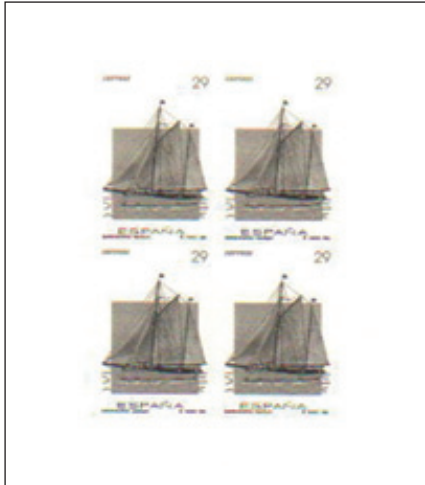


Figura 24. Sello con la imagen del Saltillo (1994).  
Fuente: Cayuela (s.a.: 30).

En agosto de 1994 se produjo la transferencia de la Escuela de Náutica a la Comunidad Autónoma del País Vasco, por

lo que fue integrada en la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea. Después de numerosas gestiones se pudieron, por fin, conseguir el resto las subvenciones necesarias para su total restauración, que comenzó con un acto inaugural el 15 de junio de 1995. El 4 de junio de 1996, S.A.R. don Juan Carlos de Borbón visitó en Bilbao las obras de construcción del puerto autónomo, interesándose por el estado de las tareas de restauración del barco, que, aunque lentas, progresaban adecuadamente. En 1997 falleció Mercedes Maíz, la esposa de Peru Galíndez, no pudiendo cumplirse su deseo de ser la madrina en la botadura del restaurado *Saltillo*, que por fin fue botado desde las gradas de los astilleros Zamakona el 22 de julio de 1998. Su madrina fue Mercedes Herrera y quedó amarrado a su tradicional boya frente a la Escuela de Náutica, si bien, para su mayor seguridad, se trasladó al recién inaugurado puerto deportivo de Getxo en diciembre de 1998. En julio se incorporó al *Saltillo* el capitán de la Marina Mercante y profesor de la Escuela, Iñaki Uriarte, con el que los alumnos realizaron varias salidas de prácticas, tanto diurnas como nocturnas,

entre las que se encontró un viaje a Arcachon para observar un eclipse solar.

En el verano de 1999, el *Saltillo*, con una tripulación compuesta por 17 alumnos y 3 profesores, participó en la Copa Gitana para clásicos del Real Sporting Club-Real Club Marítimo del Abra, que se celebró desde el 16 al 18 de julio de 1999. El 23 de ese mismo mes, S.A.R. don Juan Carlos de Borbón visitó el barco, expresando su satisfacción por las tareas de restauración e indicando que se encontraba tal y como él lo recordaba.

Desde el año 2000 hasta 2003, el barco ha sido utilizado por los alumnos de la Escuela de Náutica para realizar prácticas de diferentes cursillos, de navegación costera y de maniobras de fondeo. Asimismo, ha efectuado diversas singladuras con autoridades, como representación institucional, para que apreciaran el magnífico buque-escuela que tiene la Universidad del País Vasco. También estuvo presente en varias conmemoraciones y eventos, como en el acto de colocación de la primera piedra del Museo Marítimo de la Ría de Bilbao, en los actos conmemorativos del



Figura 25. El Saltillo se hace a la mar, a la altura de La Galea. Fotografía: Txetxu Berruezo.



Figura 26. El Saltillo pasa por delante del faro de La Galea. Fotografía: Txetxu Berruezo.

700 aniversario de la villa de Bilbao, en la celebración de la festividad de Nuestra Señora la Virgen del Carmen, y acompañando al velero *Sagres*, buque-escuela de la Armada de Portugal, en su visita al palacio Euskalduna, y cuando se despidió para regresar a Lisboa. El *Saltillo* ha participado

de forma habitual en varias regatas, entre las que destacó la Cutty Sark 2002, con la intervención activa de 23 alumnos en las diversas etapas entre Brest y Santander.

En el año 2003 fue contratado el actual capitán del barco, Mikel Lejarza Bilbao,

con el que el *Saltillo* realiza todas sus actividades. Ese año el barco participó en la Feria Náutica de Hendaya, realizó un viaje a Cork (Irlanda) y participó en el Salón Náutico de La Rochelle, entre otras numerosas actividades. Algunas de ellas se pueden observar en las figuras 25 a 28.



Figura 27. El Saltillo navegando. Fotografía: Txetxu Berruezo.



Figura 28. Otra imagen del Saltillo navegando. De pie, en medio de la cubierta, su capitán, Mikel Lejarza, el único que lleva la camisa con el dibujo del velero. Fotógrafo: Txetxu Berruezo.

Con el programa de prácticas diseñado para el *Saltillo*, se intenta realizar el mayor número de salidas posibles, con las que se pretende que los alumnos adquieran conocimientos de navegación tanto a vela como a motor, así como la mayor destreza en las artes marineras, y el vocabulario específico de la “gente de mar”. También deberán asumir las responsabilidades necesarias a bordo de un barco, favoreciendo el trabajo en equipo, entendido como un elemento imprescindible para el buen funcionamiento de éste. De acuerdo con esta filosofía, el *Saltillo* ofrece al alumnado la posibilidad de realizar las prácticas de embarque de la Diplomatura. Las tripulaciones están formadas por 19 alumnos y alumnas, que se encuentran

equilibrados entre los experimentados y los noveles. Las prácticas a bordo no consisten únicamente en las salidas a la mar, sino que la tripulación también realiza las actividades de mantenimiento del barco, como el lijado y el barnizado de todos los elementos de madera, el picado y pintado de los de hierro, el arrancado periódico de los motores y su mantenimiento general, la conservación en buen estado de la jarcia y las velas, y la limpieza y la organización de los interiores. Con el barco listo para cualquier singladura, la actividad que ha realizado hasta nuestros días ha sido frenética, como queda reflejado en las memorias que se realizan anualmente por su capitán, Mikel Lejarza. En ellas se muestran los numerosos viajes a lo largo de la costa

del Cantábrico y la asistencia a numerosos eventos nacionales e internacionales, como el Festival Náutico de Veleros de Época en Brest (Francia), el campeonato de Europa y de España de *Vaurien* (Hondarribi), la Feria Náutica “Le Grand Pavois” en La Rochelle (Francia), el Salón Náutico de Hendaia, la tradicional *Copa Gitana*, o el Festival Marítimo de Douarnenez, entre otros. Durante la primera quincena de octubre, con motivo del 25 aniversario de la UPV/EHU, la ETS de Náutica y Máquinas Navales actuó como buque nodriza en la regata de balleneras celebrada para todos los centros de la Universidad. Además, el 21 de octubre de 2005, con motivo del 200 aniversario de la batalla de Trafalgar, el *Saltillo* lideró un acto en conmemoración



Figura 29. Fernando Cayuela y José Luis Barrera, en el timón del Saltillo. Fotógrafa: Inés Pellón.

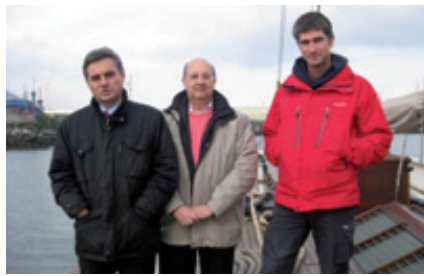


Figura 30. Fernando Cayuela, José Luis Barrera y Mikel Lejarza, a bordo del Saltillo. Fotógrafa: Inés Pellón.



Figura 31. Fernando Cayuela, Inés Pellón y José Luis Barrera, a bordo del Saltillo. Fotógrafo: Mikel Lejarza.

de los marinos caídos en dicha batalla. En el año 2006 dio la salida a la regata de veleros "Velux Five Oceans", y, como agradecimiento, recibió la "White Ensign" por parte del Royal Yacht Squadron (Cowes, UK), condecoración que sólo se otorga a ciertos barcos muy escogidos. Para realizar todas estas actividades, resulta imprescindible el aporte económico de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU), así como del Gobierno Vasco (Eusko Jaurlaritza).

En el mes de marzo de 2010, la Escuela de Náutica recibió la agradable visita de José

Luis Barrera, editor de la revista *Tierra y Tecnología*, editada por el Colegio Oficial de Geólogos. El director del centro y el capitán del *Saltillo* le invitaron a subir a bordo, como se puede observar en las figuras 29 a 31.

A lo largo de sus 78 años de vida, el *Saltillo* ha sido testigo de momentos clave de nuestra historia. Los que estamos cerca de este barco excepcional le deseamos que continúe con otros tantos de buena navegación, ayudando a formar marinos, pero, sobre todo, a formar personas que no pierdan nunca el norte.

### Agradecimientos

Los autores agradecen al Museo Naval de Madrid y a la Casa de S.M. el Rey las fotografías cedidas para la exposición "Saltillo, los primeros 75 años".

La restauración del *Saltillo* también fue posible gracias a la generosa y desinteresada colaboración de Juan José Alonso Verástegui y de Pedro Ochoa, quienes realizaron un magnífico trabajo en la dirección técnica de toda la obra.

### Bibliografía

- Alonso Olea, E. J. (2003). Del *yachting* a la vela, de los caballitos a la piscina. La sociabilidad de las elites y sus espacios. Club Marítimo del Abra-Real Sporting Club de Bilbao, *Vasconia*, 33, 159-190.
- Cayuela Camarero, F. (2000). El *Saltillo*: garantizar la pervivencia de un buque histórico, *Restauración y Rehabilitación*, nº 46, noviembre, 38-45.
- Cayuela Camarero, F. y Ortiz, A. (s.a.). *El nuevo rumbo del Saltillo*, [s.l.], [s.e.].
- Davalillo Aurrekoetxea, A. (1995). *Evolución histórica de la Escuela de Náutica de Bilbao*, Eusko Jaurlaritza, Gobierno Vasco, Vitoria-Gasteiz.
- ETS de Náutica y Máquinas Navales (2002). *Buque-Escuela "Saltillo"*, Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea, ETS de Náutica y Máquinas Navales.
- Hurbil (2007). *Saltillo: lehen 75 urte (Los primeros 75 años: 1932-2007)*, Aretxabaleta, Hurbil Kulturgaiak.
- Ibáñez, I. y Llombart, J. (2000). La formación de pilotos en la Escuela de Náutica de Bilbao, siglos XVIII y XIX, *Itsas memoria. Revista de estudios marítimos del País Vasco*, nº 3, Untzi Museoa-Museo Naval, Donostia-San Sebastián, 747-772.
- Memoria del curso de 1927 a 1928 de la Escuela Oficial de Náutica de Bilbao*. Bilbao, Escuela Oficial de Náutica, 1928.
- Menchaca, A. (1995). *Las cenizas del esplendor: memorias de la marquesa de Avendaño*, Burguete, Bilbao.
- Real Sporting Club de Bilbao (1907). *Reglamento del Real Sporting Club de Bilbao*, Tipografía Moderna, Bilbao.
- Zubiría, Juan Manuel de, conde de Zubiría (1980). *El libro del Real Sporting Club*, Club Marítimo del Abra y Real Sporting Club, Bilbao.
- Zubiría, Juan Manuel de, conde de Zubiría (1997). *El Saltillo: un barco histórico*, Laga, Bilbao.



Figura 32. Panorámica del Saltillo, enfrentándose a una ola. Fotógrafo: Xabier Urresti.

# La participación de la Unidad Militar de Emergencias en el terremoto de Haití del 12 de enero de 2010 y los servicios de mapa en apoyo de la emergencia

En el presente artículo se analiza la intervención de la Unidad Militar de Emergencias (UME) en el terremoto de Haití, acercando al lector, a grandes rasgos, las características, organización y posibilidades de la UME, en general, ante cualquier tipo de riesgo y, en particular, ante el riesgo sísmico. Por otra parte, se aborda la cada vez mayor importancia que representan los Sistemas de Información Geográficos (GIS) y los servicios de mapa, en el análisis de la información y gestión de las emergencias.

**TEXTO** | Teniente coronel Jorge Serra Llopart, Cuartel General, UME; capitán Luis Miguel Martín Ruíz, jefe de sección GIS/METEO, Unidad del Cuartel General, UME; brigada Raúl González Juanas, analista de sección GIS/METEO

Palabras clave

**Unidad Militar de Emergencias, Haití, terremotos, Emergencias**

El terremoto de Haití ha supuesto uno de los mayores desastres humanitarios de la historia sísmica reciente. Este desgraciado desastre natural ha dado lugar a la primera intervención de la Unidad Militar de Emergencias (en adelante, UME) fuera del territorio nacional.

Hay que hacer notar que la misión principal de la UME es la intervención en territorio nacional, de donde se hace acopio de bases de datos y cartografía existentes, no así de países extranjeros, donde en principio no se dispone de cartografía. Fue a consecuencia de la misión recibida, que la unidad empezó a recabar información de interés, procedente de fuentes abiertas para proporcionarla al contingente desplegado. Pero este particular será objeto de una parte sustancial de este artículo y se detallará en el apartado "Los servicios de mapa en apoyo a la operación Haití 2010".

## El terremoto de Haití del 12 de enero de 2010

El 12 de enero, a las 16 horas 52 minutos hora local (22:52 hora española), a unos 17 km de Puerto Príncipe (capital del Estado) y a sólo 15 km de profundidad, se produjo un sismo de magnitud 7,1 en la escala de Richter, localizado a 16º,80 grados de latitud norte y 74º,07 grados de longitud oeste, según información proporcionada por la Red Sísmica Nacional del Instituto Geográfico Nacional.



Figura 1. Efectos del terremoto en una parte de la capital, Puerto Príncipe. Fotografía: Luismi Ortiz, Oficina de Comunicación Pública UME.

Esta situación provocó hasta 300.000 muertos y más de 1,5 millones de damnificados sin techo. Hubo desde el primer momento una carencia significativa de agua potable, alimentos y carburantes. Las infraestructuras, ya de por sí precarias, quedaron inservibles, y las escasas y, por lo general, mal cuidadas vías de comunicación, muy dañadas. Las telecomunicaciones sufrieron también los efectos del terremoto y quedaron interrumpidas los primeros días. Este panorama, unido a la falta de autoridad local, que se vio desbordada por los acontecimientos y sin capacidad real de reacción, llevó a una situación muy insegura, sobre todo en la capital, y a que

las labores de coordinación no resultaran nada fáciles. En este contexto, la comunidad internacional reaccionó con el envío de ayuda, según las posibilidades existentes en cada país donante.



Figura 2. Otra imagen de la destrucción producida en ciertos sectores de Puerto Príncipe. Fotografía: Luismi Ortiz, Oficina de Comunicación Pública UME.

## La respuesta de España en el marco internacional

Haití solicitó ayuda internacional y ésta empezó a prepararse e incorporarse. Numerosos países contribuyeron, primero con Equipos de Búsqueda y Rescate Urbano (en inglés se corresponde con las siglas USAR, acrónimo que se utilizará en lo sucesivo) y, posteriormente, con equipos sanitarios, ayuda humanitaria, etc. Esta ayuda llegó a través de la OCHA (Oficina de Coordinación de Ayuda Humanitaria) de Naciones Unidas, quienes organizaron, en lo que respecta a la labor de los equipos USAR (de tipo medio o pesado, según su composición y capacidades de trabajo), sus centros de acogida; en los puntos de entrada, un RDC (Centro de Acogida y Repliegue) —el utilizado por nosotros estaba situado en el aeropuerto de Puerto Príncipe— y su centro de coordinación de equipos, un OSOCC (Centro de Coordinación de Operaciones sobre el Terreno), en la zona afectada por la emergencia sísmica. La constitución de estos centros se recoge en los procedimientos de actuación de las directrices del INSARAG (siglas en inglés que significan Grupo Asesor Internacional de Búsqueda y Rescate Urbano) de Naciones Unidas.

España envió distintos equipos, entre ellos equipos cinológicos de Guardia Civil y Policía Nacional; Protección Civil de Getafe; un equipo de Bomberos de Castilla y León; un contingente de la Unidad de Emergencias y Respuesta Inmediata de los Bomberos de la Comunidad de Madrid (ERICAM); de Emergencias 112 Castilla y León; de la Ertzaintza (Policía Autónoma del País Vasco); un equipo sanitario del Ayuntamiento de Madrid (SAMUR); un equipo sanitario de la Comunidad de Madrid (SUMMA); un equipo del Sistema de Emergencias Médicas de Cataluña (SEM), etc. Además de todos los equipos civiles, España envió un destacamento de la UME para realizar las labores propias de un equipo USAR medio. Su composición viene detallada en el siguiente apartado de este artículo. Toda la ayuda procedente de España estuvo coordinada por un responsable de la Agencia Española de Cooperación Internacional y para el



Figura 3. Momento del embarque de un vehículo ligero de la UME en un avión Hércules del Ejército del Aire, que partió rumbo a Haití. Fotografía: Fidel Santos, Oficina de Comunicación Pública UME.

Desarrollo (AECID), perteneciente al Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación (MAEC).

### La preparación de la unidad de la UME

El destacamento de la UME en zona se dimensionó para disponer del material y equipo que proporciona las siguientes capacidades:

- Búsqueda: electrónica, mediante imagen y sonido. No se llevaron perros.
- Rescate: apuntalamiento, corte y perforación, para penetración en espacios confinados y zonas colapsadas; excarcelación para liberación de víctimas atrapadas; elevación de cargas (losas de hormigón) con medios hidráulicos y neumáticos; y evacuación de personal.
- Sanitarias: célula de estabilización compuesta de un médico, un enfermero y dos técnicos, con capacidad de soporte vital avanzado y trauma, y puesta en estado de evacuación. Esta capacidad está prevista inicialmente para los propios intervinientes, pero se usó como atención primaria a la población afectada, junto a otros equipos sanitarios españoles desplazados.
- Sistemas de información y telecomunicaciones: enlace vía satélite comercial de voz y datos y enlace vía satélite militar voz-datos y VTC (vídeo teleconferencia).

- Logísticas: limitada capacidad de transporte. Alojamiento. Subsistencias (alimentación y agua), con una autonomía logística de siete días.

No se enviaron los equipos cinológicos propios, como ya se ha dicho en el apartado anterior, ya que había en la zona abundancia de perros de búsqueda; al final se echó de menos esta capacidad en particular, ya que no se conoce realmente la fiabilidad de un perro perteneciente a otra organización; este aspecto ha llevado a considerar la participación del equipo de búsqueda y rescate como un todo y no como partes diferenciadas y que vayan a actuar en solitario.

La unidad UME proyectada, según lo ordenado por el teniente general jefe de la UME en la Orden de Operaciones (OPORD) 01/10 Operación Haití, contó con 37 efectivos y 2 vehículos ligeros multifunción Aníbal Santana, con capacidades bastante parecidas a lo que en las directrices del INSARAG aparece como las que debe poseer un equipo USAR de tipo medio. Entre todos estos efectivos contaron con un responsable de asuntos económicos y otro de comunicación pública.

Es interesante resaltar que se agregó al contingente de la UME un sargento del Regimiento de Transmisiones 2 de la Brigada de Transmisiones del Ejército de

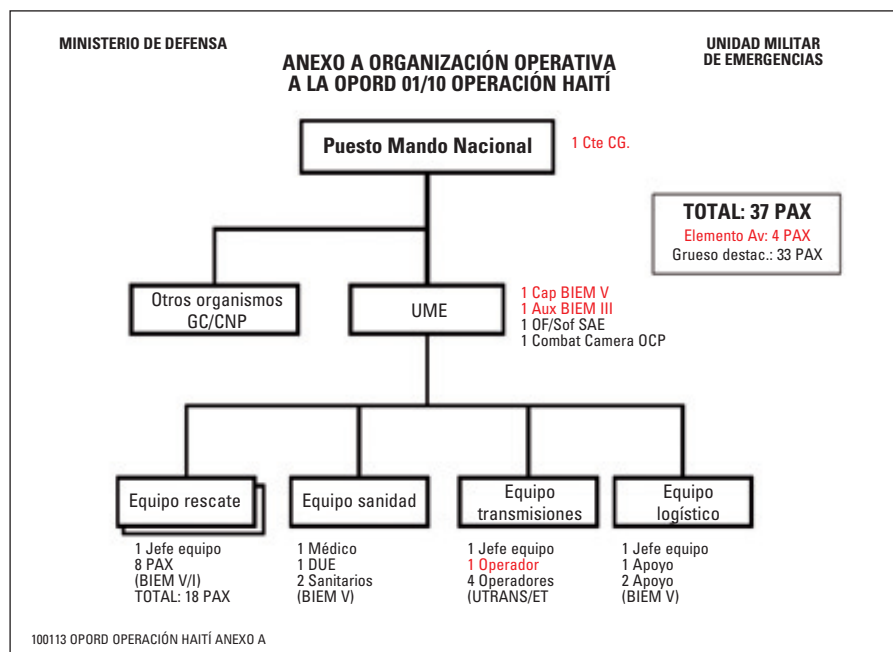


Figura 4. Organización operativa: Orden de Operaciones UME 01/10 Operación Haití.



Figura 6. Vista de la parte del campamento que albergaba a los equipos procedentes de España. Fotografía: Luismi Ortiz, Oficina de Comunicación Pública UME.

Tierra, que respondía así a una petición de apoyo para reforzar la capacidad de enlace vía satélite; sirva esta circunstancia como ejemplo del apoyo incondicional de los ejércitos a la UME, sin el cual no habría podido crecer y llegar al estado actual de operatividad.

No se envió ningún elemento de seguridad, si bien se echó en falta desde el primer momento. Se contó con un apoyo de seguridad de la misión de la ONU, pero este extremo se explica más adelante. Hay que añadir que, identificado el importante problema de falta de seguridad en las canteras de intervención, se preparó una pequeña unidad de Policía Militar, que estuvo dispuesta para incorporarse, desde el día 19, al contingente desplegado en zona. Lo que sucedió fue que los primeros asientos de avión disponibles para proyectarla coincidían prácticamente con el fin previsto de la misión de la unidad de la UME y, por ese motivo, no llegaron a desplegarse.

Lo que sí llevó consigo la unidad fue una buena cartografía. Este interesante aspecto se desarrollará en el apartado “Los servicios de mapa en apoyo de la operación Haití 2010”.

El día 13 por la mañana, a las 9:00 horas, se recibió la orden de generar una unidad tipo USAR medio para proyectar a Haití. La

unidad estuvo lista para desplegar a las 18:00 horas. Este plazo de tiempo es más que razonable, teniendo en cuenta las circunstancias particulares en que se produjo esta intervención. Ante todo la componían efectivos de las bases de Torrejón de Ardoz, Bétera y León (bases estas últimas que distan más de 300 km respecto a la base de Torrejón). Estos efectivos se concentraron en Torrejón. Tengamos en cuenta, en primer lugar, que no existía en ese momento ninguna norma que regulara las operaciones de la UME en el exterior; incluso el Protocolo de Intervención de 2007

—marco que regulaba las operaciones de la UME, normalmente en territorio nacional— fue recurrido por el País Vasco y anulado por defecto de forma. Se espera que en breve pueda ya disponerse de una nueva versión, aunque con las modificaciones pertinentes después de haber pasado todos los trámites preceptivos. Cuando se tenga en vigor el nuevo Protocolo de Intervención de la UME, debería redactarse una Orden de Defensa que regule la participación de la unidad en misiones fuera del territorio nacional. Pero este aspecto es trabajo que queda pendiente para la unidad.



Figura 5. Vista de un Boeing 707 de la Fuerza Aérea española, que está siendo cargado con parte del equipo que se desplegó en la zona de operaciones. Fotografía: Fidel Santos, Oficina de Comunicación Pública UME.



*Figura 7. Trabajo de noche en equipo y con personal de diferentes países, en las ruinas del hotel Christopher, sede de la ONU en la capital de Haití, y que resultó completamente destruido por el terremoto. Fotografía: Luismi Ortiz, Oficina de Comunicación Pública UME.*

Una vez que se disponga de todos los documentos precisos, podremos en nuestra unidad pensar en las organizaciones operativas, a las que me referiré como módulos en adelante. Estos módulos podría tenerlos preparados la UME para afrontar diferentes emergencias producidas por riesgos distintos. Definidos los módulos, sus plazos de reacción deben imperativamente acortarse en gran medida, pues todo tiene que estar preparado de antemano. Sin pretender ser exhaustivo, y en lo referente a una intervención de un equipo USAR en un terremoto, el personal debe estar nombrado y alertado para salir con su equipo, con pasaporte en vigor y cartilla de vacunaciones al día y dispuesta; los perros deben estar también preparados con sus jaulas de transporte y documentación en regla; los equipos, embalados y listos para ser embarcados en la aeronave que se determine, con las relaciones de todos los componentes de los equipos, hechas y comprobadas para su eventual paso por aduanas; los vehículos deberían ser designados y estar preparados también para su embarque, con sus petacas de combustible, etc. A modo de ejemplo, los depósitos de los vehículos no deben estar completamente llenos, sino a tan sólo tres cuartos de su capacidad, mientras que las petacas pueden ir a casi el 90% de capacidad. Todo ello reduciría los plazos y permitiría, por nuestra parte, un embarque del módulo incluso tan pronto

como a las tres horas de haber recibido la misión; esta estimación de tiempo de respuesta obedece al que tardan las formaciones militares francesas de Protección Civil, con más de 30 años de experiencia, de las que nosotros hemos recabado tanto información como procedimientos de actuación. Si ellos pueden hacerlo, nosotros también podremos, ¿por qué no? Se trata más de una cuestión de mentalización, que de capacidad real de ejecución.

### **La proyección de la unidad de la UME a Puerto Príncipe**

Pero volvamos a lo que realmente sucedió respecto a la intervención de la UME en Haití. Como ya se ha apuntado anteriormente, fue la AECID la agencia responsable de la coordinación de la ayuda procedente de España. En el primer avión disponible viajaron cuatro representantes de nuestra unidad, junto con otro personal que se enviaba a zona, perteneciente a otras organizaciones. La proyección estratégica de personal y medios corrió a cargo del Ejército del Aire, sin cuyo apoyo la misión no hubiera podido desplegar. La UME aprovechó estas plazas para destacar un elemento avanzado que pudiera informar sobre la situación real en la zona y cuya información se aprovecharía para desestimar el envío de los equipos cinológicos. El grueso de la unidad resultó

reforzado en otra capacidad, la de rescate. Como ya se apuntó, fue un error no llevar nuestros propios perros. Esta forma de proceder enviando un elemento de avanzadilla y un grueso obedece a una mentalidad de proyección militar. En este tipo de actuaciones es un lujo actuar así, pues el tiempo de respuesta es vital para muchas víctimas atrapadas y que esperan a ser rescatadas lo antes posible (la cantidad de víctimas salvadas disminuye exponencialmente a medida que transcurre el tiempo). Pero debemos pensar que la misión era novedosa y nuestro CG no se había preparado específicamente para este tipo de intervención en el extranjero. Además, las posibilidades reales de transporte de personal disponibles a zona son las que son y mandan, no habiendo permitido el despliegue del grueso desde Santo Domingo hasta Puerto Príncipe, hasta que se hizo coincidir este desplazamiento con un transporte proporcionado por vuelos VIP (acrónimo del inglés que se refiere a autoridades) de Estado, en su visita a la zona afectada.

Debería tenerse en cuenta que el módulo de la UME que se pone a disposición de una emergencia causada por un terremoto debe proyectarse completo, pues no hay nada que no tenga su cometido y no sea necesario (de ser así, no se hallaría incluido en él). Lo que debió de suceder probablemente es que a la hora de adjudicar asientos y carga en los aviones disponibles, la AECID no contó con una unidad militar que debía actuar al completo, sino con una sucesión de capacidades distintas. Una de las principales conclusiones que se han obtenido de esta participación en Haití es que convendría iniciar una serie de contactos con el MAEC y, en concreto, con la AECID, para explicarles las particularidades de la UME y que en un futuro podamos llegar a trabajar en las mejores condiciones posibles. Hasta la fecha no se había tenido contacto con ellos porque, entre otros motivos y como ya se ha expresado anteriormente, no se disponía de los procedimientos que regularan nuestras intervenciones en el exterior. Recordemos que antes de octubre de 2005 no había nada parecido a esta joven Unidad Militar de Emergencias.



Figura 8. En el hotel Christopher, trabajando en el turno de noche junto a otros equipos internacionales. Fotografía: Luismi Ortiz, Oficina de Comunicación Pública UME.



Figura 10. Un cadáver recuperado de entre los escombros por un equipo de rescate de la UME es trasladado para proceder a su posible identificación. Fotografía: Luismi Ortiz, Oficina de Comunicación Pública UME.

trabajos y en el campamento, aparte de un apoyo logístico vital, especialmente en lo referente a carburantes. En lo que respecta a la seguridad, fue gracias a la colaboración de efectivos MINUSTAH de la Guardia Civil y del Cuerpo Nacional de Policía, que los equipos de rescate pudieron llevar a cabo sus cometidos. Y es que, afortunadamente, en este tipo de situaciones límite, la colaboración entre compatriotas suele ser completa. En este sentido, una conclusión interna ha sido la inclusión de Policía Militar en el módulo USAR de la UME, aunque sólo sea para permitir el trabajo de los equipos especialistas en las canteras asignadas; en Haití, además, se precisaba para cualquier desplazamiento y para seguridad física de los equipos en los lugares de trabajo, pues las condiciones de seguridad en Puerto Príncipe, la capital, tras el terremoto, eran prácticamente inexistentes.

La unidad trabajó día y noche en la zona del hotel Christopher, procediendo al relevo del personal con los dos equipos de

En las directrices del INSARAG se marcan unas horas máximas para los equipos USAR para encontrarse operativos y trabajando en la zona siniestrada y que, en el caso de un USAR medio, es de 32 horas desde que el terremoto aparece reflejado en una página de Internet de la ONU, el OSOCC virtual. En cualquier caso, un simple cálculo de tiempos respecto a la proyección del grueso del destacamento y el momento en que empezaron a trabajar nos lleva a la conclusión de que la labor de salvamento de vidas por parte de la unidad de la UME no pueda haber sido extraordinaria. De hecho, como veremos más adelante, la misión se saldó con la recuperación de 30 cadáveres, si bien estas misiones terminan siempre recuperando cadáveres, lo normal y deseable es que comiencen devolviendo la vida a víctimas atrapadas entre escombros.

El 15 de enero partió el resto del contingente, 33 efectivos más. Todo terremoto destructivo conlleva cierta falta de conocimiento de la situación real y de coordinación en las actuaciones. El terremoto de Haití, en concreto, se ha caracterizado por la falta total de la autoridad local y la falta de coordinación en general. Esto no propició precisamente la pronta incorporación del grueso del contingente de la UME al trabajo, sino que

estuvieron a la espera de transporte a zona en Santo Domingo hasta que, por fin, el día 17 de enero pudieron empezar con los trabajos de salvamento de víctimas o, tristemente, quizá sea más correcto hablar de recuperación de cadáveres.

#### Cometidos asignados y trabajos realizados por la unidad en la zona

A la unidad se le asignó una zona de trabajo, el hotel Christopher de Puerto Príncipe, sede que albergaba el personal de la ONU en Haití y que se derrumbó por completo. La misión de la ONU en Haití, MINUSTAH, proporcionó seguridad en los



Figura 9. Los trabajos de desescombro con máquinas no se inician hasta que no se tiene la certeza de que no hay más víctimas atrapadas vivas, pendientes de ser rescatadas. Fotografía: Luismi Ortiz, Oficina de Comunicación Pública UME.



Figura 11. El personal sanitario de la UME en labores de apoyo a los equipos sanitarios españoles en el hospital La Paz de Puerto Príncipe. Fotografía: Luismi Ortiz, Oficina de Comunicación Pública UME.

rescate. El equipo sanitario, al no tener misión junto a los rescatadores de cadáveres, se incorporó al dispositivo nacional sanitario que actuaba en el hospital La Paz, también en Puerto Príncipe.

A resultas de las tareas de rescate realizadas, se recuperaron 30 cadáveres, entre los que se encontraba el de la subinspectora del Cuerpo Nacional de Policía, Rosa Crespo Biel, localizado el día 19. A partir del día 21 se trabaja sólo durante el arco diurno, pero con dos equipos en vez de uno (se sigue en el hotel y se despliega también en el distrito 26), descansando durante la noche. En el transcurso de los trabajos se ha colaborado con equipos puertorriqueños y chinos desplazados a Haití, con misiones similares a la nuestra y con maquinaria pesada brasileña de MINUSTAH.

En la respuesta a los terremotos, llega un momento en el que el Gobierno, como autoridad local a cargo de las operaciones, debe oficialmente terminar con las tareas de búsqueda de supervivientes. Eso no implica que aparezca todavía algún afortunado que salve la vida después de pasar bastantes días entre escombros, normalmente porque haya tenido acceso a agua, que le ha permitido no deshidratarse.

### Repliegue de la unidad a Santo Domingo y a España

El repliegue de nuestros efectivos se realizó de forma escalonada. Primero partieron hacia Santo Domingo los equipos de rescate, pues no se proseguía ya con estas misiones, debido al término oficial de la fase de búsqueda y rescate de supervivientes. Los restantes componentes

del contingente permanecieron unos días más en zona para facilitar, en su caso, el enlace con la operación Hispaniola, cuyo contingente se desplazaba a bordo del buque *Castilla*, de la Armada Española, que transportaba unos 450 efectivos con la misión, aunque no sea objeto de este artículo, entre otras, de contribuir tanto a las tareas de mitigación de daños como a las de reconstrucción. Una vez que esta misión de enlace entre la operación Hispaniola y las autoridades en tierra no resultó ya de utilidad, el resto del personal de la UME se replegó también hacia Santo Domingo. Es de destacar el apoyo incondicional recibido por la embajada española de la República Dominicana; ellos se ocuparon de buscar alojamiento para los miembros de la unidad, custodiaron el material y los equipos y, ante la imposibilidad de replegar los dos vehículos en un corto espacio de tiempo, también los tuvieron a su cargo hasta el momento de su embarque y posterior repliegue a la península Ibérica (casi dos meses más tarde, pues este repliegue no era prioritario). En resumen, el día 21 se iniciaba el repliegue de la primera parte del contingente; tres días más tarde, el 24, se le unía el resto del personal; finalmente, el día 27, llegaban casi todos de regreso a la base aérea de Torrejón de Ardoz, donde eran recibidos por la ministra de Defensa,



Figura 12. Detalle de la ruta que enlaza Puerto Príncipe con Santo Domingo; vía utilizada por el destacamento UME para preparar el regreso a casa una vez cumplida la misión asignada en Haití. Fotografía: Luismi Ortiz, Oficina de Comunicación Pública UME.

Carme Chacón. Toda la unidad regresó, excepto dos militares que se quedaron tres o cuatro días más en Santo Domingo como responsables de los vehículos, hasta que, finalmente, se cambió esta decisión, al dejar los vehículos por entero a cargo de la embajada española, permitiéndoles a ellos dos también regresar a España.

Una vez recuperado todo el personal de vuelta a la unidad se aprovechó su presencia para que algunos de ellos participaran en un seminario interno de búsqueda y rescate urbano, teniendo en cuenta la misión de Haití, y que contó con cuadros de mando representantes de todas las unidades de la UME, incluyendo su cuartel general (en total unos 40 participantes) y del que se sacaron unas conclusiones que serán tenidas en cuenta en sucesivas intervenciones de la unidad en el extranjero.

### Servicios de mapa en apoyo a la operación Haití 2010

Aparte de que el terremoto de Haití haya representado para la UME la primera intervención fuera de territorio nacional, también ha marcado un punto de inflexión en los procedimientos de trabajo establecidos en materia de gestión de la información geográfica.

En la UME se ponen en práctica procedimientos contrastados de análisis GIS y de generación de cartografía para las emergencias. Para ello se cuenta con un repositorio de cartografía básica oficial, fruto de acuerdos institucionales, servicios de réplica y servicios web de mapa, que dan respuesta en tiempo real a las necesidades de la unidad en materia cartográfica.

Con el sismo de Puerto Príncipe se ha puesto de manifiesto la enorme importancia que los servicios de mapa y las infraestructuras de datos espaciales representan en la gestión de emergencias.

Desde que en el Centro de Situación se recibió la noticia del sismo, en la que ya se vislumbraba la magnitud del desastre, se solicitó a la Sección GIS que empezase a preparar cartografía de la zona de Haití. Conforme a los procedimientos establecidos, y ante la carencia de la

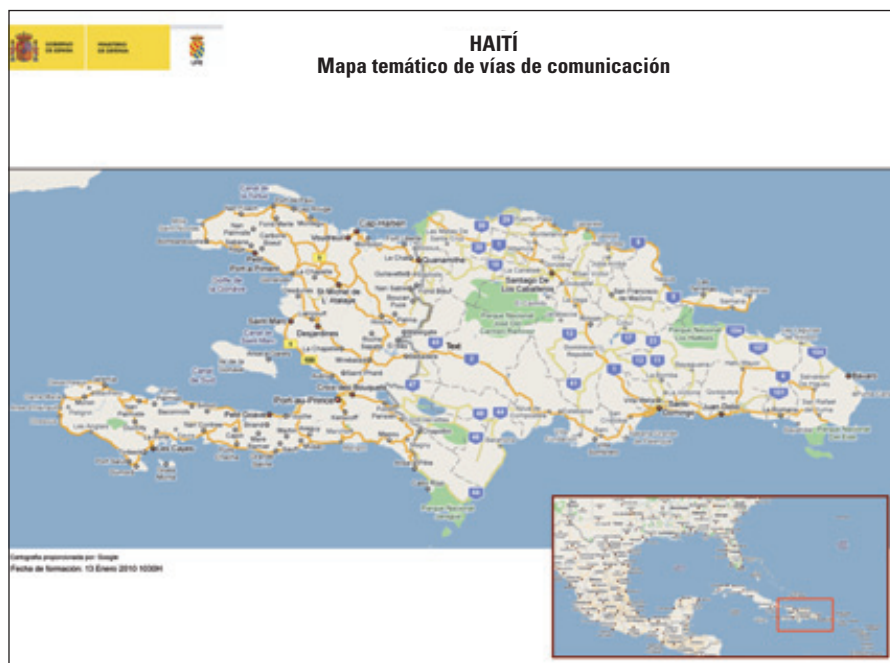


Figura 13. Mapa temático de vías de comunicación de Haití. Fuente: Google.

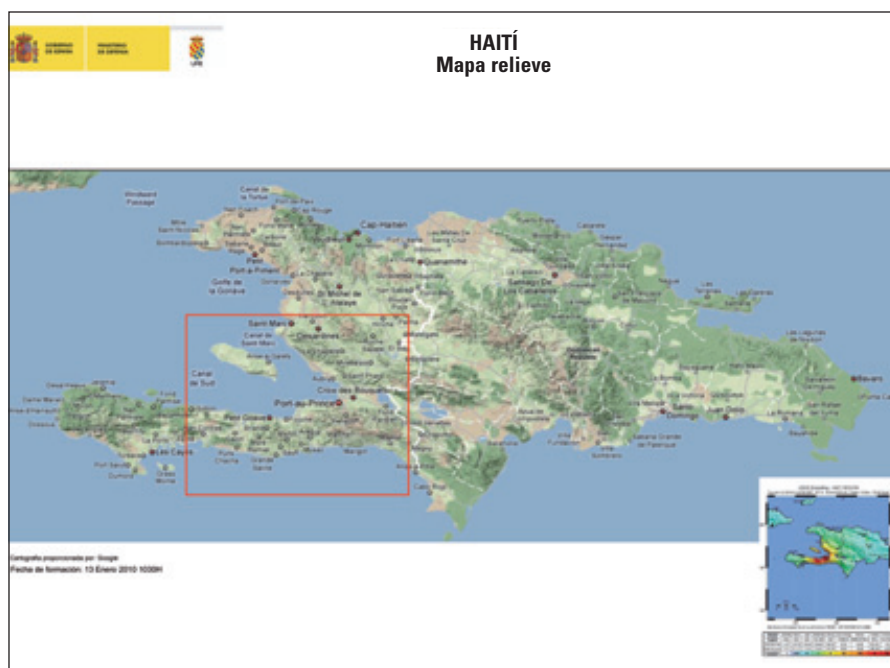


Figura 14. Mapa relieve de Haití. Fuente: Google.

misma, se contacta con el Centro Geográfico del Ejército (CEGET) para solicitar la cartografía disponible de la isla Española. Las informaciones que llegan presagian un gran desastre humanitario, por lo que es necesario disponer de información geográfica de la zona cuanto antes. Mientras la cartografía disponible a escala 1/500.000, 1:250.000 y algunas hojas del 50.000 llegan a la unidad, se capturan pantallas de Google

referenciando éstas, para formar los primeros mapas de la emergencia.

Pero la calidad y detalle de estos primeros mapas resulta insuficiente, haciéndose necesario, en tanto se recibe cartografía de menor escala de la NIMA (National Geospatial Intelligence Agency), recabar de organismos internacionales aquella información que pudiera estar disponible a través de la web.

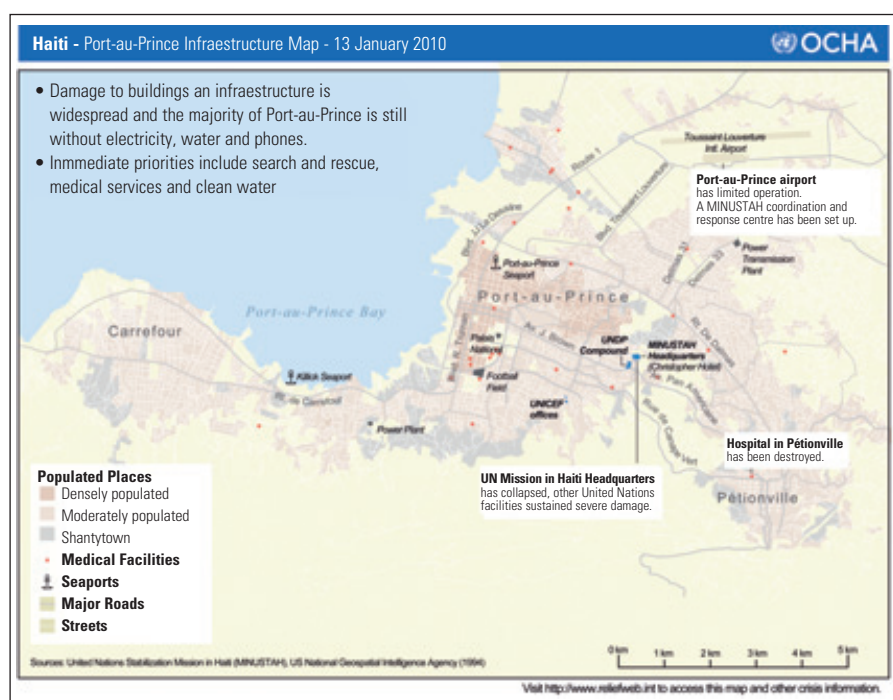


Figura 15. Mapa de infraestructuras de Puerto Príncipe a escala 1:12.500 de la NIMA.  
Fuente: [www.omnimap.com/samples/HaitiEarthquake](http://www.omnimap.com/samples/HaitiEarthquake)

A las 24 horas de haberse producido el terremoto, ya se está en disposición de confeccionar un mapa de detalle a partir de las diversas capas de información geoespacial recibidas de la NIMA y del CEGET, que, básicamente, se corresponden con:



Figura 16. Detalle de la cartografía de la ciudad de Puerto Príncipe a escala 1:12.500, de la NIMA, del año 94 (cuatro geotif georreferenciados y sin información marginal de hoja).



Figura 17. Cartografía Raster escala 1:250.000 del CEGET (Centro Geográfico del Ejército).

Solventados los problemas iniciales de obtención de cartografía básica, el equipo de analistas de la UME digitaliza los puntos de interés que aparecen reflejados en la cartografía a escala 1:12.500 de la NIMA (embajadas, hospitales, organismos oficiales, etc.), los cuales se almacenan en una base de datos espacial (geodatabase), a fin de poder cargar los atributos correspondientes a cada entidad, a medida que se vaya recabando información de

Es importante señalar cómo la comunidad científica internacional se volcó con la tragedia, poniendo un número indeterminado de servicios de mapa a disposición a través de la Red, que permitían conocer el estado actual de la situación

cada una en el transcurso de la emergencia.

Paralelamente, la colaboración institucional con otros organismos, como el EUSC, facilita el acceso a información de interés (figura 18).

Pero el proceso de obtención de la información geoespacial no es suficiente, haciéndose necesario preparar las capas

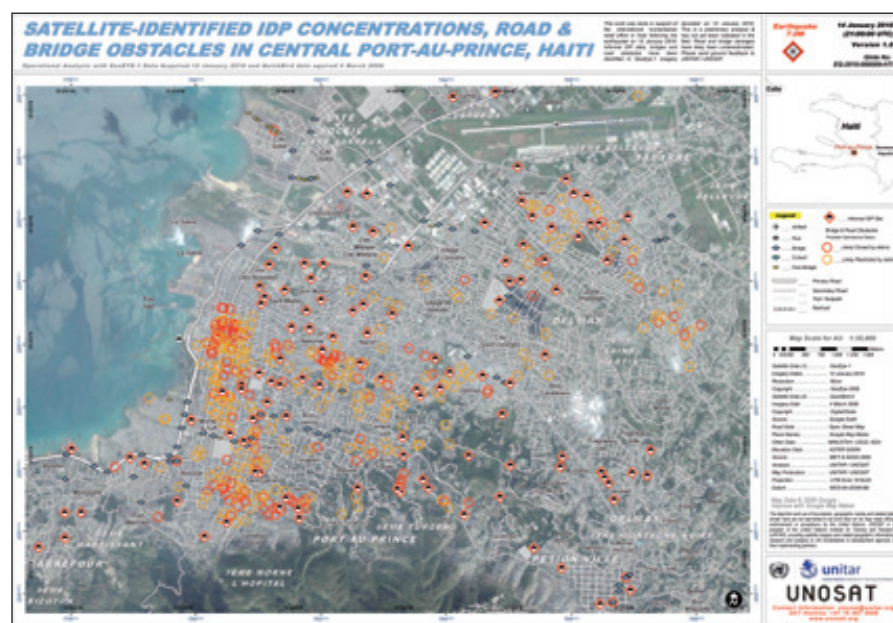


Figura 18. Mapa del UNOSAT con los obstáculos de carretera, puentes y concentración de población desplazada.

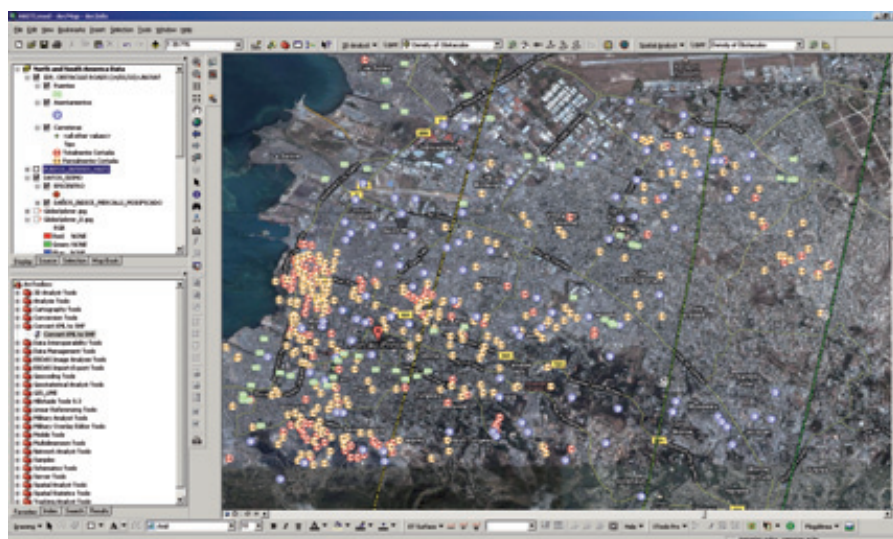


Figura 19. Obstáculos\_IDP\_Arcgis.bmp

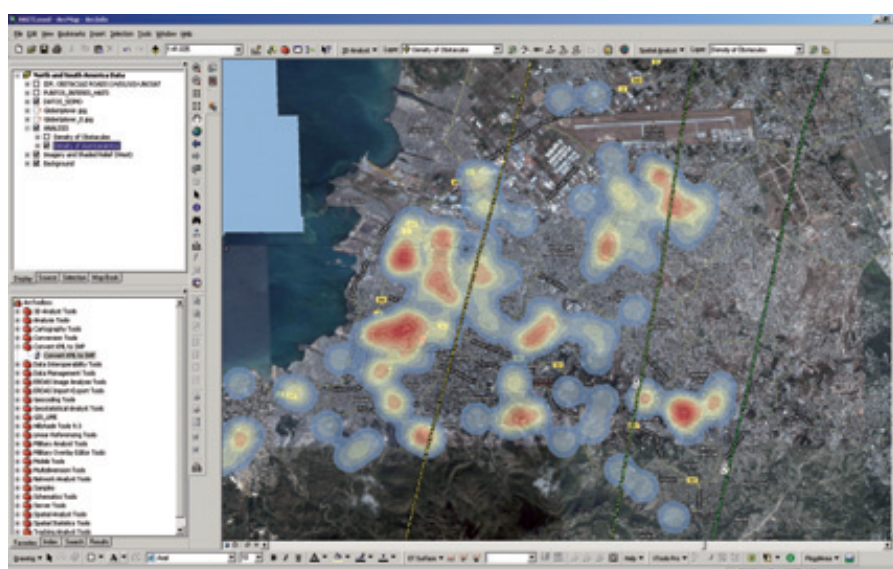


Figura 20. Densidad de concentración de desplazados.

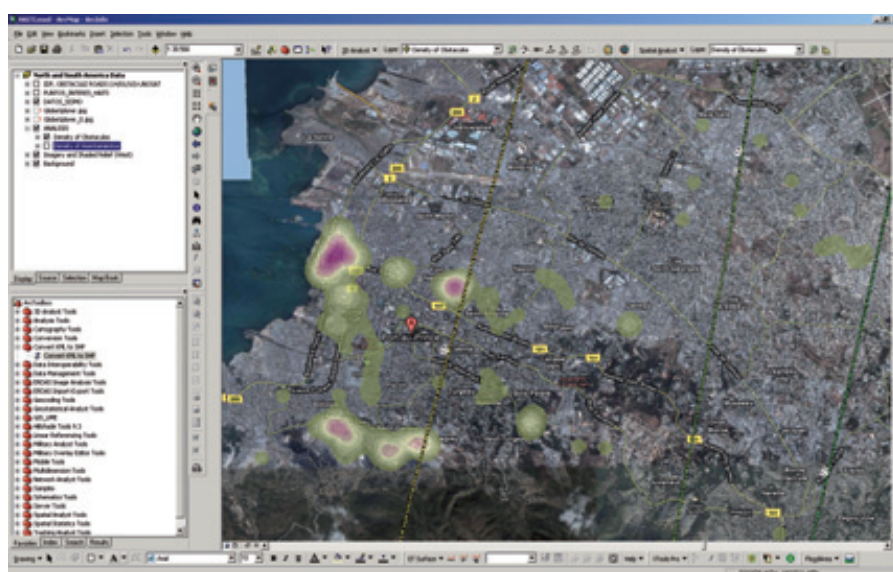


Figura 21. Densidad de carreteras obstaculizadas.

La intervención de la UME en el terremoto de Haití ha puesto de manifiesto que el desarrollo de los Sistemas de Información Geográficos y la implantación de Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE) resultan de vital importancia para la gestión eficaz de emergencias

tácticas que formarán la cartografía de la emergencia y las cuales se remitirán a las unidades desplegadas a través de los sistemas de comunicación disponibles en las estaciones desplegadas de los Sistemas de Información y Comunicación (CIS) de la UME. Para ello, se digitaliza dicha información en geodatabases y se simbolizan las entidades, a fin de que se visualicen en nuestro mapa de operaciones de forma adecuada.

Finalmente, y de cara a facilitar la movilidad de nuestros efectivos desplazados a la isla, se realizan diversos análisis GIS (figuras 20 y 21).

Preparadas las diversas capas, se está ya en disposición de formar el mapa de la emergencia que se precarga en los equipos que se trasladan a la zona de operaciones y a la consola de mando y control del Sistema Integrado de Gestión en Emergencias (SIMGE) de la UME, lo que permite el seguimiento y dirección de la operación desde el Cuartel General.

Pero si bien las capacidades de la UME son especialmente significativas, no por ello se desdeña el apoyo de otras unidades del Ejército, como el recibido desde la

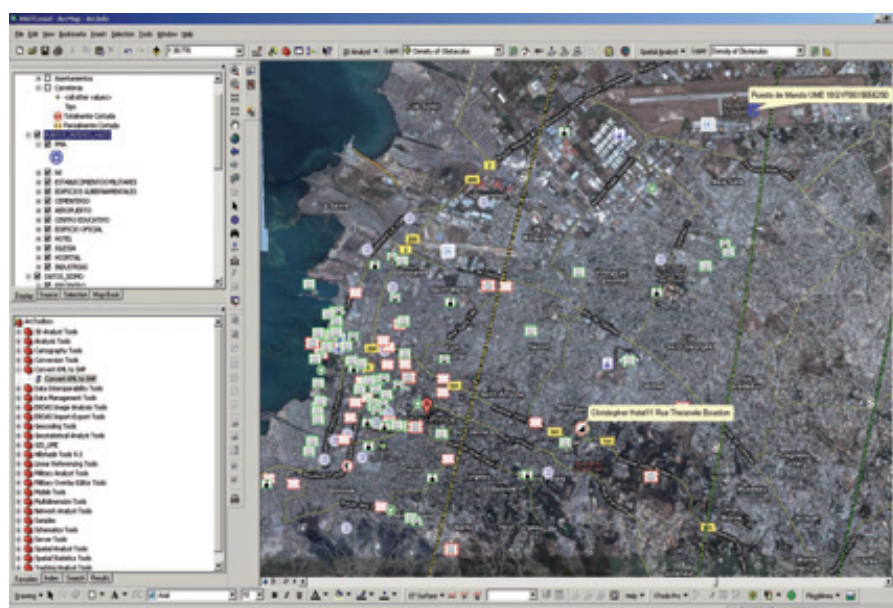


Figura 22. Pto\_Interes\_ARCGIS.JPG

Brigada de Transmisiones del Ejército de Tierra (BRITRANS/ET) que facilitó terminales satélite TLB y TLX50, que aumentó las capacidades de la UME en materia de telecomunicaciones ya desplazadas (BGAN e Iridium).

A este respecto, es importante señalar cómo la comunidad científica internacional se volcó con la tragedia, poniendo un número indeterminado de servicios de mapa a disposición a través de la Red, que permitían conocer el estado actual de la situación. En nuestro caso, fueron especialmente útiles las imágenes satélites postsismo provenientes de servicios WMS (siglas en inglés: Servicios Web de Mapa) como los facilitados por la empresa Globexplore. Sirva de muestra un detalle del hotel Christopher, que fue una de las zonas de intervención de la UME, antes y después del sismo (figuras 23 y 24).

La intervención de la UME en el terremoto de Haití ha puesto de manifiesto, una vez más, que el desarrollo de los Sistemas de Información Geográficos y la implantación de Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE), con sus correspondientes servicios WMS y WFS (siglas en inglés: Servicios Web de Características), que permiten el intercambio de información geoespacial, resultan de vital importancia para la gestión eficaz de emergencias.

La UME, conocedora de ello, ha desarrollado una red colaborativa para la gestión de las emergencias, que integra los elementos existentes y sus centros operativos en el Sistema Nacional de Protección Civil, con la finalidad de:

- Intercambiar información entre los diversos actores implicados en la emergencia.
- Sincronizar acciones durante la gestión de catástrofes.
- Facilitar la toma de decisiones.



Figura 23. Hotel Christopher antes del terremoto.



Figura 24. Hotel Christopher después del terremoto.

La magnitud del desastre hace patente que, para acometer eficazmente la gestión de la información que se genera en una gran emergencia, es necesario contar con la colaboración entre organismos e instituciones nacionales e internacionales, como así lo demuestra la intervención de Haití, en donde instituciones como el EUSC (siglas en inglés: Centro de Satélites de la Unión Europea), facilitaron el acceso a información del CHARTER, GMES etc., tremendamente útil para el conocimiento preciso de lo que en la zona afectada por el sismo estaba aconteciendo. El resultado fue un valioso conjunto de datos geoespaciales disponibles, como *shapefiles* y WMS para su uso en GIS, e imágenes Garmin para su uso en GPS de campo. Todo ello disponible para su descarga a través de la web, lo que permitió diseminar estos recursos entre los equipos de emergencia que actuaron sobre el terreno.

Enlazar los recolectores de información con los mandos que toman decisiones y quienes las ejecutan, facilita la unidad, coherencia y sincronismo, multiplicando así el poder de las fuerzas. El portal RENEM representa la solución estable y duradera que posibilita la dirección y gestión de la emergencia, combinando acciones y efectos procedentes del ámbito diplomático, informativo, militar, económico, político o civil.



Figura 25. La Red Nacional de Emergencias (RENEM) facilita la interoperabilidad a través de un portal corporativo, que tiene como misión interconectar a los organismos de las Administraciones Públicas (AAP), relacionados con la gestión de emergencias y alertas, así como a las corporaciones privadas a cargo de infraestructuras críticas del Estado, con el propósito de asegurar el intercambio de información relevante para la gestión y coordinación de las emergencias.

La magnitud del desastre hace patente que, para acometer eficazmente la gestión de la información que se genera en una gran emergencia, es necesario contar con la colaboración entre organismos e instituciones nacionales e internacionales, como así lo demuestra la intervención de Haití

### Capacidades de la UME para enfrentar una catástrofe producida por un terremoto

La Ley de la Defensa Nacional (2005) marca, entre otras, la misión de las Fuerzas Armadas (FAS) de preservar la seguridad y bienestar de los ciudadanos en caso de catástrofe. El Gobierno central decidió crear la UME. Con ella se tendrá en las FAS la capacidad para intervenir en primera línea contra cualquier tipo de emergencia. Esta unidad militar intenta complementar el sistema existente de Protección Civil español, mejorando la capacidad global del mismo. La UME tiene elementos de intervención preparados para actuar durante las 24 horas del día y todos los días del año: nace pues como consecuencia de una necesidad sentida en los países occidentales, consistente en utilizar recursos militares en operaciones de auxilio a damnificados por desastres del tipo que sean, con independencia de las capacidades bélicas de que dispongan las Fuerzas Armadas. Al objeto de iniciar la constitución y formación de esta peculiar unidad, se mantuvieron contactos con Francia y Suiza. En Suiza, además de conocer sus unidades de respuesta a

emergencias, la UME fue invitada a presenciar el ejercicio RHEINTAL 06, en el que se recreó una catástrofe de gran alcance y que resultó de mucha utilidad.

Las principales características de la UME son las siguientes: se trata de una unidad militar conjunta y permanente, que dispone

de los medios necesarios para desarrollar la misión encomendada. La UME actúa dentro de la estructura del Ministerio de Defensa. La UME dispone de las características distintivas de las FAS, como, por ejemplo, la capacidad de movilización de recursos, de transporte de grandes cantidades de equipos



Figura 26. Vista del interior de la tienda en el campamento base, desde donde, con los equipos de telecomunicaciones vía satélite, se enlazaba con el centro de operaciones de la UME nuestro llamado JOC. Fotografía: Luismi Ortiz, Oficina de Comunicación Pública UME.



Figura 27. Foto de familia del destacamento USAR de la UME al completo. Fotografía: Oficina de Comunicación Pública UME.

y materiales y también la de proporcionar apoyo logístico.

El mando y control, las transmisiones y los sistemas de información pueden tomarse como un referente en esta unidad. Se incorporó tecnología punta a lo que se denomina el SIMGE, que integra todas las comunicaciones y redes civiles y militares; un sistema que permitirá disponer de un mapa de incidente único para facilitar la acción del mando. El objetivo que se persigue es el desarrollo ya en marcha, como se ha apuntado anteriormente, de la RENEM, que constituya la base de un robusto sistema de mando y control para facilitar la coordinación de todos los implicados y que proporcione al general en jefe de la UME la herramienta necesaria para ejercer el mando con eficacia. Por último, resaltar que dispone del TETRAPOL y que todo el sistema descrito en su conjunto también permite la conectividad

entre los tres niveles de la Administración civil, a saber, el estatal, regional y local.

La espina dorsal de la unidad la constituyen los cinco batallones de intervención desplegados por todo el territorio nacional. También cuenta con una Agrupación de Medios Aéreos, un Regimiento de Apoyo y una Unidad de Cuartel General, la cual posibilita la labor del Cuartel General, órgano de asesoramiento del General en Jefe. Las principales capacidades de la UME son: lucha contra incendios forestales; búsqueda y salvamento tanto en inundaciones como en desescombro a causa de terremotos; grandes nevadas; albergue para personal evacuado; riesgos tecnológicos; tratamiento de aguas; transporte, y restablecimiento de infraestructuras vitales. Los medios con los que contará la UME en un futuro son diversos y, por tanto, se requiere una gran

especialización en formación: 24 hidroaviones, 19 helicópteros, 353 camiones pesados todoterreno, 525 vehículos ligeros todoterreno, 180 autobombas, 60 nodrizas, 32 quitanieves, 99 máquinas de ingenieros, 12 Transportes Oruga Acorazados (TOA), 8 plantas de purificación de agua, 54 equipos cinológicos de búsqueda y salvamento, 10 equipos de reconocimiento e intervención Nuclear Biológico Químico Radiológico (NBQR), 4 estaciones de descontaminación NBQR. El número total de efectivos de la UME es de 3.965, de los cuales, en la actualidad, se encuentran cubiertos más de 3.600 puestos, suponiendo un 90% de cobertura.

La UME estableció un programa de visitas a las principales instituciones del Gobierno relacionadas con las emergencias (no se visitó el MAEC por las razones ya expuestas) y a todas las comunidades y ciudades autónomas, alcanzando acuerdos de colaboración con la mayoría. Desde que empezó a actuar en junio de 2007, la UME ha efectuado, a 15 de abril de 2010, 74 operaciones, demostrando en todas sus actuaciones ser un valor añadido al dispositivo montado. Para hacernos una idea de la contundencia y el alcance de los apoyos prestados en las operaciones efectuadas, hasta el 15 de abril de 2010 desplegaron, entre otros medios de la UME, más de 10.500 efectivos, más de 610 autobombas y nodrizas, más de 1.850 vehículos multifunción. Aparte de los medios terrestres, la Agrupación de Medios Aéreos añadió, a los efectivos aéreos ya desplegados, entre 12 y 13 hidroaviones en España y hasta 14 en el extranjero. Por ejemplo, en 2008, seis a Grecia, dos a Italia, dos a Portugal; y, en 2009, dos a Marruecos y otros dos a Bulgaria.

### Plan de preparación de las unidades UME en búsqueda y rescate

No es objeto de este trabajo la presentación exhaustiva y detallada del complejo plan de preparación de la unidad que debe responder a hacer frente a todo tipo de emergencias. Sin embargo, he considerado interesante mostrar, en un párrafo independiente, cómo se ha llegado

a estar en condiciones de desplegar una unidad de búsqueda y rescate de víctimas tras un terremoto y que ésta haya actuado con éxito entre los profesionales del rescate a nivel tanto nacional como internacional.

La UME se instruye para certificarse, si se considera conveniente, como un elemento de búsqueda y rescate urbano, USAR, y poder así contribuir a mitigar los efectos de una emergencia de origen sísmico. A modo de ejemplo, y por no extenderme en exceso, en 2009 la UME participó con unidades USAR en varios ejercicios y en unas escuelas prácticas internas en la provincia de Zamora, en las que tomaron parte representantes de todos los batallones.

También en simulacros sísmicos con las comunidades autónomas de Murcia y Navarra. En el extranjero en dos ocasiones: la primera en un ejercicio de la Unión Europea en Lisboa, Portugal, llamado PTQUAKE09, y, más adelante, en un ejercicio de la OTAN en Kapçagay, Kazakistán, que se denominó ZHETYSU 2009. En el difícil campo USAR, la mejor manera de convertirse en un elemento eficaz, fiable y reconocido es aprender de la experiencia de otros equipos USAR ajenos a la UME, mediante la instrucción en los mismos escenarios por ellos utilizados.

Estamos satisfechos por la respuesta de la unidad, las capacidades desplegadas y los productos elaborados por la unidad GIS/METEO para los participantes (tanto en el tiempo de respuesta como en los productos elaborados, que han sido satisfactorios)

### Conclusiones

Este terremoto ha sido especialmente destructor. Se ha echado en falta la existencia de la autoridad local y ha existido una tremenda descoordinación de los apoyos enviados.

La participación de la UME en auxilio de las víctimas del terremoto de Haití del 12 de enero de 2010 ha puesto de manifiesto que estamos preparados. Contamos con el apoyo externo de transporte estratégico para desplegar uno o varios elementos de intervención, tipo USAR medio, rápidamente y en cualquier lugar del mundo donde se requiera y donde el Gobierno de España decida actuar. Además, se ha podido cumplir la misión de una forma prácticamente autónoma, dotando al contingente proyectado de una autonomía logística, indispensable para no entorpecer las labores de la ayuda

humanitaria en intervenciones de emergencias. El apoyo cartográfico proporcionado al contingente desplegado ha sido una herramienta muy útil que la unidad ha tenido y que le ha auxiliado en el cumplimiento de sus cometidos en zona. Estamos satisfechos por la respuesta de la unidad, las capacidades desplegadas y los productos elaborados por la unidad GIS/METEO para los participantes (tanto en el tiempo de respuesta como en los productos elaborados, que han sido satisfactorios). La UME también está satisfecha con el empleo del portal RENEM durante la operación y confiamos en que se implante gradualmente en el mundo de las emergencias como una herramienta integradora. Confiamos en que en sucesivas misiones al extranjero, caso de producirse, el tiempo de reacción de la unidad disminuya drásticamente y lleguemos a tiempo de rescatar víctimas con vida de entre los escombros.

### Bibliografía

Cartografía del Centro Geográfico del Ejército (CEGET).

CrisisMapping Haiti:

<http://crisismapping.ning.com/forum/topics/task-force-haiti-earthquake>

Disaster Charter: [http://www.disasterscharter.org/web/charter/activation\\_details?p\\_r\\_p\\_1415474252\\_assetId=ACT-287](http://www.disasterscharter.org/web/charter/activation_details?p_r_p_1415474252_assetId=ACT-287)

GeoEye (WMS): [http://maps.geography.uc.edu/cgi-bin/mapserv?map=/home/cgn/public\\_html/maps/mapfiles/haiti.map&SERVICE=WMS&Request=GetCapabilities](http://maps.geography.uc.edu/cgi-bin/mapserv?map=/home/cgn/public_html/maps/mapfiles/haiti.map&SERVICE=WMS&Request=GetCapabilities)

GlobeXplorer a través de DigitalGlobe: <http://www.digitalglobe.com/GrupoCrisisMappers>:

[http://groups.google.com/group/crisismappers/browse\\_thread/thread/138b127e6da4e5fb](http://groups.google.com/group/crisismappers/browse_thread/thread/138b127e6da4e5fb)

Mapas prestados por Omnimap:

<http://www.omnimap.com/samples/HaitiEarthquake>

OpenStreetMaps para Haití:

[http://wiki.openstreetmap.org/wiki/WikiProject\\_Haiti#Needs](http://wiki.openstreetmap.org/wiki/WikiProject_Haiti#Needs)  
Post Terremoto GeoEye KML: <http://mw1.google.com/mw-earth-vectordb/haiti/Haiti-Earthquake-nl.kml>

Recursos GIS HAí: <http://gislounge.com/haiti-maps-and-gis-data-resources>

Referencias cartográficas de la Dirección General de Protección Civil (DGPC).

Referencias cartográficas del European Union Satellite Centre (EUSC).

ReliefWeb de la OCHA:

<http://www.reliefweb.int/rw/dbc.nsf/doc100?OpenForm>  
Unosat-Unosat: <http://unosat.web.cern.ch/unosat/>

Wiki Datos GIS Haití:

[http://crisismcommons.org/wiki/index.php?title=Haiti/2010\\_Earthquake](http://crisismcommons.org/wiki/index.php?title=Haiti/2010_Earthquake)

# Teoría e hipótesis sobre el origen de las especies antes de Darwin

Se hace un repaso histórico de las teorías del origen de las especies a través de las hipótesis formuladas por los naturalistas europeos más ilustres, que vivieron durante los 100 años anteriores a la edición de *El origen de las especies*, publicado por Charles Darwin (1808-1882) en 1859.

**TEXTO** | Antonio González Bueno, Universidad Complutense de Madrid

Palabras clave  
**Darwin, origen de las especies**

## Carl Linné (1707-1778): entre el proceso creador y la hibridación natural

Las teorías sobre el origen de las especies predominantes hasta bien avanzado el siglo XVIII mantendrán la inmutabilidad de las formas creadas: las especies son estables e inalterables. En su *Philosophia Botanica* (Estocolmo, 1751), Carl Linné (figura 1) sentencia: "Las especies son tan numerosas y en tan diversas formas como fueran creadas en el principio". Recoge así una tradición creacionista, basada en la interpretación literal de los presupuestos bíblicos establecidos en el Génesis.

La acumulación de materiales, en especial durante el proceso de elaboración de *Species Plantarum* (Estocolmo, 1753), modificará esta filosofía fijista defendida, con claridad en sus primeros escritos,

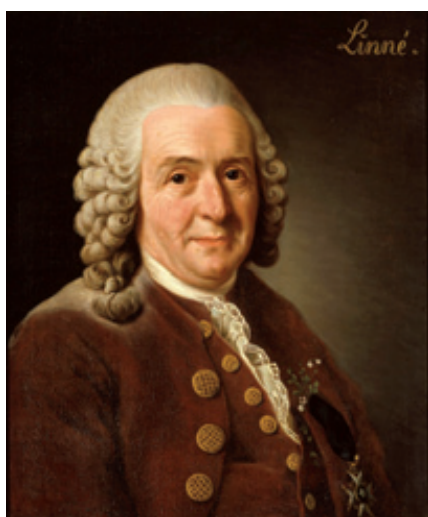


Figura 1. Carl von Linné (1707-1778). Óleo de Alexander Roslin, realizado en 1775.

para acercarse a nuevas concepciones donde las especies pasan a interpretarse como entes formados con posterioridad al momento creador, mediante procesos de hibridación.

Así, pues, desde los más estrictos planteamientos fijistas, parece aceptarse una cierta hipótesis transformista, limitada al medido progreso permitido desde el orden creacional.

## La "unidad tipo" del conde de Buffon (1707-1788)

Georges Louis Leclerc, conde de Buffon (figura 2), entendía las especies como entidades estables en las que permanecen los caracteres a lo largo de las generaciones y entre las que existe posibilidad de obtener descendientes fecundos. A él se debe el término "degeneración". Según su teoría, expresada en 1766, las especies relacionadas tienen en común una "unidad de tipo", de la que divergen. Buffon admitía que el medio natural podía influir sobre los seres vivos, causando variaciones forzadas por la temperatura o la alimentación, pero pensaba que estas variaciones no eran perdurables y que, cuando las condiciones que forzaban estas variedades desaparecían, las especies volvían a recobrar su antigua estructura.

Buffon no negaba el principio creador, pero sí la intervención directa del Hacedor en cada una de las especies que componen la naturaleza. Aunque atisbó



Figura 2. Georges-Louis Leclerc, conde de Buffon (1707-1788). Óleo de François-Hubert Drouais.

algunas ideas, nunca formalizó una hipótesis sobre el origen y evolución de las especies, al modo en que lo haría el caballero de Lamarck.

## El caballero Lamarck (1744-1829) y la influencia del medio

Esta capacidad de las formas naturales de transformarse y de perpetuar los cambios en ellas acaecidos está subyacente en el pensamiento de Jean Baptiste de Monet, el caballero de Lamarck (figura 3). En su opinión, la especie es sólo provisionalmente estable, con una disponibilidad innata para cambiar, en función del medio en que se desenvuelve. Los cambios ambientales provocan transformaciones en los seres vivos, transformaciones que se perpetúan



Figura 3. Jean-Baptiste de Monet, caballero de Lamarck (1744-1829). Óleo de Charles Thevenin, realizado entre 1802 y 1803.

en la medida en que el cambio de las condiciones de su hábitat se estabiliza. Los postulados expuestos por Lamarck conocerán su más expresiva exposición en su *Philosophie Zoologique* (París, 1809); allí explicará cómo las condiciones del medio provocan caracteres que acaban siendo heredados.

La teoría de Lamarck parte de una premisa básica: la complejidad progresiva de la naturaleza. En opinión de Lamarck, las formas más sencillas de vida nacen por generación espontánea y sobre ellas actúa un sistema de fluidos internos, origen de los diferentes órganos, cada vez de mayor complicación. En este proceso de marcha hacia la complejidad, actúan las condiciones ambientales, capaces de modificar los hábitos de los seres vivos y, con ello, la actividad de sus órganos, que se adecuan, desarrollándose o atrofiándose, en función del uso, y se perpetúan a través de la reproducción.

En su *Système des animaux sans vertèbres* (París, 1801), considerado por algunos autores como el “acta de nacimiento” del lamarckismo, el caballero de Lamarck expone —como ya había sugerido el conde de Buffon— que la existencia de vida sobre la Tierra debía retrotraerse varios miles de millones de años; así, solventa una aparente contradicción: no vemos a las especies

variar y, sin embargo, lo hacen; una variación que resulta muy lenta para la escala de apreciación humana, pero que puede percibirse en la escala de los tiempos geológicos.

### Georges Cuvier (1769-1832) y el valor de la anatomía comparada

Los estudios que abundaban entre las semejanzas de los esqueletos animales son antiguos. Ya Pierre Belon (1517-1564) había dejado asentada, en 1555, la concordancia entre el esqueleto de humano y el de las aves, pero la madurez académica de esta disciplina llegará en los inicios del XIX, de la mano de Georges Cuvier (figura 4), gracias a su habilidad para sintetizar los aportes de la taxonomía y de la paleontología.

En el pensamiento de Cuvier, la disposición funcional de los órganos del animal responde a sus condiciones de vida; estas ideas, que él organizó teóricamente en su “principio de correlación de las partes”, quedan unidas a un “principio de subordinación de funciones”, en el que se establece una estructura jerárquica de las funciones que ha de desarrollar el organismo, al frente de las cuales sitúa las propias del sistema nervioso.

En su modelo clasificatorio, Cuvier establece que el peso del carácter viene



Figura 4. Georges Cuvier (1769-1832). Grabado de James Thomson, colección “Portrait Prints of Men and Women of Science and Technology in the Dibner Library”.

determinado por su importancia funcional, y así plantea una ordenación del mundo animal en cuatro grandes tipos morfológicos: vertebrados, articulados, moluscos y radiados, entre los que no existen formas intermedias. El establecimiento de estos cuatro grandes planes de organización, aislados entre sí, supone una ruptura frente a las concepciones de una “cadena de la naturaleza”, defendidas por Lamarck y otros naturalistas, en la que todos los seres vivos comparten un modelo común desde el que se inicia su desarrollo.

### Etienne Geoffroy (1772-1844) y el principio de economía de la naturaleza

El caballero de Lamarck y el barón de Cuvier compartieron espacio, que no ideas, en el Muséum d'Histoire Naturelle parisino. Junto a ellos trabajó Etienne Geoffroy (apodado Geoffroy Saint-Hilaire) (figura 5), encargado, tras la transformación ocurrida en el Jardin des Plantes, en junio de 1793, de la Cátedra de Zoología de vertebrados.

Los trabajos de Geoffroy sobre anatomía comparada giran en una dirección distinta a la mantenida por Cuvier, más afín a la línea tradicional defendida por el conde de Buffon, inspirada en la búsqueda de un arquetipo, de un único plan de composición, al margen de la forma o de la funcionalidad de los órganos. En su análisis de analogías y homologías entre los órganos, recurrió al estudio de las formas embrionarias. En *Philosophie Anatomique* (París, 1818) señala, por ejemplo, la similitud en el número de piezas de los cráneos de aves y peces y entre éstos y los embriones humanos; sus resultados le conducen a formular un “principio de economía de la naturaleza”, según el cual el desarrollo de una estructura animal conlleva la atrofia de otra.

Los estudios sobre anatomía comparada en Gran Bretaña tienen su máxima representación en la obra del poderoso sir Richard Owen (1804-1892), a quien Charles Darwin conoció e incluso visitó con cierta frecuencia durante sus años londinenses, y que tanto le haría sufrir con sus críticas. Las *Lectures on the*



Figura 5. Etienne Geoffroy Saint Hilaire (1772-1844). Grabado de Ambroise Tardieu, en 1823.

*Comparative Anatomy and Physiology of the Vertebrate Animals* de Richard Owen y su coetánea presentación del arquetipo de los vertebrados, aceptando aquí el esquema defendido por Cuvier, suponen la base teórica imperante en el momento de la publicación del *On the Origin of Species*...

### Charles Lyell (1797-1875): los cambios lentos explican grandes transformaciones

Durante los últimos años del siglo XVIII, la historia de la Tierra y la historia de los seres vivos, hasta entonces transitadas por sendas diferentes, confluyen en sus caminos; el nexo de unión lo constituyen los fósiles. El triunfo de las teorías catastrofistas de Georges Cuvier sobre las concepciones transformistas del caballero de Lamarck se debió, en buena parte, al aumento del registro fósil; frente a los abundantes invertebrados, en particular moluscos, de los registros próximos a París, que tan útiles resultaron para completar la serie establecida por Lamarck, la aparición de restos de vertebrados, de difícil ubicación en la escala de la naturaleza, avaló las hipótesis catastrofistas. No obstante, todas las teorías tuvieron sus públicos.

Hacia los años centrales del XIX, Isidore Geoffroy Saint-Hilaire (1805-1861), hijo de Étienne Geoffroy, reformuló las teorías de su padre y del caballero de Lamarck,

favorables a la variación selectiva, a través del estudio de la cría de animales en domesticación y de la aclimatación de especies. Por su parte, los defensores de la teología natural, arguyendo la perfección del orden creacional, propugnaban la perfecta adaptación de las formas orgánicas al medio, mostrándose contrarios a cualquier proceso de variación. La adaptación de Robert Jameson (1774-1854), profesor de Historia Natural en Edimburgo, de los textos de George Cuvier, publicados bajo el título de *Essay on the Theory of the Earth* (Londres, 1813), en el que se identificaban las catástrofes con el Diluvio bíblico, o la interpretación de los datos geológicos a la luz de las escrituras realizada por William Buckland (1784-1856) en su *Vindiciae Geologicae or the Conexión of Geology with Religion Explained* (Oxford, 1820), son buenos indicadores del peso de estas teorías en la Gran Bretaña de la primera mitad del XIX, cuya estructura se encontraba tan mediatizada por el amplio poder de la jerarquía de la Iglesia anglicana en la vida política y social.

El contrapunto a esta “geología diluvial”, catastrofista, vino de la pluma de Charles Lyell (figura 6). En 1830, Lyell comenzó la publicación de sus influyentes *Principles of Geology* (Londres, 1830-1833), en los que mantiene que la estructura geológica actual se debe a cambios causados por



Figura 6. Charles Lyell (1797-1875). Daguerrotipo de J. E. Mayal, ca. 1870.

procesos lentos y constantes que actúan, a ritmo uniforme, durante periodos inmensos de tiempo. En su opinión, los cambios constantes en la geografía física estaban vinculados a modificaciones en las condiciones medioambientales, lo que provocaba variaciones en la flora y fauna —y también en los fósiles— de las diferentes regiones del globo. La biogeografía cobra, en las teorías de Lyell, una especial importancia como elemento capaz de sustentar sus hipótesis; aún mayor la tendría en las ideas enunciadas por Charles Darwin.

### Thomas Malthus (1766-1834) y la “lucha por la existencia”

La cuestión del equilibrio dinámico de la naturaleza fue otro de los asuntos discutidos en las primeras décadas del XIX. El clérigo William Paley (1743-1805) justificaba, en textos como *Natural Theology* (Oxford, 1802), la adaptación de los organismos al medio y explicaba, como resultado de esta perfecta armonía, las relaciones entre los cazadores y sus presas: sólo las más débiles, las que ya no podían subsistir de manera adecuada, caían en poder de su batidor. La obra de William Paley fue bien conocida por Charles Darwin, pues su lectura era obligatoria para obtener un grado en Letras por la Universidad de Cambridge, y, a tenor de sus comentarios, dejó cierta influencia en su pensamiento.

El efecto de la presión poblacional había tenido una concreción doctrinal, en lo que a los grupos humanos se refiere, en las formulaciones que Thomas Malthus realizara, en 1798, al publicar su *Essay on the Principle of Population* (Londres, 1798), donde establecía la progresión geométrica del crecimiento humano frente a la aritmética de los recursos alimenticios disponibles, de forma que la supervivencia de los individuos quedaba supeditada a su capacidad de adaptación social. Los términos adaptación, desarrollo y progreso se encontraban ya relacionados en la literatura disponible; los mecanismos que permitían interpretar esta relación aún se planteaban oscuros cuando Charles Darwin comenzó a trabajar en la más clásica de sus obras.



Figura 7. Charles Darwin (1809-1882). Óleo de George Richmond, 1840.

### El origen de *On the Origin of Species...*

Según su propio relato, Charles Darwin (figura 7) comenzó a recabar notas para *On the Origin of Species...*, al poco de su vuelta a Inglaterra, en julio de 1837, fuertemente influenciado por los trabajos geológicos de Charles Lyell. En principio se limitó a la acumulación de datos, prescindiendo de cualquier teoría; no tardó en descubrir que la selección era la clave del éxito de la génesis artificial, pero el modo en que este principio podía aplicarse al mundo natural constituyó para él todo un misterio.

En octubre de 1838, 15 meses después de iniciadas sus averiguaciones, leyó —él mantiene que “por casualidad y para entretenerme”— uno de los libros que apuntaron un nuevo foco de luz sobre el problema, el *Essay on the Principle of Population* (Londres, 1798), de Thomas Malthus. El texto produjo un nítido foco de luz sobre el problema que interesaba a Darwin; no obstante, tardó algunos años en esbozar una teoría. En junio de 1842 elaboró un primer esbozo, de apenas 35 páginas, que amplió durante el verano de 1844, hasta llegar a las 230, en un segundo borrador.

En ninguno de estos ensayos se presenta uno de los elementos fundamentales de *On the Origin of Species...*: la tendencia

natural de los seres vivos a divergir en sus caracteres a medida que éstos se modifican. El problema, y su solución, vino a la mente de Darwin años después, cuando ya llevaba años residiendo en Down, cerca de Londres; entonces expondrá, dentro de una idea general sobre la economía de la naturaleza, cómo las modificaciones de la descendencia tienden a adaptarse a una diversidad de espacios, cuando la especie se encuentra en expansión.

Las ideas base que habrían de constituir el cuerpo central de *On the Origin of Species...* estaban en su mente; el proceso de redacción nos es bien conocido: espoleado por el propio Charles Lyell, Darwin empezó a redactar, con mucho detalle —“con una extensión tres o cuatro veces superior a la que mantuvo más tarde en *El origen de las especies...*”—, una versión compilatoria de los casos sobre los que fundamentaba sus hipótesis. En el verano de 1858, cuando apenas llevaba redactada la mitad de su extenso tratado, recibió el artículo de Alfred Russel Wallace (1823-1913): *On the Tendency of Varieties to Depart Indefinitely from the Original Type* (figura 8). Fue precisa una solución de urgencia que llevara a publicar, en el *Journal of the Proceedings of the Linnean Society*,

correspondiente al mes de agosto de 1858, un breve resumen de las teorías de Darwin, junto al ensayo de Wallace y la famosa carta de Darwin a Asa Gray, de 5 de septiembre de 1857, en la que le participaba el esbozo de sus teorías; fue, a todas luces, una solución de compromiso.

En septiembre de 1858, prácticamente obligado por Charles Lyell y Joseph Dalton Hooker (1817-1911), retoma sus viejos apuntes y los reelabora en el formato en que habrían de aparecer, en noviembre de 1859, bajo el título *On the Origin of Species...* (figura 9), un texto que el propio autor consideró “la obra principal de mi vida”.

El libro tuvo un éxito comercial inmediato. La primera edición, de 1.250 ejemplares, se vendió en el mismo día de su publicación, y la segunda, de 3.000, poco tiempo después. ¿Dónde reside la clave de su éxito? El propio Darwin aporta algunos elementos: la larga reflexión que le había llevado a formular su teoría, la redacción de los dos esbozos previos, el compendio de notas que había elaborado con destino a una obra de mayor extensión, lo que le permitió seleccionar los datos y conclusiones más llamativos y lo que él denominó su “regla de oro”:

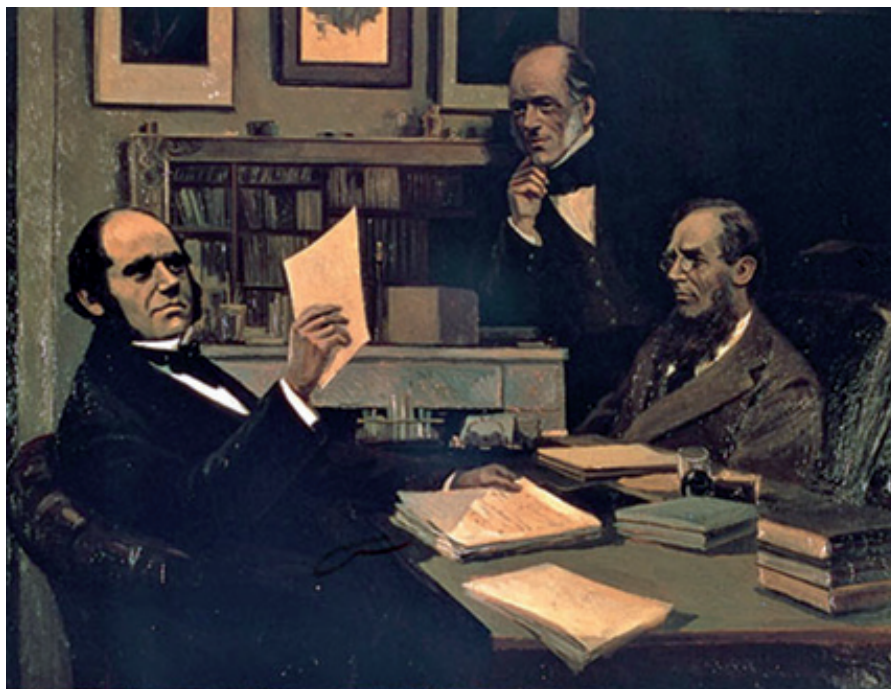


Figura 8. Charles Darwin, junto a Charles Lyell y Joseph Dalton Hooker, lee el escrito remitido por Alfred Russel Wallace en el verano de 1858. Óleo anónimo, escuela inglesa, siglo XIX.

redactar enseguida, y sin falta, una nota siempre que se encontraba con un dato publicado o ante una observación o pensamiento nuevos u opuestos a sus ideas.

Y también refuta, expresamente, otras interpretaciones, tales como que “el tema flotaba en el ambiente” o que “la mente humana estaba preparada para él”. No obstante, algo hay en esta refutación que la hace cierta; por un lado, el hecho mismo de que tales opiniones se produjesen; por otro, el cúmulo de trabajos, de una u otra índole, que preceden a los textos de Darwin y de los que él mismo dio cuenta en el “Historical sketch” que incorpora al *On the Origin of Species...*, a partir de la tercera edición de la obra, impresa en abril de 1861, destinado a comentar, por un lado, el progreso en la aceptación de sus teorías y, de otro, los autores que, antes que él, se habían ocupado de este mismo problema.

Mas, si hemos de hacer un análisis riguroso de las posibles influencias de los primeros evolucionistas sobre el pensamiento de Charles Darwin, habremos de coincidir con las apreciaciones formuladas por su hijo,

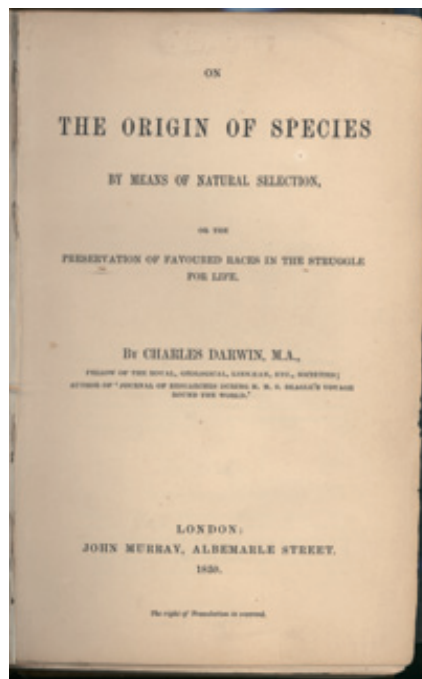


Figura 9. Portada de la primera edición de *On the Origin of Species by Means of Natural Selection...* (Londres, John Murray, 1859).

Francis Darwin (1848-1925): tal influencia fue inapreciable y, en lo que se refiere a la historia de *On the Origin of Species...*, no tiene particular importancia, porque la teoría del evolucionismo no prosperó en el pensamiento de Darwin hasta que concibió la causa de la modificación de

En septiembre de 1858, prácticamente obligado por Charles Lyell y Joseph Dalton Hooker (1817-1911), retoma sus viejos apuntes y los reelabora, en noviembre de 1859, bajo el título *On the Origin of Species...*, un texto que el propio autor consideró “la obra principal de mi vida”

los seres vivos. Ya afirmó Thomas Henry Huxley (1825-1895): “No es exagerado decir que la mayoría de la obra de Darwin es el resultado de la decidida aplicación a la biología de la idea principal y del método aplicado en los *Principios* a la geología [de Charles Lyell]”.

## Bibliografía

- Appel, Toby A. (1987). *The Cuvier-Geoffroy debate, French biology in the decades before Darwin*, Oxford University Press, Nueva York.
- Bourdier, Franck (1972). Lamarck et Geoffroy Saint-Hilaire face au problème de l'évolution biologique, *Revue d'Histoire des Sciences*, 25(4), 311-325, París.
- Darwin, Charles [Enrique Godínez (trad.)] (1877). *Origen de las especies por medio de la selección natural o la conservación de las razas favorecidas en la lucha por la existencia*, Biblioteca Perojo, Madrid-París, 6.
- Darwin, Charles [Francis Darwin (ed.), Aarom Cohen y María Teresa de la Torre (trads.) y Luis García Ballester (ed.)] (1977). *Autobiografía*, Alianza, Madrid, 2 vols.
- Darwin, Charles [José Luis Gil Aristu (trad.) y Martí Domínguez (ed.)] (2008). *Autobiografía, Laetoli*, Pamplona.
- Darwin, Charles y Wallace, Alfred Rusel [Joan Lluís Riera (trad.) y Fernando Pardos (ed.)] (2006). *La teoría de la evolución de las especies*, Crítica, Barcelona.
- González Bueno, Antonio (2001). *El príncipe de los botánicos, Linneo*, Nivola, Madrid.
- González Bueno, Antonio (2007). El misterio de los misterios. Teorías e hipótesis sobre el origen de las especies antes de Darwin, en Juanes Ródenas, Beatriz (coord.), *Desde la memoria... Historia, Medicina y Ciencia en torno a... Darwin*, Fundación de Ciencias de la Salud, Madrid, 35-54.
- Pelayo, Francisco (2001). *Charles Darwin: De la creación a la evolución*, Nivola, Madrid.
- Piveteau, Jean (1950). Le débat entre Cuvier et Geoffroy Saint-Hilaire sur l'unité de plan et de composition, *Revue d'Histoire des Sciences*, 3(4), 343-363, París.
- Secord, James A. (2001). *Victorian Sensation. The Extraordinary Publication, Reception and Secret Authorship of Vestiges of the Natural History of Creation*, University of Chicago Press, Chicago.
- Virgili, Carmina (2003). *El fin de los mitos geológicos. Lyell*, Nivola, Madrid.

# Expedición Groenlandia 2009 (II)

## Puntos de interés geológico de la región SO<sup>1</sup>

Para aquellos que tengan ocasión de viajar a Groenlandia y estén interesados en conocerla geológicamente a fondo, se indican algunos puntos de interés geológico que pueden ilustrar su curiosidad para conocer un terreno geológico único en el mundo.

**Texto |** Domingo de Guzmán Fuente Puente, geólogo ([guzmanf1488@icog.es](mailto:guzmanf1488@icog.es)); Carlos J. de Miguel Ximénez de Embún, geólogo ([carlosj.demiguel@gmail.com](mailto:carlosj.demiguel@gmail.com)); José Manuel García Aguilar, doctor en Ciencias Geológicas ([chemacvanos@msn.com](mailto:chemacvanos@msn.com))

Palabras clave  
**Groenlandia, puntos de interés geológico (PIG), expedición**

**FOTOGRAFÍAS** | Guzmán Fuente: 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 18, 19, 21, 22, 23 y 24; José Manuel García Aquilar: 17, 28, 29, 30, 32, 34, 35 y 37; María del Carmen Salcedo de Lara: 36; Antonio Aguado: 27.

El extremo SO de Groenlandia puede considerarse una región de excepcional interés geológico a escala mundial. Es un escenario único para llevar a cabo actividades de tipo geoturístico (senderismo, rutas fotográficas, etc.) y geodidáctico, donde pueden ser observados in situ multitud de fenómenos geológicos ligados a la actividad de agentes externos asociados al sistema glaciar-periglacial y un excepcional catálogo de rocas, minerales y estructuras geológicas. Es por todo ello que dicha zona es altamente recomendable como destino de viaje para profesionales de la geología, profesores, aficionados o, simplemente, personas interesadas en conocer un lugar especial de interés geológico.

En la *figura 3* de la primera parte del artículo se presentaba el mapa general de la situación de los PIG en el orden que se citan a continuación. La geología de la zona estaba en la *figura 18*.

## Qassiarsuk

*Nombre:* Qassarsuk.

*Tipo de interés:* petrológico y estratigráfico, también geomorfológico.

*Localización (figura 1):* coordenadas geográficas aproximadas: 61° 09' 03" N, 45° 30' 58" O (inicio del itinerario en

Qassiarsuk); 61° 08' 44" N, 45° 38' 03" O  
(playa de témpanos de Tasiusaq).

*Acceso:* partiendo del aeropuerto de Narsarsuaq, en su puerto local, situado un kilómetro al sur, se toma una embarcación que cruza al otro lado del fiordo tras una travesía de unos 2 kilómetros. A la granja de Tasiusaq se accede tras un recorrido a pie de unos 7 kilómetros, que se puede iniciar en el monumento a Leif Eriksson (hijo de Erik el Rojo).

*Contexto geográfico:* en los alrededores del poblado de Qassiarsuk se sitúa el antiguo poblado vikingo de Brattahild, lugar del primer asentamiento de Erik el Rojo

en la margen oeste del fiordo Qinnngua o Qassiarsuk, que constituye uno de los ramales superiores del fiordo Tunulliarfik o Erik's Fjord. El poblado se halla sobre depósitos de una playa levantada, rodeado de suaves relieves de unos 300-400 metros de cota. La granja de Tasiusaq se encuentra al otro lado de estos relieves, en una pequeña ensenada del fiordo Sermilik o Bredefjord, situado más al oeste, y habitada por siete personas que viven en notable aislamiento junto a dicho fiordo.

*Contexto geológico:* la zona se halla enclavada junto a una serie vulcano-sedimentaria perteneciente al complejo Gardar, de edad Proterozoico superior



Figura 1. Localización y ruta efectuada en Qassiarsuk (modificado del Mapa del Sur de Groenlandia a escala 1:250.000, editado por Arctic Sun Maps©. Los sucesivos planos de situación de los PIG tienen la misma procedencia).

1. La primera parte de este artículo referente a la expedición se publicó en el número anterior de esta revista (T&T 36, 16-28. ICOG, 2009).

(1350-1250 M.a.), que corresponde a un inicio de *rift* desarrollado en sentido NE-SO desde Canadá hasta unos 4.000 kilómetros al NE, mediante una extensión de la corteza en sentido ortogonal. Todo ello crea un sistema de fallas de gravedad que origina un surco deposicional subsidente y la sedimentación de unos 3.600 metros de areniscas y lavas basálticas interestratificadas. Estas areniscas, en muchos casos ferruginosas, se depositan en ríos que fluyen en paralelo a la dirección del rift y que erosionan los granitoides del sustrato, pertenecientes al cinturón ketilídico de edad Proterozoico inferior, los cuales se pueden observar en la zona de Tasiusaq.

*Descripción e interpretación:* en Qassiarsuk se pueden observar buenos afloramientos de la secuencia vulcano-sedimentaria en la que se presentan interestratificadas distintos tipos de rocas. Junto al Leif Eriksson Hostel afloran areniscas blancas de la formación Eriksfjord (figura 2), con espectaculares laminaciones y estratificaciones cruzadas y que se presentan en forma de bloques removilizados a causa de la fracturación. También muestran una incipiente meteorización alveolar. Sobre estas facies se depositaron tobas ricas en carbonatos, de tonalidades rojizas (figuras 3 y 4), formadas por erupciones volcánicas datadas en 1.200 M.a. y que representan



Figura 2. Afloramiento de areniscas Gardar, situadas detrás del Leif Eriksson Hostel.

un afloramiento casi excepcional de este tipo de rocas. El conjunto se encuentra formando parte de un antiguo graben, a través de cuyas fisuras se ha producido, también, la intrusión de diques basálticos. El monumento a Leif Eriksson se encuentra sobre una brecha subvolcánica (diatrema) de estas rocas carbonáticas.

Desde este monumento se puede realizar un itinerario hasta la granja de Tasiusaq, atravesando estos mismos materiales, menos afectados por la fracturación, a través de un paisaje de llanuras elevadas

a unos 200-300 metros de cota, con enormes estrías de dirección NE-SO y NO-SE y escala kilométrica, surcos y oquedades, debidos a la acción erosiva glaciar, que forman lagos y lagunas de tamaños muy variables, hasta 200 metros. Cerca de la granja, se accede a una pequeña ensenada desde donde se puede observar un espectacular “bosque” de témpanos varados en la playa, procedentes del glaciar Eqaloruutsit (figura 5). En este punto ya se observan afloramientos de granitos sieníticos del cinturón ketilídico.



Figura 3. Rocas carbonáticas rojizas sobre las areniscas anteriores. Al fondo, el monumento a Leif Eriksson.



Figura 4. Detalle de la brecha de rocas carbonáticas. Las estructuras brechoideas internas miden unos 3-5 centímetros de diámetro.



Figura 5. Playa de témpanos de Tasiusaq.



Figura 6. Situación del campamento "fletanes" y trazado de las rutas efectuadas desde este punto.

*Contexto geográfico:* el campamento "fletanes" se halla en el extremo norte del fiordo Qalerallit (que quiere decir "fletanes" en lengua inuit), que constituye, a su vez, un brazo menor del fiordo Sermilik o Bredefjord.

*Contexto geológico:* Qalerallit expone, fundamentalmente, rocas del complejo ketilídico, aunque también se puede observar una gran variedad de rocas pertenecientes a reducidas intrusiones de la unidad Gardar. El término "ketilídico" procede del nombre vikingo fiordo Ketils, conocido actualmente como Tasermiut. Estas rocas están representadas por facies plutónicas (granitoides) pertenecientes al batolito Julianehåb (antiguo nombre de Qaortoq), que constituye el basamento de la zona, acompañado en zonas más al sur por rocas pelíticas y psamíticas metamorfozadas y migmatizadas. El batolito Julianehåb se interpreta como la zona de raíz de un arco-isla original en el borde del cratón arcaico situado al norte y se halla casi enteramente compuesto

### Campamento "fletanes"

**Nombre:** Qalerallit (campamento "fletanes").

**Tipo de interés:** de gran interés geomorfológico, también petrológico.

**Localización (figura 6):** coordenadas geográficas aproximadas del campamento "fletanes", base de los itinerarios, 60° 59' 10" N, 46° 40' 24" O.

**Acceso:** mediante navegación desde el punto anterior (Qassiarsuk), recorriendo el fiordo Tunulliarfik en dirección S-SO hasta el estrecho de Narsaq donde, con rumbo norte, se pasa al fiordo Sermilik para continuar aguas abajo durante un corto recorrido y entrar en el fiordo

Qalerallit. El campamento se encuentra casi al final del fiordo, en la orilla sur del mismo, sobre una playa arenosa en la orilla opuesta del frente glaciar.



Figura 7. Vista de la sección monoclinal de la orilla oeste del fiordo Tunulliarfik.



Figura 8. Frente este del glaciar Qalerallit.



Figura 9. Campamento "fletanes".



Figura 10. Trayecto a través del glaciar.

por rocas plutónicas calcoalcalinas emplazadas entre 1850 y 1800 M.a., al final de la orogenia ketilídica. El batolito aparece en superficie tras haber estado sometido a erosión.

Por último, el retroceso de los hielos de los últimos miles de años, así como el levantamiento isostático de Groenlandia, han dejado expuestos en esta zona los afloramientos de estas rocas, acompañados de un amplio catálogo de morfologías glaciares, así como espectaculares planicies correspondientes a distintos niveles de paleoplayas y un fiordo seco.

*Descripción e interpretación:* en el tramo de navegación de Qassiarsuk a Narsaq se puede observar, a lo largo de toda la orilla oeste del fiordo, una completa sección monoclinial de rocas metasedimentarias

y basálticas del grupo Gardar y granitos ketilídicos (figura 7). La erosión diferencial de las capas de arenisca y los flujos de lava basáltica situados sobre éstas, junto a su estructura monoclinial, originan una morfología inclinada muy característica que se sucede durante varios kilómetros hasta su contacto con el complejo Ilimaussaq. La ruta posterior hasta Qalerallit transcurre entre granitos ketilídicos, si bien en la zona del campamento, éstos, junto a pequeñas intrusiones Gardar y una gran cantidad de diques volcánicos, dan lugar a un amplio catálogo petrológico: granitos, sienitas, dioritas, gabros... e, incluso, rocas ultramáficas de grandes cristales como troctolitas y olivino-noritas.

El campamento "fletanes" (figura 9) se encuentra enclavado a unos 4 kilómetros frente al glaciar Qalerallit (figura 8), desde donde se puede asistir al espectáculo del estruendo de los "seracs" desprendiéndose. Este glaciar, con más de 10 kilómetros de recorrido, está compuesto por dos brazos: el oeste y el este (este último también conocido por glaciar Naajaat), que muestran en su contacto con el fiordo paredes verticales, numerosos témpanos, icebergs y murallas de hielo, que constituyen una de las masas heladas más viejas del planeta. La caminata con crampones que realizamos en un lateral del frente glaciar (figura 10) nos permitió observar con detalle distintas formas y procesos glaciares: lenguas glaciares con sus correspondientes morrenas laterales, centrales y frontales; depósitos de tillitas; bloques erráticos; mesas glaciares, etc. (figura 11), así como explorar las distintas morfologías esculpidas en el hielo: cuevas, sumideros, grietas y seracs, entre otras.

También desde el campamento se realiza la ascensión al lago Tasersuatsiaq o Kangerluatsiup, a través de un valle de



Figura 11. Detalle de los depósitos asociados al glaciar.



Figura 12. Superficie y depósitos del nivel de paleoplaya. Al fondo, a la derecha, y al mismo nivel, se adivina el lago.

cálidos posteriores al último periodo glaciario (fase Weichselian), que dio lugar a la fusión de los hielos y el consiguiente ascenso isostático en el conjunto de Groenlandia.

El lago tiene una forma trapezoidal con unas dimensiones máximas de casi 3 por 5 kilómetros (figura 13). Podría constituir otro lago glaciario, como los que abundan por la zona, o un *lagoon* interior desalinizado, sin descartar un control tectónico en su origen, dados los escarpes y alineaciones observadas en su contorno. Desde el lago se puede continuar caminando hacia el norte hasta la cota de 400 metros, desde donde se pueden observar unas magníficas panorámicas tanto del propio lago como del glaciario, el *inlandsis* y sus *nunataks* (figura 14).

Otro trayecto desde el campamento, esta vez hacia el SE, y tras una caminata de unos seis kilómetros, permite acceder al fiordo seco de Marraq (figura 15).

arena de aspecto desértico, hasta alcanzar una plataforma plana que constituye un nivel de paleoplaya, situado en la cota 120 metros (figura 12). Dentro de los barrancos de erosión asociados a esta paleoplaya se observan espectaculares *sets* de

estratificación cruzada, pertenecientes a antiguas dunas, asociados a depósitos marinos más antiguos, datados en unos 10.000 años. Estas cotas son más altas de lo esperado debido a una pérdida global de 40-50 metros en uno de los periodos



Figura 13. Vista del lago Tasersuatsiaq desde la cota 400. A la izquierda del mismo se observa la paleoplaya.



Figura 14. Vista del fiordo y glaciar de Qalerallit desde el punto anterior. Obsérvese la morfología en domo de los materiales graníticos de la zona.



Figura 15. Fiordo seco de Marraq.



Figura 16. Localización de la isla Unartog.

## Unartog

**Nombre:** Unartog.

**Tipo de interés:** hidrogeológico, geotermal, geomorfológico y, en menor medida, petrográfico.

**Localización (figura 16):** coordenadas geográficas aproximadas de la fuente termal de Unartog: 60° 30' 27" N, 45° 20' 01" O.

**Acceso:** sólo mediante navegación, a través del sistema de fiordos entre Alluitsup Paa y Nanortalik.



Figura 17. Surgencia termal de Unartog.

**Contexto geográfico:** Unartog (en groenlandés "isla templada") constituye una pequeña isla de unos 5 por 2 kilómetros, situada en el fiordo del mismo nombre, cerca de la población de Alluitsup Paa. Las aguas termales de Unartog son únicas en todo el sur de Groenlandia y sirven de lugar de vacaciones y acampada de muchos groenlandeses en un marco de singular belleza, rodeado de témpanos de hielo y escarpados picos.

**Contexto geológico:** el entorno de la isla se compone de rocas ketilídicas, producto de la alteración y erosión del batolito Julianehåb. Los productos de esta erosión fueron depositados en una cuenca *fore-arc* hacia el sur del arco como depósitos arenosos en la parte más proximal y arcillosos en zonas más distales de la cuenca, con una hipotética placa oceánica situada más hacia el sur.

Estos antiguos sedimentos se presentan ahora en dos sectores: zona de rocas psamíticas (areniscas y limolitas feldespáticas metamorizadas y conglomerados en menor medida) y zona de rocas pelíticas (limolitas, metalimolitas y arcillitas) en el extremo sur de Groenlandia. La compresión, deformación, migmatización y plegamiento de estas rocas tuvo lugar durante la orogenia ketilídica, terminando con la intrusión de rocas ígneas (granitos rapakivi, cuarzo-monzonitas y granodioritas de textura rapakivi) en las zonas de areniscas y pizarras. Las intrusiones del conjunto rapakivi, que ocupan aproximadamente 3.000 km<sup>2</sup>, fueron emplazadas entre 1.755 y 1.723 M.a.

**Descripción e interpretación:** el punto hidrotermal de Unartog (figura 17) forma una surgencia puntual de escaso tamaño



Figura 18. Cotas de alto relieve situadas al norte de la isla, en contraposición con otras más suaves, situadas al sur.



Figura 19. Detalle de las alternancias de rocas foliadas y deformadas de Uunartoq.

(laguna de unos 13 metros de diámetro) a elevadas temperaturas (medidas realizadas por nosotros han marcado temperaturas de unos 36 °C). Se trata de un fenómeno excepcional en Groenlandia (quizá el único en el sur) y, al contrario de lo que ocurre en Islandia, no está directamente relacionada a un volcanismo activo, sino a una

circulación hidrotermal a través de una fractura enraizada, probablemente de gran profundidad, que aflora en este punto.

Geomorfológicamente, además de la observación de los espectaculares fiordos salpicados de abundantes témpanos, destaca el modelado diferencial de las montañas circundantes controlado por la litología. En el entorno se presentan picos escarpados (figura 18) con aristas angulosas de perfil alpino, tipo “horn”, resultado del modelado glaciar sobre los materiales no graníticos de la zona (metaareniscas, metapelitas, gneises y migmatitas), que aparecen fundamentalmente al norte de la isla como afloramientos que alternan estos materiales en capas deformadas y foliadas, tal y como puede observarse en el puerto (figura 19), en contraposición a las formas más suaves de paisaje asociadas a los granitos rapakivi, situados más al sur.

## Narsaq

Nombre: Narsaq.

Tipo de interés: elevado interés petrológico y mineralógico; en menor medida geomorfológico.

Localización (figura 20): coordenadas geográficas de Narsaq, 54° 44' 00" N, 46° 02' 50" O.

Acceso: bien por navegación desde cualquiera de los puntos anteriores o helicóptero desde Narsarsuaq, Nanortalik o Qaqortoq.

Contexto geográfico: Narsaq es el tercer poblado más habitado del sur de Groenlandia, con unos 1.700 habitantes. Es un término groenlandés que significa “llanura”, en referencia a la extensa planicie en la que se asienta el pueblo rodeado de un espectacular sistema de fiordos.



Figura 20. Localización de Narsaq.



Figura 21. Detalle de los enormes fenocristales de plagioclasa presentes en las anortositas de Narsaq.

**Contexto geológico:** Narsaq se asienta básicamente sobre terrenos de la unidad Gardar, pertenecientes al complejo Dyrnæs-Narsaq, y muestra una gran variedad de rocas como gabros, anortositas, granitoides, sienitas, diatremas volcánicas y rocas ultramáficas. Al norte y al este de la península de Narsaq aparece el complejo Ilimaussaq. Se trata de un sistema intrusivo de 8 x 17 kilómetros de tamaño, situado entre dos fiordos (Kangerdluassuk y Tunulliarfik), y se considera uno de los complejos ígneos más importantes del mundo por su enriquecimiento en tierras raras, representado en un reducido ámbito por más de 225 minerales, 30 de los cuales fueron descritos por primera vez en el complejo Ilimaussaq como tugtupita, eudialita, sodalita, steenstrupina, arfvedsonita, etc., y 12 de ellos sólo se encuentran aquí (entre otros, sorensonita y naujakasita).

El complejo Ilimaussaq está constituido por un grupo de rocas sieníticas clasificadas como sienitas nefelínicas, conocidas localmente como agpaítas, dentro de las cuales se distinguen variedades como la naujaíta, bien representada y muy llamativa, de variados colores verdosos, blancos, negros y rojizos, y en la que se encuentran la mayoría de los minerales citados anteriormente; la lujavrita, sin duda la roca más rica en elementos raros, de tonalidades verdosas por su alto contenido en sodalita, o negras, cuando predomina la arfvedsonita; y la kakortokita, que no aparece en la zona visitada, compuesta por una sucesión de tres capas, una negruzca rica en arfvedsonita, otra en eudialita y la última en feldespato blanco. Además, todas estas rocas están acompañadas de una gran variedad de venas



Figura 22. Valle glaciar Narsaq Elv. Obsérvese el casi perfecto perfil en "U" de dicho valle.

pegmatíticas, así como intrusiones de sienitas augíticas, en las que se pueden encontrar grandes cristales de algunos de los minerales mencionados. Constituye, por tanto, un auténtico paraíso para petrólogos y mineralogistas. El complejo Ilimaussaq se formó a partir de magmas basálticos que fueron modificados durante su ascenso desde el manto y enriquecidos tanto en flúor, cloro y azufre, como en una gran variedad de elementos, entre los que tenemos litio, berilio, niobio y zirconio, además de tierras raras como uranio, itrio y thorio.

**Descripción e interpretación:** en el mismo poblado de Narsaq se pueden observar espectaculares afloramientos de anortositas del complejo Dyrnæs-Narsaq, en las que destacan los enormes fenocristales de plagioclasa (figura 21).

Desde Narsaq, ya dentro del complejo Ilimaussaq, se inicia, hacia el norte, la visita al valle glaciar de Narsaq Elv (figura 22), que conduce al pequeño glaciar colgado de Narsaq Bræ, situado a una altitud entre 900 y 1.300 metros. Recorriendo todo su amplio fondo en "U" se pueden recolectar algunos



Figura 23. Bocamina de Kvaneffjeld, antigua explotación de uranio.

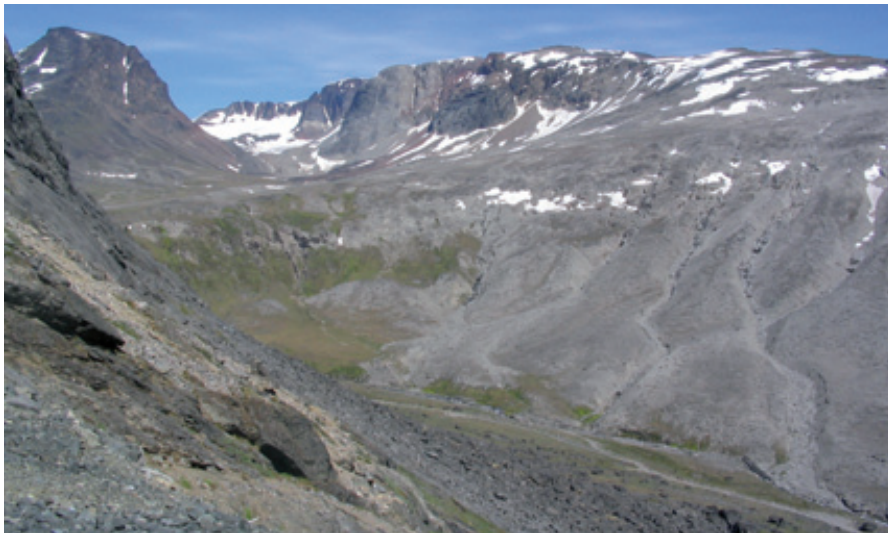


Figura 24. Vista desde el punto anterior del frente del glaciar Narsaq Bræ y su morrena frontal al fondo, hacia la izquierda.

de los raros minerales mencionados anteriormente como la eudialita, así como observar todas las amplias variedades petrológicas de la zona.

Tras un recorrido de unos 6-7 kilómetros, se alcanza la zona de la escombrera de la mina de Kvanefjeld, frecuentada por numerosos coleccionistas de minerales. Desde aquí, pasando a la ladera, y tras un par de kilómetros de ascensión por una pista zigzagueante, se llega hasta la entrada de la bocamina (figura 23). En este punto se presenta una espectacular vista de la parte alta del valle, desde donde se adivina su frente glaciar y se observa la morrena que señala su máxima extensión (figura 24).

La bocamina de Kvanefjeld se encuentra actualmente sellada, debido a su radioactividad por uranio, asociada a rocas lujavíricas ricas en steenstrupina. El yacimiento de Kvanefjeld fue descubierto en 1956 y prospectado en diferentes fases entre

1958 y 1982, dejando en su parte baja una escombrera producto de la extracción de la mena, con el fin de ensayar su tratamiento y aprovechamiento. Entre los materiales apilados en esta escombrera se presentan varios tipos de lujavritas y rocas volcánicas modificadas con presencia de steenstrupina, naujakasita y villiaumita. Actualmente, está siendo investigada por la compañía Greenland Minerals & Energy (GGG) que cifra unas reservas de 120.000 toneladas de uranio, además de casi cinco millones de toneladas de otros óxidos de tierras raras ([www.ggg.gl/Projects/Kvanefjeld-Project-Greenland.htm](http://www.ggg.gl/Projects/Kvanefjeld-Project-Greenland.htm)).

Como complemento a lo observado en este trayecto, y ya en el centro de Narsaq, se puede visitar la casa del señor Borge Brodersen, un geólogo danés asentado

en este poblado, donde podremos disfrutar de una magnífica colección de minerales y rocas de la zona. También tendremos la oportunidad de adquirir, entre otros muchos, ejemplares de tugtupita, raro mineral considerado la gema nacional de Groenlandia. Sus características fluorescentes frente a los rayos UV, como muchos otros minerales del entorno, nos permiten reconocerla frente a otras especies de aspecto muy similar, como la eudialita.

La tugtupita fue descubierta en esta zona en 1957 y hasta la fecha sólo se ha encontrado en otras dos áreas: el monte Saint Hilaire (Canadá) y la península de Kola (Rusia). La tugtupita de Kvanefjeld se encuentra dispersa en venas hidrotermales de hasta 50 centímetros de anchura, intruidas en naujaítas y sienitas augíticas. El mineral pertenece al grupo de los tectosilicatos y su fórmula química destaca por la presencia de sodio y berilio:  $\text{Na}_2\text{BeAlSi}_4\text{O}_{12}\text{Cl}$ . De todas sus propiedades externas, sin duda destaca su intenso y llamativo color, que suele oscilar entre el rosado y el carmín intenso (figura 25), así como su reactividad frente a la radiación ultravioleta.

### Igaliku

Nombre: Igaliku.

Tipo de interés: geomorfológico y tectónico; en menor medida, petrológico.

Localización (figura 26): coordenadas geográficas de Igaliku, 60° 59' 18" N, 45° 25' 35" O.



Figura 25. Detalle de la tugtupita, considerada la gema nacional de Groenlandia (<http://minerals.caltech.edu/files/Visible/tugtupite/tugtupite8080.jpg>).



Figura 26. Localización de Igaliku.



Figura 27. Panorámica general de Igaliku. Obsérvese el amplio catálogo de formas de relieve litoral.

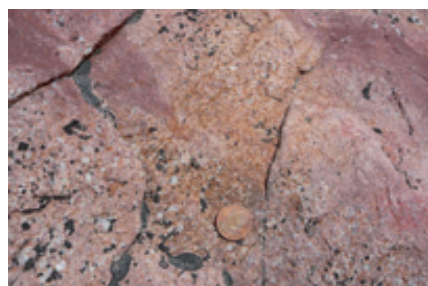


Figura 28. Detalle de las areniscas rojas del complejo Gardar en Itilleq.

**Acceso:** bien por navegación a través del fiordo Igaliku o desembarcando en Itilleq, situado en el fiordo Tunulliarfik, a unos 10 kilómetros al sur del aeropuerto de Narsarsuaq, y accediendo por una pista de tierra de unos 4 kilómetros.

También se puede acceder mediante helicóptero desde Nanortalik o Qaqortoq.

**Contexto geográfico:** Igaliku constituye un pequeño poblado de pocos cientos de habitantes, famoso por haber sido la sede del obispado de Gardar durante la dominación nórdica de Groenlandia, entre los siglos X al XVI. Actualmente, pueden observarse las ruinas de la antigua iglesia y la casa del obispo. Estas ruinas se componen de bloques de arenisca roja, siendo algunos de ellos reutilizados años atrás para la construcción de las casas del poblado. Igaliku se halla enclavada en el extremo del fiordo que lleva su nombre, junto a una llanura prelitoral rica en pastos, que termina en algunas playas arenosas y en

un río de procedencia norte, que nace en un lago glaciar a cota 130 metros y recorre unos 2,5 kilómetros hasta desembocar en el fiordo. Al oeste del poblado se halla una colina de unos 800 metros de altura, desde donde podemos obtener una buena visión panorámica de toda la zona (figura 27).

**Contexto geológico:** la zona circundante a Igaliku pertenece, desde el punto de vista geológico, a la unidad Gardar (Proterozoico medio), mostrando materiales sedimentarios detríticos (areniscas rojas) intercalados con diques intrusivos basálticos de escala decimétrica. Uno de ellos se prolonga con una traza rectilínea en dirección ENE-OSO durante algunos kilómetros a ambos lados del fiordo, muestra fenocristales grises de plagioclasa y fragmentos de anortositas. Al sur y al norte de este conjunto aparecen mediante contactos de falla las unidades plutónicas del complejo ketilídico (granitos Julianehab). El poblado de Igaliku se asienta en una llanura compuesta principalmente de areniscas interestratificadas con capas de lava basáltica y tufas.

**Descripción e interpretación:** el afloramiento de areniscas rojas situado junto al embarcadero de Itilleq (figura 28) puede considerarse como uno de los más significativos de la zona. Las rocas observadas consisten en capas estratificadas de escala métrica de color rosa oscuro-rojo, con diversas estructuras sedimentarias internas como son granoclasificación, laminación horizontal y laminación cruzada. En todo caso, las areniscas presentan un



Figura 29. Panorámica del sector este del fiordo Igaliku, donde se observa la evolución desde un valle glaciar en "U" hacia otro fluvial en "V" (apreciable en el fondo del valle). Destaca, además, el magnífico ejemplo de abanico aluvial deltaico, desarrollado en la parte final del cauce.



Figura 30. Panorámica del sistema de fallas normales que limitan las unidades Gardar y Ketilídica al sur de Igaliku. Los escarpes apreciados corresponden a los planos de falla originales, seccionados por una fractura de salto en dirección visible en la parte media de la imagen.

grado de selección granulométrica importante y un grado de redondeamiento poco desarrollado. El medio de depósito de estas areniscas quedó fijado en un contexto fluvial de clima árido hace unos 1.300 M.a. Estas areniscas son muy apreciadas en la zona como roca ornamental.

Desde los relieves situados al sur y al oeste de Igaliku podemos disfrutar de unas espectaculares panorámicas. Desde aquí se aprecia un extenso catálogo de fenómenos geomorfológicos y tectónicos de gran interés. Entre los primeros destacan varias formas de modelado litoral, como son barras arenosas, una albufera, islas, un tómbolo, playas y abanicos deltaicos. También en el margen este del fiordo Igaliku se aprecia un curioso fenómeno de evolución de valle glaciar hacia valle fluvial (figura 29), de modo que el típico perfil en "U" aparece modificado en su zona basal hacia un perfil en "V", típico del tallado mediante flujos líquidos. En dirección este aparecen relieves de tipo alpino, donde se pueden apreciar fenómenos morfológicos como circos colgados, *horns* y *nunataks* sobre la planicie del *inlandsis*.

Entre los fenómenos tectónicos a destacar figura un espectacular sistema de fallas normales en escalera, con tres planos principales de escarpe, virtualmente desarrollados en tiempos recientes, que limitan en cartografía los materiales de la provincia Gardar del conjunto plutónico ketilídico (figura 30). Los saltos verticales de falla se han estimado en unos 5-6 metros. Por otro lado, ha podido apreciarse una falla de salto en dirección posterior a estas fracturas normales, que ha causado en éstas un evidente desplazamiento lateral.

### Fiordo Qooroq

**Nombre:** fiordo Qooroq.

**Tipo de interés:** geomorfológico y petrológico.

**Localización (figura 31):** coordenadas geográficas aproximadas: 61° 2' 08" N, 45° 23' 57" O.

**Acceso:** mediante navegación desde Narsarsuaq y Qasiarsaq, y caminando desde Itilleq.

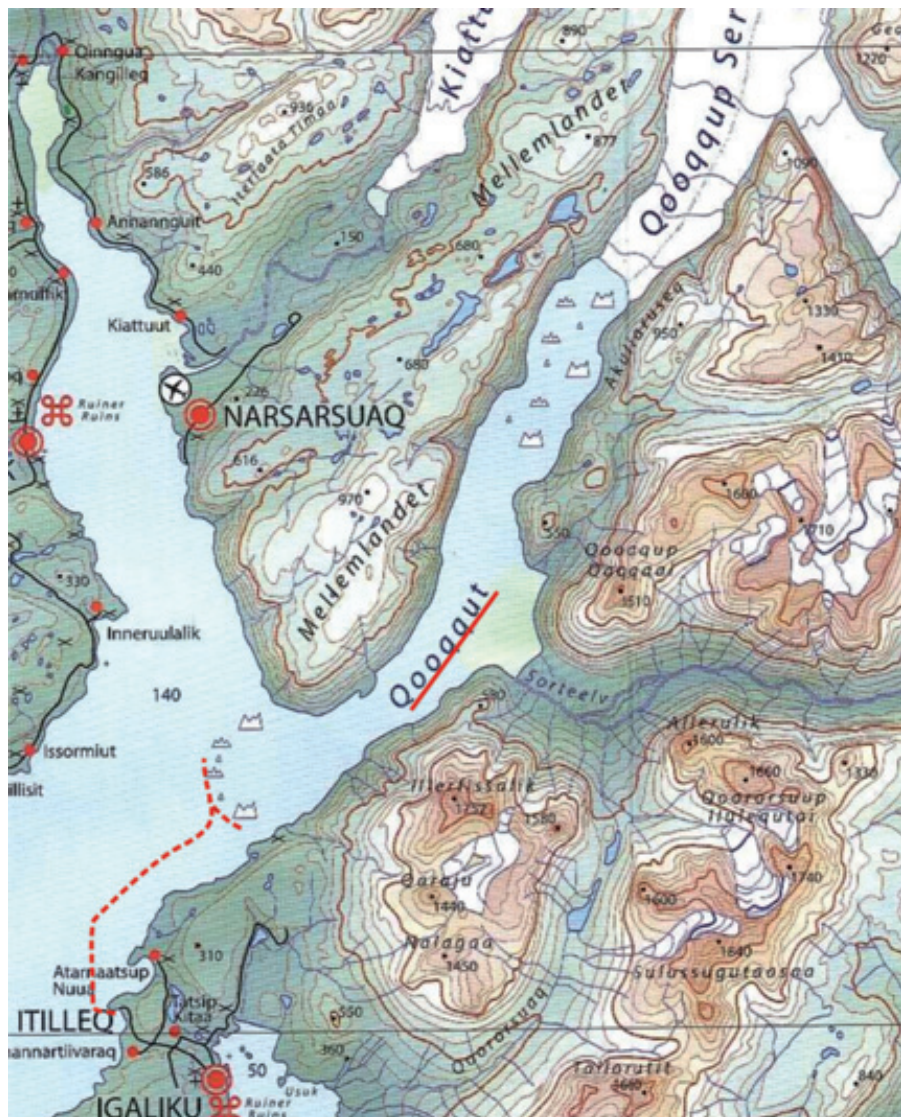


Figura 31. Localización del fiordo Qooroq.

**Contexto geográfico:** el fiordo Qooroq y el glaciar Qooqqup se sitúan al noroeste de la localidad de Igaliku y al sureste de Narsarsuaq. Se trata de un fiordo encajado de una anchura media de 1,5 km y orientación NE-SO, jalonado por cotas de 900 a 1.600 metros de altura a ambos lados, lo que le confiere un perfil topográfico espectacular. La zona superior del fiordo conecta con el glaciar a través de una banda compuesta por abundante banquisa estacional, que nutre de témpanos e icebergs el fiordo matriz de Tunulliarfik.

**Contexto geológico:** la zona pertenece al complejo Igaliku, incluido en la provincia Gardar, con una edad de 1.200 a 1.300 M.a. Petrológicamente, está compuesto por diversos tipos de sienitas s.l. y sienitas nefelínicas que se caracterizan por un alto

contenido en sodio y potasio y bajos contenidos en otros silicatos. Los diques de traquita son visibles desde la zona norte del valle. Desde el punto de vista geomorfológico, estas intrusiones sieníticas ofrecen un perfil en domo muy característico, reflejado en algunos casos en curvas de nivel de tipo circular y cimas que pueden superar los 1.600 metros de altura.

**Descripción e interpretación:** quizá son los procesos glaciares uno de los fenómenos geológicos que más nos atraen por su magnitud y por su carácter exótico en nuestras latitudes. Dentro de la clasificación de glaciares (Stralher, 1979) tenemos en Groenlandia los de tipo alpino, formados por circo, lengua glaciar y zona de fusión o, como suele ser normal en Groenlandia, desembocadura en un fiordo,



Figura 32. Imagen del glaciar Qooqqup y su evolución hacia depósitos de banquisa en su zona baja dentro del fiordo Qooroq. Los relieves situados en primer plano corresponden a sienitas con morfologías de tipo domático.

Se estima que esta zona estuvo libre de hielo hace unos 9.000 años, mientras que hace de 4.000 a 5.000 años, unas condiciones climáticas más frías ocasionaron el avance de estos glaciares. En esta zona se estima que el máximo avance glaciar ocurrió hace 2.000 años. Actualmente, se halla en retroceso, aunque resulta evidente que los avances y retrocesos de los glaciares definen series de oscilaciones continuas, de modo que su evolución debe establecerse mediante un balance de masas a lo largo de miles de años.

### Narsarsuaq-valle de las Mil Flores

Nombre: Narsarsuaq.

Tipo de interés: geomorfológico.

Localización (figura 33): coordenadas geográficas aproximadas: 61° 11' 31" N, 45° 20' 38" O.

Acceso: a pie desde el puerto y aeropuerto de Narsarsuaq.

Contexto geográfico: el valle de las Mil Flores se sitúa a unos 3 kilómetros al NE

y los de cobertera, que consisten en grandes extensiones de hielo, denominadas comúnmente *inlandsis*. En la actualidad sólo existen dos *inlandsis* en el planeta: Antártida y Groenlandia.

El movimiento de un glaciar está regulado por su desplazamiento basal y la deformación interna asociada al mismo. El desplazamiento basal consiste en una traslación masiva sobre el lecho, mientras que la deformación interna conlleva movimientos diferenciales. En los glaciares observados desde zonas de mirador, como el Illiteq, Sermilik o el Qooqqup, las estructuras presentes en el hielo aparecen originadas por tensiones de flujo llamadas, según el caso, rimaya (si son de despegue de la roca), transversales, longitudinales o seracs (redes ortogonales). La mayor parte de ellas consisten en hendiduras subverticales que pueden alcanzar decenas de metros de profundidad y anchura y kilómetros de longitud, que suponen una dificultad extrema a la hora de aventurarse a recorrer a pie la superficie de alguno de estos glaciares.

Durante esta ruta iniciada en Igaliku hasta una zona de mirador atravesamos materiales del complejo Igaliku (provincia Gardar). Debido a la intensa meteorización de las rocas pudimos apreciar una gran acumulación de derrubios de ladera y una mayor cobertera vegetal respecto a las zonas donde afloran los granitos del

complejo Julianehab. Desde el mirador superior se observa, de modo privilegiado, la banquisa de témpanos a la entrada del fiordo Qooroq, en una línea curva que marca la morrena sumergida (figura 32). Los icebergs en la zona son abundantes en aquellos periodos donde dominan vientos de procedencia NE, que es la dirección donde se halla el glaciar Qooqqup.



Figura 33. Localización del valle de las Mil Flores y el glaciar Kiattut.



Figura 34. Valle de las Mil Flores, al NE de Narsarsuaq, caracterizado por la presencia de un cauce fluvial activo originado por el deshielo del glaciar Kiattuut. El fondo del valle aparece ocupado por sedimentos fluviales y palustres, mientras que las rocas del sustrato corresponden a sienitas de la unidad Gardar.

Quizá son los procesos glaciares uno de los fenómenos geológicos que más nos atraen por su magnitud y por su carácter exótico en nuestras latitudes

depósitos sedimentarios recientes de origen fluvial, glaciar y palustre. En el primer caso, se trata de gravas de granulometría media y alta, mientras que en el último se trata de depósitos de turbera asociados al desarrollo de un manto vegetal estacional ligado al nivel ecológico de tundra.

*Descripción e interpretación:* desde el puerto de Narsarsuaq nos adentramos a través de una pista, en donde se ubicaba una antigua base americana, hacia la zona superior del valle con la intención de alcanzar un mirador sobre el glaciar Kiattuut. La zona inferior de dicho valle, en forma de "V", nos indica que es de origen fluvial (río Narsarsuaq), de modo

de Narsarsuaq. Dicho valle remonta el glaciar Kiattuut que, en periodos de verano, funde su frente debido a las altas temperaturas, originando un cauce fluvial de anchura y caudal considerable, que desemboca, finalmente, en el fiordo Tunulliarfik, justo al norte de la pista del aeropuerto.

*Contexto geológico:* la zona inferior del valle se compone de sienitas y diques de traquitas de la unidad Gardar, mientras que la zona superior se compone de basaltos de la formación Eriksfjord, junto con capas de areniscas interestratificadas con estos materiales volcánicos. También pueden apreciarse durante el recorrido



Figura 35. Imagen panorámica del glaciar Kiattuut, encajado entre rocas sieníticas de la unidad Gardar. Puede apreciarse la compleja red de grietas de tensión, fruto de la dinámica del propio glaciar.



Figuras 36. Los autores del presente artículo en el "gabinete" del campamento de "fletanes", Carlos de Miguel (izquierda), José Manuel García Aguilar (centro) y Guzmán Fuente (derecha).

La región SO  
de Groenlandia  
puede ser considerada  
un auténtico paraíso  
geológico,  
esencialmente  
desde el punto de vista  
petrológico, mineralógico  
y geomorfológico

que alcanzamos una gran playa fluvial en lo que debió de ser un lago asociado al frente del glaciar (figura 34). En esta zona se observan sedimentos fluviales originados por este cauce fluvial que presenta unas aguas de color lechoso, indicador de la apreciable carga en suspensión que arrastra. Este tono difiere notablemente del que se puede apreciar en las cascadas cercanas, cuyo origen se sitúa en un sistema de lagunas glaciares localizadas en la zona superior del valle. El sendero que atraviesa la zona inferior del valle fluvial discurre sobre un manto de flores de distintos colores, pertenecientes

a especies de afinidad subpolar dentro de la tundra. Este catálogo de tonos amarillentos, rojos, rosados y azules da nombre al valle.

Visitar la superficie de este glaciar resulta en extremo difícil, debido a sus profundas y peligrosas grietas que lo atraviesan, por lo que decidimos observarlo desde un mirador situado a gran altura y desde el que se dominaba un paisaje espectacular (figura 35). Durante el ascenso se pueden observar lagunas de diverso tamaño de origen glaciar entre las colinas.

Las observaciones históricas efectuadas en este glaciar se remontan a 1876, momento en el que adquirió su máxima extensión, coincidente con la "pequeña edad de hielo" del siglo XIX. El movimiento del glaciar fue medido en dos puntos, a 240 y 147 metros del margen, demostrándose un movimiento anual de 77 y 38 metros, respectivamente. Diversas expediciones realizadas a este glaciar desde 1899 han puesto en evidencia un adelgazamiento paulatino en la masa de hielo y un retroceso del frente glaciar, hecho este comprobado a través de nuestras propias observaciones.



Figuras 37 y 38. Imagen de la entrega de diplomas conmemorativos de la expedición en la cena de despedida llevada a cabo en Qassarsuk (izquierda), y foto de varios componentes de la expedición.



## Conclusiones

Como ha quedado patente a lo largo de este artículo (y su primera parte publicada en *T&T* 36), la región SO de Groenlandia puede ser considerada un auténtico paraíso geológico, esencialmente desde el punto de vista petrológico, mineralógico y geomorfológico. Las especiales características fisiográficas de esta zona,

unidas a sus constantes ecológicas, hacen de ella, además, un laboratorio natural de primer orden, a la hora de detectar y evaluar las consecuencias del cambio climático global. Por otro lado, tenemos cómo la ausencia de una infraestructura turística desarrollada, su climatología y su especial red de transportes hacen de este lugar un entorno único para la realización de actividades naturales no exentas de aventuras e imprevistos, tal y como

podimos constatar en nuestra expedición a lo largo de casi tres semanas. Esta sensación de naturaleza en estado puro y sus increíbles escenarios paisajísticos permiten concluir que Groenlandia, sin lugar a dudas, es uno de los últimos destinos de este planeta donde aún se puedan descubrir nuevas sensaciones, nuevas emociones (*figuras 36, 37 y 38*) y, quizá, algún nuevo descubrimiento geológico.

## Agradecimientos

Agradecemos a todos los compañeros de la expedición su asistencia y colaboración en este proyecto, y especialmente a Lorenzo Calero, estudiante de Ciencias Ambientales de la Universidad de Málaga, por su entusiasmo y ayuda en la tarea de reconocer y catalogar los múltiples tipos petrológicos y minerales encontrados. Asimismo, agradecemos a la profesora Carmina Salcedo de Lara (Departamento de Lengua y Literatura del IES nº 1 de Fuengirola) la corrección lingüística del trabajo. También agradecemos a Almudena Durán sus aportaciones sobre historia y sociología de Groenlandia.

## Bibliografía

- Henriksen, N. (2008). *Geological history of Greenland*, GEUS, Dinamarca.
- Kvanefjeld Project - Greenland, en: [www.ggg.gl/Projects/Kvanefjeld-Project-Greenland.htm](http://www.ggg.gl/Projects/Kvanefjeld-Project-Greenland.htm)
- New Multi-Element Targets and Overall Resource Potential, en: [www.ggg.gl/Projects/New-Multi-Element-Targets-and-Overall-Resource-Potential.htm](http://www.ggg.gl/Projects/New-Multi-Element-Targets-and-Overall-Resource-Potential.htm)
- Sorensen, H. (2006). *Geological Guide - South Greenland. The Narsarsuaq - Narsaq - Qaqortoq region*, GEUS, Dinamarca.
- Strahler, A. N. (1979). *Geografía física*. Omega.

## Promoción especial para el Colegio de Geólogos y familiares directos

### Servicios gratuitos:

- Visita (consulta i revisión)
- Ortodoncia (1a visita)
- Visita prótesis
- Fluoración (infantil y adultos)
- Radiografías intraorales
- Extracción de puntos de sutura

### Servicios por sólo 20 €:

- Extracción dental simple
- Visita de urgencias de día
- Ortopantomografía
- Higiene dental
- Enseñanza de Higiene Oral

### Hasta un 20% de descuento:

en el resto de tratamientos,  
en cualquier especialidad.

Estética dental. Ortodoncia invisible.  
Detección del cáncer oral. Tratamiento de ronquidos.

### SERVICIO DE URGENCIAS

CON PRESENCIA DE DENTISTA 24horas/365días

**miravé**  
CLÍNICA DENTAL



# Patologías en edificación: nuevas tecnologías geotécnicas y geofísicas para su auscultación

La masiva construcción de viviendas en los primeros años del siglo XXI, coincidiendo con el “boom inmobiliario”, ha producido una aceleración de la existencia de patologías, tanto en la cimentación como en la estructura de las edificaciones. Es en este momento, y partiendo de esta tendencia, cuando empiezan a ingeniar tecnologías para facilitar su auscultación. En este artículo se detallan algunos de estos “ingenios”.

**TEXTO** | Javier Moreno Ribé, licenciado en Ciencias Geológicas y máster en Gestión Ambiental, [info@tecnicasdelsuelo.ecsocial.com](mailto:info@tecnicasdelsuelo.ecsocial.com)

**FOTOGRAFÍAS** | Javier Moreno Ribé y Carlos Aguilar Bronchalo

Palabras clave

**Geotecnia, geofísica, patologías, máquina de sondeos, microgeotecnia**

El estudio geotécnico es una herramienta que intenta definir el comportamiento de los suelos (o rocas si las hubiese), además de la alteración del estado de equilibrio de los mismos frente a construcciones y excavaciones realizadas por la acción humana. Para realizar un estudio geotécnico —y para saber interpretarlo— conviene tener dominio de todas las ramas que componen la “geotecnia”, ciencia que consta en varias subciencias, a saber: mecánica de rocas o suelos frente a ingeniería geológica o ingeniería geotécnica. Las primeras están más encaminadas al estudio de la composición y estructura de los materiales sobre los que se planean apoyar las estructuras, y las segundas, más prácticas, nacen fruto del moderno desarrollo de las aplicaciones

tecnológicas de las ciencias y comprenden la tecnología de las construcciones de los cimientos tanto para edificación como para obras civiles y grandes infraestructuras.

Debido al desconocimiento de alguna de estas subciencias, tanto en el caso de los redactores de los estudios geotécnicos como de los que tienen que entenderlos, y, sobre todo, en un porcentaje mucho mayor, del ansia de construcción, en cuanto a edificación se refiere, en los últimos años, desemboca en la proliferación de las patologías, más teniendo en cuenta la escasez de suelo en los núcleos urbanos y la tendencia a urbanizar en la periferia o en zonas donde los parajes o “vistas” son mejores que en núcleos urbanos.

## Ejemplos de patologías según su enclave

En zonas periféricas, muchas veces existen situaciones distintas de las que se detectan en los núcleos de las ciudades, como pueden ser los siguientes, vistos mediante reportaje fotográfico:

- *Ubicación de viviendas en taludes con elevadas pendientes*, lo que puede provocar disposición en voladizo de cimentaciones de edificios o alteraciones en firmes, provocadas por deslizamientos de taludes debido a descabezamientos de los mismos en su tramo inicial al emplazar escollera y cambiar condiciones iniciales del talud.



Figura 1.A. Deslizamiento de un talud limo-arcilloso en el que, en su parte superior, se ubica una vivienda cuya cimentación queda en voladizo, y en su parte inferior se emplazó un muro de escollera para contener el talud y realizar la carretera, lo que produjo un cambio en las condiciones del mismo y el consiguiente deslizamiento al superar la pendiente del talud, descabezado el ángulo crítico.



Figura 1.B. Vista lateral del mismo deslizamiento en el que se puede apreciar cómo en la zona del talud donde no se realizó, la escollera no deslizó (derecha).



Figura 1.C. Deslizamiento de un talud, provocado por fuertes lluvias, en el que se aprecia rotura en cuña, con vivienda emplazada en el margen superior izquierdo.



Figura 1.D. Cimentación en voladizo de una vivienda en el deslizamiento de la figura 1.C.



Figura 1.E. Grietas en vial de una urbanización junto al talud que deslizó por descabezamiento de la base del mismo.



Figura 1.F. Descabezamiento de un talud (zona sin vegetación) para la realización de un encauzamiento, que produjo las anomalías en el vial de la figura 1.E.

- **Zonas de rellenos incontrolados**, en los que vale la pena detenerse, ya que en las zonas periféricas o en zonas de urbanizaciones de gran tamaño, a la hora de urbanizar para compensar pendientes y explanar la zona en concreto, muchas veces se utilizan los materiales

pertenecientes a la facies presentes en las inmediaciones; en muchas ocasiones se hace sin “control” y removidas, con lo que, a veces, si se realiza una campaña somera o incompleta, es complicado discriminar qué parte del sondeo geotécnico o de la penetración dinámica

corresponde a rellenos removidos (siendo de la misma naturaleza del terreno natural) o realmente es el terreno natural. Por ese motivo, es recomendable realizar una toma de muestras adecuada al Documento Básico SE-C.



Figura 2.A. Talud donde se tiene previsto emplazar una urbanización en la que se han vertido rellenos antrópicos no controlados.



Figura 2.B. Parcela totalmente rellenada. En su parte inferior todavía no ha crecido la vegetación. En la parte superior sí lo ha hecho, habiéndose reconstruido el paraje externamente, pero internamente está compuesto por materiales similares a éstos.



Figura 3.A. Máquina de sondeos desplazándose por un vial de una urbanización, donde se puede apreciar un colapso o hundimiento del firme por un lavado de finos.



Figura 3.B. Hundimiento del firme del vial de una urbanización, donde no se realizó una compactación adecuada. Se puede apreciar el colapso en dos zonas. En una zona más anaranjada (centro de la figura) y en el encuentro del pavimento con el muro de las viviendas (izquierda), donde se aprecia la sinuosidad del mismo.



Figura 3.C. Colapso de 7-8 centímetros del bordillo de una piscina, provocado por un lavado de finos producido por el agua proveniente del riego del jardín o por la fuga del vaso de la piscina.



Figura 3.D. Reparación de zona conflictiva junto a vaso de la piscina, en el cual se detectan grietas transversales y longitudinales.

- El problema de la falta de compactación en el subsuelo de las urbanizaciones. Estos mismos rellenos —o, en ocasiones, terreno vegetal con escasa compacidad— sirven de apoyo a los *vasos de las piscinas, zonas verdes y viales* en las urbanizaciones. En las viviendas o edificios pertenecientes a éstas se cuida sobremedida su cimentación, acudiendo, a veces, a cimentación mediante pilotaje. Sin embargo, en las zonas verdes, muchas veces junto a piscinas y también en los viales, por tratarse de zonas de gran extensión o que transmiten mínima carga, no se realiza un lecho en condiciones con compactación adecuada, ni se impermeabilizan lo suficiente, colapsando en contacto con el agua procedente de fugas cercanas, lo que conlleva la proliferación de patologías en forma de grietas y anomalías en los vasos de las piscinas, y colapsos o hundimientos en viales y zonas verdes de las mismas.

### Técnicas de auscultación y toma de muestras del terreno bajo cimientos para detección de patologías

Para realizar estudios de patologías sobre el estado del terreno de apoyo de una cimentación, mayoritariamente en edificación, no tanto en obra civil, se puede realizar únicamente con geotecnia o como está actualmente en desarrollo, combinando geotecnia con geofísica.

#### Geotecnia en edificación

Como es sabido por todos, un estudio geotécnico se compone, en cuanto al trabajo de campo, por sondeos geotécnicos o penetraciones dinámicas DPSH; pero se podrían aplicar variantes y técnicas que ayuden a proporcionarnos una mayor información de las causas que pudieron provocar dichas patologías, como pueden ser los *sondeos inclinados* para realizar la toma de muestra en forma de testigo continuo

mediante muestra alterada, testigo parafinado y muestra inalterada justo debajo del cimiento; esta práctica nos da una idea de las características físico-químicas de los materiales causantes de la misma.

A estas muestras se le podrían realizar ensayos de identificación, desde granulometrías, límites de Atterberg, humedad, densidad aparente, hasta ensayos en célula edométrica, llámese colapso, presión de hinchamiento, hinchamiento libre, expansividad Lambe, etc. También se le podrían realizar ensayos de resistencia, como pueden ser de corte directo o compresión simple y, por supuesto, ensayos químicos, contenido en sulfatos tanto en agua como en suelos, materia orgánica, Bauman Gully, etc.

Con estos ensayos realizados en muestras tomadas justo debajo de la zona afectada, podríamos saber las causas que motivaron la patología, siempre y cuando el problema

sea algo puntual, como puede ser un lavado de finos bajo una zapata, un bolsón de rellenos, filtraciones, aumento de la humedad en zonas de influencia del bulbo de presiones, hinchamiento de arcillas expansivas o arrastres, etc.

- *Ejemplo práctico 1:* en este caso, tenemos dos viviendas unifamiliares en las que se aprecian anomalías en forma de grietas transversales en los pilares. Se realizan dos tomas de muestras del material de apoyo de la cimentación, mediante máquina de sondeos, para descartar que el causante de la patología fuera el terreno. En el caso de no observar ninguna implicación geotécnica, se tiene la certeza de un problema estructural como detonante de la patología de la misma.



Figura 4.A. Debido a la antigüedad de las viviendas (1 y 2), se carece de planos de cimentación, por lo que se realiza calicata manual para detección de zapata, evitando, de esta manera, la perforación de la misma. En este caso, se conocía el canto de la misma (z), ignorando el resto de dimensiones (x-y).

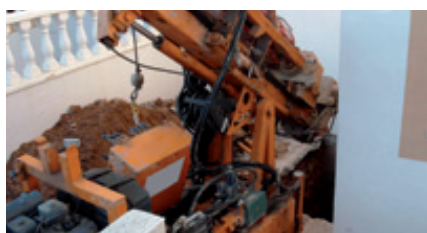


Figura 4.B. Vista cenital de máquina de sondeos realizando sondeo inclinado para tomar una muestra de los materiales justo debajo de la cimentación.



Figuras 4.C y 4.D. Perforación de solera de la vivienda, atravesando materiales con un ángulo de unos 30° y batería simple atravesando materiales en la calicata realizada.

Como se demostró, una vez tomadas las muestras, no se detectan restos de humedad en los testigos extraídos, ni tampoco en las muestras parafinadas/encintadas que se extrajeron en ambos sondeos, realizándose los ensayos oportunos. Tampoco el apoyo de la cimentación se realizó sobre rellenos, ni existe un lavado de finos, ni se trata de materiales expansivos. Por lo tanto, mediante el informe realizado, se probaron causas estructurales y no geotécnicas como desencadenante de patología.

- *Ejemplo práctico 2:* en este caso, se trataba de una iglesia afectada por un asiento diferencial, susceptible de realizar un recalce. La campaña de campo se compuso, en primer lugar, de un sondeo vertical junto al pilar, para



Figura 5.A. Vista lateral de una máquina de sondeos realizando sondeo inclinado para tomar una muestra de los materiales justo debajo de la cimentación.



Figuras 5.B, 5.C y 5.D. Máquina de sondeos perforando directamente en la calicata con un ángulo de unos 30° y vista inferior del operativo de sondeo desde la calicata.



reconocer los materiales que forman parte del subsuelo, y, en segundo lugar, se realizó un sondeo inclinado para obtener anchura de la cimentación. En este último caso se trataría de perforar inicialmente en un lateral de la zapata y atravesarla completamente hasta salir por el otro lateral de la misma, sabiendo de esta manera, y mediante la ley de los ángulos, la anchura exacta de la zapata.



Figura 6.A. Sondeo inclinado en una iglesia para obtener el dato de la anchura de zapata, procediendo a la perforación lateral de la misma.

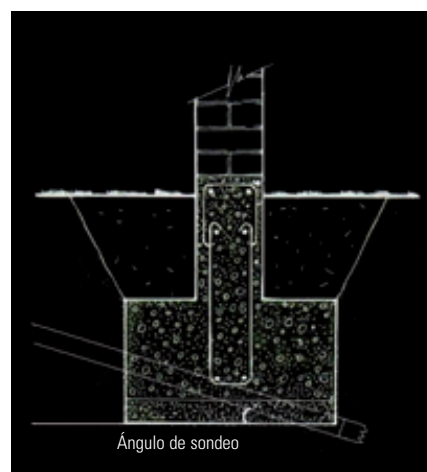


Figura 6.B. Esquema orientativo del cálculo de la anchura de la cimentación.

Como se puede observar en la figura 6.B, se atraviesa la zapata para obtener el dato de la anchura de la cimentación que, en este caso, y atendiendo a la tensión del terreno obtenida mediante el sondeo vertical, quedaba algo escasa, produciendo el asiento diferencial. En este sentido, y atendiendo a los datos del informe, se procedió a un recalce de la cimentación.

- *Ejemplo práctico 3:* en este caso, se trataba de un muro con pandeo en el que se realizaron dos sondeos: uno vertical,



Figura 7.A. Sondeo inclinado en un muro para la detección de materiales presentes en el trasdós, en el que se tiene limitación en anchura y de maniobrabilidad de ejecución del mismo.

del citado muro. En ambos casos, las condiciones de trabajo son complicadas por la estrechez del emplazamiento.

#### Geotecnia en obra civil

La geotecnia es también útil para obras lineales, como puede ser la realización de sondeos inclinados para el estudio del estado del lecho del terraplén por debajo de la capa de balasto, para, por ejemplo, obtener la validación del mismo como lecho para vías de alta velocidad.

#### Binomio geofísica-geotecnia

En ocasiones, para realizar un estudio del estado del terreno que produjo una patología, como complemento al estudio geotécnico, se puede utilizar una técnica emergente en el siglo XXI, pero que su aplicación distaba mucho del mundo de la patología en cimentaciones: la *geofísica*.

La geofísica es una técnica que está encaminada a deducir las condiciones del subsuelo a través de la observación de fenómenos físicos, bien sean naturales o artificiales, directa o indirectamente relacionados con la estructura geológica del terreno.



Figuras 8.A, 8.B y 8.C. Sondeos inclinados en un terraplén para validar el lecho de apoyo de una vía férrea convencional.

para obtener resistencia del terreno u obtener espesores de rellenos, y otro inclinado, para obtener datos geotécnicos de los materiales geotécnicos existentes en el trasdós

**Tabla 1. Métodos geofísicos y sus ventajas e inconvenientes, valorando la información obtenida, la velocidad del proceso y, lo que es más importante, la superficie necesitada en superficie con respecto a la profundidad de investigación**

| Método geofísico              | Profundidad de investigación | Ventajas                                                                                                                                                                                                                               | Inconvenientes                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Georadar (GPR)                | 10 m                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Método idóneo para detectar servicios enterrados y cavidades.</li> <li>Método muy rápido de obtención de resultados (procesado) y de realización de trabajo de campo.</li> </ul>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Poca profundidad de investigación.</li> <li>No es recomendable en terreno conductor (arcillas) y nivel freático.</li> <li>Distorsión con cobertera conductora.</li> </ul> |
| Sísmica de refracción         | > 30 m                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Método idóneo para obtener ripabilidad y para estudios de canteras.</li> <li>Método idóneo para correlación litológica entre sondeos.</li> <li>Elevada profundidad de investigación.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Realización en zonas no urbanas, ya que el ruido sísmico distorsiona.</li> <li>No detecta nivel freático.</li> <li>Precisa grandes extensiones en superficie.</li> </ul>  |
| Sísmica pasiva o microtemores | > 30 m                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Método idóneo para obtener parámetros como velocidad de cizalla, módulo de Young, módulo de Poisson y módulo de Bula.</li> <li>Realización en zonas urbanas.</li> </ul>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Precisa grandes extensiones en superficie.</li> </ul>                                                                                                                     |
| Tomografías eléctricas        | > 20 m                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Método idóneo para correlación litológica.</li> <li>Detección de fallas y acuíferos.</li> <li>Método idóneo para obtener ripabilidad y para estudios de canteras.</li> </ul>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>El nivel freático y estructuras metálicas (armadura) distorsionan la señal.</li> </ul>                                                                                    |

En un principio, se utilizó para fines arqueológicos, pero cada vez se utiliza más en ingeniería, tanto para edificación como para obra civil, ya que tiene la ventaja de que sus métodos no son destructivos. También tienen la ventaja de que, debido a las reducidas dimensiones y a la fácil aplicación de algunos de los métodos, se pueden utilizar en terrenos escarpados o de difícil acceso, en las que la maquinaria geotécnica, no tienen acceso. Se utilizan, sobre todo, para detección de servicios enterrados o para detectar estructuras que, con métodos invasivos, como pueden ser los sondeos, producirían roturas o alteraciones en las mismas.

Los métodos geofísicos que tienen una mayor aplicación en ingeniería y detección de patologías, y que se podrían utilizar como complemento de la geotecnia son: el georadar (GPR), la sísmica de refracción, la sísmica pasiva o microtremores y las tomografías eléctricas.

Como se puede ver de los cuatro métodos, el que más aplicación tiene en geotecnia y detección de patologías es el georadar, en el que se puede plantear el siguiente ejemplo:

- *Ejemplo práctico 4:* en este caso, se trata de observar si las raíces de una palmera de seis brazos (emblemática en un pueblo) sufrirían el emplazamiento de la cimentación de un mirador en espiral alrededor de la palmera. Se trata de obtener silueta del cepellón y del tronco común para evitar deteriorarlo con la cimentación.

En cuanto a la sísmica de refracción y a la tomografía eléctrica, se utilizan con un objetivo geotécnico para obtener un corte estratigráfico entre puntos de reconocimiento, obtener ripabilidades de macizos rocosos, obtener espesores de rellenos longitudinalmente, obtener ubicación de cavidades, bolsones, etc.

### Sísmica pasiva o método de microtremores

Este método es muy interesante, ya que permite obtener, entre otros valores, el Coeficiente del Terreno (C), que recordemos, según la Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-02, "se clasifica el terreno en cuatro grupos (I, II, III y IV) determinando los espesores  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_3$  y  $e_4$ , respectivamente, existentes en los 30 primeros metros bajo la superficie. Se adoptará como valor C el valor medio obtenido al ponderar los coeficientes  $C_i$  de cada estrato con su espesor  $e_i$ , en metros".

En la mayoría de los casos, en geotecnia convencional se realizan sondeos de 8 a 20 metros de profundidad, quedando más del 30% de los 30 metros sin estudiar. Mediante la sísmica pasiva obtenemos los valores de la velocidad de las ondas S ( $V_s$ ) hasta los 30 metros, aunque se puede estudiar mayor profundidad si se precisase.



Figura 9.A. Palmera de seis brazos donde se va a realizar un estudio geofísico mediante georadar y líneas de perfiles del estudio sobreimpresas.



Figura 9.B. Antena georadar (GPR) de 250 MHz, que intentará realizar un radargrama con la silueta del cepellón de la palmera.

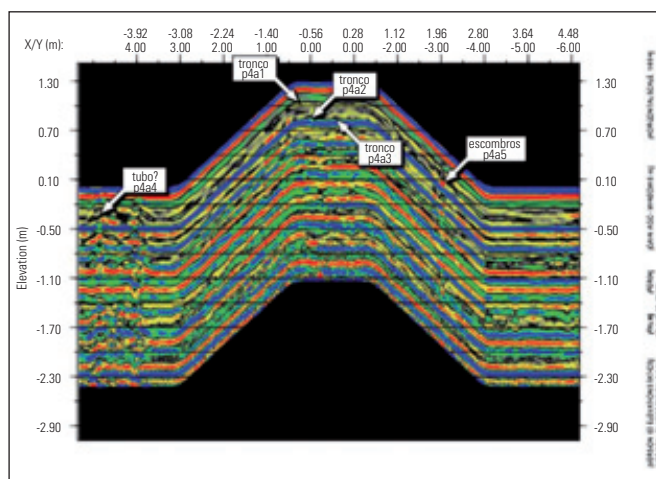


Figura 9.C. Radargrama obtenido en uno de los perfiles realizados.

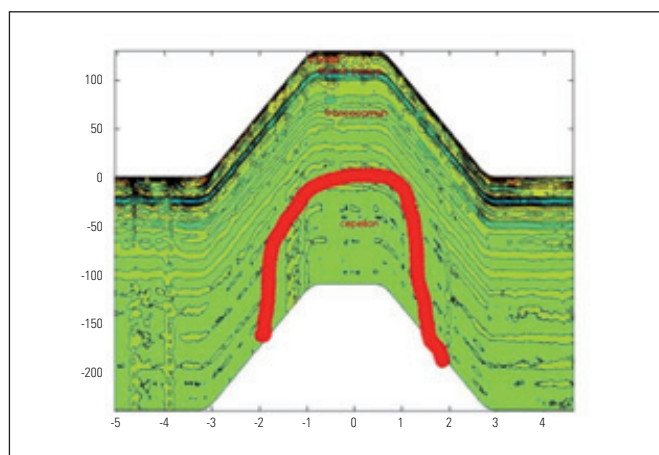


Figura 9.D. Interpretación geofísica mediante procesado en el que se aprecia la silueta del cepellón y la ubicación del tronco común.

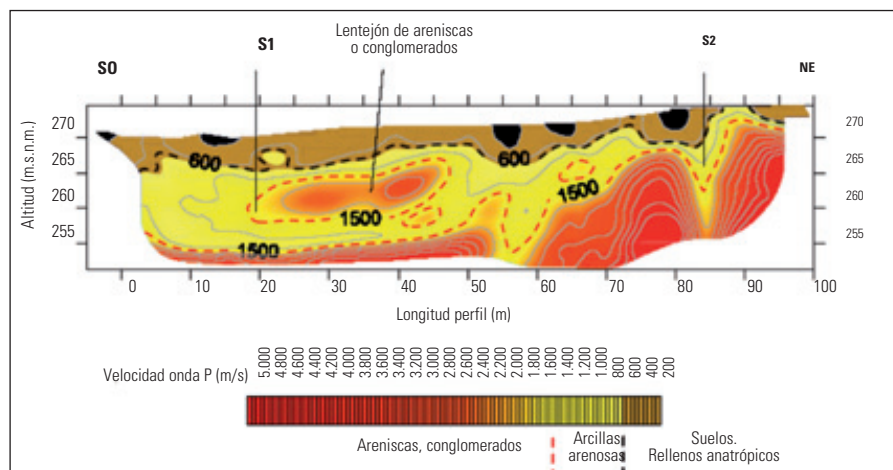


Figura 10. Gráfica de tomografía eléctrica.

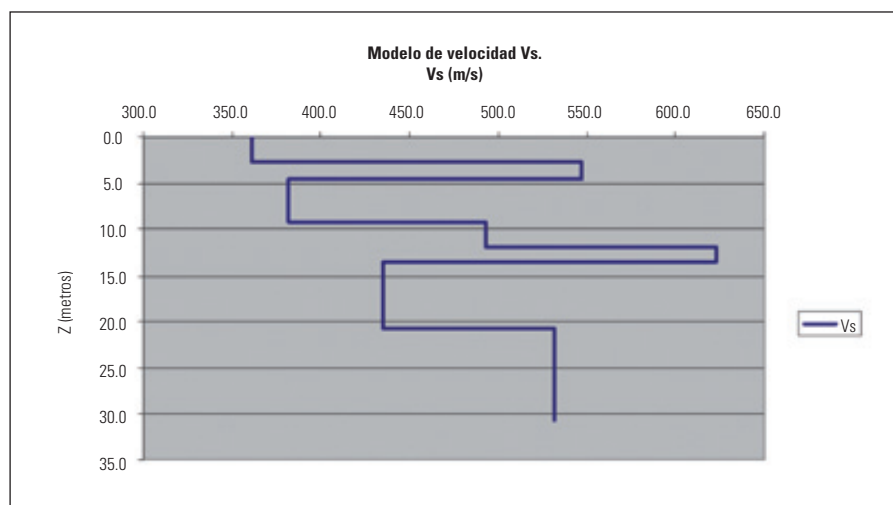


Figura 11. Gráfica de sismica pasiva, también llamada método de "microtremores", que nos permite obtener el valor del coeficiente del terreno.

desarrollados anteriormente, como pueden ser los sondeos eléctricos verticales (SEV), Cross Hole y Down Hole.

### El problema de la toma de muestras en zonas sin acceso: microgeotecnia

En la mayoría de los casos en los que se detecta una patología en el cimiento de una edificación, puente, túnel, piscina, etc., el estado de la obra está cercano a su término en la mejor de las situaciones y, en su mayoría, terminada en su totalidad. Es el caso de las edificaciones habitadas varios años, donde el acceso de la maquinaria para su auscultación es extremadamente complicado.

Existe el problema típico, pero no menos importante, del *gálibo*. Otras veces no es un problema de altura de trabajo, sino de limitación en anchura; en otros casos, se debe a las reducidas dimensiones de la zona de estudio. También en ocasiones nos encontramos con "accidentes" que nos permiten el acceso a las zonas, como pueden ser escalones, taludes, piscinas, etc.

A todos estos impedimentos para realizar una auscultación o una toma de muestras convencional se les denomina "microgeotecnia", que tiene una aplicación en rehabilitación, detección de patologías, obtención de coeficientes geotécnicos o realización de estudios geotécnicos completos con los que realizar proyecto de derribo del edificio antes de su demolición.

Atendiendo a este nicho de mercado, que actualmente se encuentra desatendido, se crean máquinas de sondeos que proporcionan a la dirección facultativa

Una vez obtenidas las unidades sísmicas presentes y caracterizadas tanto por sus velocidades de cizalla  $V_s$  como por su velocidad primaria  $V_p$ , estimada por los registros tomográficos, utilizamos la información litológica que se desprende de los sondeos de reconocimiento disponibles para asignar correspondencia litológica a la estratificación de la velocidad. El resultado para este perfil se presenta en la *tabla 3*:

Existen otros métodos geofísicos que nos podrían dar información de las propiedades de los materiales, aunque su aplicación geotécnica no está muy extendida; en unos casos, como la gravimetría y el magnetismo, que tienen una aplicación para explotación de hidrocarburos o depósitos naturales y estudios geológicos regionales, y, en otros, nos proporcionan una información similar a los métodos

Tabla 2. Cálculo del coeficiente del terreno C, según NCSR/02 para el perfil de la figura 10

| $V_s$ (m/s) | Valor C según el terreno | E (espesor de cada capa) | $C^*e$ | C    |
|-------------|--------------------------|--------------------------|--------|------|
| 361,0       | 1,6                      | 2,7                      | 4,4    |      |
| 546,0       | 1,3                      | 1,8                      | 2,3    |      |
| 381,0       | 1,6                      | 4,8                      | 7,6    |      |
| 493,0       | 1,3                      | 2,7                      | 3,5    |      |
| 622,0       | 1,3                      | 1,6                      | 2,1    |      |
| 435,0       | 1,3                      | 7,1                      | 9,3    |      |
| 531,0       | 1,3                      | 9,3                      | 12,1   |      |
|             |                          | 30,0                     | 41,2   | 1,37 |

Tabla 3. Atribución litológica según sondeos geotécnicos realizados como complemento

| Litología                      | Profundidad                        | $V_p$ m/s   | $V_s$ m/s |
|--------------------------------|------------------------------------|-------------|-----------|
| Suelo vegetal y limos arenosos | de 0 hasta 2,50-3,00 m             | 300-500     | 361       |
| Margas y margocalizas          | de 2,50-3,00 hasta 4,00-5,00 m     | 700-800     | 546       |
| Limos y gravas con bolos       | de 4,00-5,00 hasta 9,00-10,00 m    | 600-700     | 381       |
| Bolos con gravas y arenas      | de 9,00-10,00 hasta 12,00-13,00 m  | 1.000-1.200 | 622       |
| Arcillas arenosas              | de 12,00-13,00 hasta 20,00-22,00 m | No estimada | 435       |
| Sin atribución                 | de 20,00-22,00 m en adelante       | 1.300-1.500 | 531       |

encargada de la realización de los citados proyectos los datos necesarios para evitar cualquier problema en la rehabilitación del edificio y su posible demolición, evitando la tendencia actual de extrapolación.

Para desempeñar esta microgeotecnia, se emplean máquinas de sondeos de hasta 0,70 metros de anchura y unos 1,75 metros de altura. Estas máquinas trabajan bajo forjados y sótanos de 2,35 metros de altura. Además, presentan un medio de locomoción por control remoto y orugas de materiales no destructivos para evitar dañar el pavimento, dato importante en

Para desempeñar  
esta microgeotecnia,  
se emplean máquinas  
de sondeos de hasta  
0,70 metros de anchura  
y unos 1,75 metros  
de altura

inmuebles habitados, plazas y monumentos ornamentales.

Lo importante de la microgeotecnia es que crees que tu sondeo actual está ubicado en la zona más inverosímil, pero al día siguiente te superas entrando por una zona inaccesible, sabiendo que la semana siguiente llegará un cliente que te dice la típica frase de "ahí no podréis entrar, lo tendréis que hacer fuera". En el siguiente reportaje fotográfico se puede apreciar la aplicación de la microgeotecnia con las citadas máquinas de sondeos, realizando sondeos en zonas de difícil acceso y en condiciones de trabajo extremas.



*Figuras 12.A y 12.B. Sondeo en el sótano de un hotel, en condiciones extremas, donde se aprecia una manguera de extracción de humos de 3", usada en minería.*



*Figuras 13.A y 13.B. Edificio a rehabilitar con entrada de 2,60 metros de altura y 2,50 metros de anchura. Máquina realizando sondeos bajo forjado de 2,45 metros, con extensión de la torre de perforación a la derecha.*



Figuras 14.A y 14.B. Edificio que presenta una patología y precisa de un estudio geotécnico para realizar un ascensor que presenta limitación tanto en anchura como en altura. Máquina entrando en dicho zaguán con entrada de 0,73 metros.



Figuras 15.A y 15.B. Patología en una nave industrial y puntales (al fondo) sosteniendo el forjado. Máquina de sondeos retirándose entre puntales, una vez realizado el sondeo geotécnico.



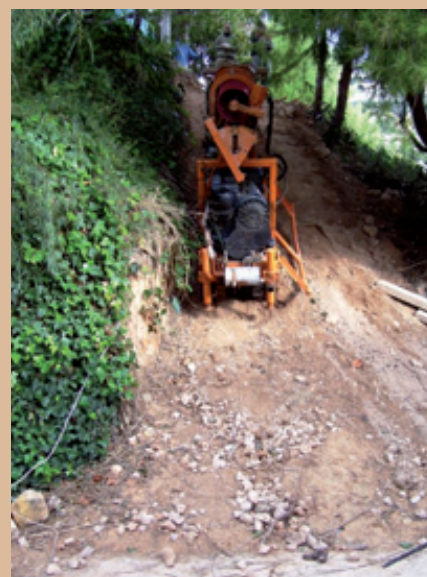
Figuras 16.A y 16.B. Campaña de campo consistente en sondeos geotécnicos para un informe patológico en pistas de pádel, en las que se tuvieron que quitar cristales laterales para su entrada.



Figuras 17.A y 17.B. Complicada entrada en un edificio a demoler para realizar promoción nueva, en el que la entrada y las condiciones de trabajo eran extremas.



Figuras 19.A y 19.B. Antiguo teatro entre medianeras, en el que se proyectó su demolición y la realización de un nuevo edificio. Emplazamiento del sondeo en el interior del mismo.



Figuras 18.A y 18.B. Subida de rampa "acondicionada" de 42º, con ayuda de cabrestante manual para realizar un sondeo geotécnico de 28 metros en un talud de patología de la figura 1.A.



Figuras 20.A y 20.B. Vivienda unifamiliar entre medianeras, donde se realizará una nueva promoción. Emplazamiento de la máquina de sondeos.



Figura 21. Máquina de sondeos trabajando en un sótano bajo forjado de 2,20 metros. Se tuvieron que romper unos 15 centímetros de bovedilla hasta llegar a la capa de compresión y poder emplazar la torre de perforación.



Figuras 22.A y 22.B. Máquina de sondeos entrenando en una ermita.

# Creación del Servicio Geológico y de la carrera de Geología en la República Dominicana

En el año 2009, la República Dominicana ha creado por ley un Servicio Geológico Nacional y una carrera de Geología, instituciones que serán cauce para poner al servicio de la sociedad dominicana la ingente información geocientífica que hay en el país. Se describe el proceso de creación de estas importantes instituciones, en el marco del programa SYSMIN, financiado por la Unión Europea y con la participación del IGME, empresas y técnicos españoles.

**TEXTO I** Manuel de Tena-Dávila Ruiz, director de la Asistencia Técnica a la DGM para su fortalecimiento institucional (2007-2009), consultor, vocal de Medio Ambiente del ICOG

Palabras clave  
**República Dominicana, Servicio Geológico, SYSMIN**

Es conocido que los países en desarrollo necesitan de la cooperación internacional, a través de fondos de organismos internacionales, para progresar en muchos de sus sectores productivos y sociales. El sector de la minería es uno de ellos.

La República Dominicana ha alcanzado un alto conocimiento de su geología (*figura 1*), gracias a la aportación de la UE mediante el programa SYSMIN, que ha facilitado las inversiones mineras internacionales y ha impulsado la creación de estructuras estatales de gestión de la geología y de la minería.

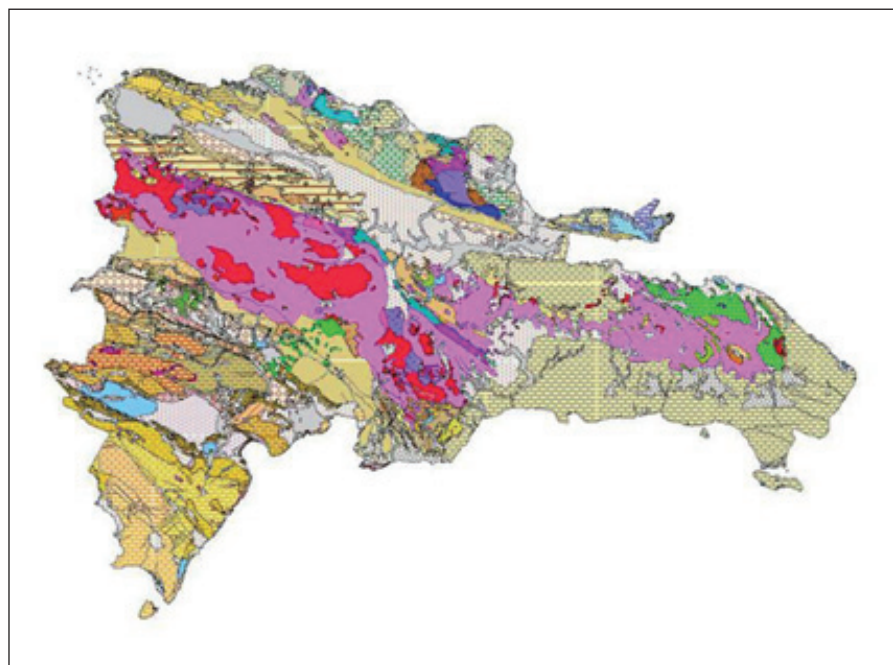
## El programa SYSMIN

Es un programa de cooperación al desarrollo creado y financiado por la UE, con el objetivo de reactivar la economía en países ACP (África, Caribe y Pacífico).

El programa busca reforzar la capacidad de los Estados, con vistas a promover su potencial minero, promover las inversiones y regular y sanear el sector minero, especialmente en materia de remediación, protección de la población y del medio ambiente físico de las zonas afectadas.

El programa es aplicable en países cuyos ingresos de exportación por materias primas minerales se han visto reducidos en los últimos años.

En 1999, la mina de oro más importante del país, Pueblo Viejo, entró en un proceso



*Figura 1. Mapa geológico de la República Dominicana.*

de reducción de rendimiento hasta darse por agotadas las reservas del mineral. Al no disponerse de la tecnología necesaria para explotar la zona oxidada, se cerró la mina, lo que produjo una drástica reducción de los ingresos por exportación minera, con el consiguiente impacto en la economía dominicana. Además, el conocimiento geológico del país era muy débil y el desarrollo de sus organismos geológico-mineros, de carácter institucional, era incipiente.

Al estar adscrita al Acuerdo de Lomé, desde 1989, la República Dominicana tuvo

acceso a beneficiarse de los fondos de este programa, que se basa en tres componentes principales:

- Fortalecimiento institucional y provisión de datos geocientíficos.
- Apoyo a la minería artesanal.
- Medidas de remediación ambiental de la mina Rosario, en Pueblo Viejo.

El programa SYSMIN se desarrolló en dos fases, una primera entre los años 1994 y 2004, y una segunda que se inició en 2005 con una duración prevista de cinco años.

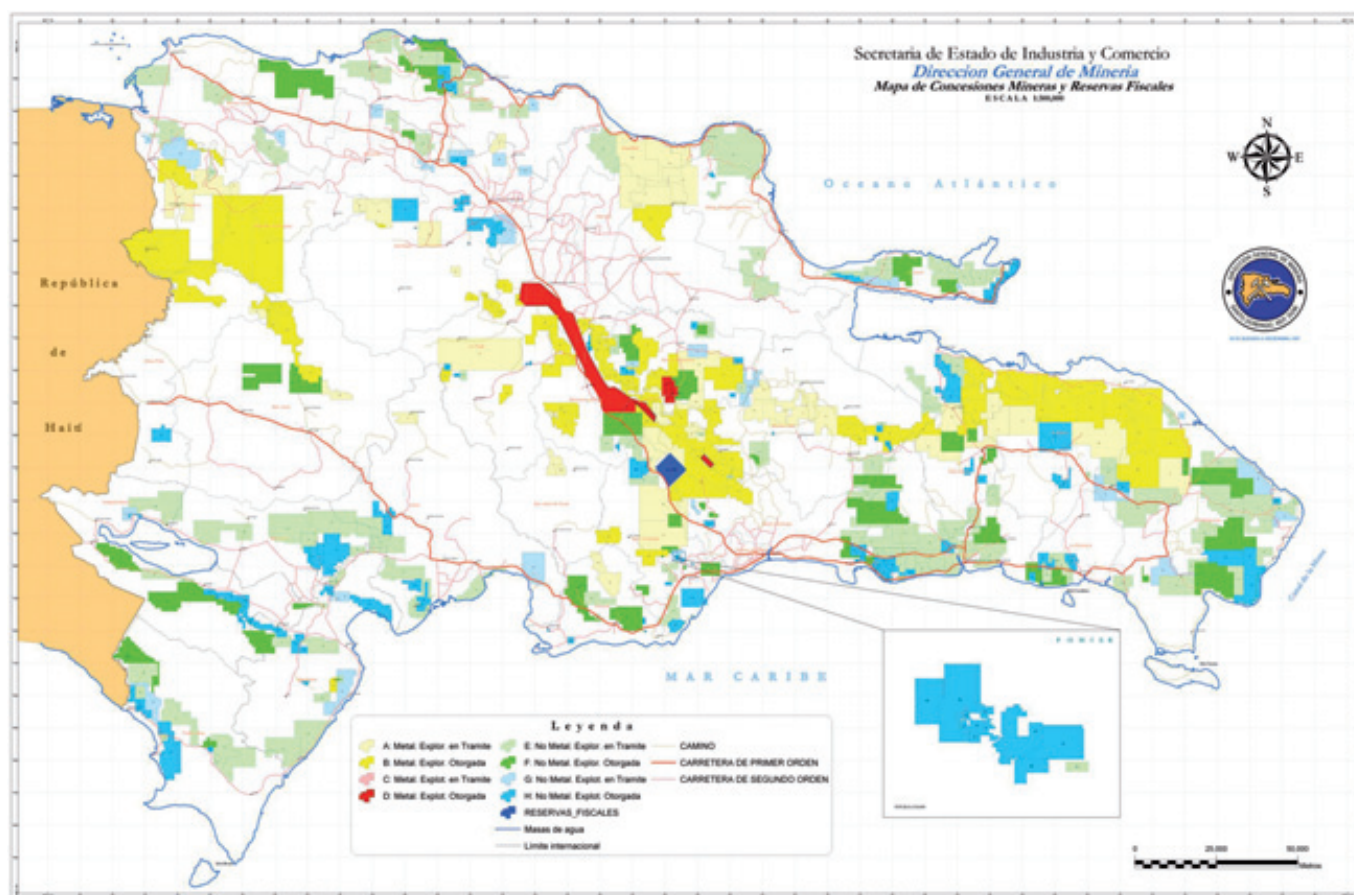


Figura 2. Mapa del Catastro Minero de la República Dominicana, 2008.

Con el desarrollo del programa se trataba de invertir la evolución desfavorable del sector geológico-minero y, al mismo tiempo, mejorar las condiciones de vida de la población frente a los fenómenos sísmicos, la contaminación de las aguas subterráneas, superficiales y la degradación del medio ambiente, generada por las explotaciones mineras.

La actividad minera en la República Dominicana data de tiempos de la colonia y su impacto en la economía nacional hace que tenga una fuerte incidencia social. Ésta es una de las razones que pueden explicar la aceptación social que la actividad minera tiene en el país, frente a los fuertes movimientos de contestación que se levantan en países del entorno.

Por otra parte, mientras la minería de rocas y minerales industriales es muy incipiente y artesanal, la minería de metálicos, de la mano de inversores extranjeros, ha alcanzado un notable desarrollo, que, históricamente, no ha estado al margen de los movimientos del mercado de metales.

### La minería en la República Dominicana

En la última mitad del siglo XX, la economía de la República Dominicana sufrió las consecuencias del descenso de la producción del sector minero, pasando de un aporte medio anual al PIB del 4,5%, en el periodo 1975-1988, a tan sólo el 1,8%, en el periodo 2000-2002. En la figura 2 se observa el mapa del Catastro Minero del país, actualizado en el año 2008.

Las razones de la reducción de aportación del sector minero al Estado se debió fundamentalmente al cierre de las minas de bauxita de Pedernales en 1991, por agotamiento de reservas; al cierre de la mina de oro de Pueblo Viejo, en 1999, y a los paros temporales de la explotación de los yacimientos de níquel de la empresa minera Falconbridge, por las fluctuaciones internacionales de los precios.

En estos últimos años, la situación de los precios de los metales había sido muy

favorable para la explotación estable del níquel, si bien actualmente la situación es muy crítica por el nuevo descenso en la cotización del mineral.

Una consecuencia importante de la reducción de la producción minera en la República Dominicana fue la pérdida de profesionales del sector, geólogos e ingenieros de minas, obligados a dedicarse a otras actividades o a emigrar, llegando a cerrar las universidades y centros de estudios de geología y minería, en el año 1994, en todo el país.

### Actuales prospectos mineros en República Dominicana

En la República Dominicana se están desarrollando una serie de inversiones mineras, no ajenas a los trabajos del SYSMIN, que ha dotado al país de una información geocientífica fiable, rigurosa y actualizada. A continuación, se reseñan algunas de las principales iniciativas mineras actualmente en desarrollo.

### Proyecto Cerro Maimon

Es un proyecto operado por la compañía CORMIDON (Corporación Minera Dominicana), subsidiaria al 100% de la Globestar Mining Corporation. El prospecto empezó a operar en 2002, y se localiza en el Copey, los Martínez, a 3 km de Cerro Maimon, en la provincia de Monseñor Nouel (figuras 3 y 4).

Se han realizado tres programas de sondeos que han definido el yacimiento como un complejo de sulfuros masivos polimetálico, en el que el principal componente es el cobre, con subproductos de oro, plata y zinc.

El tratamiento del mineral se realiza en dos plantas de procesamiento: una para tratar los óxidos por lixiviación y recuperar oro y plata, y otra de concentración para recuperar cobre y zinc.

Tabla 1. Reservas estimadas de la mina de Cerro Maimon, República Dominicana

|          | Reservas<br>M de t | Leyes<br>(gr/t) | Recuperación<br>(%) |
|----------|--------------------|-----------------|---------------------|
| Óxidos   | 1,16               |                 |                     |
| Au       |                    | 1,86            | 90,8                |
| Ag       |                    | 34,5            | 55                  |
| Sulfuros | 4,8                |                 |                     |
| Au       |                    | 0,96            | 45                  |
| Ag       |                    | 34,9            | 55                  |
| Cu       |                    | 2,54            | 85                  |

El proyecto dispone de todos los permisos ambientales requeridos por la legislación de la República Dominicana (2003-2006) y se han comprado los terrenos necesarios para la puesta en explotación del yacimiento.

En 2009 se inició la producción, habiéndose estimado unas reservas que se presentan en la *tabla 1*. Con estas reservas, la vida estimada de la mina es de unos diez años.

### Mina de Pueblo Viejo

La mina corresponde a un yacimiento de oro en Pueblo Viejo, que ya era conocido desde la época de la Colonia, aunque no se disponía de tecnología para la extracción del mineral. Se localiza en la provincia de Sánchez Ramírez, municipio de Cotuí.

La mina fue explotada por la Rosario Dominicana, entre 1975 y 1999. Cuando se consideraron agotadas las reservas del mineral oxidado, al no haber tecnología para explotar la zona enriquecida de sulfuros, se cerró la mina, lo que generó un fuerte impacto en la economía dominicana.

En 2003, mediante licitación pública, se asignaron a Placer Dome (canadiense) los derechos de explotación de los sulfuros. En 2005 Placer Dome aprobó el estudio de factibilidad. Dado que el Estado dominicano debía hacerse responsable de la mitigación de los impactos ambientales históricos, el programa SYSMIN contribuyó a la remediación de algunos de estos pasivos.

En marzo de 2006, Barrick Gold compró la totalidad de las acciones de Placer Dome y constituyó la empresa Pueblo Viejo



Figura 3. Mina de Cerro Maimon.



Figura 4. Mina de Cerro Maimon.



Figura 5. Mina de níquel de Falconbridge.

Dominicana Corporation, traspasando el 40% de sus derechos a la empresa Gold Corporation.

En febrero de 2008, Pueblo Viejo Dominicana Corporation se comprometió a iniciar el proyecto con una inversión superior a los 2.500 M de dólares. Actualmente se está trabajando en las obras de infraestructura, que están muy avanzadas, teniendo previsto iniciar los trabajos de explotación para el año 2011.

Está previsto un periodo de construcción de tres años y una vida del proyecto de 25 años. Las reservas probadas son:

- 20 M de onzas de oro.
- 2.600 M de libras de zinc.
- 358 M de libras de cobre.
- 88 M onzas de plata.

Con el precio actual del oro (>900\$/onza), la participación porcentual del Estado dominicano en los beneficios del proyecto se estima que superarán el 50%.

#### *Mina de níquel de Falconbridge*

El yacimiento está ubicado en las proximidades de Bonao (figura 5). La operación se inició en 1971 y, en el año 2007, tenía 1.500 empleados, número que actualmente se ha reducido muy significativamente.

La capacidad de producción anual ha llegado a alcanzar las 28.000 toneladas de níquel contenido en ferroníquel. Éste es un compuesto de hierro y níquel que se utiliza casi exclusivamente para la fabricación de acero inoxidable.

Los yacimientos son de laterita con alto contenido en níquel, que se encuentran en la cima de una cadena de siete colinas a lo largo de una franja de peridotitas serpentinizadas.

Las zonas de extracción son: Larga, Caribe, Ortega, Fraser, Peguera, Taina y Guardarraya.

La explotación se inicia con la retirada de los terrenos de recubrimiento, con objeto de dejar expuesto el mineral de unos siete metros de profundidad en promedio y extraerlo por medio de retroexcavadoras y palas hidráulicas. Las zonas excavadas son luego niveladas y reforestadas con especies de crecimiento rápido. El mineral se transporta, posteriormente, en camiones a la planta de tratamiento metalúrgico.

La primera etapa de dicho procedimiento, la "reducción", consiste en transformar los óxidos de níquel y hierro a estado metálico por medio de hornos de cuba. El mineral es comprimido en briquetas y luego fundido en hornos eléctricos. Una vez refinado, el metal se almacena

en contenedores, que contienen aproximadamente 40% de níquel y 60% de hierro, que se transportan en camión al puerto de Haina, para embarcarlos y ponerlos en el mercado.

Dado el precio del níquel, en la actualidad la mina atraviesa por una situación difícil, y aunque no se ha cerrado, el ritmo de explotación está muy ralentizado y en proceso de readaptación a la nueva situación.

#### *Logros del programa SYSMIN II*

Como la actividad minera estaba renaciendo en el país de la mano del importante desarrollo de información geocientífica generada en el SYSMIN I, se echaban en falta los profesionales necesarios para trabajar en el sector, así como una institución que gestionara esa información, poniéndola al servicio de la sociedad y que aportara al Estado la documentación geológica necesaria para la negociación con los inversores extranjeros.

Así nació, en el año 2005, la segunda fase del programa SYSMIN, en el que, dentro del epígrafe "Fortalecimiento institucional y provisión de datos geocientíficos", se diseñaron una serie de actividades que tenían como objetivo culminar la cartografía geológica del país,

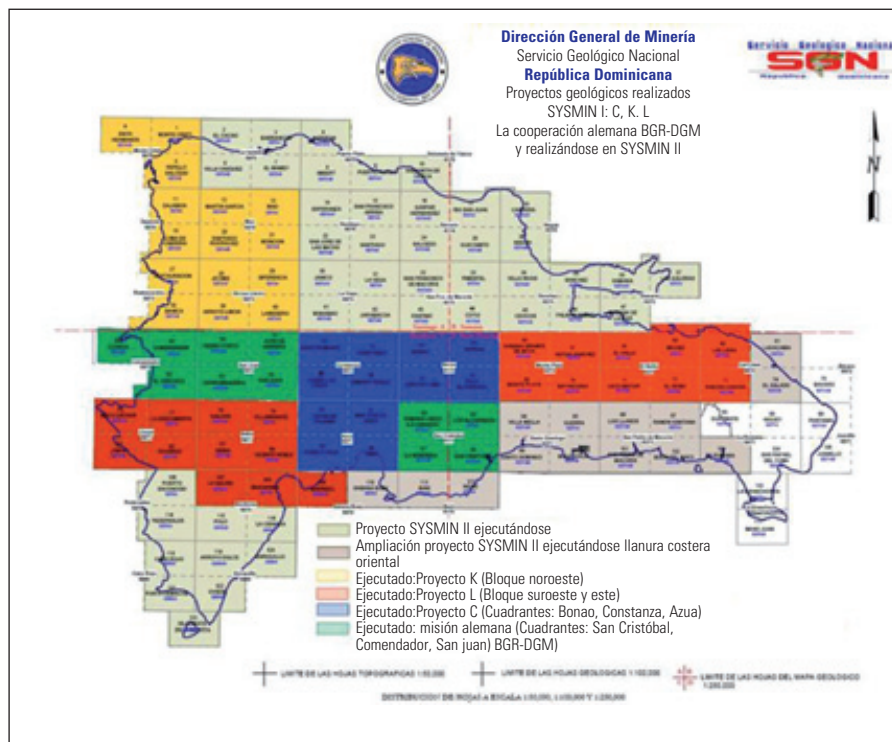


Figura 6. Distribución de las hojas geológicas 1/50.000 que, a finales del año 2010, cubrirán la totalidad del país.

- Creación y organización del Servicio Geológico Nacional.
- Modernización del sistema de administración de títulos mineros.
- Establecimiento de una red de información geocientífica.

Por tanto, dentro del programa SYSMIN II se han desarrollado una serie de trabajos consistentes en finalizar la cartografía geológica de la República Dominicana a escala 1/50.000 (figura 6), con metodología tipo MAGNA, hasta cubrir la totalidad del territorio nacional; se han realizado una serie de proyectos de análisis, diagnóstico y recuperación de los pasivos ambientales por la antigua actividad minera; se ha dado apoyo a la pequeña minería, principalmente del larimar (figuras 7 y 8) y se ha promocionado y contribuido a la organización el Servicio Geológico Nacional, a la transparencia en la gestión de los títulos mineros, a la difusión de la cartografía geológica a través de Internet y a la creación de la carrera de Geología y Minas.

De esta forma, la República Dominicana se está convirtiendo en uno de los pocos países del mundo que contará a finales del año 2010 con cartografía geocientífica que cubrirá la totalidad de su territorio a escala 1/50.000, en un soporte de información

apoyar a la pequeña minería, las actividades de remediación y fortalecer las instituciones relativas a la gestión minera y geológica.

Dentro de esta actividad se inscribe la organización del Servicio Geológico como institución capaz de poner al servicio de la

sociedad dominicana la información geocientífica con que se había dotado al país y cuyo principal beneficiario era la Dirección General de Minería de la Secretaría de Industria y Comercio.

La organización del Servicio Geológico comprende:



Figura 7. Boca de acceso al túnel de explotación del larimar, en Barahona.



Figura 8. Muestra de larimar (pectolita).



Figura 9. Asistentes al Foro Internacional de Consulta.

automatizado (GIS) y accesible a todo el mundo por Internet: <http://www.sgnrd.com>

La mayor parte de los trabajos de cartografía geológica y de apoyo a la creación del Servicio Geológico y de la carrera de Ingeniería Geológica y de Minas han estado soportados por el Instituto Geológico y Minero de España, el BRGM de Francia y una serie de empresas (Eptisa, Inypsa y Prointec) y profesionales españoles.

### Foro Internacional de Consulta

Para sensibilizar a la Administración estatal y a la sociedad dominicana, se organizó en el año 2007, conjuntamente con las autoridades mineras dominicanas, y en el marco del programa SYSMIN, un Foro Internacional de Consulta, que convocó, durante una semana, a 18 directores y altos responsables de 15 servicios geológicos de Latinoamérica, Caribe y Europa (*figura 9*). Además, estuvieron invitados 22 profesionales nacionales de la Dirección General de Minería y de organismos dominicanos, afines con las Ciencias de la Tierra.

Los objetivos del Foro fueron aprovechar las experiencias de otros servicios geológicos, de cara a la constitución del Servicio Geológico de la República Dominicana, ante los retos y necesidades que las sociedades demandan en el siglo XXI. También se marcaron, como objetivos, comunicar a los organismos internacionales y a las multinacionales del sector geológico y minero los procesos de mejora y fortalecimiento que está haciendo la República Dominicana para conseguir una gestión más eficiente de su geología y minería, además de transmitir al exterior la información geocientífica con la que cuenta.

Como consecuencia de lo tratado en el Foro, se redactó la *Declaración de Santo Domingo sobre los Servicios Geológicos del Siglo XXI* y se editó una publicación que recogió las recomendaciones del Foro sobre el Servicio Geológico de la República Dominicana: <http://www.dgm.gov.do/sdgeologia/foro2.html>

### El Servicio Geológico Nacional (SGN) de la República Dominicana

Los orígenes del Servicio Geológico Dominicano se remontan a la década de los años setenta, cuando se iniciaron diferentes proyectos de cooperación internacional con el Instituto Geológico Minero de España, con el BGRM y el Servicio Geológico de Alemania.

La Ley Minera 146, promulgada en 1971, dice que la Dirección General de Minería (DGM) está integrada por una dirección, una sección de concesiones y catastro, la "sección de investigaciones geológicas y mineras", la sección jurídica para el registro público de los derechos mineros y la sección de fiscalización de impuestos.

Cuando se aprobó, posteriormente, el Reglamento de Aplicación de la Ley Minera 146, en su artículo 166, dice que, mientras no se produzca otra cobertura legal, se crea el Servicio Geológico Nacional con el nivel de subdirección de la DGM, con las atribuciones de la sección de investigaciones geológicas y mineras que están en dicha ley.

Fue en 1995 cuando el presidente de la nación nombró por primera vez un encargado del Servicio Geológico, integrado como una subdirección de la Dirección General de Minería, figura que ha persistido hasta la actualidad, pues, anteriormente, nunca se había nombrado un encargado del Servicio Geológico Dominicano.

En este marco, y tomando como ejemplo los servicios geológicos europeos, pero considerando la realidad y necesidades locales, se ha trabajado en el apoyo a la creación de un Servicio Geológico Dominicano autónomo, con su presupuesto y personalidad jurídica propia y dotado mínimamente para ejercer sus funciones. En el año 2010, la Cámara de Diputados y el Senado Dominicano aprobaron la Ley del Servicio Geológico, por la que se creaba un Servicio Geológico homologado internacionalmente, con autonomía presupuestaria y personalidad jurídica propia, dependiente de la Secretaría de Economía, Planificación y Desarrollo, de la

que también depende la Dirección General de Ordenación del Territorio y, por tanto, con autonomía de actuación en sus actividades respecto de los intereses mineros.

De esta forma, la República Dominicana ha optado por crear un Servicio Geológico con sus funciones bien separadas y diferenciadas, respecto de las de la Dirección General de Minería. Mientras un tipo de organismo proporciona a la Administración del Estado el conocimiento en temas relativos a las Ciencias de la Tierra para la toma de decisiones, el otro será la herramienta de la Administración para desarrollar su política económica y comercial en el sector minero.

Conjuntamente con los técnicos del SGN y de otras instituciones relacionadas con las Ciencias de la Tierra, se ha trabajado en la redacción e impulso de la citada ley y en la confección de un Plan Estratégico del SGN, en la propuesta de organización del SGN, en el plan de formación y un plan de visibilidad de la institución.

Dada la historia minera en la República Dominicana, las actividades geológicas estaban íntimamente ligadas al sector minero y, más específicamente, al de la minería metálica, por lo que ha sido necesario sensibilizar a las autoridades y a la sociedad dominicana sobre la importancia de los estudios geológicos en relación con otras actividades productivas, como son: el aprovechamiento y protección de las aguas subterráneas, los estudios de riesgos naturales, la realización de obras de infraestructuras, la ordenación del territorio, la explotación y gestión de los recursos mineros y de hidrocarburos, los aprovechamientos energéticos, la protección de los suelos, la protección del litoral y zona marítima, la preservación del patrimonio geológico, además de otros fines científicos de desarrollo del conocimiento en las Ciencias de la Tierra, fenómenos sísmicos y procesos volcánicos, entre otros.

Con la creación del Servicio Geológico, el Estado dominicano ha asumido su responsabilidad de administrar el conocimiento y gestión del patrimonio



Figura 10. Universidad de ITECO, en Cotuy.

infraestructuras, amenazas geológicas, prevención de desastres, hidrogeología, geología marina y del litoral, ordenación del territorio, enseñanza, etc., y así era muy notable la debilidad, en cuanto a recursos humanos, del Servicio Geológico actual.

Mediante el trabajo conjunto con la DGM y otras organizaciones dominicanas, SODOGEO y la Cámara Minera y Petrolera, se impulsó la creación de la carrera de ingeniero en Geología y Minas, trabajando en la redacción de los materiales necesarios y requeridos para la aprobación del Plan de Estudios en ITECO (Instituto Tecnológico del Cibao Oriental) en Cotuy (figura 10).

En el año 2009, la Secretaría de Estado de Estudios Superiores de la República Dominicana aprobó la implantación de la carrera de Ingeniería en Geología y Minas, que, actualmente, ya se está impartiendo.

El Instituto Tecnológico del Cibao Oriental, ITECO, fue creado el 10 de febrero de 1982 por el Patronato Prodesarrollo de la provincia Sánchez Ramírez, entidad estatal creada para administrar el 5% de los beneficios netos que obtuviera la empresa minera Rosario Dominicana, ubicada en Pueblo Viejo, Cotuy, ya que la universidad se emplaza en esta ciudad, que es la región con mayor tradición minera del país.

La Universidad de ITECO se enfrenta, en estos primeros años, con la necesidad de crear un cuerpo de profesores que lleve a cabo el programa de estudios aprobado, por lo que deberá recurrir a la colaboración de los geólogos sénior del país, que, aun sin experiencia pedagógica, tendrán que aportar lo mejor de sí mismos, a la colaboración internacional y a la utilización de las tecnologías de la comunicación, por Internet, para formar a estas nuevas promociones de geólogos en la República Dominicana.

Para la consecución de este logro hay que señalar la contribución aportada, no sin esfuerzo y dedicación, de los ingenieros de ITECO, Franc Sánchez y Aritmendi Acosta, el total apoyo de la rectora, Esclarecida Núñez, y el trabajo de los ingenieros Santiago Muñoz y Juan Gil.

geológico del país y sus recursos naturales, para ponerlo al servicio de la sociedad, a través de una institución específica, adecuada y homologada internacionalmente.

En el logro de este objetivo hay que destacar el empeño y la dedicación del actual subdirector de la DGM, el ingeniero Santiago Muñoz Tapia, del licenciado Pelegrín Castillo, diputado por el Distrito Nacional, y del ingeniero Juan Gil, presidente de Geocivil, así como el apoyo del ingeniero Octavio López, actual director de Minería, de las asociación SODOGEO y de la Cámara Minera y Petrolera Dominicana.

### Creación de la Universidad de Geología en ITECO, Cotuy

Otro de los logros del proyecto fue la creación de la carrera de ingeniero en Geología y Minas en Cotuy.

En 1979 se graduó la primera promoción de ingenieros geólogos y de minas de la República Dominicana, estudios que se cerraron en 1994 a causa de la recesión de la actividad minera en el país. En los 15

años transcurridos se graduaron unos 150 geólogos.

De esta forma, la República Dominicana, donde más del 50% de la población tiene menos de 25 años, se encuentra con que los profesionales formados en sus centros de enseñanza tienen edades que superan los 40 años y que no tienen relevo en su actividad profesional. Además, gran parte de estos profesionales tuvieron que emigrar a lo largo de los años y los que se han establecido en el país trabajan, prácticamente en todos los casos, en actividades ligadas a la minería.

Dada la necesidad de que cada país disponga de profesionales conocedores de su geología, se manifiesta una debilidad importante para desarrollar y consolidar, posteriormente, los proyectos que se estaban promoviendo, por la falta de geólogos que trabajaran en ámbitos distintos de la actividad minera y por la falta de enseñantes de Geología en el país.

Era evidente la necesidad de profesionales de la geología jóvenes que reemplazaran a los geólogos en activo para trabajar en medio ambiente, recursos naturales,

# Investigando temas minero-ambientales en el norte de Chile: más allá de los megaproyectos, la investigación formateada y la retórica ambientalista

El mundo moderno de la investigación está plagado de proyectos con curiosos acrónimos; cada proyecto con ingentes números de investigadores de diferentes universidades u organismos de investigación (nacionales o internacionales) y objetivos a veces más destinados a “encajar” en las “grandes” líneas de investigación que cualquiera otra cosa. Hay que estar “en el ajo”, porque el que se mueve “no sale en la foto”, léase: no obtiene fondos de investigación, que tal como están las cosas hoy en día, son “la sal” de la vida de los organismos de investigación. ¿Pero es esto así sin más? ¿Existen caminos alternativos al (burocráticamente) estricto control ejercido por el sistema? ¿Puede la investigación y los investigadores escapar de los formatos impuestos? A continuación contamos una historia sobre cómo se puede realizar ciencia aplicada de calidad mediante procedimientos “alternativos”; cómo se pueden abordar seriamente temas de interés científico y social y, sobre todo, por qué hay que huir de las hipótesis de trabajo rígidas.

**TEXTO** | Roberto Oyarzun, geólogo, Facultad de Ciencias Geológicas (UCM); Pablo Higuera, geólogo, Escuela de Minas de Almadén (UCLM); Javier Lillo, geólogo, Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología (URJC); Jorge Oyarzún, geólogo, Departamento de Minas (ULS, Chile); Hugo Maturana, químico, Departamento de Minas (ULS, Chile)

**FOTOS** | Roberto Oyarzun y Paloma Cubas (UCM)

Palabras clave  
**Minería, Chile, Grupo de Estudios en Minería y Medio Ambiente, proyectos de investigación**

Lejos de la retórica de la colaboración España-Iberoamérica y, más aún, del complejo entramado de los grandes proyectos de investigación, a comienzos de la primera década de 2000, un grupo de geólogos de las universidades de Castilla-La Mancha (UCLM), Complutense (UCM), La Serena (ULS, Chile) y Rey Juan Carlos (URJC) comenzó a desarrollar una serie de trabajos de investigación en temas minero-ambientales en el norte de Chile. Como resultado de estos contactos y trabajos iniciales que mostramos a continuación, se creó el GEMM (Grupo de Estudios en Minería y Medio Ambiente), grupo virtual a través de Internet, de acceso libre ([www.aulados.net/GEMM/GEMM.html](http://www.aulados.net/GEMM/GEMM.html)), que, en la actualidad, sirve como plataforma docente y de investigación a través de los numerosos cursos y publicaciones *online* allí presentes. En la actualidad, las labores de geólogos, pero también de químicos y biólogos del GEMM, se extienden a través de diversas regiones de España (Almería, Asturias, Castilla-La Mancha, Murcia) y más países de Iberoamérica, incluyendo Bolivia y Venezuela.

A lo largo de estos años, los profesionales del GEMM han desarrollado un amplio abanico de investigaciones, que pasan por el estudio de la dispersión de metales

pesados y metaloides en cuencas fluviales y el estudio de fases minerales nocivas para la salud humana, tanto en España como en Chile, y ahora, en otros países iberoamericanos: Bolivia y Venezuela.

En este trabajo nos centraremos en parte de las investigaciones llevadas a cabo en Chile, describiendo cómo, con escasos recursos económicos, se pueden alcanzar metas importantes en el terreno de la investigación minero-ambiental. Explicaremos además cómo ocurren “de verdad” las cosas durante el curso de una investigación o sobre cómo el viejo dicho de “donde dije *digo*, digo *Diego*”, se transformó a veces en toda una realidad y, sobre todo, cómo y por qué “hay” que tener ideas, pero no ideas “fijas”. A continuación se esbozan los antecedentes del tema, el marco geológico, fisiográfico y climático, y se reseñan tres “paradojas ambientales” que surgieron durante el curso de las investigaciones. Estas últimas están planteadas en tres apartados que podríamos denominar:

- 1) La contaminación milenaria.
- 2) Contaminación en ausencia de actividades mineras.
- 3) En lo que se refiere a contaminación, el tamaño del yacimiento no importa.

**La región de Coquimbo (Chile): el estudio geoquímico de grandes cuencas fluviales en una región agrícola-minera**

*Antecedentes del tema*

Nadie decidió de la noche a la mañana que se iba a estudiar un vasto territorio en el norte de Chile. Por el contrario, los orígenes de estos trabajos fueron modestos y casi fortuitos en más de un sentido. Todo comienza en 2002, con el desplazamiento a Chile de tres geólogos de universidades españolas para estudiar temas de dispersión de metales pesados en el entorno de yacimientos minerales. De hecho, la cuenca del río Elqui (*figura 1*) era un blanco secundario, más bien en la categoría de un “Plan B” que un objetivo prioritario. Sin embargo, problemas de permisos de acceso a determinados sectores mineros acabaron transformando esta cuenca en nuestro objetivo principal.

Si bien todos los implicados en estas investigaciones conocían la presencia de importantes labores mineras en la alta cordillera (nacientes del río Elqui), en el sector de la mina El Indio (Au-Cu-As)



(figura 1B), nadie estaba preparado en 2002 para lo que iba a ocurrir después, cuando los primeros resultados de la campaña de muestreo de sedimentos fluviales estuvieron disponibles. Estos datos iban a cambiar radicalmente el enfoque de la investigación e incentivar el disponer de un conocimiento más amplio sobre una región con importantes mineralizaciones epitermales de metales preciosos y pórfidos cupríferos en la alta cordillera. Así, en el curso de los años 2002 a 2006, los estudios de geoquímica ambiental se trasladaron progresivamente más al sur en la región, hacia las grandes cuencas de los ríos Limarí y Choapa (figura 1), donde las "sorpresas" geoquímicas continuarían apareciendo.

cubierta por la ULS. La UCLM y ULS se hicieron cargo, además, de los gastos analíticos de preparación de muestras y analítica de laboratorio. Los análisis se realizaron en Chile en la empresa Geoanalítica Ltda. ([www.geoanalitica.cl](http://www.geoanalitica.cl)), con una excelente relación calidad/precio. Parte del trabajo mineralógico (microscopía electrónica de barrido y difracción de rayos X) se realizó en el CAT de la Universidad Rey Juan Carlos.

82 • Tierra y tecnología, nº 37, 81-90 • Primer semestre de 2010



Figura 2. Trabajos de campo en las cuencas hidrográficas. A: Sistema portátil para la medición de oxígeno disuelto en las aguas de río y pH. B y C: Toma de muestras en las cuencas de los ríos Elqui y Limarí (respectivamente).

comparada con las otorgadas a los grandes proyectos. No obstante, a efectos de lo que actualmente llaman “productividad científica”, de estas investigaciones se derivaron siete importantes publicaciones internacionales en revistas de las llamadas “de prestigio” incluidas en el *Science Citation Index*, así como numerosos trabajos presentados a reuniones científicas y seminarios. Esto no obstante es casi anecdótico; tan sólo una estadística de éstas que tanto gustan en determinados círculos. Lo auténticamente importante de estos trabajos es que permitieron entender “cómo y por qué” se produce la dispersión de metales pesados en una región andina, donde agricultura y minería están sujetas a una difícil convivencia (figuras 1 y 3). Estos trabajos permitieron entender además que no siempre la actividad minera es culpable de “todos” los males de una región, ya que existe además una contaminación natural por metales pesados y, por último, que no es igual la “huella geoquímica” dejada por un tipo de yacimiento mineral que por otro.

#### Marco geológico, fisiográfico y climático

Para poder entender adecuadamente un problema de contaminación por metales pesados y metaloides, no basta con realizar una campaña de toma de muestras



Figura 3. El embalse de Puclaro (río Elqui). A: Aguas arriba. B: Aguas abajo donde se desarrolla una intensa agricultura.

para su estudio geoquímico, además se debe contar con información sobre el clima, el marco geológico y fisiográfico y, por supuesto, sobre la actividad minera que se realiza en la zona bajo estudio. Algunas de las labores mineras en la región de Coquimbo se localizan a más de 4.000 m sobre el nivel del mar, y se encuentran sólo a poco más de 100 km de la costa (figura 1), lo que genera un gradiente de altitud muy pronunciado. Las precipitaciones en esta zona de altura (nieve más lluvia) son de unos 180 mm.

Sin embargo, bajo una perspectiva geológica, más amplia en el tiempo, toda la región del denominado “Norte Chico” de

Chile (27°-33° S) ha estado sujeta a importantes cambios climáticos durante el Holoceno. Estos cambios han sido el resultado de la fuerte variabilidad de los vientos del oeste (*Westerlies*) (Veit, 1996). Un incremento en la actividad de estos vientos, con actividad de frentes, se correlaciona bien con los años de El Niño. Un año importante de El Niño suele tener consecuencias catastróficas para la región, como aquéllas de 1997, cuando carreteras y puentes fueron cortados por aluviones, aislando literalmente la región del resto del país. Estas lluvias tienen gran capacidad de arrastre de sedimentos y pueden tener efectos catastróficos en la remoción de escombreras de minerales, balsas, etc.

La geología de la IV Región de Chile incluye una gran variedad de unidades geológicas que van desde el Paleozoico al Terciario. De importancia metalogénica son dos:

- La faja del Cretácico inferior, que incluye unidades volcánicas, volcanosedimentarias y sedimentarias marinas, intruidas por un batolito granítico del Cretácico medio, dispuestas en una posición centro-occidental dentro de la región. Estas formaciones albergan, entre otros, importantes yacimientos de hierro tipo Kiruna, como el del Romeral, cobre-plata del tipo estratoligado (Talcuna), cobre-oro-mercurio, del tipo pórfido cuprífero, y epitermal (Andacollo), cobre-oro-mercurio del tipo epitermal (Punitaqui), manganeso del tipo estratoligado (Corral Quemado) y de plata epitermal (Arqueros) (Oyarzun *et al.*, 1996, 1998 y 2003) (figura 1).
- Una serie de secuencias volcánicas del Terciario, en el sector de la cordillera de los Andes, entre las cuales dos son particularmente relevantes bajo el punto de vista metalogénico (Maksaev *et al.*, 1984; Oyarzun *et al.*, 2007a): la formación Doña Ana (Oligoceno superior-Mioceno inferior), con riolitas, tobas riolíticas, andesitas y andesitas basálticas, y la llamada Unidad Infernillo. Esta última intruye la formación Doña Ana y consiste en pequeños cuerpos de granito, granodiorita, monzodiorita y pórfidos andesíticos. Estas intrusiones indujeron fenómenos de alteración hidrotermal generalizados que entre otros dieron lugar a la formación de depósitos minerales de gran altitud como El Indio (Cu-Au-As) (Araneda, 1985; Bissig *et al.*, 2002) (figura 1B). Las zonas de alteración hidrotermal incluyen asociaciones minerales típicas de la alteración argílica avanzada, con caolinita, alunita y jaspes silíceos. El desarrollo de estos minerales, junto a otros típicos de la alteración supergénica (limonitas: goethita, jarosita) le da a la zona brillantes colores que van desde el violáceo al rojo, hasta los colores amarillentos. Un poco más al sur de la faja de epitermales se encuentra un pórfido cuprífero del Mioceno superior de grandes dimensiones: Los Pelambres

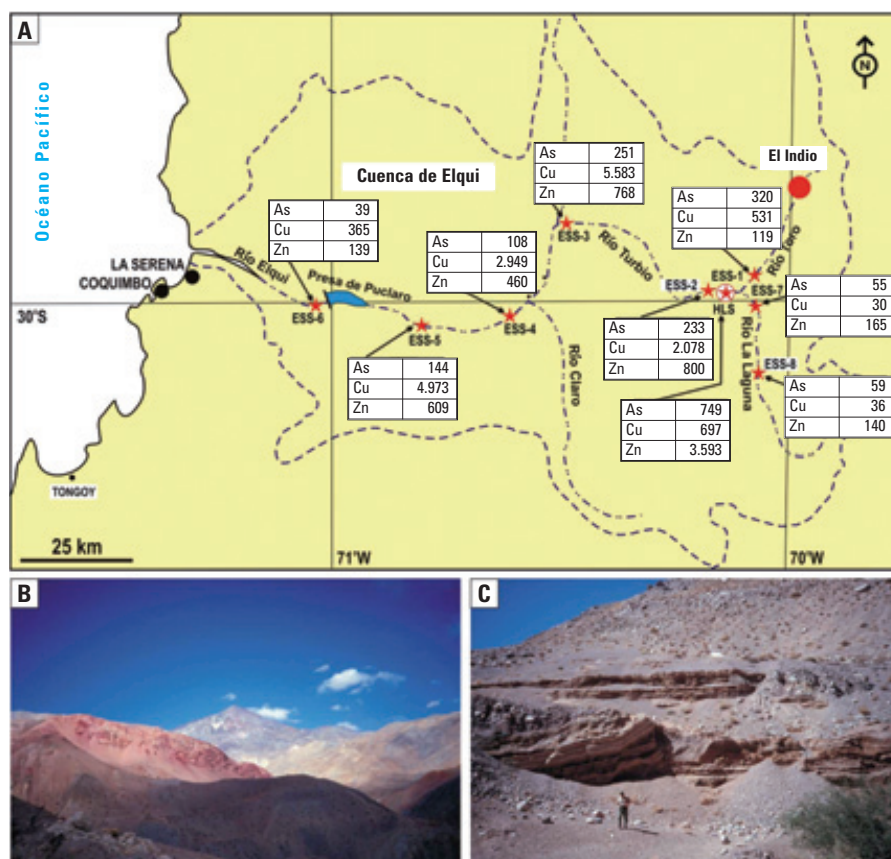


Figura 4. A: Muestreo de sedimentos fluviales del río Elqui y tributarios; los valores de Cu, Zn y As están expresados en  $\mu\text{g g}^{-1}$  (ppm); HLS: muestra de la secuencia lacustre de comienzos del Holoceno (modificada de Oyarzun *et al.*, 2004). B: Zonas de alteración en el sector cordillerano de El Indio, al fondo el cerro Tórtolas (6.155 msnm). C: Secuencia lacustre del Holoceno temprano.

(figura 1D). Éste (Guzmán, 1986) está albergado por un complejo intrusivo emplazado en una secuencia de rocas andesíticas del Cretácico superior. El complejo intrusivo comprende un *stock* principal tonalítico, pequeños pórfidos y algunos diques postmineralización de andesita y aplita. Las rocas fueron hidrotermalmente alteradas a facies potásica, propilítica y fílica. Un aspecto destacado del pórfido de Los Pelambres es la escasa importancia de minerales ricos en arsénico (enargita, tennantita).

*Cuando crees tener respuestas y lo que se presentan son preguntas: contaminación milenaria en la cuenca del Elqui*

La campaña de muestreo de 2002 en la cuenca del Elqui mostró lo "esperable" en cuanto a la contaminación de los sedimentos fluviales. Los sedimentos estaban fuertemente enriquecidos en arsénico, cobre y zinc (figura 4). Comparados con valores de sedimentos de referencia

(Rössler y Lange, 1972), el cobre y el zinc se encontraban enriquecidos por factores de entre 119 y 184 veces. Comparadas a valores de referencia para arsénico, las muestras de este estudio estaban enriquecidas hasta factores de 90 a 470 veces (Oyarzun *et al.*, 2004).

Sin embargo, un hecho cambiaría radicalmente nuestra visión previa sobre las causas de la contaminación. Durante el recorrido a lo largo del río Turbio llamó la atención una secuencia de sedimentos colgados en las paredes del valle. Sólo por curiosidad se tomó una muestra de dichos sedimentos de aspecto lacustre (muestra HLS) (figura 4). La sorpresa fue grande, cuando esa muestra entregó los más altos niveles de arsénico de toda la cuenca. Eso llevó a un nuevo muestreo, esta vez específico para la secuencia, incluyendo la obtención de una muestra rica en carbono orgánico para su datación. Los resultados confirmaron el carácter rico en arsénico de la secuencia, y una segunda sorpresa llegó con la edad de esas rocas. El resultado de

la datación indicó una edad de  $9.640 \pm 40$  años: comienzos del Holoceno, cuando el clima de la Tierra se suavizaba, dejando atrás la última edad fría y seca (*Younger Dryas*), permitiendo así las lluvias y, por lo tanto, la erosión fluvial. En otras palabras, la contaminación por metales pesados y metaloides derivada de la zona mineralizada de El Indio tenía un carácter milenario (Oyarzun *et al.*, 2004 y 2006a).

Dada la naturaleza de los trabajos mineros en el distrito minero de El Indio, era relativamente fácil, a primera vista, encontrar un claro culpable en lo que respecta a la contaminación por arsénico en la cuenca del Elqui. Sin embargo, para analizar correctamente el tema de la dispersión de elementos químicos, es importante tomar en cuenta otro factor. Una vez que comienzan los procesos erosivos de un yacimiento, los metales son lixiviados y transportados, dando lugar a lo que podríamos denominar una "contaminación natural" de los ríos. Cuanto más prolongado e intenso sea el proceso, más grandes serán los efectos. Si tomamos en cuenta que la secuencia lacustre del Holoceno temprano presentaba altos valores de arsénico, tendríamos que concluir que el problema de la contaminación en esta zona databa desde hacía (al menos) unos 10.000 años.

¿Significa esto que las actividades mineras en la zona no tienen nada que ver con el problema de la contaminación? Difícilmente. Sería poco razonable pensar que la preparación de las áreas mineras, la extracción de minerales y la metalurgia no han contribuido con arsénico y cobre al sistema (Oyarzun *et al.*, 2006b). Sin embargo, es importante que sepamos que en el caso del Elqui no basta con el cierre de la mina de El Indio (o de su operación metalúrgica) para que la contaminación deje de existir. Dado que se trata de un problema milenario, es importante que las autoridades tomen este dato en consideración para cualquier análisis futuro de riesgos ambientales en la zona.

Llegados aquí, resulta importante llamar la atención sobre otro fenómeno. Si se observa con detenimiento la *figura 4*, veremos una quiebra importante en cuanto

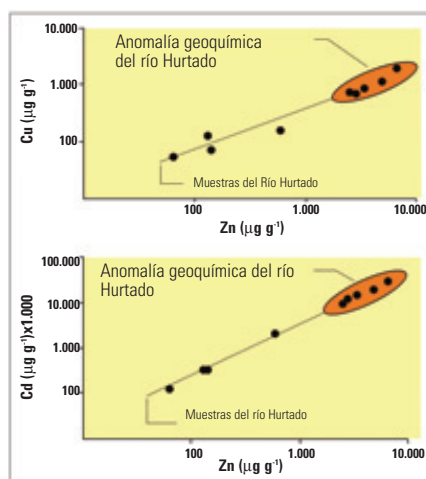


Figura 5. Anomalia geoquímica del río Hurtado (cuenca del Limarí) (modificada de Oyarzun *et al.*, 2006b).

a los contenidos de arsénico aguas arriba y abajo del embalse de Puclaro. Resulta evidente que la presa (con una capacidad para 200 millones de  $m^3$ ) está reteniendo sedimentos ricos en arsénico y que, como tal, representa un reservorio secundario actual de este elemento.

#### *Cuando no hacen falta explotaciones mineras para que exista una fuerte contaminación por metales pesados: la cuenca del Limarí*

Los resultados de la campaña de 2002 en la cuenca del Elqui llevaron a plantearse nuevos estudios en las cuencas del sur de la región de Coquimbo. Así, se decidió muestrear la cuenca del Limarí en 2004 (*figura 1*). La idea inicial era que, dado que no había actividad minera en la alta cordillera de dicha cuenca, la contaminación por metales pesados debía ser mucho menor. En otras palabras, serviría como "línea base", a modo comparativo entre la cuencas del Elqui (con la mina de Au-Cu-As de El Indio) y la del Choapa (con la gigantesca mina de Cu de Los Pelambres) (*figura 1*).

Nada fue así, y los sedimentos fluviales del río Hurtado (*figura 1*) iban a entregar elevadas concentraciones de cobre ( $53-1.881 \mu g g^{-1}$ ), zinc ( $64-6.586 \mu g g^{-1}$ ) y cadmio ( $130-31.348 ng g^{-1}$ ) (*figura 5*), mientras que las concentraciones de arsénico tenían valores elevados ( $6-186 \mu g g^{-1}$ ), pero no tanto como los observados en la cuenca del Elqui ( $39-485 \mu g g^{-1}$ ) (Oyarzun *et al.*, 2006a).

En Chile, la minería es un asunto económico importante y las compañías no suelen entregar fácilmente sus datos respecto a potenciales yacimientos (prospectos). Costó, pero finalmente se tuvo acceso a cierta información respecto a una de las zonas de alteración en la cabecera del río Hurtado: Coipita (*figura 1*), prospecto al que por fin pudo achacársele la anomalía geoquímica de Cu-Zn-Cd-As observada en los sedimentos fluviales del río Hurtado. Hasta donde sabemos, el prospecto no ha cambiado su estatus. ¿Tendrá algo que ver con esto los relativamente bajos —en términos comparativos— valores de arsénico encontrados? Recordemos que el arsénico es un metaloide ampliamente distribuido en las mineralizaciones epitermales de metales preciosos en la cadena andina, formando dos importantes minerales de mena: tennantita y enargita. Ambos son además minerales de cobre y, este último, es un metal importante en las explotaciones auríferas. Si hay bajos contenidos de arsénico, es probable que los contenidos en cobre también lo sean y, por lo tanto, la rentabilidad de un depósito podría verse comprometida, particularmente si las leyes de oro no son particularmente altas.

Cualquiera que sea el caso, si algo quedó claro de manera definitiva es que no es necesario que existan explotaciones mineras en un sector de la cordillera para que la contaminación por metales sea intensa (Oyarzun *et al.*, 2006a).

#### *Cuando los gigantes pórfidos contaminan menos que los pequeños epitermales: la cuenca del Choapa*

El estudio de la cuenca del Choapa (*figura 1*) en 2006 dio curiosos resultados. La presencia y explotación del gigantesco pórfido cuprífero de Los Pelambres en la alta cordillera hacía presumir elevados niveles de contaminación en sedimentos fluviales; sin embargo, nada de eso se observó (Oyarzun *et al.*, 2007b).

Factores clave que controlan el comportamiento ambiental de un yacimiento mineral incluyen los minerales

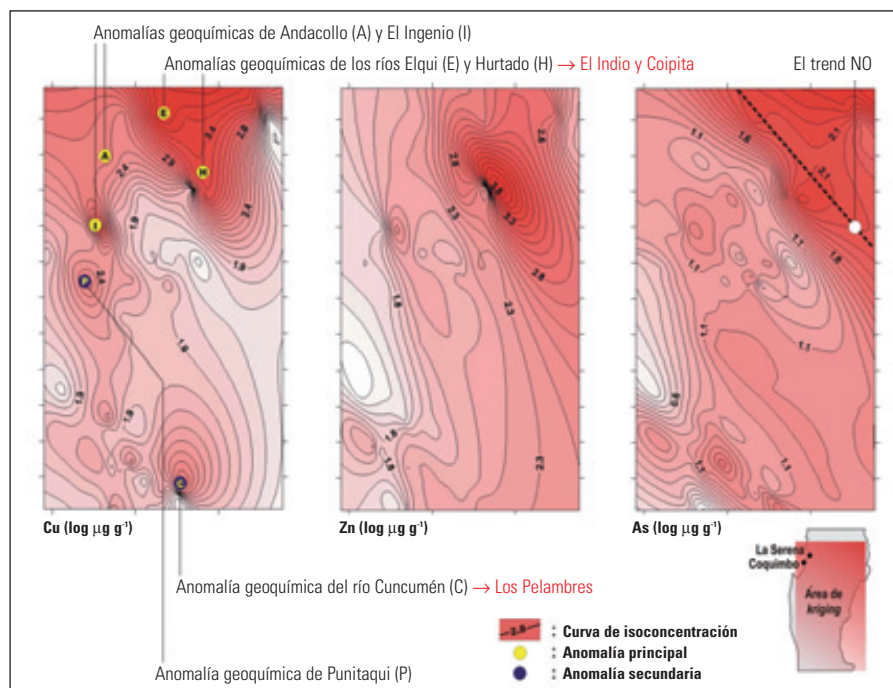


Figura 6. Mapas geoquímicos de cobre, zinc y arsénico para las cuencas del Elqui, Limarí y Choapa, realizados mediante kriging puntual (modificada de Oyarzun et al., 2007b).

Por el contrario, el pórfido cuprífero de Los Pelambres presenta alteración potásica, fílica y propilítica. La formación de biotita o feldespato potásico secundario (alteración potásica) no afecta significativamente la reactividad de las rocas encajantes, mientras que la alteración propilítica incluso la aumenta (formación de calcita). Además, la sericita de la alteración fílica es también un consumidor de  $H^+$  (2) durante los procesos hidrolíticos supergénicos. De esta manera, la capacidad de tamponamiento de las rocas en Los Pelambres siguió siendo importante y la dispersión de metales se redujo (Oyarzun et al., 2007b).

### Sobre un modelo de dispersión de metales y metaloides a partir de mineralizaciones emplazadas en zonas de altura

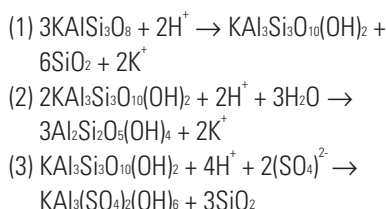
Los problemas fundamentales de contaminación (natural o antrópica) en las cuencas hidrográficas estudiadas en la IV Región de Chile se derivan, principalmente, de la remoción de As, Cu y Zn desde las zonas de alteración y explotaciones mineras de gran altitud. A esto contribuyen diversos factores, entre los que tenemos los fisiográficos y climáticos. Durante la estación de lluvias, especialmente en los años de El Niño, estos materiales van a parar directamente a los cursos fluviales principales de esta región, entre ellos, los ríos Elqui, Hurtado, y Limarí (figura 1). Dado que la IV Región sostiene una importante actividad agrícola, la situación es preocupante.

Pero la dispersión de metales y metaloides es más que un hecho que responda de manera exclusiva a una temática climático-fisiográfica. Hay tres factores geológicos que tienen mucho que decir al respecto:

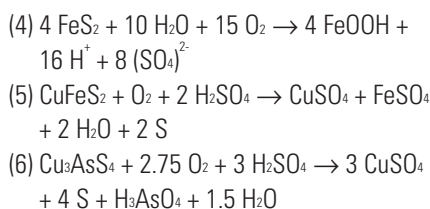
- La intensidad de la fracturación, a escala local y regional. Mientras más fracturada está una zona, más fáciles serán los procesos de erosión y, por lo tanto, de remoción. Así, la cubierta de un yacimiento será desmontada rápidamente y los procesos de oxidación-lixiviación actuarán rápida y efectivamente. Al respecto, resulta significativo que la fracturación regional

de mena y ganga, la litología del encajante y la alteración hidrotermal, los cuales influyen en la respuesta química de un yacimiento (Plumlee, 1999; Plumlee y Nash, 2004). Las grandes anomalías geoquímicas de Elqui y Hurtado y la menor de Los Pelambres (figura 6) merecen un completo análisis que contemple los numerosos factores geológicos que controlan la dispersión de los metales. Las mineralizaciones de El Indio (anomalía Elqui), Coipita (anomalía Hurtado) y Los Pelambres (anomalía del río Cuncumén) (figuras 1 y 6) comparten algunos rasgos geológicos y fisiográficos, pero difieren fundamentalmente en otros. Por ejemplo, las tres mineralizaciones son de edad miocena, se relacionan con rocas magmáticas félsicas y están emplazadas a lo largo de la cadena andina a gran altitud. Sin embargo, las dos primeras son del tipo epitermal, mientras que Los Pelambres es un pórfido cuprífero. El Indio y Coipita presentan fuertes y extensas zonas de alteración del tipo argílica avanzada. Esto tiene fuertes implicaciones en lo que se refiere a la dispersión de metales, porque este tipo de alteración disminuye de manera fundamental la capacidad de tamponamiento (*buffering*) ácido de las rocas albergantes. La química de estos procesos se puede resumir de la siguiente manera: la fuerte hidrólisis

durante la actividad hidrotermal lleva a la destrucción de los feldespatos a través de la subsecuente formación de sericita (1), caolinita (2) y aún alunita (3) si hay ácido sulfúrico presente en el sistema, lo cual es común en los sistemas de alta sulfurización (Heald et al., 1987):



Esto es particularmente relevante en el caso de los yacimientos epitermales de alta sulfurización, que son ricos en pirita y otros sulfuros. Así, cuando comienza la oxidación de la pirita (4) no quedan minerales como los feldespatos que puedan reaccionar con el ácido generado durante la oxidación de los sulfuros. Esto incrementa la movilidad del cobre a partir de calcopirita (5) o del cobre y arsénico a partir de la enargita (6).



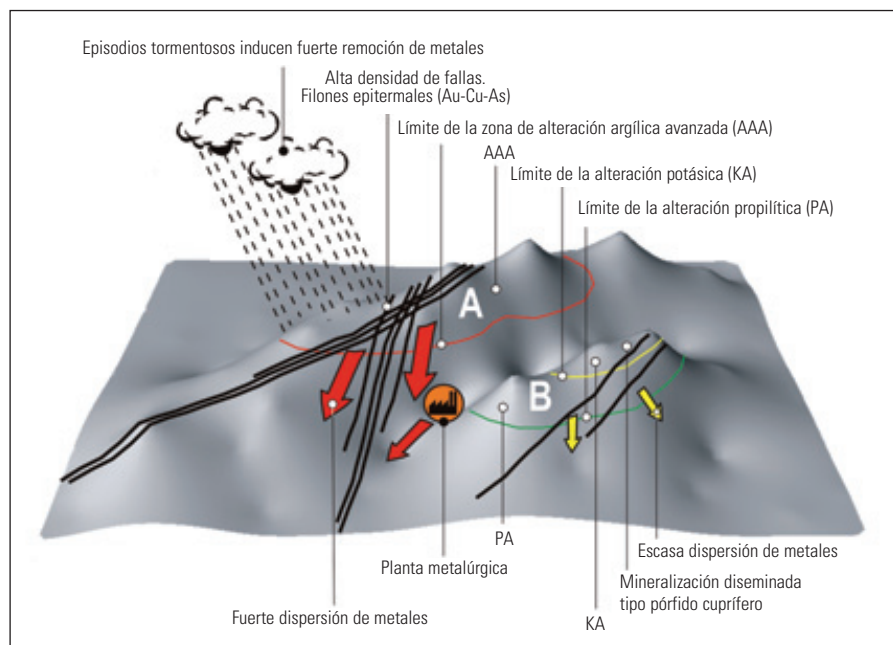


Figura 7. Esquema idealizado de los procesos de contaminación por metales pesados y metaloides. Factores climáticos, fisiográficos, estructurales, de alteración hidrotermal y tipos de yacimientos emplazados en zonas de altura (modificada de Oyarzun et al., 2007b). A: Caso de tipo epitermal. B: Caso de tipo pórfido cuprífero.

es mucho más intensa en la faja metalogénica de El Indio que en la zona de Los Pelambres. Esto último se constató mediante el estudio sistemático de imágenes Landsat, que permitió distinguir dos corredores regionales (zonas de falla) de intensa fracturación: NO-SE y NNE-SSO (Oyarzun et al., 2006a y 2007a). El estudio geoestadístico de los datos mediante *kriging* puntual mostró que las anomalías geoquímicas regionales tienen un fuerte control regional NO-SE (figura 6), acorde con una de las grandes zonas de falla mencionadas anteriormente. De esta manera se pudo apreciar que la geología estructural también constituye una importante herramienta de trabajo en los estudios minero-ambientales (Oyarzun et al., 2006a y 2007b).

- Dado que la acidez de las soluciones es la pieza clave para la lixiviación de los metales y metaloides, la litología del encajante controla parte del proceso. No es lo mismo una caliza (que tamponará las soluciones ácidas) que una roca ígnea, cuya posibilidad de subir el pH depende de la presencia abundante de feldespatos (véanse ecuaciones 1-3) (Oyarzun et al., 2007b), lo cual nos lleva al tercer factor de riesgo.
- La alteración hidrotermal. Como expresamos en el punto anterior, los

feldespatos son la única barrera que existe entre una lixiviación masiva y una controlada. Las alteraciones de tipo potásica y propilítica (pórfidos cupríferos) mantendrán la mineralogía feldespática del encajante. Así, cuando comience la oxidación de la pirita, el ácido reaccionará con los feldespatos, neutralizando las soluciones. Por el contrario, la alteración hidrotermal argílica avanzada (típica de los yacimientos epitermales de alta sulfurización) destruirá los feldespatos, y cuando la pirita comience su oxidación en el ambiente supergénico no habrá ningún mineral que pueda neutralizar efectivamente las soluciones. Esto favorecerá fuertemente la lixiviación de metales pesados y metaloides (véanse ecuaciones 4-6) (Oyarzun et al., 2007b).

De esta manera, tenemos que entender los procesos de lixiviación y dispersión de metales y metaloides en el medio como un proceso complejo en el cual intervienen variables climáticas, fisiográficas y geológicas. La interacción entre estas variables está resumida en la figura 7.

Sin embargo, de manera alguna debemos olvidar que la actividad minera contamina y, en ocasiones, mucho. Un hecho notable en este sentido queda demostrado por las

anomalías geoquímicas de Andacollo y El Ingenio (figuras 1, 6 y 8). Andacollo es un desastre ambiental en regla. Siglos de minería han creado una gran anomalía geoquímica de mercurio y cobre (Higueras et al., 2004 y 2005). La minería histórica del cobre (y oro) ha dejado además inmensas balsas de estériles dentro del pueblo, el cual, a su vez, está al lado de las modernas explotaciones a cielo abierto de un pórfido cuprífero (mina Carmen) y de epitermales de baja sulfurización de oro (Dayton) (figura 8). Estas últimas son (dentro de un margen) explotaciones "ambientalmente correctas". Otro caso notable de contaminación por cobre y fenómenos masivos de drenaje ácido lo proporciona la planta de tratamiento de minerales de cobre de Panulcillo, con efectos ambientales devastadores en el estero (río) de El Ingenio (figura 8).

### Lecciones aprendidas

Los trabajos realizados en Chile entre 2002 y 2006 llaman a reflexionar sobre varios temas. El primero guarda relación con los hechos aislados, esos que pueden cambiar radicalmente la forma de ver las cosas. Por ejemplo, en nuestra opinión, la clave para la consecución de los trabajos en las cuencas hidrográficas de la región de Coquimbo guarda mucha relación con la toma de una muestra aislada en la cuenca del Elqui, que ni tan siquiera era de sedimento fluvial activo. Para un trabajo que se basaba estrictamente en el muestreo de sedimentos fluviales, esto debería llamar la atención sobre las metodologías de campo. Nos referimos a la muestra de la secuencia lacustre colgada en el valle del río Turbio (HLS) (figuras 1 y 4). Su carácter rico en arsénico, junto con su edad (unos 10.000 años), mostraron que las relaciones yacimientos minerales —minería— contaminación por metales pesados y metaloides pueden ser mucho más complejas que lo que a primera vista parece. Otra enseñanza que se deriva de esa muestra es que el geólogo ambiental debe trabajar en el campo con una perspectiva amplia, con "curiosidad" sobre todo lo que rodea el ámbito de trabajo. El estudio de una cuenca fluvial es mucho más que coger unas cuantas muestras y luego analizarlas por otros cuantos elementos químicos.

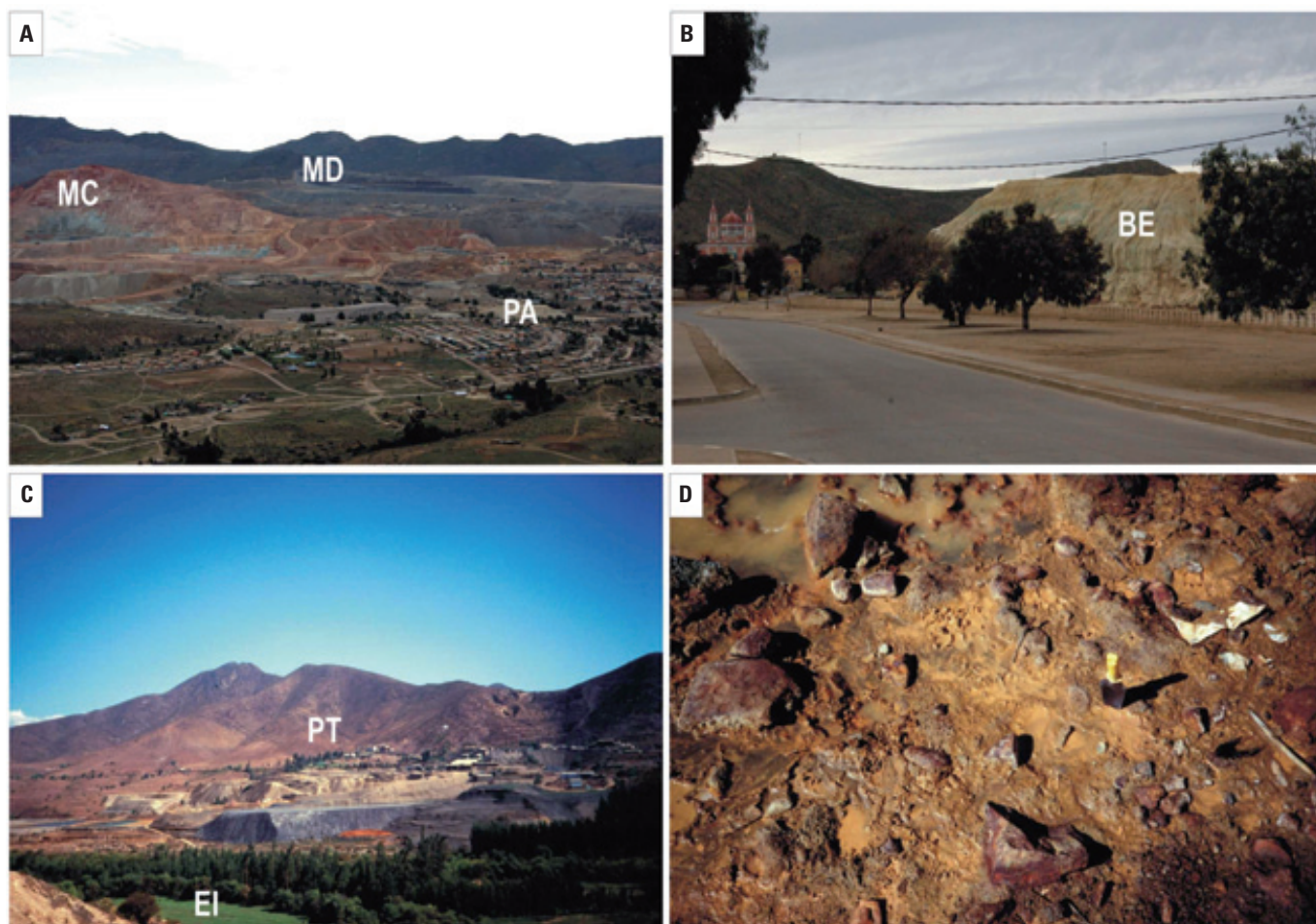


Figura 8. Problemas minero-ambientales en diferentes ámbitos de la región de Coquimbo. A: Minas Carmen (MC), Dayton (MD) y el pueblo de Andacollo (PA). B: El pueblo de Andacollo y balsa de estériles (BE) en la zona urbana. C: La planta de tratamiento de minerales de cobre de Panulcillo (PT) aledaña al estero (río) de El Ingenio (EI). D: Precipitación de óxidos-hidróxidos de hierro en los sedimentos del estero El Ingenio.

Eso puede hacerlo cualquiera. El geólogo tiene que ir más allá del mero muestreo y considerar todas las variables que pueden estar implicadas en el estudio.

De cualquier manera, la muestra de la secuencia holocena cambió nuestra visión sobre la cuenca del Elqui y nos trasladó de un presente estrictamente minero-ambiental a otro más geológico, que se remontaba al comienzo de un calentamiento global (término que hoy asusta tanto a la sociedad), que permitiría que el clima y la fisiografía de la región cambiaran radicalmente. La subida de las temperaturas durante el Holoceno permitió las lluvias y, por lo tanto, la erosión masiva de los cuerpos mineralizados del yacimiento de El Indio. Con dicha erosión vino la oxidación de la mineralización sulfurada y la lixiviación masiva de cobre y arsénico.

Había que comprobar si estas lecciones recién aprendidas tenían validez en las

cuenas del sur, nos referimos a las del Limarí y Choapa, aunque las sorpresas no acabarían. La primera vino acompañada nuevamente de una premisa falsa: no había minas en la zona cordillerana de la cuenca del Limarí, ni siquiera un yacimiento reconocido como tal. Por lo tanto, no deberíamos encontrar fuertes anomalías en metales pesados. Sólo había zonas de alteración hidrotermal en la cordillera y, como habíamos comprobado en la cuenca del Elqui (figura 1), la presencia de alteraciones no era suficiente para que se desarrollara una fuerte contaminación. Craso error, no había yacimientos pero sí un prospecto, y si había un prospecto, era potencialmente factible que hubiera fuertes anomalías geoquímicas. Después de todo, no se eleva una zona de alteración hidrotermal a la categoría de prospecto si ésta no tiene el potencial para convertirse en una zona explotable. Investigar la actividad de exploración antes de ponerse a trabajar

en una zona. Ésa es la clave, por difícil que sea recabar datos a partir de las compañías mineras.

La cuenca del Choapa proporcionó una última lección magistral. La explotación del pórfido cuprífero de Los Pelambres es a gran escala, con remoción de unas 300.000 toneladas/día y una producción anual del orden de 340.000 toneladas de concentrado de cobre. Parecía lo suficientemente grande como para dejar una marcada huella geoquímica en la cuenca del Choapa. No fue así y, como pudimos deducir durante la investigación, una serie de factores mineralógicos y estructurales mitigan fuertemente los procesos de lixiviación y transporte de metales. No queremos decir con esto que no exista contaminación asociada a Los Pelambres, la hay, pero es de menor escala (anomalía geoquímica del río Cuncumén) comparada con las de El Indio o Coipita (figura 6).

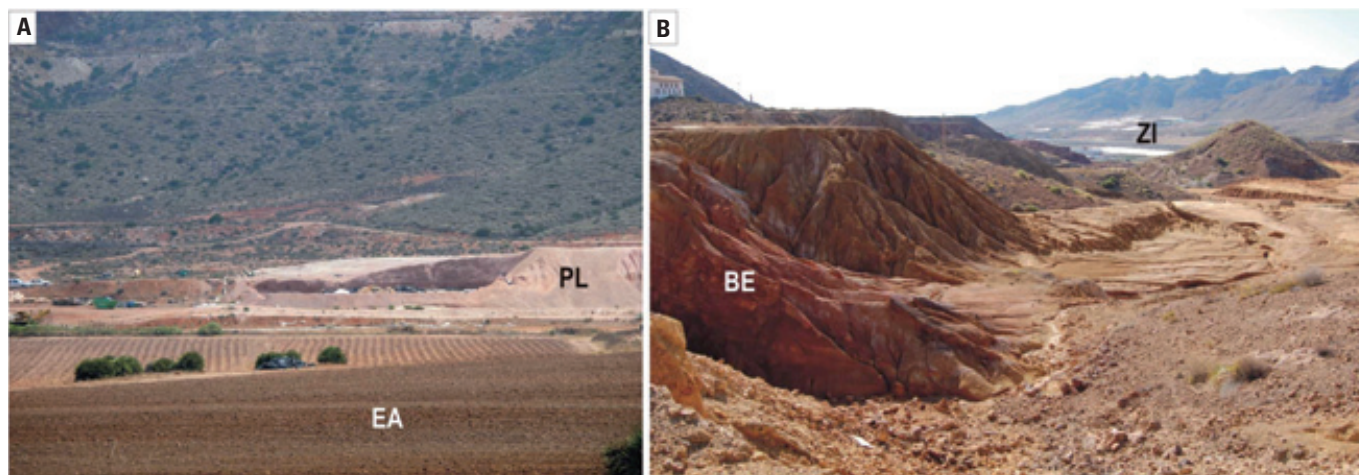


Figura 9. Riesgos ambientales en España, dos ejemplos. A: Pila de lixiviación rica en arsénico (PL) abandonada de Rodalquilar (Almería), al lado de una gran explotación agrícola (EA). B: Mazarrón, Perules-San Cristóbal, balsas de estériles (BE) abandonadas, ricas en plomo, zinc y arsénico, al lado de zonas de invernaderos (ZI) y el pueblo de Mazarrón (semiculto por el cerro).

### Sobre por qué 5 es mejor que 30: la flexibilidad de pensamiento y actuación

Otra reflexión guarda relación con el equipo de trabajo y sus premisas. Aunque parezca una paradoja, si hubiéramos dispuesto de grandes fondos y se hubieran prefijado las líneas de investigación antes de empezar, es muy probable que no se hubiera hecho ni la mitad. Fue justamente la carencia de una organización rígida lo que dio flexibilidad al equipo como para plantearse y replantearse el cómo, cuándo y por qué hacer las cosas. Es más fácil moverse y poner de acuerdo "a 5 que a 30". En este sentido, resulta curioso que el número de investigadores (mientras más "mejor") sea considerado como un factor de peso en la concesión de proyectos, y que se "premie" el tener las cosas "muy claras" antes de empezar. Al respecto resulta sorprendente (por decir lo menos) que en los impresos de algunas convocatorias de proyectos se pregunte a los investigadores cosas tales como: cuáles serán los resultados esperados del proyecto (¿si sabemos lo que vamos a encontrar para qué molestarse y gastar dinero en buscarlo?), o en qué revistas se publicarán los resultados de dicho proyecto (¿qué tiene que ver esto con la ciencia?). Esto es lo que se podría llamar "la ciencia urbanizada", que discurre por "asfaltadas carreteras" planificadas por las autoridades del sistema. En nuestra opinión, "flexibilidad" es la palabra clave. Un equipo sujeto a controles rígidos periódicos no puede hacer ciencia. La ciencia surge de la libertad de

pensamiento, los controles burocráticos atentan contra ésta.

### Palabras finales: el "geólogo ambiental" versus el "ambientalista"

El tema ambiental ha ganado importancia de manera progresiva en la geología, tanto en la enseñanza como en la investigación teórica y aplicada. Aunque los aspectos más "paisajísticos" de los problemas ambientales suelen a veces llamar de manera importante la atención de la opinión pública, existen otros, "de fondo", que, imprescindiblemente, deben ser tratados.

Muchos países registran una historia minera y metalúrgica que se extiende de manera importante en el tiempo. Décadas, incluso siglos de minería, han dejado un legado a veces oculto, de escombreras de mineral y otros residuos de origen minero que constituyen de facto potenciales bombas químicas de relojería. La carga mineral que no se explotó en su momento está sometida a procesos químicos naturales (oxidación, hidrólisis) que actúan sobre dichos minerales, contribuyendo a su disolución y, por lo tanto, a la liberación de metales pesados. Los metales puestos en solución pasan directamente a los suelos, pueden alcanzar por infiltración a las aguas subterráneas o continuar a través de los cursos fluviales, ampliándose considerablemente el área afectada y los riesgos potenciales para el medio ambiente y la salud humana. Ejemplos de esta naturaleza no hay que buscarlos

necesariamente en remotas regiones del mundo, ya que en España existen también abundantes ejemplos, incluso en las inmediaciones de ciudades o explotaciones agrícolas (figura 9). ¿Cómo y por qué se permiten estas cosas? Buena pregunta.

Obviamente, los peligros ambientales derivados de la minería no se circunscriben al legado minero de un país, sino que se extienden de manera incluso más importante al presente y se proyectan con fuerza en el futuro. Esto es debido a que la minería continúa y continuará siendo un factor importante en la economía de muchos países del mundo.

Para abordar estos problemas hace falta que los encargados de investigar lo hagan con una visión amplia de la geología. La geoquímica y la mineralogía son importantes herramientas ambientales, pero ninguna puede por sí responder a las múltiples interrogantes que surgen durante una investigación de campo. En otras palabras, los estudios minero-ambientales no pueden estar —exclusivamente— en manos de geoquímicos, mineralogistas o paisajistas. Tienen que estar controlados por "geólogos", profesionales que vayan más allá del uso de una "palita" para la toma de muestras de suelos o sedimentos y del posterior estudio, más o menos aristocrático, de los datos mediante sofisticados procedimientos analíticos y matemáticos. Pensamos que el estudio de las cuencas del Elqui, Limarí y Choapa ilustra este principio básico.

Para finalizar quisiéramos sugerir las características que debería tener un geólogo que trabaja en temas minero-ambientales. Así, el experto en recursos minerales y medio ambiente debería ser capaz de:

- Comprender la naturaleza “geológica” (integral) de los recursos minerales, tanto a escala local como regional.
- Comprender el potencial contaminante que poseen los yacimientos minerales y el papel que puede jugar su encajante.
- Comprender los principales métodos de explotación minera y procesos metalúrgicos.
- Comprender los procesos de traspaso geoquímico de metales y metaloides a la atmósfera, suelos, aguas y biota.

En función de lo anterior, debe también:

- Evaluar los riesgos potenciales que se derivan de los yacimientos minerales y explotaciones mineras en activo o abandonadas.
- Ser capaz de proponer soluciones ambientales acordes a cada caso concreto, previniendo riesgos y estableciendo normas para la restauración y remediación.

## Bibliografía

- Araneda, R. (1985). Nuevos aportes al conocimiento de la geología de El Indio, yacimiento de oro, plata y cobre, *Revista Minerales*, 168, Coquimbo, Chile, 27-39.
- Bissig, T.; Clark, A. H.; Lee, J. K. W. y Hodgson, C. J. (2002). Miocene landscape evolution and geomorphologic controls on epithermal processes in the El Indio-Pascua Au-Ag-Cu belt, Chile and Argentina, *Economic Geology*, 97, 971-996.
- Guzmán, R. (1986). Reseña geológica de algunos de los más importantes yacimientos chilenos de cobre del tipo diseminado. En: Frutos, J.; Oyarzun, R. y Pincheira, M. (eds.), *Geología y Recursos Minerales de Chile*, Universidad de Concepción, Concepción, 2, 509-545.
- Heald, P.; Foley, N. K. y Hayba, D. (1987). Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: acid sulfate and adularia-sericite types, *Economic Geology*, 82, 1-26.
- Higueras, P.; Oyarzun, R.; Lillo, J.; Oyarzún, J. y Maturana, H. (2005). Atmospheric mercury data for the Coquimbo region, Chile: influence of mineral deposits and metal recovery practices, *Atmospheric Environment*, 39, 7587-7596.
- Higueras, P.; Oyarzun, R.; Oyarzún, J.; Maturana, H.; Lillo, J. y Morata, D. (2004). Environmental assessment of copper-gold-mercury mining in the Andacollo and Punitaqui districts, northern Chile, *Applied Geochemistry*, 19, 1855-1864.
- Maksaev, V.; Moscoso, R.; Mpodozis, C. y Nasi, C. (1984). Las unidades volcánicas y plutónicas del Cenozoico superior en la alta cordillera del Norte Chico (29°-31°S): geología, alteración hidrotermal y mineralización, *Revista Geológica de Chile*, 21, 11-51.
- Oyarzun, R.; Lillo, J.; Higueras, P.; Oyarzún, J. y Maturana, H. (2004). Strong arsenic enrichment in sediments from the Elqui watershed, Northern Chile: industrial (gold mining at El Indio-Tambo district) vs geologic processes, *Journal of Geochemical Exploration*, 84, 53-64.
- Oyarzun, R.; Ortega, L.; Sierra, J.; Lunar, R. y Oyarzún, J. (1996). The manto-type gold deposits of Andacollo (Chile) revisited: a model based on fluid inclusion and geological evidence, *Economic Geology*, 91, 1298-1309.
- Oyarzun, R.; Ortega, L.; Sierra, J.; Lunar, R. y Oyarzún, J. (1998). Cu, Mn, and Ag mineralization in the Quebrada Marquesa Quadrangle, Chile: the Talcuna and Arqueros districts, *Mineralium Deposita*, 33, 547-559.
- Oyarzun, R.; Oyarzún, J.; Ménard, J. J. y Lillo, J. (2003). The Cretaceous iron belt of northern Chile: role of oceanic plates, a superplume event, and a major shear zone, *Mineralium Deposita*, 38, 640-646.
- Oyarzun, R.; Lillo, J.; Oyarzún, J.; Higueras, P. y Maturana, H. (2006a). Strong metal anomalies in stream sediments from semiarid watersheds in northern Chile: When geological and structural analyses contribute to understanding environmental disturbances, *International Geology Review*, 48, 1133-1144.
- Oyarzun, R.; Guevara, S.; Oyarzún, J.; Lillo, J.; Maturana, H. y Higueras, P. (2006b). The As-contaminated Elqui river basin: a long lasting perspective (1975-1995) covering the initiation and development of Au-Cu-As mining in the high Andes of northern Chile, *Environmental Geochemistry and Health*, 28, 431-443.
- Oyarzun, R.; Lillo, J.; Oyarzún, J. y Higueras, P. (2007a). Plate interactions, evolving magmatic styles, and inheritance of structural paths: development of the gold-rich, Miocene El Indio epithermal belt, northern Chile, *International Geology Review*, 49, 844-853.
- Oyarzun, R.; Lillo, J.; Oyarzún, J.; Maturana, H. y Higueras, P. (2007b). Mineral deposits and Cu-Zn-As dispersion-contamination in stream sediments from the semiarid Coquimbo Region, Chile, *Environmental Geology*, 53, 283-294.
- Plumlee, G. S. (1999). The environmental geology of mineral deposits. En: Plumlee, G. S. y Logsdon, M. J. (eds.), *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits. Parte A: Processes, Techniques, and Health Issues*, *Reviews in Economic Geology*, 6A, 71-116.
- Plumlee, G. S. y Nash, J. T. (2004). Geoenvironmental models of mineral deposits- Fundamentals and applications, en Du Bray, E. A. (ed.), *Preliminary Compilation of Descriptive Geoenvironmental Mineral Deposit Models*, *USGS Open-File Report*, 95-0831, 1-9, en: <http://pubs.usgs.gov/of/1995/ofr-95-0831/>
- Rössler, H. J. y Lange, H. (1972). *Geochemical Tables*, Elsevier, Ámsterdam, 468 pp.
- Veit, H. (1996). Southern Westerlies during Holocene deduced from geomorphological and pedological studies in Norte Chico, northern Chile, *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 123, 107-119.

# Construyendo relatos. El *storytelling*

## Construyendo Ítacas

TEXTO | Carmen Muñoz Jodar, directora ejecutiva; rosa gómez-acebo (consultora de Comunicación)

Me retrasé con el artículo. En realidad, aunque ahora resulte una unidad, lo he estado escribiendo a ratos; ratos mezclados de mala conciencia porque la fecha se me había echado encima. Por eso le escribí al editor: "No creas que se me ha olvidado el artículo. Al contrario. Estoy deseando sentarme a escribir, pero la transición está siendo intensa. No soy tan informal..., pero esta vez me ha pillado el toro. ¿Hasta qué día tengo? Prometo acelerar. Como la revista la tendrás muy avanzada, dime con qué espacio cuento y te doy el texto ajustado".

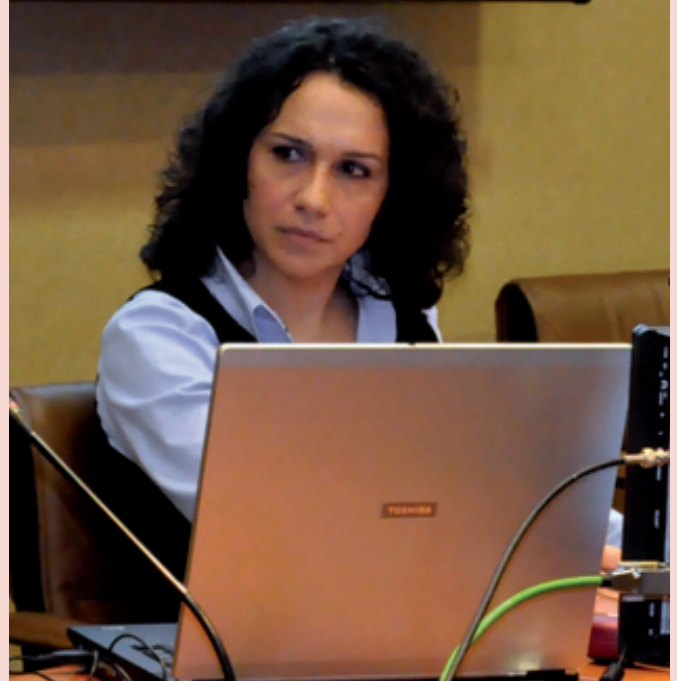
La "transición" a la que hacía mención en mi correo electrónico era la transición desde mi anterior ubicación profesional a la nueva que, justamente, se ha producido en estos días. En ese camino se unen cierres y aperturas técnicas de etapa, pero también cierres y aperturas emocionales. Total, que la vida se revoluciona y todo queda inundado de una sensación rara que te hace creer que avanzas, cuando sólo te mueves y no está claro hacia dónde o para qué...

La "despedida" es una nueva emancipación. Toda la protección que te da lo conocido (tus compañeros, tus jefes, tus rutinas o el sector) desaparece y la dejas atrás para adentrarte en un "espacio nuevo" y distinto, donde se mezclan emociones positivas (ilusión) con otras no tanto (inseguridad o miedo tóxico). Y nada vuelve a ser igual.

Te quedas solo al cerrar la puerta y "caminas" con tu caja llena de recuerdos hacia la incertidumbre. Una incertidumbre no sólo trascendente, sino también cotidiana. Es una incertidumbre que se respira, que huele, que se siente y que reside casi siempre en la boca del estómago.

Esta aventura te convierte en protagonista de una vida, la tuya, que no siempre te pertenece y que, probablemente, en breve, volverá a dejar de ser tan tuya (horarios, *debes...*). Reconocer tu nuevo espacio (mesa, ordenador, servicios o salida de emergencia...) y ocupar los cajones y parecer no tan despistado es un reto al que le sucede siempre el primer error que te advierte y advierte a tus compañeros de lo que llega. Decidí cometerlo el primer día. Para qué esperar...

¿Y entre tanto qué? Pues que han pasado dos semanas y, entre otros enemigos, me he topado con uno muy principal: el tiempo. Decía San Agustín que, si no le preguntaban, sabía lo que era el tiempo, pero que cuando le preguntaban, dejaba de saberlo. Pues algo de eso hay, sí. El tiempo, ese descerebrado que no atiende a razones, me ha puesto muchas zancadillas para llegar aquí, bueno, para hacerme creer que llego, que estoy llegando.



Hemos de construir un relato que ayude a nuestro público objetivo a entender que lo que estamos queriendo decirles es verdaderamente importante. Y ser *importante* no basta, porque estamos inundados de información, desbordados de datos, de reclamos... Y captar la atención del otro en un entorno lleno de "¡mírame!", nos obliga a diferenciarnos

Lo fundamental, en todo caso, es que el objetivo estaba claro. Tenía que escribir un artículo sobre la construcción de relatos, el *storytelling* que le llaman muchos y que no es otra cosa que utilizar las claves de la *hoguera* y el cuento o relato de nuestros ancestros

Como en el viaje hacia Ítaca, hagamos votos “para que sea larga la travesía, llena de peripecias y de experiencias; no temas ni a los lestrigones ni a los cíclopes, porque nunca tales monstruos hallarás en tu ruta si tu pensamiento es elevado”

o nuestra infancia para comunicar ideas complejas, corporativas o técnicas. De lo que se trata es de hacerse entender y, en el mundo actual, el mensaje que busca ser recordado, influyente, convincente, tiene un origen y un sustrato emocional. Nunca antes me había parado a pensar en la importancia de la geología y su *cotidianidad* como cuando tras el terremoto de L'Aquila en Italia alguien explicó el porqué del desastre y de la importancia de qué suelo es urbanizado. Pero también en el ocio se encuentran las claves de lo complejo... Por ejemplo, en el vino. Lo primero que pensé fue: “¿¿¿geología y vino!??”. Y, sí, tenía relación. ¡Claro! Es eso, es utilizar algo que al emisor y el receptor les une (la vida, la muerte, el vino...) y tirar del hilo. Porque si nos quedamos en la zona cómoda del lenguaje técnico, de las fórmulas y las teorías físicas y geológicas, de la explicación dogmática, entonces yo, como receptor-bombardeado-de-información, huyo, me evado, me pierdo. Es necesario encontrar el *gancho* a partir del cual construir el mensaje que queremos trasladar. ¿Cómo hacerlo? De la misma manera que conseguimos convencer a nuestro hijo de que esforzarse merece la pena. Contándole una historia. Las historias son universales. Comparten estructura y personajes. Cuando justificaba mi retraso con el artículo me apoyaba en un relato universal (iniciación, renovación...) y he mezclado arquetipos (el del inocente, el del explorador, el del héroe...). Había una misión (entregar el artículo en tiempo) en medio de un camino incierto (el cambio de un trabajo a otro), en el que encontraba obstáculos (el tiempo) y monstruos (la inseguridad o el miedo a lo nuevo), todo con el único afán de empatizar con el lector.

Algo de todo esto está pasando en las organizaciones (marca) y en nosotros (marca personal). Todo esto, que nace en buena parte de la publicidad, va, poco a poco, ocupando otras esferas. Anuncios de coches en los que no se ve el coche, pero sí la chica, el éxito o la libertad a través de un brazo que baila el aire... ¿Lo recuerdan? Pues eso está en todo. Estuvo en la campaña política de Obama, pero está en empresas como Apple y Steve Jobs; está en Coca-Cola, en Nike y en la NASA...; es un nuevo orden narrativo, como lo define muy bien Christian Salmon.

Algunos periódicos, incluso, están dando cursos de *storytelling* a sus periodistas porque ya no sirven las reglas de la información clásica; hay que diferenciarse del resto de medios y hay que evitar seguir perdiendo lectores. ¿Y por qué se marchan esos lectores?

Porque, utilizando la mención de Antonio Núñez, la *economía de la atención* está logrando resultados en otros lados, de otras formas. “No, no me lo expliques, ¡cuéntamelo!”, es la nueva consigna que nos fuerza a unos y otros a hacer un esfuerzo por salir del laboratorio y respirar calle. Es la fuerza de la simplicidad que nos lleva a utilizar los mismos códigos de lenguaje que empleamos en una cena con amigos. Haz la prueba. Si no eres capaz de captar la atención de tus amigos, olvídate.

Hemos de construir un relato que ayude a nuestro público objetivo a entender que lo que estamos queriendo decirles es verdaderamente importante. Y ser *importante* no basta, porque estamos inundados de información, desbordados de datos, de reclamos... Y captar la atención del otro en un entorno lleno de “¡mírame!”, nos obliga a diferenciarnos.

Tradicionalmente, las profesiones (médicos, ingenieros, abogados...) no han creído que tuvieran que justificar su función en la sociedad. ¿Quién iba a poner en duda el trabajo de la elite? Pero el mundo ha cambiado y los códigos, las narraciones, también. A la elite, de pronto, la *han aterrizado* en la calle y su discurso parece alienígena. Si queremos que nos entiendan no sólo los colegas, hablemos de geotecnia de túneles, de geohidrología o de colegiación y visado obligatorios, da igual, hemos de hacerlo creando un relato que justifique, en el lenguaje de la calle, para qué todo eso. ¿Qué modelo de sociedad defendemos con todo eso? No me importan ni la ley ni el BOE, dime por qué para mí eso es importante. En qué mejora o empeora mi vida. Es el que escucha o lee, el receptor, el que marca la pauta, porque es él quien, en definitiva, ha de ser seducido. Ya sea colegiado, alumno, político, periodista o cliente. Queremos provocar una reacción en ellos, pero ¿nos hemos parado a pensar cuál es el *interruptor* de la acción en unos y otros? ¿Les conocemos, les escuchamos, les sentimos?

Lo mejor de todo es que nada de esto es nuevo. La historia está construida a base de relatos que logran convencer. La historia de las religiones y los relatos religiosos, la educación de los hijos, el trabajo de motivación de Pep Guardiola con sus futbolistas, el que yo esté a favor o en contra de la subida del IVA... Gana quien seduce y ¿qué les une? La metáfora, la gestión de las emociones (miedo, optimismo...) o la invitación al reto, el aprendizaje o un trayecto que, como en el poema de Kavafis sobre Ítaca, es la vida misma. Llena de peligros, de riesgos, de amenazas..., y de triunfos también. Como en el viaje hacia Ítaca, hagamos votos “para que sea larga la travesía, llena de peripecias y de experiencias; no temas ni a los lestrigones ni a los cíclopes, porque nunca tales monstruos hallarás en tu ruta si tu pensamiento es elevado”. Llegar, he aquí tu destino.

#### Para saber más:

Núñez, Antonio (2008). *¡Será mejor que lo cuentes! Los relatos como herramientas de comunicación. Storytelling*; Edit. Empresa Activa. Segunda Edición. 224 pp.  
Salmon, Christian (2008). *Storytelling, la máquina de fabricar historias y formatear las mentes*; Edit. Península. 262 pp.

# Presentación del libro *Geología y vinos de España* en el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino

El Salón de Actos del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, en el madrileño paseo de la Infanta Isabel, fue testigo de la presentación en sociedad ante personalidades, invitados y medios de comunicación del libro *Geología y vinos de España*, el pasado jueves 11 de marzo de 2010 a las 12 del mediodía.

El acto estuvo presidido por el subsecretario del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Santiago Menéndez, junto con el presidente del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, Luis Suárez, y el propio autor de la obra, el geólogo aragonés Agustín Muñoz Moreno.

También estuvieron presentes varios miembros de la Junta de Gobierno del Colegio de Geólogos. Aparte del presidente, se dejaron ver José Luis Barrera, vicepresidente primero, Manuel Regueiro, secretario general, Cristina Sapalski, vicepresidenta segunda, así como otras personalidades del ICOG como Enrique Pampliega, responsable de Administración y Calidad, Fátima Camacho, secretaria de Presidencia, y Ángel Carbayo, presidente de la ONG Geólogos del Mundo, entre otros.

Por último, medios de comunicación y muchos colegiados y amigos también quisieron acercarse para saludar al autor —que había venido desde Zaragoza, su ciudad natal— y asistir al mismo tiempo a la presentación oficial de la obra.

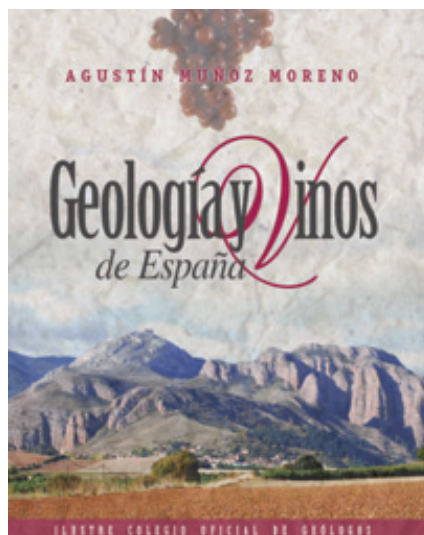
Con unos minutos de retraso sobre la hora prevista, para esperar a que se acomodaran todos los asistentes y ante un auditorio casi lleno, Luis Suárez, como presidente del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, fue el primero en tomar la palabra. Aprovechó su breve intervención para recordar cómo se gestó la elaboración del libro. Tuvo palabras de elogio para Agustín, al cual definió como un gran amante de los vinos y un gran geólogo, además de agradecerle el gran esfuerzo



Panorámica del salón de actos del Ministerio.

que ha tenido que realizar para recopilar la inmensa documentación que lleva el libro.

Asimismo, Suárez recordó a todos los asistentes los fundamentos básicos del Colegio: geología al servicio del ciudadano y la competencia para el competente. También quiso referirse a las excelentes relaciones del Colegio con el Ministerio, donde dijo sentirse tan cómodo como en su casa. Recordó que este Ministerio es el de referencia del Colegio de Geólogos.



El presidente del ICOG comentó cómo podía adquirirse la obra, a un precio de 60 euros, a través de la sede del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos en Madrid y también de las delegaciones de Aragón, Asturias, Cataluña y País Vasco. La solicitud se puede hacer por cualquiera de los medios de comunicación: Internet, fax o correo postal.

Posteriormente, fue Agustín Muñoz el siguiente en intervenir. Primero saludó a todos los asistentes y tuvo palabras de elogio y agradecimiento para el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, por haberle brindado la oportunidad de escribir una obra de estas características. También recordó y agradeció a José Luis Barrera y Luis Fueyo, por su dedicación a las tareas de corrección y edición, fundamentales para una obra compleja como ésta.

Apoyándose en una presentación en diapositivas, Muñoz hizo un recorrido exhaustivo por la gestación y elaboración de su obra, refiriéndose a la ardua tarea de recopilación e investigación que tuvo que realizar para analizar las relaciones existentes entre geología y vinos

Agustín habló de cómo procesos como sedimentación, metamorfismo o flujos de agua subterránea condicionan los factores biológicos que influyen en la producción de una uva de calidad. Reconoció que quiso realizar una obra que sirviera de enganche y motivación al profano, así como de estímulo y utilidad a los profesionales enólogos y agrónomos.

Expuso que con *Geología y vinos de España* pretendía dar a conocer de forma divulgativa las diferentes variantes que dan personalidad propia a las denominaciones de origen de España.

Muñoz explicó que con las 541 páginas y más de 800 fotografías, ilustraciones, mapas y tablas de *Geología y vinos de España* quería describir las variedades de vides existentes en nuestro país, la importancia de los procesos de selección y la utilidad del cultivo de la vid en la restauración de antiguas zonas mineras.

Un apartado de su presentación fue para las características del suelo y su influencia sobre el vino. La dependencia del suelo respecto a su entorno geológico, tema analizado en otro capítulo de la obra, también fue objeto de su intervención.

Para finalizar con su ponencia detalló el proceso de clasificación de las 69 denominaciones de origen de vino que hay



De izquierda a derecha, Luis Suárez, Santiago Menéndez y Agustín Muñoz.

en España y cómo él ha querido agruparlas, siguiendo criterios geológicos, en diez zonas fundamentales.

Acto seguido, sobre las 13.30 horas, Santiago Menéndez, subsecretario del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, fue el encargado de clausurar el acto, agradeciendo a los asistentes la presencia en su Ministerio, aprovechando también para felicitar al Ilustre Colegio Oficial de Geólogos la magnífica iniciativa de recopilar en un libro geología y vinos.

Una vez finalizada la presentación oficial, todos los asistentes se trasladaron al vestíbulo de Ministerio, donde se ofreció un vino de honor, regado, ¡como no podía ser de otra manera!, por los mejores caldos que se cultivan en nuestro país.

El autor, por el contrario, se vio obligado a incorporarse un poco más tarde, debido a que tuvo que atender a las peticiones de entrevistas de varios de los medios de comunicación asistentes y agradecer las múltiples felicitaciones que recibió.

Muchos fueron los que quisieron llevarse el libro en mano a su casa, pero, para su sorpresa, tan sólo había tres ejemplares, ya que por motivos logísticos (es un volumen muy pesado debido a su tamaño) y de número de ejemplares, desde el Colegio de Geólogos consideraron que era mejor emplazar a los interesados a solicitarlo más adelante en la propia sede.

El cóctel se alargó hasta pasadas las 14.30 horas y sirvió para que autoridades políticas, miembros del ICOG, invitados, amigos del autor y medios de comunicación intercambiaran opiniones, acercaran posturas y departieran sobre la vinicultura, geología y otros temas terrenales, sin olvidarse de tener siempre la copa de vino llena para poder hablar con conocimiento de causa.



El autor del libro, Agustín Muñoz.

# Reunión de la XIII Promoción de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid

TEXTO | Antonio Perejón y Rosa Blanca Babín

La XIII Promoción de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid inició sus estudios el curso 1964-65, cuyo primer año era selectivo y común para todas las carreras de ciencias y había que aprobar completo para iniciar la licenciatura. Los estudios de la Sección de Geología de la Facultad de Ciencias tenían su sede en los locales ubicados en el pabellón 5º de Medicina, "el pisito", donde se encontraban los despachos de los profesores, las aulas y los laboratorios de prácticas de las asignaturas geológicas. En el curso que concluimos nuestros estudios, 1968-69, la facultad inició su instalación en el nuevo edificio y, por lo tanto, estrenamos sus aulas y laboratorios.

Entre nuestros profesores ya fallecidos recordamos a D. Francisco Hernández-Pacheco, D. José María Fuster, D. Bermudo Meléndez, D. Francisco Mingarro, D. Luis Sánchez de la Torre, Dña. Josefina Menéndez Amor, y, aún entre nosotros, a D. Manuel Alía, Dña. Carmina Virgili y D. Emiliano Aguirre, a los que les agradecemos sus enseñanzas, básicas para nuestra formación como geólogos.

Con motivo de cumplirse en septiembre del año 2009 el XL aniversario de la finalización de los estudios de licenciatura de la XIII Promoción, Rosa Blanca Babín y Antonio Perejón, miembros de la misma y profesora e investigador en activo de nuestra facultad, iniciaron las gestiones de localización de las direcciones de sus compañeros durante los últimos meses del año para convocar una reunión. Se quería compartir juntos los recuerdos de sus experiencias universitarias, recordar a los maestros que los enseñaron y estrechar los lazos de amistad que los unen.

Disponíamos de una relación de direcciones actualizada con la celebración del XXV aniversario y, gracias a las informaciones personales, a los recursos electrónicos y a las bases de datos disponibles en la Red, pudimos contactar con un número considerable de compañeros y convocarlos para un reunirnos en nuestra facultad.

El reencuentro tuvo lugar el sábado 23 de enero de 2010 en la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense



Figura 1. Asistentes a la celebración del XL aniversario, en la puerta principal de la Facultad de Ciencias Geológicas, el día 23 de enero de 2010. De izquierda a derecha: primera fila sentados: Juan Sellas, Juan Gil, Evaristo Portillo<sup>1</sup>, Mary (esposa de Evaristo), Elisa Rodrigo, Loles Macau, Sensi (esposa de A. Samaniego), Antonio Samaniego y Alejandro García Villar. Segunda fila sentados: Francisco Hernán, Carlos Boldo, Manuel Caramés, M<sup>a</sup> Carmen García Palacios, Loly (esposa de A. Perejón), Antonio Perejón, Félix Mellado y Fernando Recreo. Tercera fila de pie: José Portero, José María Buhigas, Juan Manuel Plaza, Rosario Solá, Manuel Valera, José Casas, Alberto Tallos, Rafael López Moya (fallecido el 26 de febrero), Rafael Baum, Manuel Sánchez Jiménez, Beatriz Navarro, Francisco Herrera, Rosa Blanca Babín, Carlos Mínguez, José María Martín Alafont, Andrés Carbó y Alfonso Corral.

1. Fallecido el 30 de marzo de 2010.

Se multiplicaban los momentos de emoción por el reencuentro y enseguida se establecían múltiples conversaciones rememorando anécdotas y recuerdos de nuestros años de estudiantes

de Madrid, en el que Sol López Andrés, vicedecana de Investigación e Infraestructuras, en nombre del decano de la facultad, Eumenio Ancochea, dio la bienvenida a los asistentes al acto y expresó el interés de la facultad de promover este tipo de reuniones, que pueden facilitar la vinculación de sus antiguos alumnos a las actividades que organice la facultad. En nombre de los organizadores intervino Antonio Perejón, que agradeció al equipo decanal de la facultad su apoyo e interés en facilitarnos los medios logísticos para celebrarla, así como a los asistentes su presencia, recordando a los que, por diversas circunstancias, no han podido estar hoy con nosotros.

La convocatoria era a las 13 horas para compartir una comida *lunch* en el bar de la facultad, que habíamos adornado con temas alusivos a la celebración. Pero ya desde las 12 empezaron a llegar los más madrugadores, de Canarias, el Ampurdán, Valencia, Cáceres y Alicante, aunque la mayoría residimos en Madrid. En algunos casos teníamos que hacer un esfuerzo para reconocernos; algunos no nos veíamos desde que terminamos la licenciatura, y el tiempo había marcado las diferencias de nuestros rostros de entonces, pero, tras el suspense, a veces con apuntador, nos reconocíamos y nos fundíamos en emotivos abrazos.

A medida que el número aumentaba, se multiplicaban los momentos de emoción por el reencuentro y enseguida se establecían múltiples conversaciones rememorando anécdotas y recuerdos de nuestros años de estudiantes, de los profesores, de las excursiones de campo, de las prácticas y de los distintos derroteros que habían tomado nuestras vidas desde entonces; muchos somos abuelos y alguna pareja, que no pudo estar, de 11 nietos.

Muchos de nosotros hemos dedicado nuestra actividad a la geología en empresas, universidades e investigación, incluso creando nuestras propias empresas. Algunos a la enseñanza universitaria y secundaria y otros a actividades diversas, pero todas relacionadas con nuestra formación geológica. La mayoría estamos jubilados o muy próximos a ello y, como en todos los colectivos que celebran aniversarios, algunos compañeros con los que compartimos los estudios ya no están con nosotros, a ellos le dedicamos un emotivo recuerdo.

Para mantener y afianzar nuestros contactos, todos estuvimos de acuerdo en que debíamos reunirnos por lo menos una vez al año y, para mantener vivo este reencuentro, se sugirieron algunas



Figura 2. Excursión Paso del Ecuador. D. Manuel Alía explicando en el campo, junio de 1966.

iniciativas que pueden contribuir a poner nuestra memoria colectiva en común. Entre ellas elaborar un archivo, ya en marcha, con todas las fotos que podamos recuperar de nuestra época de estudiantes para con ellas grabar un CD o un DVD y, si fuera posible, registrar por escrito los recuerdos de entonces y reunirlos en un libro.



Figura 3. Cartel de la celebración del Paso del Ecuador, junio de 1966.

# Jornada sobre Volcanes y Seguridad Aérea en el Colegio de Geólogos

TEXTO | Manuel Recio, Europa Press

La erupción del volcán islandés Eyjafjallajökull y el posterior caos aéreo que provocaron las cenizas que desprendió han estado de actualidad durante todo el mes de abril, y lo que queda... Cancelaciones de vuelos, millones de pasajeros apiñados en los aeropuertos de medio mundo sin saber qué hacer, Gobiernos restringiendo el espacio aéreo del Viejo Continente, compañías con pérdidas económicas millonarias y un largo etcétera de daños colaterales.

Ante tal panorama, muchos fueron los medios que se pusieron en contacto con José Luis Barrera, vicepresidente del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos y experto vulcanólogo, para poder dar respuestas a todos los interrogantes que se han planteado tras la erupción.

Por ese motivo, a instancia del Colegio Oficial de Geólogos, se organizó una jornada extraordinaria titulada "Volcanes y Seguridad Aérea", que tuvo lugar el pasado 28 de abril en el salón de actos del ICOG y que contó con la participación de tres máximos expertos en la materia: José Luis Barrera, representante del Colegio de Geólogos, Luis Lacasa, decano del Colegio Oficial de Pilotos de Aviación Civil (COPAC), y Carlos García Royo, piloto de Iberia y geólogo. El presidente del ICOG, Luis Suárez, actuó de moderador de la jornada. Todos aportaron distintos puntos de vista sobre el complejo problema del vulcanismo y la seguridad aérea ante una nube de cenizas volcánicas, entre otras cosas, porque es la primera vez en la historia europea que se cierra el espacio aéreo por un fenómeno volcánico.

Unos minutos antes de las 12 horas, mientras los asistentes terminaban de acomodarse, Luis Suárez, presidente del ICOG, saludaba a los tres ponentes, antes de presentarlos ante el auditorio.



De izquierda a derecha, Carlos García Royo, Luis Suárez, Luis Lacasa y José Luis Barrera.

El primero en intervenir fue José Luis Barrera, quien con 20 minutos tuvo suficiente tiempo para hacer una divulgativa y amena exposición sobre los orígenes del vulcanismo en Islandia. Se apoyó además en unas espectaculares fotos de los glaciares y volcanes del país nórdico.

En referencia a la erupción del volcán Eyjafjallajökull, sugirió que es posible que la erupción pudiera estar propiciada, en parte, por el cambio climático, ya que el incremento de la temperatura global del planeta origina el deshielo de los glaciares islandeses y su reducción de espesor, lo que favorece que la presión de los gases volcánicos pueda superar la presión de la columna del hielo y, por tanto, producirse más fácilmente la erupción. A ese respecto precisó que una gran parte del vulcanismo en Islandia tiene origen subglacial, se produce cada cuatro o cinco años, por lo que se sitúa como el área con mayor actividad de Europa. Además, advirtió de que se espera que otro de los volcanes islandeses, el Katlá, pueda entrar en erupción en cualquier momento.

En relación a los peligros de la erupción, el representante del ICOG apuntó que las emisiones del volcán islandés tienen altos niveles de azufre que originan las lluvias ácidas, y de flúor, perjudicial para el ganado y el campo, aunque en menor medida para el hombre. Asimismo, indicó que otro de los riesgos son las inundaciones, ya que el calor que desprende el volcán derrite el hielo del glaciar y origina avalanchas de lodo que inundan la zona costera (el sandur).

El siguiente en tomar la palabra fue Luis Lacasa, decano del Colegio Oficial de Pilotos de Aviación Civil (COPAC), quien reclamó la creación de un sistema de organización centralizada del tráfico aéreo para Europa. Se mostró partidario de olvidarse de regionalismos y apostar por una autoridad central que permita ofrecer alternativas y optimizar recursos que minimicen los efectos negativos y los costes asociados.

El decano de los pilotos reveló que el caos aéreo que produjo el volcán fue un hecho excepcional que se debió a que

todo aconteció en muy poco espacio de tiempo. Además, indicó que el hecho de que algunos vuelos ya hubieran comenzado propició el colapso de los cuatro aeropuertos con mayor tráfico de Europa: Heathrow en Londres, el Charles de Gaulle en París, Schiphol en Ámsterdam y el de Fráncfort, algo que nunca antes había pasado.

Asimismo, Lacasa recordó que el objetivo principal es que un avión no entre en una nube volcánica, ya que éstas contienen partículas abrasivas que pueden parar los cuatros motores de la aeronave, provocar humo en la cabina o problemas de estática.

En lo que se refiere a un sistema de detección, el decano del COPAC avanzó que se están implantando radares que detectan partículas invisibles y de turbulencias de aire, y que también se pueden utilizar para localizar las nubes de cenizas volcánicas.

Carlos García Royo, geólogo y piloto de Iberia, fue el último en tomar la palabra para hacer una ponencia empírica, técnica y científica sobre las reacciones químicas que las partículas abrasivas de un volcán pueden producir en la estructura de un avión de línea comercial.

A su vez, hizo una explicación detallada de cómo es el impacto de esas partículas



Mesa de ponentes. En el centro, Luis Suárez (de blanco), y Luis Lacasa a su izquierda.

de origen volcánico, que contienen elementos angulosos, abrasivos y eléctricos, sobre el fuselaje del avión. García explicó que afectan sobre todo al motor, al producirse la erosión y ablación de los alabes del compresor, la fusión parcial de materiales en la cámara de combustión y la solidificación sobre los alabes de la turbina.

En el turno de preguntas, periodistas e invitados aportaron interesantes cuestiones sobre el tema, pero fue Luis

Suárez, presidente del ICOG, quien sacó el tema del vulcanismo en España. A ese respecto, José Luis Barrera recordó que la única zona activa de nuestro país son las islas Canarias, concretamente el sur de la isla de La Palma y la zona occidental de Tenerife; explicó que el archipiélago está perfectamente preparado para afrontar con garantías una erupción como la que se ha producido en Islandia, ya que se cuentan con los planes de riesgo volcánico y evacuación adecuados.

Aunque se pueda actuar con rapidez y garantías, Barrera pidió —en la misma línea del Senado y el Parlamento de Canarias—, que se aceleren los trámites para la creación del Instituto Vulcanológico de Canarias, para que sirva de estudio e investigación sobre la actividad volcánica y que centralice los esfuerzos de las distintas administraciones competentes en la vigilancia de erupciones volcánicas.

La jornada concluyó casi dos horas después del mediodía, con la agradable sensación de haber resuelto muchos de los interrogantes planteados y con las expectativas puestas en seguir ampliando en número de ponencias y charlas de este tipo para poner la geología y los temas científicos al servicio de los ciudadanos, como reza el lema del Colegio de Geólogos.



Público y representantes de la prensa.

# Presentación de la Plataforma de Geólogos Emprendedores

El 24 de mayo tuvo lugar la presentación de la Plataforma de Geólogos Emprendedores en un acto público que se celebró a las 18.00 horas en la sede del Ilustre Colegio de Geólogos y que contó con la participación del presidente de la Confederación Empresarial de Madrid (CEIM), Arturo Fernández Álvarez. La Plataforma de Geólogos Emprendedores es una iniciativa pionera dirigida a pymes y autónomos que ejercen su labor profesional en relación con la geología, cuyo objetivo principal es crear un espacio de información, formación y ayuda a los geólogos emprendedores con el cual dar respuestas a las dudas y necesidades de las empresas y autónomos del sector de la geología, según explicó Benito Rivera, vocal de la junta directiva del ICOG y uno de los impulsores de la iniciativa.

De hecho, como apuntó el presidente del ICOG, Luis Suárez, la plataforma se desarrollará en el ámbito del Colegio, utilizando sus instalaciones, medios profesionales y técnicos, así como sus relaciones institucionales, como canal de ayuda, información y opinión. Se organizarán, además, reuniones presenciales de carácter bimensual, con información virtual que se distribuirá a través de la red profesional LinkedIn. A su vez, la Plataforma de Geólogos Emprendedores ofrecerá a sus miembros un espacio físico para reuniones o grupos de trabajo, visibilidad en la web del ICOG, un espacio virtual de punto de encuentro de profesionales y asesoramiento fiscal y financiero.

"La crisis económica actual es también una oportunidad para las empresas", afirmó Luis Suárez, presidente del ICOG, en el acto de presentación de la Plataforma de Geólogos Emprendedores. Suárez animó a todos los geólogos colegiados a aprovechar los nuevos nichos de mercado que han ido surgiendo en los últimos años en torno a actividades como la captura de CO<sub>2</sub>, la energía geotérmica o la planificación de vertederos. Asimismo,



*De izquierda a derecha, Manuel de Tena-Dávila, José Felipe San José Riaño, Julia Sainz, Rodolfo Molina Stranz y Agustín Castañer.*

el presidente del ICOG recordó que la Ley Ómnibus, recientemente aprobada, ha supuesto un cambio importante en la actividad de los colegios profesionales que afecta también a las empresas creadas por geólogos colegiados. Entre estos cambios, destacó que ahora todos los colegios profesionales tienen la obligación de facilitar a sus colegiados una ventanilla única para realizar todo tipo de trámites relacionados con su actividad profesional, así como facilitar el acceso a dichos trámites a través de medios telemáticos.

Tras su intervención, el presidente del ICOG cedió la palabra a Arturo Fernández Álvarez, presidente de la Confederación Empresarial de Madrid (CEIM), quien destacó el papel que están llamados a realizar los geólogos en estos momentos de enormes desafíos económicos, sociales y medioambientales. El presidente de la patronal madrileña recalcó, además, la importancia que tendrán los profesionales de la geología en la definición de una política energética para España que sea sostenible, limpia y eficiente.

En su intervención, Arturo Fernández subrayó que en 2009 cerca de 200.000 empresas desaparecieron en España, debido a la presión fiscal, la falta de liquidez y la falta de reformas estructurales. Por este motivo, el presidente de CEIM pidió al Gobierno central que no aumentase los impuestos y que la búsqueda del equilibrio presupuestario se hiciera a partir de la contención del gasto. Además, el representante de la Confederación Empresarial de Madrid animó a los geólogos emprendedores a aprovechar la línea de financiación de 17.500 millones de euros que ha constituido CEIM, en colaboración con la Cámara de Comercio de Madrid y el Gobierno autonómico, y cuyo objetivo es proporcionar financiación a pequeñas y medianas empresas y autónomos de la Comunidad de Madrid.

Tras el acto de presentación de la Plataforma de Geólogos Emprendedores, ésta celebró su primera mesa-debate informativa para profesionales del sector, en la que se abordaron las oportunidades

de financiación para pymes y autónomos de la geología. Manuel de Tena-Dávila, miembro de la Plataforma, explicó que en España hay más de 8.000 geólogos, de los cuales, la mitad, unos 4.000, están colegiados. Tena-Dávila resaltó, asimismo, el alto espíritu empresarial del colectivo, ya que más de un millar de los colegiados trabajan como autónomos o han constituido pequeñas empresas relacionadas con la geología.

A continuación intervino Rodolfo Molina Stranz, vicepresidente del Registro de Economistas Asesores Fiscales (REAF). Molina Stranz abordó las opciones más interesantes para los geólogos emprendedores a la hora de elegir entre su constitución como sociedad anónima o como autónomos. A este respecto, Molina Stranz resaltó que no hay una fórmula general y que es necesario buscar soluciones a medida de cada caso. Asimismo, el vicepresidente del REAF recomendó a los geólogos que utilicen en su actividad el modelo de contrato por servicios profesionales proporcionado por el ICOG para evitar, en la medida de lo posible, los problemas de impagos y morosidad con sus clientes, ya que, como resaltó, "muchas veces lo más difícil es demostrar que hay un impago y el contrato ayuda mucho en ese sentido".

Por su parte, Julia Sainz, directora del Departamento de Nueva Empresa de Avalmadrid, explicó cuáles son los objetivos y funciones de esta entidad,



De izquierda a derecha, Benito Eladio Rivera, Arturo Fernández Álvarez y Luis Eugenio Suárez Ordóñez.

constituida como intermediario financiero con capital mixto (público y privado) para facilitar financiación a pequeños y medianos empresarios, así como autónomos. Como detalló Sainz, el hecho de contar con el respaldo de la Comunidad de Madrid, la Cámara de Comercio de Madrid y CEIM permite a Avalmadrid ofrecer a las pymes y autónomos madrileños financiación en condiciones muy ventajosas. Además, Avalmadrid ofrece no sólo avales financieros, sino también avales técnicos y líneas de financiación para la internacionalización de empresas madrileñas.

En la mesa-debate también intervino José Felipe San José Riaño, responsable del área

de pymes de La Caixa en Madrid, quien apuntó que las entidades financieras han cambiado su forma de evaluar las solicitudes de financiación para las pymes. "Antes nos basábamos en una fotografía de la situación de la empresa; ahora buscamos proyectos sólidos y de futuro", matizó San José Riaño. En esta misma línea se expresó Agustín Castañer, delegado de zona del banco SabadellAtlántico, quien reconoció que las entidades financieras deben cambiar su forma de evaluar el riesgo de los clientes y convertirse en auténticos asesores de financiación para pymes y autónomos, más que en jueces encargados de decidir quién recibe financiación y quién no.

Tras las intervenciones de los participantes en esta primera mesa-debate de la Plataforma de Geólogos Emprendedores, se procedió a un turno de preguntas por parte de los geólogos asistentes al acto, que mostraron gran interés por las posibilidades de financiación que ofrecían las entidades presentes, aunque también aprovecharon la ocasión para exponer sus críticas hacia las entidades financieras tradicionales por la escasez de financiación que están ofreciendo a los pequeños empresarios y autónomos. Una vez finalizado el turno de preguntas, todos los asistentes al primer acto de la Plataforma de Geólogos Emprendedores pudieron disfrutar de un cóctel ofrecido por el Colegio de Geólogos como colofón a la presentación de la iniciativa.



Aspecto de la sala.

Nueva Plataforma del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos

# Geólogos-@

Para **empresarios, emprendedores y pymes**

La Plataforma Geólogos-e es una iniciativa del ICOG dirigida a las pymes y profesionales libres de la Geología. El objetivo de la plataforma es aglutinar a los geólogos que desarrollan su actividad profesional como empresarios y profesionales libres para aportarles desde el colegio formación y algunos medios que incrementen su capacidad empresarial y profesional. Abierta para geólogos y no geólogos.

- Información de interés general.
- Espacio físico para poder desarrollar reuniones o grupos de trabajo (sedes del Colegio).
- Espacio para potenciar su publicidad, a través de la Web del colegio.
- Una plataforma virtual que sirva de encuentro y puesta en común de estos profesionales a través de LinkedIn.
- Presentaciones o foros bimensuales.
- Un espacio abierto a las propuestas de los componentes de la Plataforma.

La Plataforma se presentó el pasado 24 de mayo en Madrid con la asistencia del presidente de la Confederación Empresarial de Madrid-CEOE. Ese mismo día se realizó la primera mesa-debate sobre financiación.

Las próximas actividades serán unas mesas-debate sobre:

- Morosidad.
- Internacionalización.
- Tecnologías de la información y las comunicaciones aplicadas a la gestión.
- Cooperación internacional.

## Geólogos-@

Ilustre Colegio Oficial de Geólogos  
C/ Raquel Meller, 7. 28027 Madrid  
Tel.: 91553 24 03  
[www.icog.es](http://www.icog.es)  
[icog@icog.es](mailto:icog@icog.es)

**LinkedIn**

[www.linkedin.com/groups?home=&gid=2348493](http://www.linkedin.com/groups?home=&gid=2348493)

# Inauguración de la Jornada Técnica Internacional 'Presente y futuro de la energía geotérmica en España'

El pasado 19 de mayo se inauguró en la primera Jornada Técnica Internacional "Presente y futuro de la energía geotérmica en España", organizada por el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos (ICOG), en el marco de la feria Genera 2010. El salón Colón, del Centro de Convenciones Norte de IFEMA, se quedó pequeño para acoger a todo el público que mostró interés por conocer de primera mano qué es la energía geotérmica y cuál es el grado de desarrollo de dicha fuente de energía en España.

La inauguración corrió a cargo de Luis Eugenio Suárez, presidente del ICOG, quien estuvo acompañado por Javier Eugenio Ramos, secretario general del Ministerio de Vivienda, Margarita de Gregorio,

secretaria técnica de GEOPLAT, y Carlos Martínez Navarrete, director del Departamento de Investigación en Recursos Geológicos del Instituto Geológico y Minero (IGME).

En su intervención, Luis Suárez demandó que los futuros proyectos de edificación incluyan entre sus instalaciones habituales sistemas para el aprovechamiento de la energía geotérmica somera. El presidente del ICOG recordó que la Ley de Economía Sostenible establece una reducción del 20% en las emisiones de CO<sub>2</sub> para el año 2020, "y la energía geotérmica puede contribuir enormemente a ese objetivo, ya que es una energía renovable, segura y que no produce emisiones".



En este sentido, Luis Suárez precisó que España todavía está a la cola de Europa en el desarrollo de la energía geotérmica, y muy lejos de países como Alemania o Francia, donde se emplea no sólo para proporcionar calefacción y agua caliente sanitaria a hogares unifamiliares, sino también a comunidades de vecinos,



Mesa presidencial. De izquierda a derecha, Manuel Regueiro, Luis Suárez, Javier Ramos, Carlos Martínez, Margarita de Gregorio y José Luis Barrera.

escuelas, edificios públicos, carreteras e invernaderos.

Por su parte, Javier Eugenio Ramos recalcó el enorme interés que las energías renovables en general y la geotérmica en particular están generando en España en los últimos años y aclaró que su ministerio estudiará las propuestas del Colegio de Geólogos para integrar en los nuevos proyectos de edificación las instalaciones geotérmicas, porque "el país que no tenga una política rigurosa de ahorro energético no tendrá sitio en la economía del futuro", añadió.

### Objetivos para 2020

La secretaria técnica de la Plataforma Tecnológica Española de Geotermia (GEOPLAT), perteneciente al Ministerio de Ciencia y Tecnología, Margarita de Gregorio, indicó que los objetivos de este organismo para 2020 establecen una potencia instalada de 1.000 megavatios de energía geotérmica somera y 1.300 megavatios de energía geotérmica profunda que permitan la producción de 1.000 megavatios de electricidad y 300 megavatios térmicos. Durante su intervención, De Gregorio precisó también que, actualmente, las energías renovables suponen apenas el 7% del consumo de energía primaria y, entre las diferentes



*Panorámica de los asistentes.*

fuentes alternativas, la geotermia sólo representa el 0,01%.

En cuanto a las zonas de España con mayor potencial para el desarrollo de la energía geotérmica, un reciente informe de GEOPLAT apunta a las islas Canarias, Galicia, el Pirineo Central, las cuencas del Ebro y el

Guadalquivir, la cadena costera catalana y la cordillera bética como las más idóneas para la producción de energía geotérmica somera y de media temperatura.

Tras Margarita de Gregorio tomó la palabra Carlos Martínez Navarrete, en representación del IGME. Navarrete destacó el interés creciente que despierta la energía geotérmica en España y agradeció al ICOG y a la organización de Genera 2010 la puesta en marcha de la Jornada Técnica Internacional, así como la invitación al Instituto Geológico y Minero a participar en la coordinación de la misma.

Concluido el acto de inauguración, y ante un auditorio completamente lleno, comenzó la Jornada Técnica con la intervención de diferentes expertos nacionales e internacionales en el campo de la energía geotérmica que, a lo largo de dos días de conferencias, ponencias y debates, analizaron la situación actual de la geotermia en Europa y en España, así como sus posibilidades de futuro y los retos a los que deberán hacer frente los organismos públicos y las empresas privadas que actúan en este segmento de actividad económica.



*Stand del ICOG en la Feria.*

[ Aire ]

[ Agua ]

[ Tierra ]

[ Buderus ]

Captadores solares térmicos  
Captadores de tubo de vacío  
Kits fotovoltaicos  
Bombas de calor geotérmicas

## Especialistas en confort sostenible: sistemas eficientes e integrados

Líder mundial en calefacción, Buderus es una empresa responsable que ofrece soluciones para la utilización rentable y eficiente de las energías renovables.

Con los **captadores solares térmicos** Logasol y **tubos de vacío** Vaciosol de Buderus, más del 70% del agua caliente proviene de la energía solar. Los **kits fotovoltaicos** para conexión a red de Buderus, obtienen la electricidad con la mayor eficiencia. Y las **bombas de calor geotérmicas** reversibles Buderus Logafix aprovechan el calor de la tierra para calor, frío y agua caliente sanitaria todo el año.



El calor es nuestro

[www.buderus.es](http://www.buderus.es)

**Buderus**



**Ventajas para los colegiados del Colegio de Geólogos:**

- 1 - Detalle de Bienvenida a la llegada del hotel (cesta de frutas, botella de agua o bombones).
- 2 - Upgrade según disponibilidad del hotel.
- 3 - Consideraciones a la llegada y salida del hotel.

P|R|E|S|T|I|G|E  
HOTELS OF THE WORLD  
by keytel

Donde se aloja el prestigio

[www.prestigehw.com](http://www.prestigehw.com)

## II Congreso Internacional sobre Mejores Tecnologías Disponibles en **vertederos**

### VERSOS'10 Vertederos y Sostenibilidad

Alhóndiga, Bilbao  
10, 11 y 12 de Noviembre de 2010

- MTDs, técnicas constructivas y materiales.
- Diseño y explotación de vertederos y rellenos.
  - Plantas de valorización y triaje.
  - Gestión y tratamiento de emisiones (lixiviados y gases).
  - Sistemas de gestión documental y de información medioambiental.
  - Vigilancia ambiental en fases de construcción, explotación y postclausura.
  - Experiencias en el sellado y restauración.
  - Usos postclausura de vertederos.

#### INFORMACIÓN E INSCRIPCIÓN

[www.versos.org.es](http://www.versos.org.es)

VERSOS  
Colegio de Geólogos del País Vasco

c/ Iparragirre 36, 1º D  
48011 BILBAO  
[info@versos.org.es](mailto:info@versos.org.es)  
[www.versos.org.es](http://www.versos.org.es)

#### PATROCINAN



#### COLABORAN

