

Tierra y Tecnología

REVISTA DE ACTUALIDAD E INFORMACION GEOLOGICA

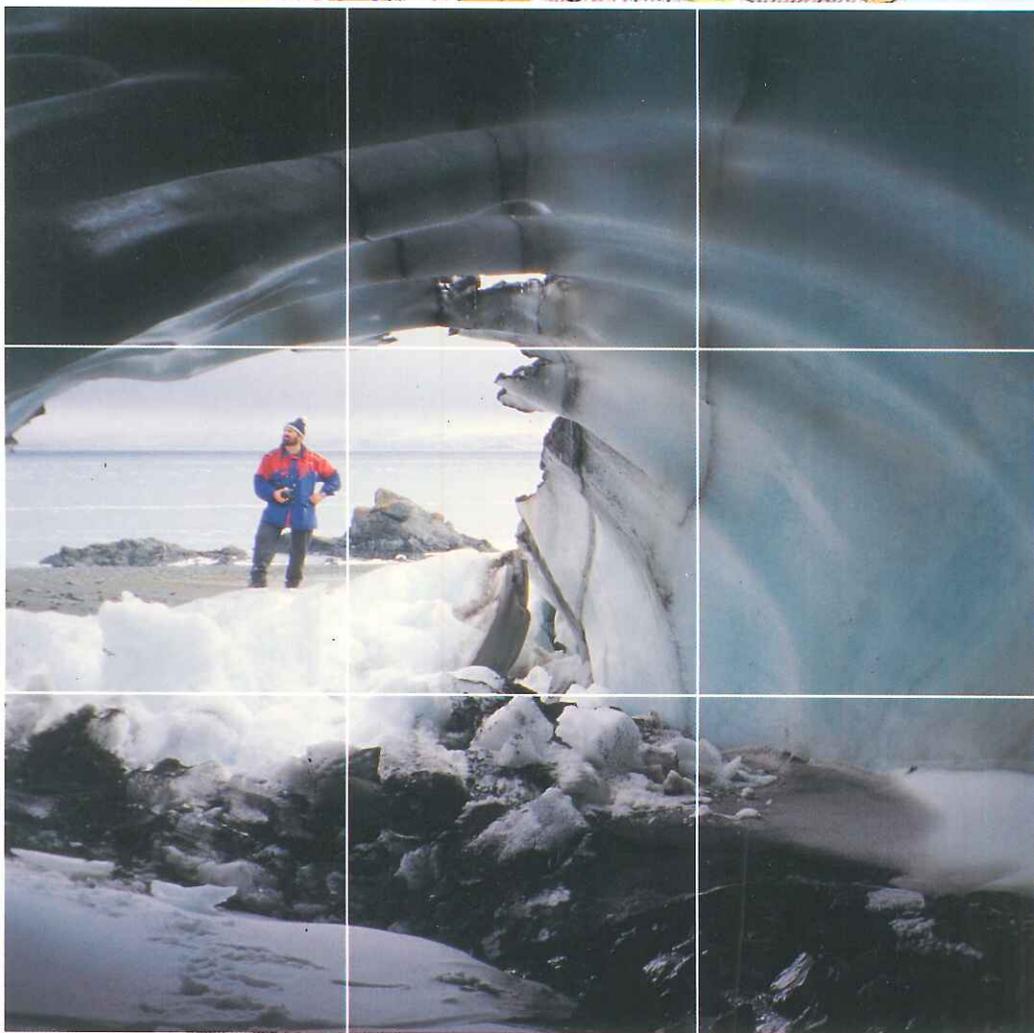
NUMEROS 14 y 15

Aplicaciones de los Fractales

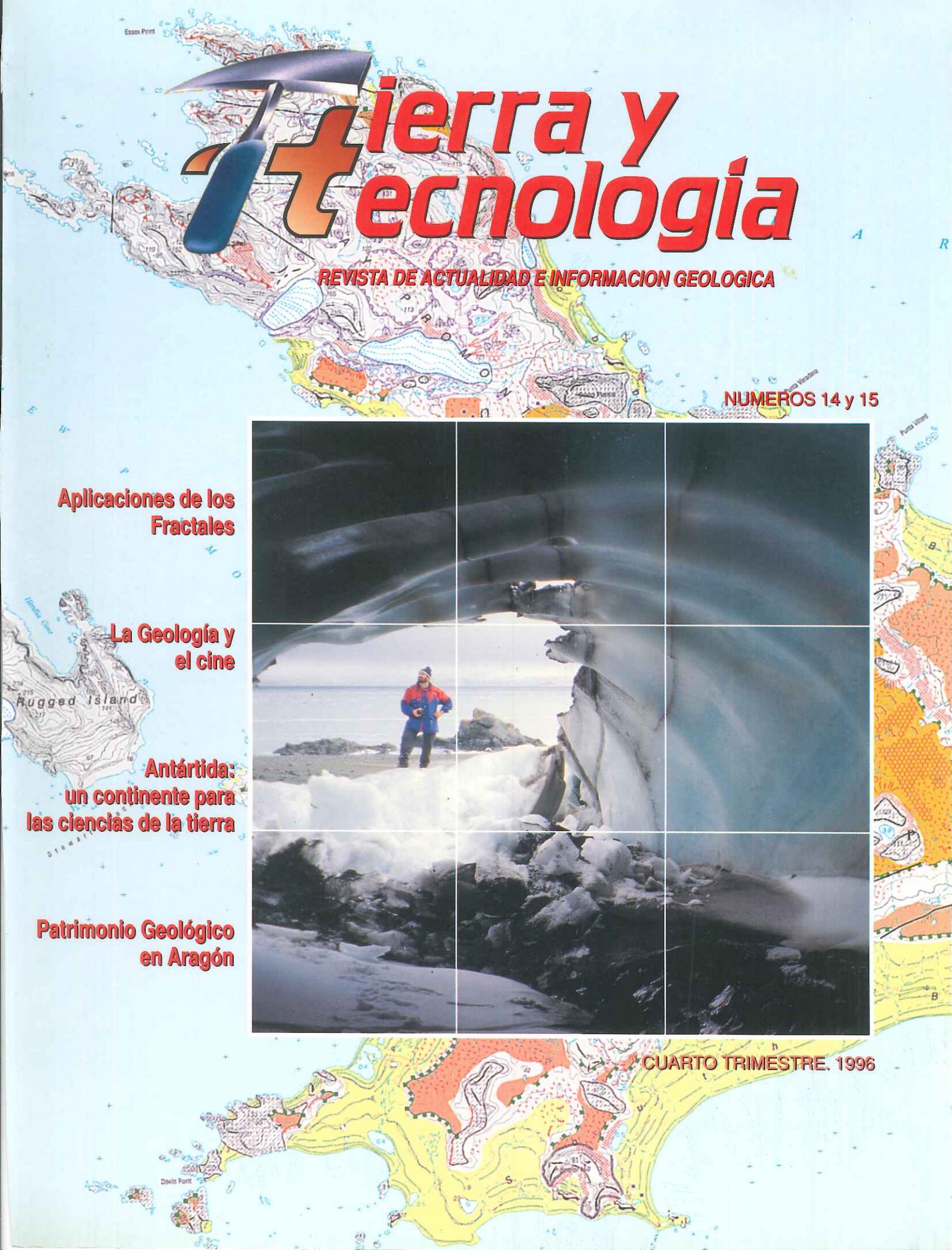
La Geología y el cine

Antártida: un continente para las ciencias de la tierra

Patrimonio Geológico en Aragón



CUARTO TRIMESTRE. 1996



!!! SUSCRIBASE a . . . !!!



tierra y tecnología *tierra y tecnología* *tierra y tecnología* **una publicación especializada en temas relacionados con ...**

tierra y tecnología **- Medio Ambiente**

tierra y tecnología **- Ingeniería Geológica**

tierra y tecnología **- Teledetección y SIG**

tierra y tecnología **- Exploración Minera**

tierra y tecnología **- Recursos Minerales**

tierra y tecnología **- Hidrogeología**

tierra y tecnología **- Hidrocarburos**

tierra y tecnología **- Geofísica**

tierra y tecnología **- Mineralogía**

tierra y tecnología **- Construcción y auxiliar**

tierra y tecnología **- Energía eléctrica, agua y gas,**

tierra y tecnología **así como ...**

... otros sectores relacionados con las Ciencias de la Tierra y el Medio Ambiente

SOLICITUD DE SUSCRIPCION



REMITIR A:

Ilustre Colegio Oficial de Geólogos

Avda. Reina Victoria, 8 - 4º B - 28003 MADRID

Telf.: 91 - 553 24 03 - Fax : 91 - 533 03 43

Nombre DNI

Empresa CIF

Actividad

Calle

C.P. Población Provincia

Telf. Fax

Formas de Pago:

- Cheque bancario adjunto nº
- Giro Postal nº

(Suscripción anual 2.500,- ptas.)

Conforme:

(Firma y sello de la empresa)



Ilustre Colegio Oficial de Geólogos

Administración y Redacción
Avda. de Reina Victoria, 8-4.º B
28003 MADRID
Teléfono 91-5532403
e-mail:icog@telprof.euociber.es

COMITÉ EDITORIAL
Director. Editor Principal
Juan José Durán Valsero

Editores Adjuntos
Alfonso Arribas Herrera
Pablo Gumiel Martínez
José Luis Ordóñez Fernández
Jaime Palacio Suárez
Manuel Rolandi Sánchez-Solís

Colaboradores
Eleuterio Baeza Chico
Luis Barceló Vidal
Carlos Busón Buesa
Fátima Camacho Serna
Alejandro Chacón Auge
Roberto García Barbero
Eugenio Guerrero Serrano
Juan Pequeño Pequeño
Matilde Pertierra Rey
Lidia Ranz Villarino
Manuel Regueiro y González Barros
Gonzalo Santacruz de la Torre
Leandro Sequeiros Sanromán
Luis Eugenio Suárez Ordóñez
Mercedes Vallejo Ordóñez

Corresponsales
María Reyes Alfaro Ruiz (Navarra)
Javier Burillo Panivino (Aragón)
Jesús Cruz Jiménez (Castilla-León)
Antonio Jesús González Barrios (Andalucía)
Francisco Illana Martos (Andalucía)
José Antonio Sánchez Espinosa (Murcia)

Colaborador Especial
Joaquín Araújo

Diseño, Composición e Impresión
Gráficas Summa, S. A.
Tel. (91) 326 48 56
(98) 526 10 00

En Portada
Cueva en hielo en la Isla Livingston (Antártida)
Fotografía: Jerónimo López Martínez

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.

Editorial	4
investigación	
La investigación antártica en Ciencias de la Tierra	5
Interés de algunas aplicaciones de la Geometría Fractal en Geología	12
tecnología	
KTB: Un telescopio hacia el interior de la Tierra	22
medio ambiente	
La prevención de riesgos naturales. El caso de Biescas	26
Impacto ambiental y restauración de canteras en Andalucía Oriental	31
cultura	
La Geología vista por el cine: una interpretación particular	35
patrimonio geológico	
Los elementos geológicos de Aragón como recurso sociocultural	42
arte	
José Ganfornina o el realismo fantástico	46
evolución	
¿El primer habitante de Eurasia?	48
naturaleza con firma	
El patrimonio geológico	50
historia de la geología	
Geología y política: Casiano de Prado y Valle (1797-1866)	51
sociedad	
III Congreso Nacional del Medio Ambiente	53
punto de vista: aficionados vs. profesionales	54
la brújula	55
biblioteca	56
miscelánea	56
noticias - administraciones públicas - empresas - proyectos - breves	57
opinión	62

Editorial

Con este número doble, *Tierra y Tecnología* pretende iniciar una nueva etapa, apoyándose en los logros conseguidos a través de los trece primeros números. Su anterior director, Manuel Rolandi ha dejado una herencia editorial sólida, con una trayectoria bien marcada, lejos ya de los temores y las esperanzas de los comienzos. Sirvan estas líneas de agradecimiento a su esfuerzo y empeño personal. *Tierra y Tecnología* no es ya desde hace algún tiempo ningún proyecto de futuro, sino una realidad firme. Pero, como ocurre siempre, cuando algo no cambia, lo hace el entorno. Y en este sentido bien puede decirse que la sociedad ha cambiado en los últimos años muy rápidamente, y continúa cambiando sin pausa. Por eso, es preciso adaptarse, flexibilizar posiciones, abrir puertas, todo ello, naturalmente, sin perder las señas propias de identidad. En el caso de *Tierra y Tecnología*, estas son claras: el convencimiento de que la Geología es una disciplina integradora, abierta, cuyo conocimiento debe ser puesto al servicio de la sociedad.

Esta revista quiere ser un punto de encuentro entre ambas, Geología y Sociedad; un lugar donde los profesionales de la Geología –y no sólo ellos, también otros profesionales– expongan sus logros, avances, debates y

opiniones; un mensaje abierto, en alta voz y sosegado, hacia las Administraciones Públicas; un cordón umbilical entre los Centros de Investigación, las Empresas y la Sociedad. Y todo ello en ambos sentidos, impregnado de un sentimiento permeable y dinámico.

El nuevo equipo editorial incorpora al tiempo savia joven y se enraíza en los orígenes de las primeras publicaciones del ICOG. Son numerosos los compañeros y compañeras que han ofrecido desinteresadamente su colaboración para impulsar una *Tierra y Tecnología* renovada. Algunas novedades se apuntan ya en este número, y otras irán apareciendo sucesivamente. La variedad, la calidad y la actualidad se convertirán en moneda corriente en las páginas de la revista del colectivo de geólogos españoles. El prestigio de algunos de los nuevos colaboradores no deja lugar a la duda (y ahí está la sección titulada **Naturaleza con firma**, Joaquín Araújo para demostrarlo). Sólo queda, por último, hacer una llamada a la Comunidad Profesional y Científica para que, con sus contribuciones, consoliden *Tierra y Tecnología*, haciendo que su presencia sea mayor cada día.

El Comité Editorial

Correo abierto

Una sugerencia

Me gustaría que se abriese una sección de cartas dirigidas a quien el escritor necesite: unas pueden ser dirigidas al Presidente del ICOG, otras a los responsables de los cursos de formación, al Director de la Revista *Tierra y Tecnología*...

Con esta sección se daría respuesta a las muchas inquietudes que tenemos los geólogos y que no pueden ser resueltas con facilidad.

M.^a Reyes Alfaro Ruiz. Colegiada n.º 2.310. Navarra.

N. R. Dicho y hecho. En esta ocasión, lo demandado se ha resuelto fácilmente: aquí está la sección abierta a todo tipo de correspondencia.

Viajar y Aprender

Solicito se tenga en cuenta mi curriculum vitae para poder acceder al puesto de corresponsal de *Tierra y Tecnología*. Creo que es el trabajo ideal para viajar y aprender constantemente y así mejorar mi formación como geólogo, lo cual es lo que necesitamos los jóvenes licenciados.

Jesús Cruz Jiménez. Avila.

N. R. Son numerosas las solicitudes de colaboración recibidas en la redacción de *Tierra y Tecnología*, siendo esta sólo una muestra de ellas. Por supuesto todas son bienvenidas y aceptadas, aunque hay que aclarar que este puesto no es remunerado.

¿Dónde está T & T n.º 14?

No he recibido el n.º 14 de *Tierra y Tecnología*, que debería haber llegado a finales de septiembre. En noviembre, se nos envió una carta en la que se indicaba el inicio de una nueva época de la Revista, anunciándose una notable renovación y diversos cambios. Así las

cosas, no sé si la Revista no me ha llegado porque no se ha editado debido a las consecuencias del proceso de renovación o es que sí se ha editado y no me ha llegado. Me gustaría conocer la opción correcta, o investigar, en el caso de que se haya remitido el n.º 14, las causas por las que no la he recibido.

Javier Manteca. Colegiado n.º 2.930. Jaén.

N. R. Cuando leas esta respuesta, ésta ya estará clara; Este es un número doble de *Tierra y Tecnología*, el 14-15. Efectivamente, el proceso de renovación llevó consigo un paréntesis, aprovechando para contactar con numerosos colegiados, solicitar ideas, recoger algunas de las sugerencias y ofrecer una T & T nueva, que intente mejorar a la anterior.

Quiero sugeriros una sección dedicada en *Tierra y Tecnología* a Geología de otras superficies planetarias y procesos de caracterización por impacto. Considero que sería muy del interés de los colegiados, ya que abre nuevas perspectivas dentro del cuerpo científico al que pertenecemos.

De esta manera, me ofrezco para intercambiar pareceres respecto a esto último, avalado por diversas publicaciones, conocimientos, material gráfico y documental muy abundante y de calidad, así como también en mi condición de miembro de la **Planetary Society**, e integrante del **Directory of European Impact Researchers** de la **Network on Impact Cratering and Evolution of Planet Earth**, adscrita a la **European Science Dundation**.

Eugenio Guerrero Serrano. Colegiado n.º 2.652. Madrid.

N. R. No sólo nos parece perfecta la sugerencia, sino que además recogemos el guante en lo relativo a la colaboración: A tu disposición, una sección fija dedicada a este tema, tan de actualidad en estos momentos.

La investigación antártica en Ciencias de la Tierra

Jerónimo López Martínez

Licenciado en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense de Madrid. Doctor en Ciencias Geológicas por la Universidad de Zaragoza. Actualmente es Profesor Titular de Geodinámica en la Universidad Autónoma de Madrid, presidente del Comité Nacional de Investigación Antártica, delegado español en el Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR) y representante español en el SCAR Working Group on Geology.

Las Ciencias de la Tierra constituyen uno de los pilares fundamentales de la investigación antártica, existiendo una serie de iniciativas internacionales en este campo que son comentadas en el presente artículo. Se incluye también una relación de temas clave a los cuales podría enfocarse la investigación geológica en la Antártida durante los próximos años. Asimismo, se reseñan los temas, las áreas geográficas y los grupos que desarrollan investigaciones de Ciencias de la Tierra dentro del Programa Nacional de Investigación en la Antártida, así como algunas de las publicaciones antárticas realizadas en nuestro país.

Earth Sciences are one of the main topics of the Antarctic research. In this paper some of the existing international initiatives in this field are commented. A list of headings denoting the important scientific issues and key questions that could form the focus of geological research in Antarctica over the next few years is also included. Likewise, the themes, geographical areas and groups working on Earth Sciences under the Spanish Antarctic Research Programm are cited, as well as the references of some Antarctic publications made in our country.

Un continente para la ciencia

El Polo Sur se encuentra situado en el centro de un continente, a su vez rodeado por extensos océanos, al contrario de lo que sucede con el Polo Norte, emplazado en un área oceánica rodeada por grandes masas continentales. Este hecho es trascendente para el conjunto del planeta, por su influencia en las características y la dinámica de las circulaciones atmosférica y oceánica. Pero la Antártida posee, además, una serie de peculiaridades que la hacen un lugar especialmente interesante para la investigación científica:

- Allí se encuentra casi el 90 % del hielo terrestre y ello hace que sea el principal foco productor de frío en el planeta.

- Con sus 14 millones de kilómetros cuadrados (el 10 % de las tierras emergidas del mundo) se trata del continente menos conocido, debido a su lejanía, duras condiciones ambientales y por presentar algo más del 98 % de su superficie recubierta de hielo.

- Los glaciares antárticos presentan un espesor medio de 2.500 m, llegando a un máximo del orden de 4.600 m, lo que hace que se trate del continente con mayor altitud media, unos 2.000 m sobre el nivel del mar.

- El medio ambiente y los recursos naturales de la Antártida han permanecido preservados de la acción del hombre más que en ningún otro lugar del mundo.

- Allí se han registrado las temperaturas más bajas en la Tierra, -89,2° C, así como vientos de 300 km/h.

- Se trata de un lugar muy alejado de zonas habitadas y por lo tanto de los focos de contaminación antrópica, encontrándose a 1.000 km de Suramérica, 2.300 km de Australia y 3.600 km de África.

- En la Antártida nunca ha existido una población estable, no se han producido guerras y no existen instalaciones nucleares.

- Es el único lugar en el mundo regido por un sistema multinacional, el Tratado Antártico (firmado en 1959), que regula las actuaciones en los hielos y tierras más allá del paralelo 60° S.

- El Tratado Antártico promueve la cooperación internacional y declara a la Antártida como un territorio dedicado fundamentalmente a la investigación científica.

Investigar en la Antártida permite aumentar el conocimiento sobre una parte concreta de nuestro planeta, pero también conduce a descubrimientos de significación global, al establecimiento de nuevos modelos y contribuye al

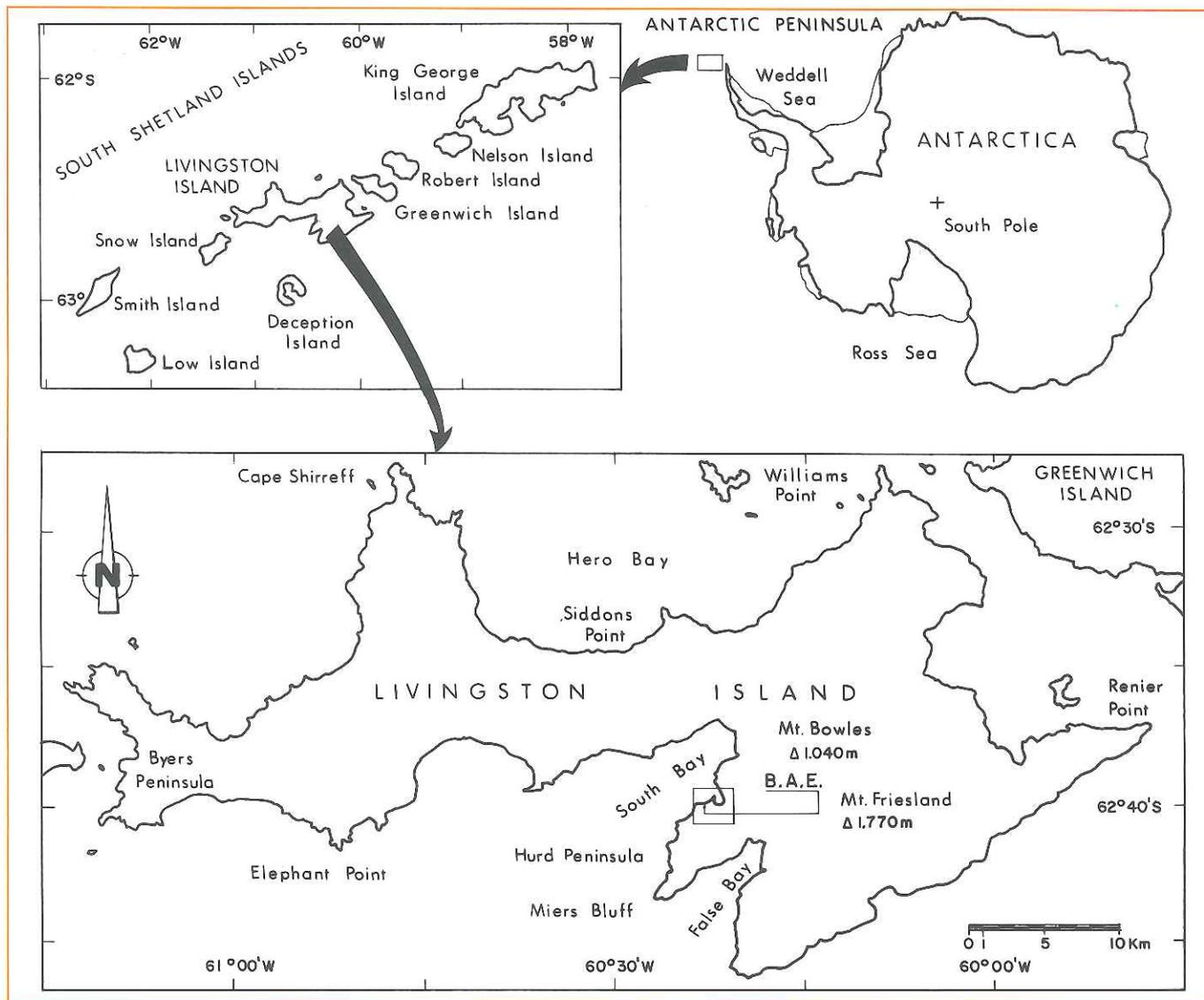


Fig. 1. La Antártida y el sector donde se desarrollan la mayor parte de las investigaciones españolas. B.A.E. = Base antártica española Juan Carlos I.

avance de la ciencia. Todo ello favorecido por la condición de laboratorio natural privilegiado que posee el territorio antártico.

Proyectos en curso y perspectivas en Ciencias de la Tierra

Tradicionalmente las Ciencias de la Tierra (incluyendo aquí en este término geología, geofísica y glaciología) han sido y siguen siendo uno de los pilares fundamentales de la investigación antártica. De hecho, el estudio de ese continente experimentó un impulso enorme con la celebración, en 1957/58, del Año Geofísico Internacional, que eligió a la Antártida como objetivo preferente de estudio. Fue a partir de

entonces cuando se establecieron numerosas bases y programas de investigación, y cuando el ICSU (*International Council of Scientific Unions*) estableció un comité interdisciplinar dedicado a la promoción y coordinación de la investigación científica en la Antártida. Este comité es el SCAR (*Scientific Committee on Antarctic Research*) del que forman parte en la actualidad 25 países como miembros plenos y 7 países como miembros asociados. En el seno del SCAR existen una serie de *Working Groups*, dedicados a los principales aspectos de la investigación antártica (*Geology, Solid Earth Geophysics, Glaciology, Biology, etc.*), integrados por representantes nacionales.

En los foros citados, se procura impulsar la investigación antártica en

los diversos campos y fomentar la colaboración internacional para abordar los temas con una mayor eficacia y economía de medios. Aspectos estos especialmente relevantes en la Antártida, donde los requerimientos logísticos son complejos y costosos.

Algunos ejemplos de iniciativas, proyectos e investigaciones en curso que pueden servir como muestra del interés de la investigación antártica actual en Ciencias de la Tierra, así como de las posibilidades y ventajas de la cooperación internacional son los siguientes:

– Proyecto ANTOSTRAT (*Antarctic Offshore Acoustic Stratigraphy Project*): Se trata de una iniciativa internacional, iniciada en 1990, que ha unido los esfuerzos de geólogos y geofísicos de varios países con el fin de localizar



Fig. 2. Base antártica española Juan Carlos I en la Isla Livingston.



Fig. 3. Buque Oceanográfico Hespérides.

y estudiar las cuencas sedimentarias cenozoicas alrededor de la Antártida. Además, otra importante contribución de este proyecto es el desarrollo del *Seismic Data Library System*, una recopilación de los numerosos perfiles sísmicos realizados por diversos países alrededor del continente. Un interesante resultado de este proyecto es la reciente publicación *Geology and seismic stratigraphy of the Antarctic margin* (American Geophysical Union, Antarctic Research Series, Vol. 68, 1995. 303 págs, 22 mapas, 2 CD-ROMs).

– *European Project for Ice Coring in Antarctica (EPICA)*: Se trata de una reciente iniciativa, financiada por la Unión Europea, en la que intervienen 12 países. Se realizarán dos sondeos en el hielo en el Dome C y en Dronning Maud Land, el primero de los cuales comenzará en la estación 1996/97.

– *Lake Vostok*: Mientras en la estación rusa de Vostok sigue progresando la profundización del más impor-

tante sondeo del hielo antártico, que ha aportado ya interesantes reconstrucciones sobre las temperaturas y otras características atmosféricas de los últimos 200.000 años, se ha descubierto que en su vertical existe un lago, con agua líquida, de unos 15.000 km² de extensión. El sondeo alcanzará el lago cuando se perforen unos 1.000 m de hielo por debajo de la profundidad alcanzada en la actualidad, que es de 2.500 m. Este enorme lago contiene agua procedente de la fusión del hielo basal, aproximadamente un millón de años después de haberse depositado en superficie, probablemente conteniendo restos de microorganismos y con sedimentos acumulados en su fondo que podrían tener una antigüedad de varios millones de años. La investigación de este lago, al que se accederá mediante el sondeo en curso, puede ser una interesantísima fuente de información tanto desde el punto de vista geológico como biológico. En la actualidad exis-

te un grupo internacional que estudia las precauciones y actuaciones a tener en cuenta antes de que el sondeo alcance el lago.

– *Propuestas de ODP (Ocean Drilling Project)*: Basadas en la información recopilada por el Proyecto ANTOSTRAT, anteriormente comentado, se han presentado 5 propuestas de ODP en la Antártida, las cuales se encuentran en la actualidad pendientes de aprobación. Los lugares propuestos han sido: Ross Sea, Wilkes Land margin, Prydz Bay, Weddell Sea y sector Pacífico de la región de la Península Antártica.

– *Cape Roberts Project*: Se trata de perforar más de 2.000 m acumulativos de sedimentos, de edades entre 30 y 100 Ma., mediante 4 sondeos de 500 m, en el sector occidental del Mar de Ross. La perforación comenzará próximamente y se espera obtener una interesante información estratigráfica, paleogeográfica y paleoclimática del



Fig. 4. Grupo de geólogos utilizando motos de nieve para desplazarse sobre los glaciares.



Fig. 5. Prospección sísmica para estudiar el relleno sedimentario y la estructura del sustrato.



Fig. 6. Cueva en el hielo. La capa de sedimentos intercalada indica la disposición de los lechos en el frente del glaciar.

continente antártico en el Cretácico Superior y el Cenozoico.

– *Iniciativa sobre Late Quaternary evolution of the Antarctic ice margin (ANTIME)*: Dentro del programa del SCAR sobre *Global Change in Antarctica (GLOCHANT)*, y como contribución al programa *Past Global Changes (PAGES)* del *International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP)*, se persigue estudiar en detalle y correlacionar entre sí las reconstrucciones paleoambientales obtenidas en los sondeos en el hielo y en los registros sedimentarios. En este marco se encuadra la iniciativa ANTIME, dedicada principalmente al estudio de los últimos 250.000 años a través del registro sedimentario en ambientes marinos, costeros, lacustres y glaciares, y a su correlación con los sondeos en el hielo antártico. Este ámbito de estudio, y en particular su focalización más detallada en los últimos 20.000 años, incluyendo análisis de alta resolución dentro de los registros del Holoceno, permitirá obtener una útil información para comprender mejor las variaciones presentes y futuras en la Antártida.

– *Patrimonio Geológico Mundial*: En la Antártida existen siete lugares incluidos en la *Provisional Global Indicative List of Geological Sites (GILGES)*, iniciativa del *Working Group on Geological and Palaeobiological Sites* para la preservación del Patrimonio Mundial.

Aunque los avances en el conocimiento del medio físico-geológico antártico han sido enormes, siguen produciéndose importantes descubrimientos y quedan aún muchas incógnitas por resolver en lo que se refiere a la geología del continente y de los fondos marinos circundantes. Para señalar algunas de las perspectivas que existen para la investigación geológica en la Antártida, de cara a los próximos años, indicamos una serie de temas de interés que han sido puestos de manifiesto en la reunión del *SCAR Working Group on Geology*, celebra-

da durante el XXIV *SCAR Meeting* (Cambridge, Agosto 1996). Están expresados en forma de preguntas a las que la investigación antártica en geología debería enfocarse e intentar dar respuesta durante los próximos años. Se procuró seleccionar temas de importancia global, para los cuales la Antártida puede servir como laboratorio para su solución. Los temas y preguntas clave identificados son:

Paleoambientes antárticos en el Fanerozoico Superior

– ¿Cuál es la historia del volumen del hielo antártico?

– ¿Cómo está relacionado el volumen del hielo con las características oceánicas y el nivel del mar?

– ¿Cómo respondieron los seres vivos a los cambios ambientales?

– ¿Cómo ha evolucionado el paisaje antártico a lo largo de los tiempos fanerozoicos?

Paleobiología y evolución en la Antártida

– ¿Qué papel ha jugado la Antártida en la distribución de las plantas y animales terrestres?

– Antártida, ¿un centro para la evolución?

– ¿Cómo se han adaptado las plantas y animales a las temperaturas y luz extremas de las altas latitudes?

– ¿Cuál es el origen de la fauna marina actual?

– Floras y faunas marinas bi-polares. ¿Por qué algunas especies están presentes en ambos polos, pero ausentes en latitudes bajas?



Fig. 7. Campamento para el trabajo de campo fuera de la base.

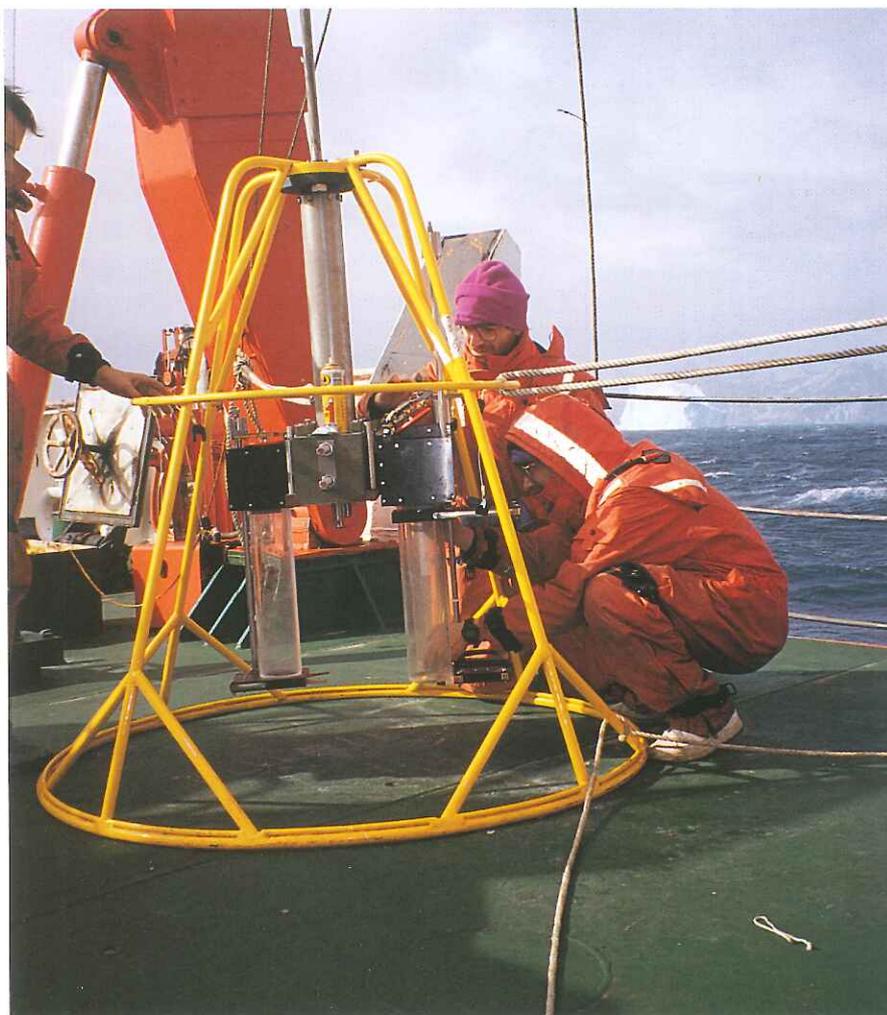


Fig. 8. Preparación, en la cubierta del Hespérides y frente a la costa antártica, del instrumental para la obtención de muestras de sedimentos blandos del fondo marino.

– ¿Cómo influye la geología subglaciar en la naturaleza y comportamiento de los casquetes de hielo?

La investigación española en Ciencias de la Tierra

España entró a formar parte, como miembro consultivo, del Tratado Antártico en 1988 e ingresó en la organización científica antártica, el SCAR, en 1990. Se puede, por lo tanto, afirmar que la experiencia y la tradición de la ciencia, y también de la exploración, española en la Antártida son reducidas, en particular si se compara con los varios decenios de actividad antártica que han desarrollado otros países.

Sin embargo, desde que se estableció la primera base española en la Antártida, en 1988, y se instauró un Programa Nacional de Investigación en la Antártida dentro del Plan Nacional de I+D, la actividad científica de nuestro país en la Antártida ha crecido considerablemente. A través de las convocatorias anuales de proyectos de investigación, varias universidades, centros del CSIC y otros Organismos Públicos de Investigación han trabajado en la Antártida, contando con el apoyo de los medios logísticos existentes, que en la actualidad consisten en 2 bases en tierra (Base Juan Carlos

Procesos sedimentarios en el margen antártico

– ¿Cuáles son las fuentes principales de los sedimentos en el margen continental antártico?

– ¿Cómo son transportados y depositados estos sedimentos?

– ¿Cómo afectan los sedimentos y la geomorfología a los seres vivos?

Acreción y dispersión de supercontinentes: Antártida y geodinámica global

– ¿Cómo fueron la naturaleza y la duración de los principales acontecimientos de acreción en la Antártida y regiones adyacentes?

– ¿Cómo fueron la duración y la geometría de la fragmentación de Gondwana alrededor de la Antártida?

– ¿Cómo fueron los principales mecanismos que dirigieron la fragmentación?

Geología subglaciar

– ¿Cuáles son las provincias litosféricas subglaciares?

ALGUNAS PUBLICACIONES ESPAÑOLAS SOBRE LA ANTARTIDA

Además de los más de 200 artículos científicos sobre Ciencias de la Tierra publicados en diferentes revistas y libros, cuyas referencias se encuentran recopiladas en los informes anuales del Comité Nacional de Investigación Antártica-SCAR, y de los mapas indicados en el cuadro adjunto, cabe reseñar las siguientes publicaciones:

– *Actas de los Simposios Nacionales de Estudios Antárticos*: 1º: 1986, Fuengirola; 2º: 1987, Madrid; 3º: 1989, Gredos; 4º: 1991, Puerto de la Cruz, Tenerife; 5º: 1994, Barcelona. Publicados por la CICYT, Madrid.

– *Geología de la Antártida Occidental*. J. López Martínez (Ed.). Simposio, T. 3. 1992. III Congreso Geológico de España y VIII Congreso Latinoamericano de Geología. Salamanca. 358 págs.

– *Investigación española en la Antártida*. Seminario de la Universidad Internacional Menéndez y Pelayo. 1993. CICYT. Madrid. 232 págs.

– *Informes anuales al SCAR*: incluyen datos de los proyectos en curso y reúnen las referencias de los trabajos científicos publicados por investigadores españoles. Último informe, nº 8, correspondiente a 1995/96. Publicados por la CICYT, Madrid.

– *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*. Volumen monográfico sobre la Antártida. En preparación, publicación en 1997.

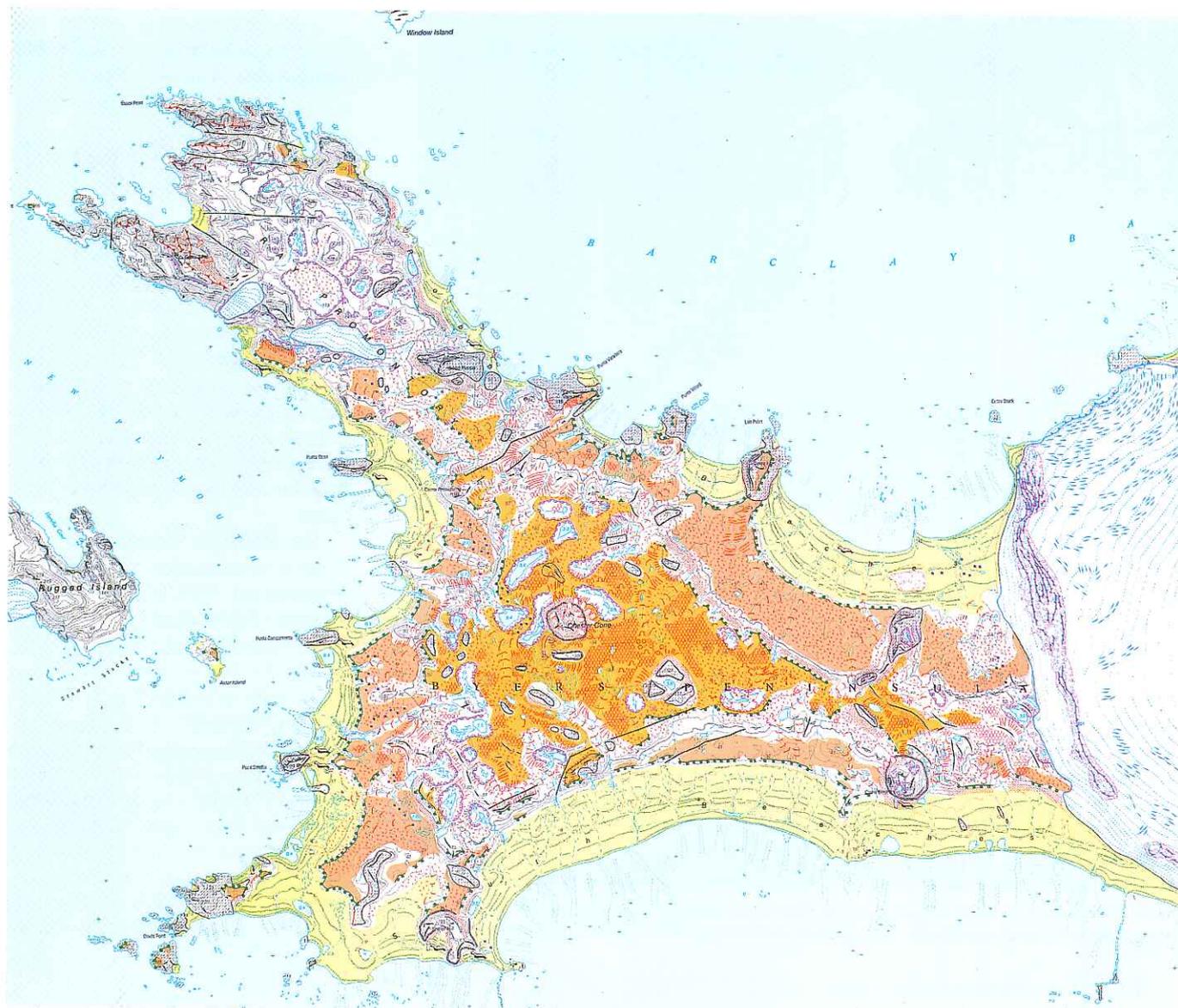


Fig. 9. Mapa Geomorfológico de la Península Byers, Isla Livingston, a escala original 1:25.000, publicado recientemente.

I, en la Isla Livingston y Base Gabriel de Castilla, en la Isla Decepción, ambas en las Islas Shetland del Sur) y el Buque Oceanográfico Hespérides.

La investigación en Ciencias de la Tierra ha estado presente, de modo ininterrumpido, desde el comienzo del Programa Antártico Español. En los campos correspondientes a este tipo de temática, se han publicado hasta ahora un total de 16 mapas y algo más de 200 artículos en revistas y libros científicos (ver cuadros adjuntos). Un factor que resulta especialmente reseñable es el progresivo incremento de la calidad y la proyección internacional de estos trabajos, encontrándose artículos españoles sobre la Antártida en prestigiosas revistas. Asimismo, también se han incrementado notablemente los contactos de los grupos españoles con cientí-

ficos e instituciones antárticas de otros países, y en la actualidad, dentro del campo de las Ciencias de la Tierra, existen relaciones, concretadas en publicaciones conjuntas, de equipos españoles con Alemania, Argentina, Gran Bretaña, Italia y Suecia.

Los temas de investigación, las zonas geográficas y los grupos que están activos en la investigación antártica española dentro del campo de las Ciencias de la Tierra, son los siguientes:

- Geología y geofísica marinas en la zona norte de la Península Antártica, sector norte del Mar de Weddell y el Mar de Scotia. Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra-Universidad de Granada.

- Geología y geofísica marinas en el margen pacífico de la Península Antártica. Universidad de Barcelona.

- Geología y geofísica marinas en la Dorsal Sur de Scotia. Instituto Español de Oceanografía.

- Paleooceanografía y micropaleontología en el Atlántico Sur y el Estrecho de Bransfield. Universidad de Salamanca.

- Cuaternario, geomorfología y neotectónica en las Islas Shetland del Sur. Universidad Autónoma de Madrid.

- Sedimentología, petrología y geomorfología en la Isla James Ross. Instituto Tecnológico geominero de España.

- Sismología, geomagnetismo y gravimetría en las islas Livingston y Decepción. Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC-Instituto Andaluz de Geofísica, Universidad de Granada-Observatorio del Ebro, CSIC.

CARTOGRAFIA ANTARTICA ESPAÑOLA

Cartas hidrográficas y batimétricas

- 001 ANT. BASE JUAN CARLOS I. De Punta Polaca a Punta Larisa. Escala 1:5.000. Año 1989. Instituto Hidrográfico de la Marina, Cádiz.
- 002 ANT. BAHIA SUR. De Ensenada Las Palmas a Playa Memorable. Escala 1:15.000. Año 1989. Instituto Hidrográfico de la Marina, Cádiz.
- 003 ANT. BAHIAS WALTER, SUR Y FALSA. De Punta Bond a Punta Barnard. Escala 1:30.000. Año 1991. Instituto Hidrográfico de la Marina, Cádiz.
- 011 ANT. ARTHUR HARBOR. Isla Anvers, Archipiélago Pálmer. Escala 1:5.000. Año 1991. Instituto Hidrográfico de la Marina, Cádiz.
- BATHYMETRY OF THE HESPERIDES DEEP. Scotia Sea, South Scotia Ridge, Antártica. Escala 1:200.000. Año 1994. O.R.C.A. Group. Universidad de Barcelona-Instituto de Ciencias del Mar, CSIC-Instituto Español de Oceanografía.

Mapas topográficos

- BASE ANTÁRTICA ESPAÑOLA JUAN CARLOS I. Escala 1:500. Año 1991. Servicio Geográfico del Ejército, Madrid.
- BASE ANTÁRTICA ESPAÑOLA JUAN CARLOS I. Escala 1:2.000. Año 1989. Servicio Geográfico del Ejército, Madrid.
- BASE ANTÁRTICA ESPAÑOLA JUAN CARLOS I. Escala 1:5.000. Año 1991. Servicio Geográfico del Ejército, Madrid.
- BASE ANTÁRTICA ESPAÑOLA. Isla Livingston. Escala 1:5.000. Año 1991. Servicio Geográfico del Ejército, Madrid.
- PENÍNSULA HURD. Isla Livingston. Escala 1:25.000. Año 1991. Servicio Geográfico del Ejército, Madrid.
- PENÍNSULA BYERS. Isla Livingston. Escala 1:25.000. Año 1992. Servicio Geográfico del Ejército, Universidad Autónoma de Madrid y British Antarctic Survey. Servicio Geográfico del Ejército, Madrid.
- ISLA DECEPCION. Escala 1:25.000. Año 1994. Servicio Geográfico del Ejército y Universidad Autónoma de Madrid. Servicio Geográfico del Ejército, Madrid.
- ISLAS LIVINGSTON Y DECEPCIÓN. Escala 1:100.000. En prensa. Servicio Geográfico del Ejército, Madrid.

Mapas temáticos

- GEOMORPHOLOGICAL MAP OF BYERS PENINSULA. Isla Livingston. Escala 1:25.000. Año 1995. BAS GEOMAP 5-A. British Antarctic Survey, Cambridge, UK. Autores: J. López-Martínez, E. Martínez de Pisón, E. Serrano y A. Arche. Impreso por: Servicio Geográfico del Ejército, Madrid.
- GEOMORPHOLOGICAL MAP OF DECEPTION ISLAND. Escala 1:25.000. Autores: J. López-Martínez, E. Serrano y J. Rey. En prensa: Servicio Geográfico del Ejército, Madrid - British Antarctic Survey, Cambridge, UK.

Imágenes de satélite

- ORTOIMAGEN DE LA ISLA LIVINGSTON. Escala 1:100.000. Año 1992. Universitat de Barcelona-Institut Cartografic de Catalunya.

- Dinámica glacial y balance de masa en la Isla Livingston. Universidad de Barcelona.

- Cartografía topográfica en las Islas Shetland del Sur. Servicio Geográfico del Ejército.

- Geodesia y cartas hidrográficas en las proximidades de las islas Livingston y Decepción. Real Instituto y Observatorio de la Armada.

Sería deseable que la comunidad española en Ciencias de la Tierra incrementara sus esfuerzos en el ámbito de la investigación antártica, con el fin de contribuir al aumento de la cantidad y calidad de la producción científica de ámbito internacional.

La Antártida sigue ofreciendo un extraordinario marco para la investigación, en particular en el ámbito de las Ciencias de la Tierra. Pero además

ese continente puede y debería seguir siendo un ejemplo de respeto a la naturaleza, así como de las posibilidades y ventajas que ofrece la cooperación internacional, no sólo en lo que se refiere a la rentabilidad de los medios disponibles y a la mejor consecución de objetivos, sino también por el enriquecimiento mutuo y el acercamiento que permite entre diferentes pueblos y culturas.

Interés de algunas aplicaciones de la Geometría Fractal en Geología

Pablo Gumiel Martínez

Dr. en Ciencias Geológicas por la Universidad de Salamanca, Jefe de Proyectos en la Dirección de Recursos Minerales del Instituto Tecnológico GeoMinero de España (ITGE). Es uno de los pioneros en España, en la aplicación de los fractales a la exploración de yacimientos minerales, siendo el investigador principal de un proyecto sobre este tema, financiado por la DGICYT.

Carlos Paredes Bartolomé

Dr. Ingeniero de Minas por la U.P.M., hizo su Tesis doctoral sobre aplicación de la Geometría fractal en las Ciencias de la Tierra. Prof. titular en el Depto. de Matemática Aplicada y Métodos Informáticos de la ETSIM de Madrid. Miembro del equipo de investigación del Proyecto de fractales financiado por la DGICYT. Investigador avanzado en el estudio y aplicación de la Geometría Fractal en Hidrogeología y problemas afines. Director de varios Proyectos y Tesis Doctorales sobre la materia.

En este artículo se presenta un resumen de las aplicaciones de la geometría fractal en diversos campos de la Geología, desde la actividad volcánica y sísmica, a la distribución de yacimientos filonianos, pasando por su aplicación a problemas de conectividad en medios fracturados, medios porosos y medios heterogéneos y anisótropos. Se analizan conceptos y definiciones; invarianza al cambio de escala, diferencias entre fractales autosemejantes y autoafines etc., así como las principales técnicas para la determinación de la dimensión fractal. Caos determinista y varios aspectos de los sistemas dinámicos se estudian en un contexto geológico, para constatar que Los fractales tienen gran importancia como herramienta útil para cuantificar la geometría de la Naturaleza y que la geometría fractal podría explicar mejor la complejidad que la geometría euclídea.

A summary of some applications of fractal geometry in Geology is presented in this contribution aimed to show which could be considered the uses of this powerful tool to get a better insight in natural geometry and processes. Concepts and definitions, scaling, self-affine and self-similar fractals, and several techniques to get fractal dimensions are introduced. Nature is a dynamical system and chaotic behaviour is characteristic of many natural systems. Deterministic chaos and several aspects of dynamical systems has been pointed out in the context of geological problems. Fractal geometry could better explain the complexity rather than euclidean geometry. Iterated Function Systems generate fractal patterns which help to approach the structure of nature.

Introducción

Los fractales surgieron como respuesta a una necesidad que se dio a comienzos del siglo XX, al estudiar los conjuntos de puntos que se distribuían sobre la recta real y que poseían medida de Lebesgue nula. Se encontraban algunos que tenían además unas características geométricas, aritméticas ó analíticas muy especiales, pasando a ser considerados como *monstruos matemáticos*.

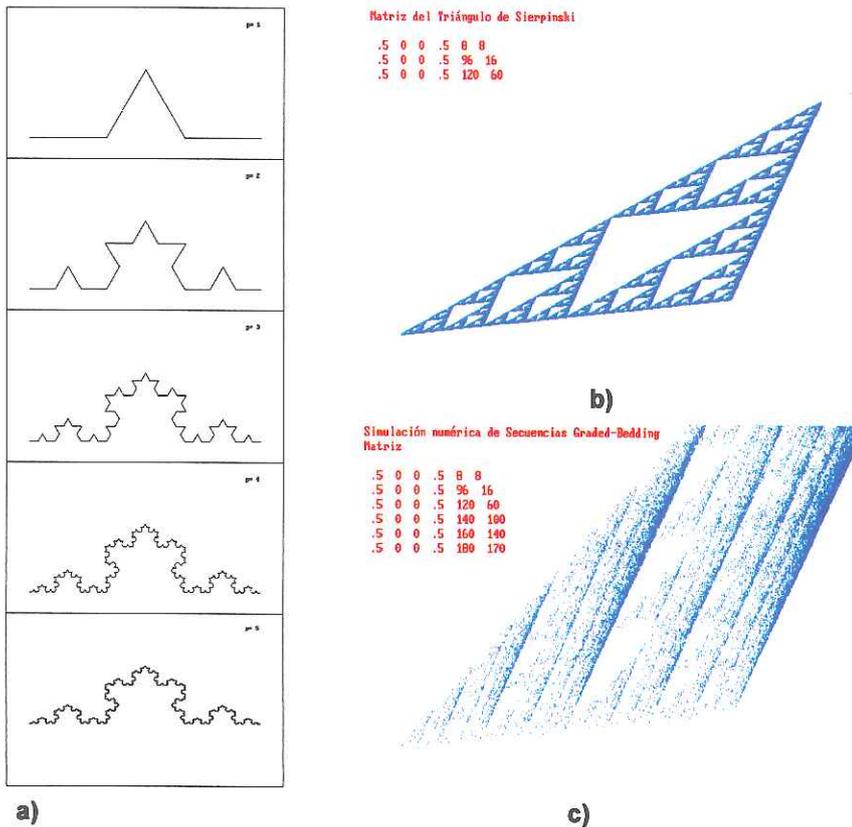
Una Reseña Histórica

Hausdorff, hacia 1919, construyó una teoría matemática que permitía estudiar estos conjuntos tan peculiares. Esta teoría permitía medirlos en un espacio de dimensión no nula (a diferencia de lo que se obtenía de la aplicación de la medida de Lebesgue) y es la que actualmente se conoce con el nombre de Métrica de Hausdorff. Posteriormente, Besicovitch, hacia 1920, se interesó por ésta, creando una teoría geométrica de la medida, que permite el estudio de las estructuras fractales, su medida y dimen-

sionado. Finalmente, fué Mandelbrot, quién hacia los años 60 (Mandelbrot 1967), introdujo la Geometría Fractal, recopilando muchas teorías matemáticas que estudiaban estos conjuntos, añadiendo la parte más importante que es la conceptualización de los mismos, y otras muchas estructuras que, no solo eran geométricas, sino también propiedades y comportamientos, relacionándolos con algunos de los fenómenos observados en la naturaleza.

Una Geometría para Medir Formas Irregulares

Los fractales son espacios matemáticos encuadrados en el campo de la teoría geométrica de la medida de Hausdorff (Falconer 1990, Feder 1988), cuya definición exacta está aún por establecer. Bajo el nombre de fractales, acuñado por B. Mandelbrot en los años setenta, los diversos autores entienden un conjunto de realidades, con una serie de rasgos comunes, si bien es difícil precisar una única definición de un fractal, que generalmente



**Fig.1.- a) Generación del Triádico de Koch
 b) Triángulo de Sierpinski
 c) Simulación de secuencias con granoselección
 (Simulaciones realizadas con 40.000 puntos)**

no es aplicable a todas ellas. De todas formas, existen algunos intentos en los que se propone una definición, a partir de un conjunto determinado que posee una serie de propiedades topológicas (Mandelbrot 1982): «Un fractal es por definición un conjunto para el cual la dimensión de Hausdorff-Besicovitch es estrictamente superior a su dimensión topológica».

Pero esta definición requiere a su vez que se defina la dimensión de Hausdorff-Besicovitch y la dimensión topológica d_T , que es siempre un número entero. Igualmente, según la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (1996), un fractal se define como “un espacio métrico separable, cuya dimensión de Hausdorff es mayor que la dimensión topológica”.

La naturaleza de los fractales queda reflejada en el propio significado de su nombre; fractal del latín «*fractus*» (irregular o fragmentado), y se aplica a los objetos naturales que tienen en común el hecho de poseer una forma sumamente irregular ó interrumpida. Con el término fractal, Mandelbrot (1982) caracterizó aquellos objetos geométricos de estructura irregular, que estaban presentes en

muchos comportamientos y formas de la naturaleza, aunque desde el punto de vista matemático, ya habían sido tratados desde finales del siglo XIX, dentro de la Teoría Geométrica de la Medida.

Una consideración importante de un fractal es que viene a ser el producto final que se origina a través de la iteración “infinita”, a diferentes escalas, de un proceso geométrico bien definido. Este proceso es generalmente de naturaleza muy simple y determina perfectamente la estructura final, que debido a la repetición infinita produce una complicación aparente extraordinaria. Esta idea, que es más intuitiva que la anterior, proporciona otra de las definiciones (Mandelbrot 1985): «Un fractal es una estructura que está formada por partes semejantes, en cierta manera, al conjunto completo». La importancia de los fractales en las diferentes ramas de la Geología ya fué anticipada por Mandelbrot, cuando señaló que: «las formas de la naturaleza son fractales y múltiples procesos de la misma se rigen por comportamientos fractales».

Un ejemplo clásico es la construcción del triádico de Koch (Fig. 1a).

Partiendo de un segmento inicial de longitud unidad ($L_1=1$), éste se divide en tres partes iguales; sustituyendo la parte central por dos segmentos que junto con dicha parte forman un triángulo equilátero, la suma de sus longitudes resulta mayor que la del original. Se obtiene así una poligonal P_1 de longitud $4/3$. Con cada uno de los cuatro segmentos se repite la operación, obteniéndose una poligonal P_2 de longitud $16/9$. Si se procede indefinidamente, se genera en cada etapa una poligonal P_k de longitud $(4/3)^k$, la curva límite a que converge la sucesión P_k , cuando k tiende a infinito, es la curva de Koch cuya longitud es infinita, y cuya dimensión fractal es un número fraccionario que se obtiene de la ecuación $D=\log 4/\log 3 = 1.262$.

Una de las percepciones físicas claves en la definición conceptual de un fractal, es que ciertos procesos o estructuras (irregular, quebrada, aleatoria) muestran características estadísticamente semejantes a diferentes escalas, por consiguiente, es *autosemejante*. Muchos fenómenos naturales son fractales y una consecuencia importante de esto, es que se puede obtener información cuantificable, a una determinada escala, que sea de interés para otra. Generalmente, el comportamiento invariante de tales propiedades siguen leyes o distribuciones hiperbólicas (también llamadas de Pareto, *power law* ó fractal), donde la propiedad (P) está relacionada con el tamaño (t) mediante la ecuación $P \propto t^{-D}$, y el exponente D , está frecuentemente asociado a una dimensión, valor habitualmente no entero, que se relaciona con la dimensión fractal del sistema, la cual se obtiene de la ecuación anterior aplicando logaritmos,

$$P \propto t^{-D} \tag{1}$$

$\log P \propto -D \log t$, y por lo tanto $D \propto d \log P / d \log(t)$, verificándose que $d_T \leq D \leq d_E$ siendo d_T la dimensión topológica y d_E la dimensión euclídea.

La dimensión fractal (D), en sentido genérico, es un número que sirve para cuantificar el grado de irregularidad y fragmentación de un conjunto geométrico, o de un objeto u objetos naturales. En relación con la Teoría de la Medida de Hausdorff, es el valor para el cual el conjunto que forma el fractal, el espacio métrico, es medible (medida finita no nula).

Desde un punto de vista aplicado,

la ventaja más importante de la geometría fractal es que permite abordar el estudio de formas geométricas y comportamientos no diferenciables, o quebrados, a cualquier escala. Por consiguiente, esta geometría ofrece un modelo alternativo que busca una regularidad cuantificable en las relaciones entre un objeto y sus partes, a diferentes escalas.

Algunas Clasificaciones de los Objetos Fractales

De las primeras clasificaciones que surgen a la hora de trabajar con los conjuntos fractales, se encuentra la que distingue entre el valor de la tasa de invarianza al cambio de escala, en *autoafines* y *autosemejantes* (Mandelbrot 1982a, Mandelbrot 1982b, Falconer 1990, Feder 1988). Los autosemejantes son aquellos que permiten realizar un cambio de escala en la misma proporción r sobre las direcciones (XYZ) del espacio donde se encuentran, manteniéndose las propiedades de distribución al cambio de escala de la medida de Hausdorff. Este tipo de comportamientos suele ser característico de las estructuras espaciales.

Por el contrario, existen otros cuerpos, que suelen asociarse con la variación en el espacio, así como en el tiempo t en 1-Dimensión, de un parámetro o comportamiento, o evolución del tipo $Z(t)$. En éstos para que se mantenga dicha invarianza, los cambios de escala son diferentes según las diferentes direcciones del espacio euclídeo que los contiene. Este tipo de fractales son los denominados autoafines.

Otra clasificación de los fractales se basa en su comportamiento con respecto a la aleatoriedad, dividiéndolos en determinísticos y en estocásticos (Mandelbrot 1982a, Feder 1988, Takayasu 1990). Determinísticos son aquellos en los que no hay ninguna componente perturbadora en forma de ruido en su conceptualización. Son por ejemplo, los fractales matemáticos tipo, como por ejemplo el conjunto de Cantor, la curva de Peano, o la curva de Koch (Fig. 1a). Sin embargo, los estocásticos son los que más frecuentemente se encuentran en la naturaleza (Figs. 2 y 5), ya que es muy difícil especificar una regla que los genere, si no es en el sentido de las distribuciones estadísticas de sus elementos. De todas formas, no por ser determinístico su estructura es



Fig. 2.—Clasificación de fractales. Fractales estocásticos. Dendritas de pirolusita.

más simple, pues el resultado de un fractal determinístico puede ser tan complejo como el de uno aleatorio.

Finalmente, mencionar que las estructuras fractales también pueden ser clasificadas atendiendo a su comportamiento fractal intrínseco, entendido éste como la homogeneidad de la fractalidad al cambio de escala. Puede ocurrir, y así se ha demostrado con un gran número de fenómenos que se están estudiando (Jensen 1987, Paladin y Vulpani 1987, Saucier y Muller 1993) que la dimensión fractal no sea única dentro del rango de escalas estudiado, sino que sean precisas diferentes dimensiones fractales para la caracterización completa del conjunto de comportamientos singulares que constituyen la estructura fractal. El continuo de dichas dimensiones fractales se denomina *espectro multifractal*, y asigna una dimensión a cada singularidad, de tal manera que el comportamiento fractal resultante a la multitud de singularidades se denomina multifractal (Falconer 1990, Feder 1988).

Técnicas para la Determinación de la Dimension Fractal

Generalmente, se utiliza la técnica denominada de *box-counting* (conteo de celdas). Una vez discretizado el cuerpo geométrico en estudio, se tiene una escala mínima de aplicación del *box-counting*, ya que para escalas inferiores los resultados que se obtendrían serían falsos y no tendrían significación física alguna. Esta escala mínima ϵ_{\min} es la denominada cota inferior (*inner-cutoff*) y corresponde con la escala física para la cual el cuerpo posee el comportamiento que vamos a determinar. La escala máxima ϵ_{\max} , ó también denominada cota superior (*outer-cutoff*),

es aquella para la cual el cuerpo se comporta como una entidad cuya dimensión fractal es la euclídea. Entre ambas escalas es donde se va a aplicar el algoritmo de *box-counting*. Teóricamente consiste en que, partiendo de una escala elevada, se realiza el recubrimiento con una malla cuadrada de paso ϵ , y se procede a contar el número de celdas que recubre el cuerpo en estudio $N(\epsilon)$, parámetro que varía según (1) si es fractal. Se puede refinar esta malla, según una tasa $r < 1$, pasando a tener una malla de paso $r \cdot \epsilon$ y se cuentan de nuevo $N(r \cdot \epsilon)$ celdas, así sucesivamente hasta alcanzar la ϵ_{\min} . La dimensión fractal se calcula como en (1), como la pendiente de la recta:

$$\log N(\epsilon) \propto -D \cdot \log \epsilon; \text{ con } \epsilon \in [\epsilon_{\min}, \epsilon_{\max}] \quad (2)$$

Esta técnica puede ser utilizada en la determinación de la denominada *dimensión fractal de información*, asociando a cada celda un peso que corresponderá con la probabilidad p_i de que un punto del fractal se encuentre en su interior :

$$D_i = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\sum_{i=1}^{N(\epsilon)} p_i \cdot \log_2 p_i}{\log_2 \epsilon} \quad (3)$$

Esta dimensión mide cuántos "bits" de información son necesarios para especificar un punto del fractal con cierta precisión ϵ . Muchos de los sistemas naturales (coloides, agregados moleculares, celulares, precipitados, redes de percolación, electrodeposiciones, elementos de crecimiento por agregación o por digitación viscosa, etc.) (Leonormand 1986, Meakin 1987) poseen una característica en la distribución de su densidad, tal que cuando corresponden con estructuras fractales, su densidad disminuye a medida que aumenta el volumen de estudio. Es habitual estudiar cómo varía la densidad media del agregado a medida que aumenta este volumen. Para ello, si se fija el centro del agregado en el germen, y se constata la masa $M(r)$ que hay en el interior de la esfera de radio r , se puede ver cómo para diversos cuerpos su densidad $\rho(r)$ varía como:

$$\rho(r) \propto r^{D-d} \quad (4)$$

cuando el cuerpo en estudio se encuentra en un espacio euclídeo d_e dimensional. En base a (4) se puede decir que la masa $M(r)$ del fractal, contenida en el interior de una bola de radio r centrada en el fractal, varía como:

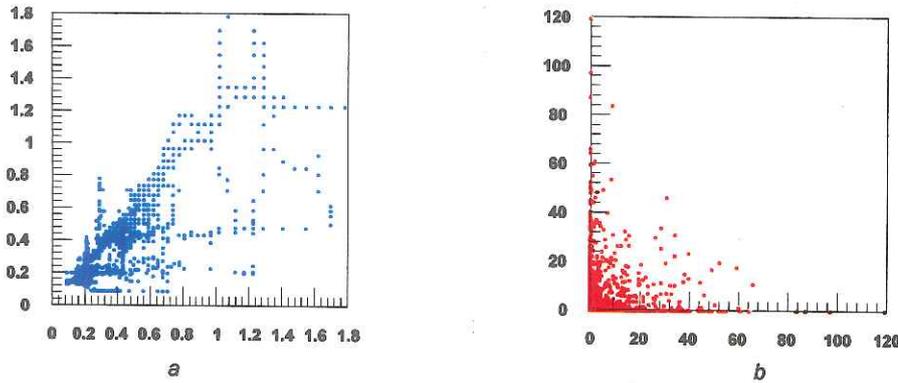


Fig. 3.—Atractores de sistemas dinámicos

- a) Manantial de La Villa (Torcal de Antequera) $Q(t)$ vs $Q(t+20)$ [m^3/d]
- a) Pluviómetro de Baget (Pirineos Ariège, Francia) $P(t)$ vs $P(t+20)$ [mm]

$$M(r) \propto r^{D_M} \quad (5)$$

donde el exponente D_M se denomina *dimensión fractal de agregación ó de masa*.

Existen otras técnicas que, basándose en el mismo tipo de comportamiento, en forma de ley potencial, calculan otras magnitudes. Son técnicas aplicables a casos concretos de fractales como distribuciones espaciales de puntos o series temporales, en los que se calcula la *dimensión de correlación* D_{corr} , en base a la integral de correlación (Grassberger 1983, Theyler 1987, Ding et al 1993, Fowler y Roach 1993).

La técnica del “divider” ó también llamada “compass-counting”, ha sido durante mucho tiempo utilizada para medir la longitud de líneas cartografiadas. Richardson ya estudió en 1961 la dependencia con la escala de medida de dichas longitudes. Este método puede ser implementado de muchas formas (Kennedy y Lin 1986), pero la más elemental se basa en llevar sucesivamente una unidad (el divider de tamaño ϵ), sucesivamente sobre el perfil o la curva autosemejante que se desea estudiar. De esta manera, se determina el perímetro, calculado como $N(\epsilon) \cdot \epsilon$, y según su dependencia con la escala (1) se puede obtener la dimensión fractal como:

$$P(\epsilon) \propto \epsilon^{1-D_p} \quad (6)$$

A partir de los resultados en superficie a una escala determinada, proporcionados por el método de *box-counting*, según $N(\epsilon) \cdot \epsilon^2$, y con los datos perimétricos obtenidos de la técnica del *divider* (6), es posible establecer una relación entre ambos que es la relación *area-perímetro* de Mandelbrot (Mandelbrot 1982 a,b, Cheng 1995). En ella, para una escala ϵ , se verifica la relación:

$$P(\epsilon) \propto A(\epsilon)^{D_{ap}/2} \quad (7)$$

De las relaciones más importantes que existen entre las dimensiones fractales calculadas sobre cuerpos geométricos hay que destacar aquella que se basa en la definición de la desigualdad:

$$D_{cor} \leq D_i \leq D \quad (8)$$

Campos de Aplicación de los Fractales en Geología

Para comprender cómo puede comportarse un fractal basta con entender los resultados obtenidos por Mandelbrot (1967) en su artículo *How long is the coast of Britain?*, en el que se estudian las diferentes longitudes de costa a diversas escalas a partir de (8) (Mandelbrot 1975). Los resultados obtenidos permiten afirmar que, a medida que la escala de medida disminuye, esto es, la unidad utilizada para calcular la longitud de la costa, ésta aumenta hacia longitudes infinitas. Esto puede comprobarse simplemente al reconocer que, a medida que esta escala se reduce, entran más detalles a formar parte de la medida (golfs, bahías, ensenadas, playas, calas), con lo que ésta crece desmesuradamente. Puede comprobarse que la tasa de crecimiento sigue la ley de Richardson, a partir del número de veces $N(\epsilon)$ que se llevada esta unidad durante la medida:

$$L(\epsilon) = N(\epsilon) \cdot \epsilon \quad (9)$$

Se obtiene la longitud $L(\epsilon)$ medida, y experimentalmente ésta varía según:

$$L(\epsilon) = cte \cdot \epsilon^\theta$$

donde el exponente θ que aparece es tal que, si para una recta debe de ser nulo, de los resultados de su aplicación a las costas se obtenía un valor de 0.52. De lo que se deduce que la curva que define la costa no es tan rectificable, aún siendo continua como una recta (fig. 1 a).

La geometría fractal proporciona una herramienta para el estudio de cómo las distribuciones espaciales y las respuestas temporales, se comportan a diferentes escalas, en espacio y tiempo respectivamente (Hurst 1957, Mandelbrot y Van Ness 1968, Mandelbrot 1982a, Turcotte 1992). De hecho, muchas veces se observa cómo (Korvin 1992), por ejemplo, un pliegue en una capa se encuentra formado a su vez por pequeños micropliegues, y éstos a su vez por otros, comportamiento que se da en un rango no muy reducido de escalas. Otros ejemplos pueden observarse en las concreciones de calcita en las paredes de una gruta, en las irregulares superficies estilolíticas, en los macizos fracturados, etc. (Jacquin y Adler 1987). En todos ellos se observa que existe un comportamiento repetitivo, una semejanza estadística en las estructuras, que es invariante a los cambios de escala. Esto es una de las características que permite sugerir que nos encontramos ante un comportamiento de tipo fractal.

Sistemas Dinámicos. La Evolución de la Naturaleza

En la naturaleza, los sistemas geológicos son esencialmente heterogéneos, no existe una porción de roca que sea exactamente igual a otra muy próxima. Estos sistemas que ofrecen sus respuestas, debido a su complejidad son no lineales (Baker y Gollub 1990), con un gran efecto de memoria, y su descripción determinística sólo la consiguen un número reducido de modelos. En sistemas dinámicos, el valor de un estado x_0 en el presente se ve transformado con el tiempo, sometido a una ley de retroalimentación F y va tomando los valores sucesivos (futuros), $x_0, x_1 = F(x_0), x_2 = F(x_1) \dots x_n = F(x_{n-1}) \dots$, que bajo ciertas condiciones, se van acercando a un conjunto A llamado *atractor* del sistema, que a veces, tiene una estructura fractal (*atractor extraño*). Esta situación que aún siendo determinista es impredecible es el caos determinista (Schuster 1985) (Figs. 3a y 3b). El caos determinista es un comportamiento natural, que está implícito en las ecuaciones no lineales que describen los procesos físico-químicos que acontecen en la naturaleza. Los procesos tectónicos de la corteza terrestre son un ejemplo de caos determinista (Carlson y Langer 1988, Huang y Turcotte 1989, Turcotte, 1991).

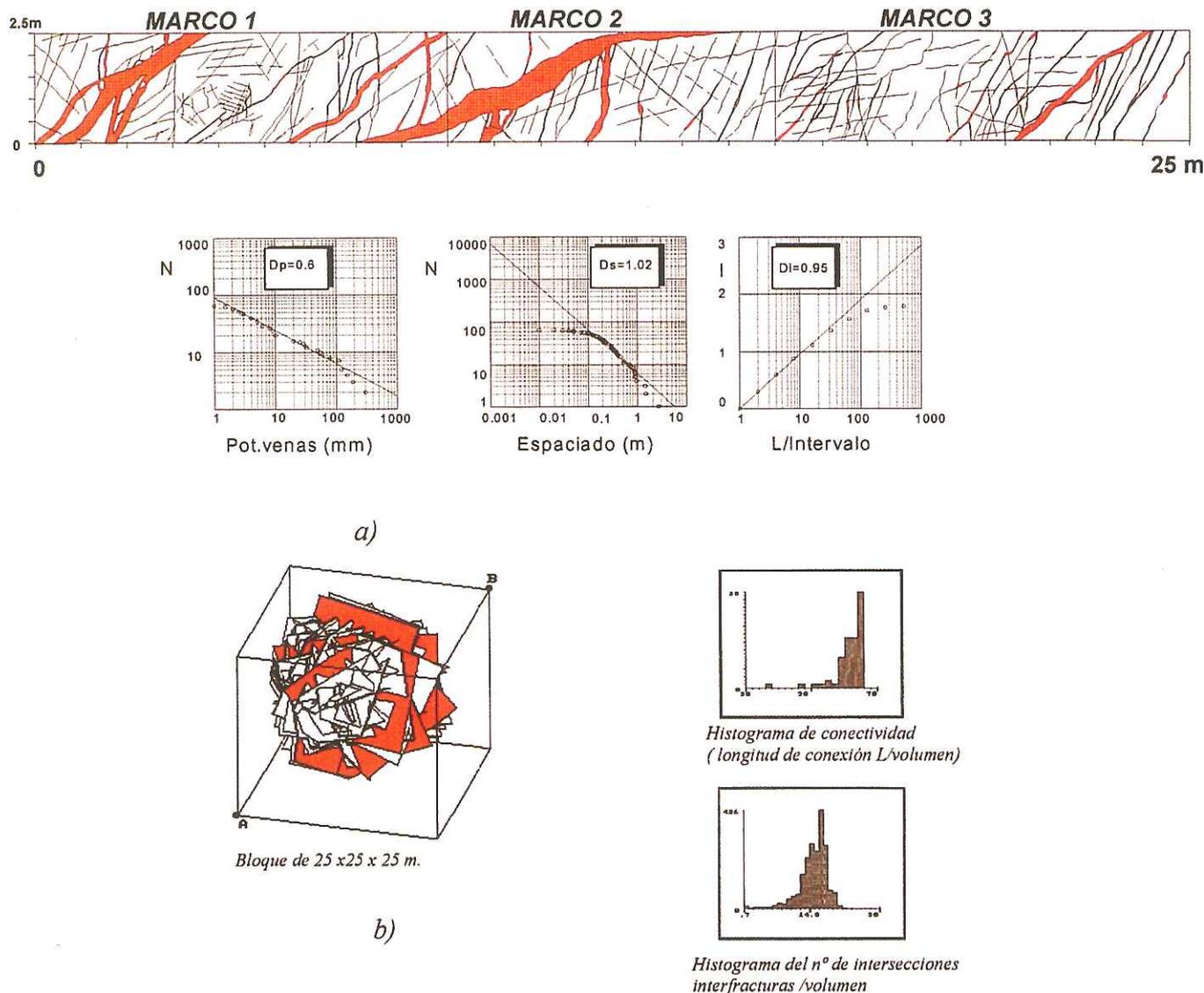


Fig. 4.-Ensayo de conectividad. Modelización estocástica de fracturas (filones) en la Mina de La Parrilla
 a) Análisis fractal de los sistemas filonianos. Dimensiones de distribución de potencias (Dp), de espaciado (Ds) y de información (Di). N=66
 b) Simulación 3-D discreta de fracturas (filones del área seleccionada), a partir de un modelo conceptual fractal Levy-Lee.

Sistemas de Funciones Iteradas. La Estructura de la Naturaleza

La modelización de diferentes formas de la naturaleza mediante conjuntos fractales, ha proporcionado interesantes resultados que han abierto nuevas perspectivas en las diferentes áreas de la ciencia (Voss 1985, Barnsley et al 1988, Feder 1988, Stoyan y Stoyan 1994, Paredes 1995). Uno de los métodos de generar objetos fractales, ideado por Barnsley (1988), mediante un Sistema de Funciones Iteradas (IFS, del Inglés Iterated Function Systems), permite obtener iterativamente una serie de estructuras fractales, a partir de un conjunto de transfor-

maciones (contracciones) afines W_i , seleccionadas en cada iteración, según una probabilidad que depende de la importancia de cada W_i . Para determinar las transformaciones se realiza un collage de la estructura, teniendo en cuenta que una transformación afín W_i en el plano euclídeo, tal que, $W_i:R^2 \rightarrow R^2$, es aquella que transforma puntos del plano, en otros nuevos dentro del mismo plano, según la ecuación $W(x,y)=(ax+by+e, cx+dy+f)$, (10) en la que a,b,c,d, e y f son números reales. La ecuación anterior, en forma matricial, se expresa como sigue

$$W_i \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_i & b_i \\ c_i & d_i \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_i \\ f_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_i x + b_i y + e_i \\ c_i x + d_i y + f_i \end{bmatrix}$$

El teorema del Collage (Barnsley

1988) demuestra que para un número finito ($i < \infty$) de W_i , necesarias para recubrir la estructura consigo misma (hacer el collage anterior), las sucesivas transformaciones realizadas con el conjunto de las W_i , en cada iteración, convergen hacia un atractor que corresponde con la estructura original.

El fractal conocido como triángulo de Sierpinski ha sido generado mediante un IFS cuya matriz puede verse en la Fig.1b. Basándose en un procedimiento similar, pero cambiando el sistema de funciones iteradas, Gumiel (1993) logró simular una estructura semejante a las secuencias cíclicas con granoselección (Fig. 1c), que son tan frecuentes en cualquier proceso natural de sedimentación.

Prevención de Riesgos Naturales; Sismos y Actividad Volcánica

En Sismología, en la zona de la Falla de San Andrés, California (Avilés et al 1987), se descubrió que los sismos de magnitud 6 o menor tenían una distribución fractal en el espacio y en el tiempo, al observar que los temblores se presentaban en grupos auto-semejantes y no en intervalos regulares. Los terremotos muestran una relación fractal entre su magnitud y su frecuencia. Main y Burton (1986) basándose en la actividad sísmica ocurrida en un periodo de cuarenta años, comprendido entre 1932 y 1972, comprobaron que el número de terremotos por año (N), y su magnitud (m), seguían la relación empírica de Gutenberg y Richter (1954) $\log N = -bm + a$, siendo a y b constantes. De esta forma, con una dimensión fractal que caracteriza la irregularidad en la distribución de los temblores, puede identificarse el número de sismos, en función de su intensidad o magnitud (m), en un rango comprendido entre 4.25 y 6.5 (cota inferior y superior), que presenta una clara distribución fractal con una $D=1.78$. La relación empírica $\log N = -bm + a$ es válida global y regionalmente, y el valor b , en este caso $b=0.89$ es un valor utilizado con frecuencia como medida de sismicidad regional. Aki (1981) ha demostrado que la relación de Gutenberg y Richter es equivalente a la definición de distribución fractal.

Por otra parte, la magnitud de un sismo puede expresarse en base al área de la ruptura r^2 y el resultado es así mismo fractal, según una ecuación $N = b r^{-2b}$, siendo $b=cte$ y r el área. Comparando con la ecuación (1), resulta que $D = 2b$, que es la dimensión fractal de la actividad sísmica regional mundialmente aceptada. En la actualidad, se están aplicando técnicas de análisis de las distribuciones fractales de sismicidad regional, en base a microsismos, para la predicción de zonas de alto riesgo sísmico (Mc Clelland et al 1989).

McClelland et al. (1989) han publicado estadísticas de relaciones frecuencia-volumen de erupciones volcánicas, que también muestran clara distribución fractal. La morfología de los cráteres volcánicos tienen distinta dimensión fractal, dependiendo del grado de interconexión de los edificios.

Recursos Naturales. Prospección de Yacimientos Minerales de Tipo Filoniano

Turcotte (1986) comprobó que las relaciones tonelaje-ley de algunos yacimientos de Hg, Cu y U de Estados Unidos, para un intervalo de cinco años, presentaban distribuciones fractales. Si M es el tonelaje de mineral con una ley media C , la distribución es fractal si se cumple que $C \propto M^{-D/3}$ (Cargill et al, 1980).

En base a los estudios sobre la aplicación de técnicas de análisis fractal a la ordenación irregular de los sistemas filonianos auríferos del área de La Codosera, Badajoz (Gumiel et al. 1992, Sanderson et al. 1994), y a otros yacimientos filonianos del Macizo Hespérico (Gumiel y Sanderson 1994, Gumiel et al. 1996 partes I y II), se ha comprobado que la geometría de los sistemas filonianos estudiados tiene distribuciones fractales, pero su caracterización geométrica formal debe realizarse en base a que son sistemas multidimensionales. Las tres dimensiones fractales que se han estudiado son; la dimensión de distribución de potencias (D_p), la de espaciado (D_s) y la dimensión de información (D_i), siendo t la potencia de las venas, s el espaciado intervenas y N el número de venas (Fig. 4a).

Las investigaciones realizadas confirman la posibilidad de relacionar la simple medida de espesores de las venas con la ley mineral. Igualmente, el control de distribución de espaciados, mediante la dimensión de información, es crítico para entender la geometría y localización de determinados conjuntos filonianos que puedan o no presentar contenidos metálicos.

Se ha comprobado que la distribución espacial de la mayoría de los conjuntos filonianos estudiados, o es típicamente fractal en los parámetros estudiados, o bien es en parte fractal, a la que se suma una cierta componente aleatoria en los espaciados. Esto sugiere la intervención periódica de procesos aleatorios en la localización de las venas, o bien, es posible que estos sistemas naturales sean *multifractales*. El hecho de que estos grupos conectados de venas, de potencial interés metalogénico, puedan ser descubiertos por la dimensión de distribución de potencias

($D_i < 1$), y su localización por las dimensiones de información y espaciado, supone una importante aplicación en la exploración futura de yacimientos filonianos.

Por otra parte, y en base a las características de la geometría fractal de los grupos filonianos seleccionados, se está llevando a cabo un análisis detallado de las redes de fractura en algún yacimiento seleccionado, con objeto de definir el grado de conectividad de las mismas, que juega un papel fundamental en la deformabilidad y permeabilidad de una masa rocosa fracturada, y en la propia concentración de la mineralización. Se han realizado ensayos de modelización estocástica de las redes filonianas en 2 y 3 dimensiones (Fig. 4b) en varias zonas seleccionadas, que son representativas de la red de fracturas de la mina de La Parrilla (Cáceres). Se está evaluando la importancia de la conectividad de los grupos de fracturas, que favorecen el desarrollo de los sistemas filonianos mineralizados, de cara a la concentración de la mineralización (Gumiel et al 1995).

Conectividad y Percolación en Medios Fracturados

El estudio de la conectividad de fracturas es un problema complejo desde el punto de vista geométrico y de gran interés en varios campos de aplicación, desde el almacenamiento de residuos, de gran importancia medioambiental, al control estructural de yacimientos filonianos, pasando por la búsqueda y localización de yacimientos de petróleo y gas, hasta la extracción de energía térmica. Igualmente, es también muy importante en estudios sismológicos e hidrológicos.

Cuando el medio en el que se trabaja es de tipo granítico ó metamórfico, las singularidades que forman las fallas, las fracturas, ó simplemente los planos de debilidad de la roca, suelen crear una serie de discontinuidades que en ciertos casos, forman barreras para el agua, pero que en otros, crean vías preferenciales de flujo (los más frecuentes). En el estudio de este tipo de medios se ha visto cómo, por ejemplo, la permeabilidad es una magnitud tensorial, y además es imposible la definición de un *Volumen Elemental Representativo* (VER) (Bear 1972, Marsily 1986), debido a que, a pequeña escala es muy probable que no

entre ninguna fractura en su interior, y si se aumenta mucho la escala del VER las propiedades no sean representativas del conjunto regional, porque éste sea casi de su tamaño.

Por otra parte, si se considera cómo se distribuyen geoméricamente en el espacio estas singularidades, puede encontrarse que forman agrupamientos de propiedades estadísticas semejantes a diferentes escalas, lo cual demuestra que poseen un comportamiento fractal (Walsh y Watterson 1993). En algunos modelos se utiliza este hecho para la simulación de medios fracturados (Dersowitz et al 1992, Gumiel y Hernández 1996), mediante la utilización de un punto característico de la fractura (generalmente su centro geométrico), y crear nubes de puntos fractales sobre las que se apoyan luego las fracturas sintéticas, ejemplos que se muestran en la Fig. 5a.

Estos modelos trabajan con las dimensiones fractales obtenidas en campo, a partir de los centros de las trazas de las fracturas cartografiadas, lo cual no quiere decir que la dimensión fractal obtenida de esta forma sea la del medio fracturado (Gumiel et al 1992, Walsh y Watterson 1993), sino que más bien corresponde con la de la nube de puntos de soporte (artificial) de las fracturas que, por cierto, puede ser distinta a su vez de la dimensión fractal de la nube de puntos en tres dimensiones, si se considera a las fracturas no como líneas (abstracción matemática) sino como planos en el espacio (ídem).

Según aumenta la densidad de fractura, se van generando más familias de fracturas, incrementándose el grado de interconexión de los grupos, hasta llegar a un estado crítico, en el que el grupo de fracturas conectadas intersecta los cuatro lados del cuadrado unidad y el sistema empieza a percolar (Fig. 6). En este punto se ha alcanzado el Umbral de Percolación (Sahimi e Imdakm 1988, Berkowitz y Balberg 1993, Sahimi 1994) y el grupo de fracturas conectadas constituye el Grupo de Percolación, a una determinada densidad de fractura asociada, que recibe el nombre de Densidad Crítica de Fractura, con un grado de Conectividad Crítico, y a una determinada dimensión fractal (Gumiel y Hernández 1996). Por consiguiente, en base a estos parámetros se puede predecir el estado de conectividad de una masa rocosa fracturada.

Obviamente, en el momento que exista un número suficiente de fracturas, con sus orientaciones espaciales, éstas formarán una red de percolación, tanto a macro como a microescala, por los canales que hay en cada fractura (Fig. 5b). Ésta puede ser conexa o no (Charlaix y Roux 1987, Chiles 1989), siendo el primer caso el más desfavorable, desde el punto de vista de protección medioambiental, pero el de mayor interés para su estudio, ya que posibilitará la migración a través de la red, de los compuestos tóxicos hacia el exterior o biosfera.

La modelización de estos medios es una tarea que se realiza en tres etapas. La primera consiste en establecer los puntos de soporte de las fracturas, supuestas como planos finitos ó infinitos ó discos en el espacio (Fig. 5a). Habitualmente las técnicas de simulación de puntos en el espacio siguen procesos de puntos de Poisson, ó de Gibbs (Stoyan y Stoyan 1994, Balbas 1996), aunque también pueden utilizarse otras técnicas de distribución de puntos que funcionan con los parámetros de dimensión fractal medida en campo sobre las nubes de puntos (Paredes 1995).

El grado de conectividad de una masa rocosa fracturada puede predecirse a partir del número de fracturas, de su distribución, de la densidad de fractura (*longitud de las trazas de fracturas en el área considerada*—Charlaix y Roux 1987—) y de su organización geométrica, puesta de manifiesto por el espectro de dimensiones fractales. Por esta razón, la modelización de sistemas fracturados en base a métodos de simulación numérica, que contemplen patrones de fracturación cuya organi-

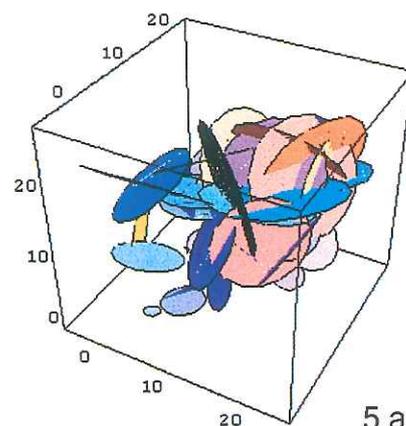


Fig. 5.-a) Medio fracturado simulado, con distribución fractal en la ubicación de las fracturas
b) Red de percolación (en negro) sobre una fractura en micaesquistos.

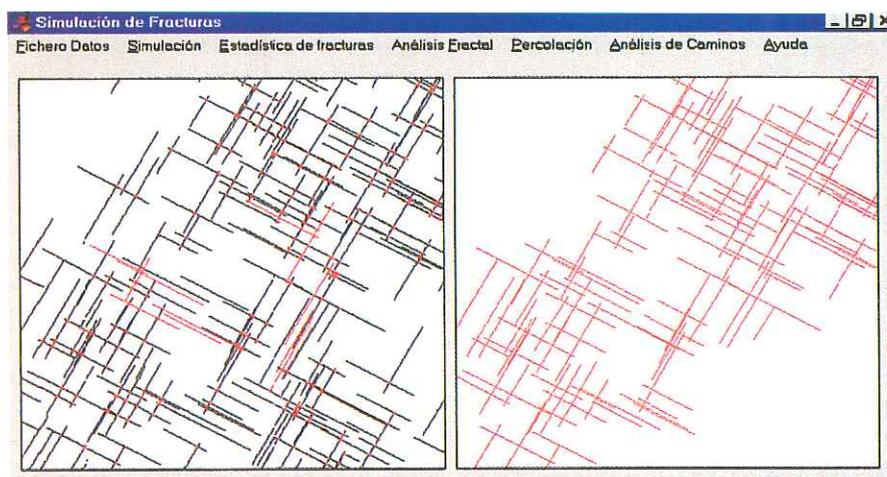


Fig. 6.-Simulación de patrones ortogonales de fracturas (Programa SIMFRAC vs. 1.0) En esta iteración las fracturas forman un Grupo que conecta los cuatro lados del cuadrado (de la derecha) y se alcanza el Umbral de Percolación.

zación geométrica sea fractal, está adquiriendo gran importancia (Zhang y Sanderson 1994). Como ejemplo, Gumiel y Hernández (1996) han desarrollado el programa SIMFRAC (vs 1.0), cuyo fundamento es la generación aleatoria de fracturas (Fig. 6) y la predicción del estado de conectividad de una masa rocosa fracturada, mediante un método de simulación numérica. Otros programas comerciales como FRACMAN (Dersowitz et al 1992) permiten incorporar otra información procedente del análisis y de patrones de tipo fractal estructural para la simulación de fracturas en 3-Dimensiones.

Conectividad y Percolación en Medios Porosos

Habitualmente, en Hidrogeología los acuíferos son sistemas heterogéneos, anisótropos, de dinámica irregular, (Dagan 1986), que espacial y temporalmente se comportan de manera muy compleja (Cushman 1991, Bear 1972). Cuando la heterogeneidad del medio es muy significativa, esto es cuando la variabilidad, aún manteniéndose la estructura, es muy acentuada, el promediado que se realiza para la definición de las variables hidrogeológicas sobre el VER no es válido, pues no existe una estacionariedad en las variaciones con la escala (Samper y Carrera 1990). Es en estos casos donde la Geometría Fractal puede ayudar a crear un modelo conceptual de la distribución espacial de las propiedades. Éste ha sido usado con éxito en las modelizaciones de almacenamientos petrolíferos, y en acuíferos, donde las diferencias entre los valores de las propiedades en dos puntos próximos, aún estando correlacionadas y sin comportarse como un ruido blanco, son muy notables.

Para estudiar el comportamiento fractal del medio poroso, el análisis que se aplica es de tipo correlatorio-espectral bidimensional (Paredes 1995), que permite calcular las dimensiones fractales procedentes del espectro y del variograma, y los rangos de escalas de validez del comportamiento (cota inferior y cota superior). Una vez realizado el análisis, para la simulación de este tipo de acuíferos a escalas superiores o inferiores al VER, se pueden utilizar técnicas del tipo de desplazamiento de puntos medios (Fournier et al 1982, Barnsley et al 1988), (Fig. 7a), espectrales (Barnsley et al 1988, Turcotte

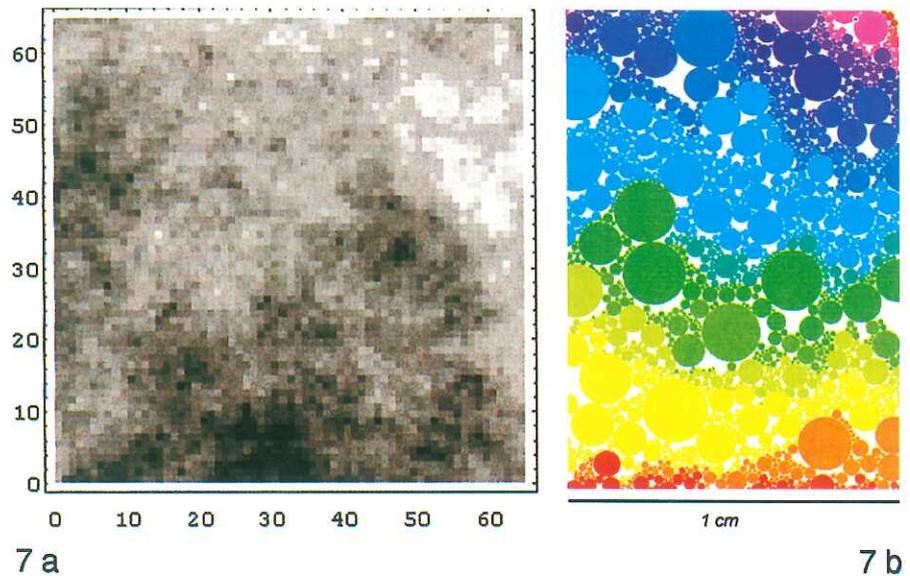


Fig. 7.—a) Distribución espacial de valores, simulada mediante un algoritmo de desplazamiento de puntos medios. b) Medio poroso a microescala, simulado mediante un proceso de deposición balística de discos, con tamaños según una distribución fractal.

1992 y Christakos 1992), ó las denominadas POCS (Projection Onto Convex Sets) de reciente aparición (Menke 1991, Maliverno y Rossi 1993), de amplio interés por su utilidad cuando se pretende simular medios anisótropos.

En el campo de la percolación (Adler y Jacquin 1987, Charlaix y Roux 1987, Sahimi e Imdakm 1988, Berkowitz y Balberg 1993, Sahimi 1994, Barton y La Pointe 1995b), los estudios realizados sobre las aplicaciones son muy numerosos. Comprenden desde las relaciones entre las propiedades microscópicas (Fig. 7b) —tamaños de los poros, relaciones perímetro-superficie, a diversas escalas, de los medios porosos—, a sus propiedades a escala macroscópica, como conductividad hidráulica, resistividad eléctrica, curvas de retención, etc. (Perrier et al 1995, Perrier et al 1996). Se investigan las situaciones críticas de percolación, en las que se encuentra el Umbral de Percolación próximo a la desconexión total, y cómo influye esta situación en la dimensión fractal de la red y en los exponentes de las leyes de percolación.

Los Sistemas Kársticos, Medios Heterogéneos y Anisótropos

El caso más complejo desde el punto de vista hidrogeológico, se presenta cuando se estudian los acuíferos kársticos. En estos medios es imposi-

ble la definición práctica de una permeabilidad, con la consecuente inaplicabilidad de la ley de Darcy, por no tratarse de un medio continuo, y en definitiva de definir un VER. Esta estructuración espacial tan compleja va a producir dinámicas muy complicadas de describir mediante los modelos clásicos de acuíferos porosos y/o fracturados. Además, hay que mencionar que el macizo kárstico, cuando se encuentra con agua, posee una estructura espacial evolutiva debido al constante proceso de disolución-precipitación de carbonatos que se da en su interior.

Para la conceptualización de los sistemas kársticos, hay que utilizar todas las técnicas disponibles al efecto, además de las que se describen para el estudio y análisis de las series temporales (Box y Jenkins 1976, Mangin 1981). El análisis espacial, por sí sólo, en este tipo de estructuras, resulta un problema ya que no siempre son accesibles al hombre (Curl 1986) y, cuando lo son, pocas veces se dispone de una topografía de calidad (Sustersic 1983), que pueda servir para aplicar los algoritmos de análisis fractal espacial (Lavery 1987, Reams 1992).

Para la comparación de este tipo de acuíferos se han escogido cuatro casos tipo que el Laboratorio Subterráneo de Moulis del C.N.R.S. ha estudiado y clasificado según las propiedades de series temporales (Mangin 1984). Los resultados obtenidos (Mangin 1986, Mangin 1994) ponen en evidencia la existencia

de una gran heterogeneidad y anisotropía en estos sistemas, engendrada por los procesos de karstificación que crean una estructura jerárquica de huecos y de flujos subterráneos. La característica de heterogeneidad y de jerarquización de los mismos, se conserva cualquiera que sea la escala en estudio. Así, las leyes constitutivas empleadas en los acuíferos porosos no se adaptan porque están basadas en el concepto de VER, lo que supone que se pueda realizar una homogeneización macroscópica del sistema, algo que en los acuíferos kársticos es impracticable por la multiplicidad de singularidades que espacialmente se distribuyen. La particularidad del karst reside en el hecho de que la repartición de los huecos en el macizo calcáreo (estas singularidades) no es equiprobable, es decir que la ley de distribución de las características del medio no es uniforme y por consiguiente depende del tamaño del entorno considerado.

Dicha jerarquización no es igual en todas las zonas del karst. En la zona saturada, los huecos se encuentran muy organizados jerárquicamente, constiuyéndose una red espacial de conductos, producto de la disolución y precipitación del carbonato cálcico. Además, la anisotropía del medio interviene muy directamente sobre la relación de jerarquías. Esta anisotropía corresponde con el mallado tridimensional de las debilidades y huecos preexistentes en la roca. La conceptualización sistemática que se utiliza para la descripción del sistema kárstico, está basada en una aproximación fenomenológica global (Bakalowicz y Mangin 1980), abandonando las propiedades locales que son extremadamente variables. El karst es considerado como un sistema que puede describirse a partir del análisis de las entradas / salidas (lluvias / caudales de surgencia).

Utilizando sus series temporales se ha aplicado un análisis fractal, en base al variograma y al espectro, recogiendo los rangos de tiempo y frecuencias donde el comportamiento es fractal (Paredes 1995). Además, se aplican las técnicas descritas por Hurst (1957) de rango rescalado, y la descritas por Grassberger (1981) para la reconstrucción de atractores en el espacio de fases (Schuster 1985). Esta última es de gran interés porque permite determinar parámetros como la entropía del sistema (Grassberger y Procaccia 1983) que es muy útil a la hora de realizar

predicciones y estudiar la caoticidad del sistema kárstico.

Finalmente, al observar un comportamiento fractal en la jerarquización espacial del karst y en su respuesta dinámica, ¿sería posible relacionar ambos?. En base a la "firma" (impronta) que el acuífero deja en su respuesta, ya que funciona como un filtro de la señal lluvia, pudiera ser posible inferir datos cuantificables sobre su distribución espacial de forma estadística, y una forma de cuantificar este hecho pudiera ser mediante la geometría fractal.

Otras Aplicaciones

Además de las líneas mencionadas, existen otros muchos campos donde la utilización de los conceptos y metodologías de la geometría fractal, está produciendo resultados interesantes. Entre los más importantes cabe mencionar los siguientes; *Hidrología superficial* (Hack 1957, Bras y Rodríguez-Iturbe 1985, Kaye 1989, Korvin 1992, Rinaldo et al 1995), *Topografía* (Sayles y Thomas 1978, Voss 1985, Matsushita et al 1991, Xu et al 1993). *Geofísica* (Goodchild 1980, Unwin 1989, Turcotte 1992, Molz y Boman 1993). *Análisis de superficies* (Bruno y Raspa 1989, Cox y Wang 1990, Kumar y Bodvarson 1990, Power y Tullis 1991). *Crecimiento de estructuras* (Leonormand 1986, Meakin 1987, Leonormand y Zarcone 1989, Hastings y Sugihara 1993, Roach y Fowler 1993). *Transporte de masa* (Adler y Jacquin 1987, Cushman 1991, Cushman y Ginn 1993, Cox et al 1994). *Dispersión de solutos en aguas subterráneas* (Samper y Carrera 1990).

Referencias citadas.

ADLER, P.M.; JACQUIN, C.G. [1987] Fractal porous media I: longitudinal Stokes flow in random carpets. *Transport in Porous Media* 2:553-569.

AKI, K. [1981]: A probabilistic synthesis of precursory phenomena, in *Earthquake Prediction* (Simpson, D.W. & Richards, P.G. eds. American Geophysical Union, Washington, p556-574).

ARYA, A.; HEWETT, T.A.; LARSON, R.G.; LAKE, L.W. [1988] Dispersion and reservoir heterogeneity. *SPE Reservoir Engineering* 3(1): 139-148.

AVILES, C.A.; SCHOLZ, C.A.; BOATWRIGHT, J. [1987] Fractal analysis applied to characterize segments of the San Andreas Fault. *Journal of Geophysical Research* 92: 331-334.

BAKER, G.L.; GOLLUB, J.P. [1990] *Chaotic dynamics, an introduction*. Cambridge University Press. Cambridge.

BAKALOWICZ, M.; MANGIN, A. [1980] L'aquifère karstique. Sa définition, ses caractéristiques

ques et son identification. *Mém. h. sér. Soc. Géol. France* 11: 71-79.

BALBAS, J. [1996] Simulación de la heterogeneidad del medio geológico fracturado. PFC. ETSIM, UPM. (no publicado)

BARNESLEY, M.F.; DEVANEY, R.L.; MANDELBROT, B.B.; PEITGEN, H.-O.; SAUPE, D.; VOSS, R.F. [1988] *The science of fractal images*. H.-O. Peitgen, D. Saupe Editors. Springer Verlag. New York.

BARNESLEY, M.F. [1993] *Fractals everywhere*. 2ª Ed. Academic Press Professional. Boston.

BARTON, C.C.; LA POINTE, P.R. [1995] *Fractals in the Earth Sciences*. Plenum Press. New York.

BEAR, J. [1972] *Dynamics of fluids in porous media*. Elsevier. New York.

BERKOWITZ, B.; BALBERG, I. [1993] Percolation theory and its application to groundwater hydrology. *Water Resources Research* 29(4): 775-794.

BOX, G.E.P.; JENKINS, G.M. [1976] *Time series analysis, forecasting and control*. Holden Day.

BRAS, R.L.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. [1985] *Random functions in hydrology*. Addison-Wesley Publishing Company. Reading Massachusetts.

BRUNO, R.; RASPA, G. [1989] Geostatistical characterization of fractals models of surfaces. *Geostatistics* 1: 77-89.

CARGILL, S.M., ROOT, D.H. & BAILEY, E.H. [1980]: Resources Estimation from Historical Data: Mercury, a Test Case, *J. Int. Assoc. Math. Geol.*, 12, p489-522.

CARLSON, J.M. & LANGER, J.S. [1988]: Mechanical model of an earthquake fault, *Physical Reviews*, v. A 40, p.6470-6484.

CHARLAIX, E.; ROUX, S. [1987] Permeability of random array of fractures of widely varying apertures. *Transport in Porous Media* 2: 31-43.

CHENG, Q. [1995] The perimeter-area fractal model and its application to geology. *Mathematical geology* 27 (1): 69-82.

CHILES, J.P. [1989] Modelisation geostatistique de reseaux de fractures. *Geostatistics* 1: 57-76.

CHRISTAKOS, G. [1992] *Random field models in earth sciences*. Academic Press Inc. San Diego.

COX, B.L.; WANG, J.S.Y. [1993] Fractal surfaces: measurements and applications in the earth sciences. *Fractals* 1 (1): 87-115.

COX, B.L.; FINISTERLE, S.; WANG, J.S.Y. [1994] Characteristics of simulated water flow in a partially saturated fracture. Preprint.

CURL, R.L. [1986] Fractal dimensions and geometries of caves. *Mathematical Geology* 18 (8): 765-783.

CUSHMAN, J.H. [1991] On diffusion in fractal porous media. *Water Resources Research* 27(4): 643-644.

CUSHMAN, J.H.; GINN, T.R. [1993] On dispersion in fractal porous media. *Water Resources Research* 29 (10): 3513-3515.

DAGAN, G. [1986] Statistical theory of groundwater flow and transport: pore to laboratory, laboratory to formation, and formation to regional scale. *Water Resources Research* 22 (9): 120S-134S.

DELSOWITZ, W.; REDUS, K.; WALLMANN, P.; LAPOINTE, P.; AXELSSON, C.-L. [1992] The implication of fractal dimension in hydrogeology and rock mechanics. Version 1.1. SKB Technical Report 92-17. Stockholm.

DING, M.; GREBOGI, C.; OTT, E.; SAUER, T.; YORKE, J. [1993] Estimating correlation dimension from a chaotic time series: when does plateau onset occur?. *Physica D* 69: 404-424.

FALCONER, K. [1990] *Fractal geometry. Mathematical foundations and applications*. John Wiley & Sons. Chichester.

FEDER, J. [1988] *Fractals*. Plenum Press. New York.

FETTER, C.W. [1993] *Contaminant hydrogeology*. Macmillan Publishing Company. New York.

FOURNIER, A.; FUSSELL, D.; CARPENTER, C. [1982] Computer rendering of stochastic

- models. *Communications of the ACM* 25 (6): 371-384.
- FOWLER, A.; ROACH, D.E. [1993] Dimensionality analysis of time-series data: nonlinear methods. *Computers & Geosciences* 19 (1): 41-52.
- GRASSBERGER, P. [1981] On the Hausdorff dimension of fractal attractors. *Journal of Statistical Physics* 26 (1): 173-179.
- GRASSBERGER, P. [1983] Generalized dimensions of strange attractors. *Physics Letters* 97 A (6): 227-230.
- GRASSBERGER, P.; PROCACCIA, I. [1983] Estimation of the Kolmogorov entropy from a chaotic signal. *Physical Review A* 28 (4): 2591-2593.
- GOODCHILD, H.F. [1980] Fractals and the accuracy of geophysical measures. *Mathematical Geology* 12 (2): 85-98.
- GUMIEL, P.; SANDERSON, D.J.; ROBERTS, S.; CAMPOS, R. [1992] El uso del análisis fractal como discriminación de sistemas filonios auríferos en el área de La Codosera, Extremadura (España). *Geogaceta* 12: 3-7.
- GUMIEL, P. [1993] Programa Graded de simulación mediante Sistemas de Funciones Iteradas- SFI- (inédito).
- GUMIEL, P., y SANDERSON, D.J. [1994]: Nota preliminar sobre la organización fractal de varios sistemas filonios mineralizados en Au, W y Sn del Macizo Hespérico en Extremadura (España). *Bol.Geol.Min.*,105-3, 263-271.
- GUMIEL, P. CAMPOS, R. SANDERSON, D.J. y ROBERTS, S. [1995]: Geometría y fractalidad de los sistemas filonios de la mina de La Parrilla (Cáceres): Conectividad y Percolación. *Bol.Geol.Min.* 106-4, 16-37.
- GUMIEL, P. y HERNANDEZ, R. [1996]: Simulación de patrones de fracturación en rocas, distribución y características de su geometría fractal. *Conectividad y Percolación*. *Geogaceta*, vol. 20(6), pp 1409-1412.
- GUMIEL, P. CAMPOS, R. HERNANDEZ, J.R. y PAREDES, C. [1996] : Características de la Geometría Fractal de varios Sistemas Filonios Mineralizados del Macizo Hespérico. Su Aplicación a la Prospección. Parte I : Mineralizaciones de Oro. Parte II : Mineralizaciones de W, Sn, U y P. *Geogaceta*, vol.20 (6) , pp.1397-1404.
- GUTENBERG, B. & RICHTER,C.F. [1954]: *Seismicity of the Earth and Associated Phenomena*, 2nd ed., Princeton University Press.
- HACK, J.T. [1957] Studies of longiudinal stream profiles in Virginia and Maryland. U.S. Geological Survey Prof. Pap. 294-B: 45-97.
- HASTINGS, H.M.; SUGIHARA, G. [1993] *Fractals. A user's guide for the natural sciences*. Oxford Science Publications. Oxford.
- HURST, H.E. [1957] A suggested statistical model of some time series which occur in nature. *Nature* 180: 494.
- JACQUIN, C.G.; ADLER, P.M. [1987] Fractal porous media II: geometry of porous geological structures. *Transport in Porous Media* 2: 571-596.
- JENSEN, M.J. [1987] Multifractals: formalism and experiments. *Proceedings of the ASI Geilo School on Time-Dependent Effects in Disordered Materials*. R. Pynn T. Riste. Plenum. New York.
- KAYE, B.H. [1989] *A random walk through fractal dimensions*. VCH Publishers.
- KENNEDY, S.K.; LIN, W.-H. [1986] FRAC A Fortran subroutine to calculate the variables necessary to determine the fractal dimension of closed forms. *Computers & Geosciences* 12 (5): 705-712.
- KORVIN, G. [1992] *Fractal models in the earth sciences*. Elsevier. Amsterdam.
- KUMAR, S.; BODVARSON, G.S. [1990] Fractal study and simulation of fracture roughness. *Geophysical Research Letters* 17: 701-704.
- LAVERTY, M. [1987] Fractals in karst. *Earth Surface Processes and Landforms* 12: 475-480.
- LEONORMAND, R. [1986] Pattern growth and fluid displacements through porous media. *Physica A*. Amsterdam 140: 114-123.
- LEONORMAND, R.; ZARCONI, C. [1989] Capillary fingering: percolation and fractal dimension. *Transport in Porous Media* 4: 599-612.
- MALIVERNO, A.; ROSSI, D.J. [1993] Applications of projection onto convex sets to stochastic inversion. *SPE* 25659, Middle East Oil Show, Bahrain.
- MANDELBROT, B.B. [1967] How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension. *Science* 156: 636-638.
- MANDELBROT, B.B.; VAN NESS, J.W. [1968] Fractional Brownian motions, fractional noises and applications. *SIAM Review* 10 (4): 422-437.
- MANDELBROT, B.B. [1975] Stochastic models for the Earth's relief, the shape and the fractal dimension of the coast lines, and the number-area for islands. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 72 (10): 3825-3828.
- MANDELBROT, B.B. [1982a] *The fractal geometry of nature*. W.H. Freeman. San Francisco.
- MANDELBROT, B.B. [1982b] Comment on Computer rendering of fractal stochastic models. *Communications of the ACM* 25 (8): 581-583.
- MANDELBROT, B.B. [1985] Self-affine fractals and fractal dimension. *Physica Scripta* 32: 260-267.
- MANGIN, A. [1981] Apports des analyses corrélatrice et spectrale croisées dans la connaissance des systèmes hydrologiques. *Comptes Rendus Academie Sciences Paris* 293: 1011-1414.
- MANGIN, A. [1984] Pour une meilleure connaissance des systèmes hydrologiques à partir des analyses corrélatrice et spectrale. *Journal of Hydrology* 67: 25-43.
- MANGIN, A. [1986] Reflexion sur l'approche et la modélisation des aquifères karstiques. *Proceedings Jornadas sobre el Karst en Euskadi*. San Sebastian: 11-30.
- MANGIN, A. [1994] Structure and functioning of karst aquifers. consequences on karst management and protection. En *Basic and applied hydrogeological research in french karstic areas*. N. Crampon, M. Bakalowicz Editors. COST 65 Action Workshop. Montpellier-Millau.
- MARSILLY, G. DE [1986] *Quantitative hydrology*. Academic. San Diego. California.
- MATSUSHITA, M.; OUCHI, S.; HONDA, K. [1991] On the fractal structure and statistics of contour lines on a self affine surface. *Journal of the Physical Society of Japan* 60 (7): 2109-2112.
- MEAKIN, P. [1987] Fractal aggregates and their fractal measures. Phase transitions and critical phenomena. C. Domb & J.L. Lebowitz Eds. Academic Press. New York.
- MENKE, W. [1991] Applications of the POCS inversion method to interpolating topography and other geophysical fields. *Geophysical Research Letters* 18: 435-438.
- MOLZ, F.J.; BOMAN, G.K. [1993] A fractal-based stochastic interpolation scheme in subsurface hydrology. *Water Resources Research* 29 (11): 3769-3774.
- NEUMAN, S.P. [1995] On advective transport in fractal permeability and velocity fields. *Water Resources Research* 31(6): 1455-1460.
- PALADIN, G.; VULPANI, A. [1987] Anomalous scaling laws in multifractal objects. *Physics Reports* 156 (4): 147-225.
- PAREDES, C. [1995] *Aplicación de la Geometría Fractal en las Ciencias de la Tierra*. Tesis Doctoral. ETSIM, UPM, Madrid.
- PERRIER E.; CHRISTIAN, M.; RIEU, M.; DE MARSILLY, G. [1995] Computer construction of fractal soil structures :simulation of their hydraulic and shrinkage properties. *WRR* 31 (12): 2927-2943.
- PERRIER, E.; RIEU, M.; SPOSITO G.; DE MARSILLY, G. [1996] Models of the water retention curve for soils with a fractal pore size distribution. *WRR* 32 (10) :3025-3031.
- POWER, W.L.; TULLIS, T.E. [1991] Euclidean and fractal models for the description of rock surface roughness. *Journal of Geophysical Research* 96 (B1): 415-424.
- REAL ACADEMIA DE CIENCIAS EXACTAS, FISICAS Y NATURALES (1996) *Vocabulario Científico Técnico*. Espasa-Calpe S.A. Madrid.
- REAMS, M.W. [1992] Fractal dimensions of sinkholes. *Geomorphology* 5: 159-165.
- RINALDO, A.; VOGEL, G.V.; RIGON, R.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. [1995] Can one gauge the shape of a basin?. *Water Resources Research* 31 (4): 1119-1127.
- ROACH, D.E.; FOWLER, A.D. [1993] Dimensionality analysis of patterns: fractal measurements. *Computers & Geosciences* 19 (6): 849-869.
- SAHIMI, M.; IMDAKM, A.O. [1988] The effect of morphological disorder on hydrodynamic dispersion in flow through porous media. *J. Phys. A*. Math. Gen. 21(19): 3833-3870.
- SAHIMI, M. [1994] *Applications of percolation theory*. Taylor & Francis Ltd. Londres.
- SAMPER, J.; CARRERA, J. [1990] *Geostatística. aplicaciones a la hidrología subterránea*. CIMNE - UPC. Barcelona.
- SANDERSON, D.J.; ROBERTS, S., y GUMIEL, P. [1994]: A Fractal Relationship between Vein Thickness and Gold Grade in Drill-Core from La Codosera, Spain. *Econ. Geol.* 89, 168-173.
- SAUCIER, A.; MULLER, J. [1993] Characterization of porous media with geometrical multifractals. *Fractals* 1 (4): 894-903.
- SAYLES, R.S.; THOMAS, T.R. [1978] Surface topography as a non stationary random process. *Nature* 271: 431-434.
- SCHUSTER, H.G. [1985] *Deterministic chaos*. An introduction. 3ª Edición. Alemania.
- STOYAN, D.; STOYAN, H. [1994] *Fractals, random shapes and point fields. Methods of geometrical statistics*. John Wiley & Sons. Chichester.
- SUSTERSCIC, F. [1983] Determination of the unknown cave passages length by means of fractal analysis. Preprint. *Proceedings of New Trends in Speleology*. Dobrihovec.
- TAKAYASU, H. [1990] *Fractals in the physical sciences*. Manchester University Press. Manchester.
- THEYLER, J. [1987] Efficient algorithm for estimating the correlation dimension from a set of discrete points. *Physical Review A* 36 (9): 4456-4462.
- TURCOTTE, D.L. [1986]: *A Fractal Approach to the Relationship between Ore Grade and Tonnage*. *Economic Geology*, v.81 p1528-1532.
- TURCOTTE, D.L. [1989]: *Fractals in Geology and Geophysics*. *Pageoph*, v.131 n°1/2, p171-196.
- TURCOTTE, D.L. [1992] *Fractals and chaos in geology and geophysics*. Cambridge University Press. Cambridge.
- UNWIN, D. [1989] Fractals and the geosciences: introduction. *Computers & Geosciences* 15 (2): 163-165.
- VOSS, R.F. [1985] Random fractal forgeries. *Fundamental algorithms for computer graphics*. NATO ASI series F17 133: 1-11.
- WALSH, J.J.; WATTERSON, J. [1993] Fractal analysis of fracture patterns using the standard box-counting technique: valid and invalid methodologies. *Journal of Structural Geology* 15 (12): 1509-1512.
- XU, T.; MOORE, I.D.; GALLANT, J.C. [1993] Fractals, fractal dimensions and landscapes - a review. *Geomorphology* 8: 245-262.

KTB: Un Telescopio hacia el interior de la Tierra

María del Carmen García Carballido

Licenciada en Ciencias Geológicas por la Universidad de Oviedo en 1991. Colegiada n.º 2.185. Geocientífica en Alemania dentro del Programa KTB a través de la Universidad de Giessen. Actualmente trabaja en «Z & S Geology Ltd.» (Aberdeen-Escocia). En octubre de 1966 se incorporó a la Universidad de Aberdeen para cursar un Curso Máster en Geología del Petróleo.

En el presente artículo se ofrece una visión general a cerca del Proyecto de Perforación Profunda KTB, desarrollado entre 1986 y 1996 en Baviera (Alemania), cuyo objetivo es alcanzar los 10 Km. de profundidad.

This article offers a general view of the KTB Deep Drilling Project, developed between 1986 and 1996 in Bavaria (Germany), which is aimed to reach 10 Km. depth.

Introducción

A finales de los años sesenta se inició la investigación sistemática de la corteza terrestre a través de perforaciones oceánicas. Proyectos como «DSDP» o el actual «ODP», permiten explorar los fondos oceánicos de todo el mundo para dar respuesta a los procesos que tienen lugar en la litosfera.

Según la Teoría de la Tectónica de Placas, la litosfera es la capa más externa de la tierra constituida por placas rígidas que flotan sobre una zona no rígida situada en el manto superior que conocemos como la astenosfera. Estas placas están constituidas por una parte del manto superior, recubierta, según los casos, de corteza continental u oceánica. Mientras que nueva corteza oceánica se crea en las dorsales, en igual magnitud se destruye en las llamadas zonas de subducción, donde por diferencias de densidad se hunde en las fosas oceánicas y regresa al manto terrestre.

Como consecuencia de esta teoría, la edad máxima de la corteza oceánica es de unos 200 m.a. Los continentes, sin embargo, no toman parte en este «proceso de reciclado» ya que tenemos ejemplos de corteza continental de edad superior a los 3.500 m.a. (cratón de Pilbara en Australia). Por tanto la clave para comprender nuestro planeta reside en los continentes.

La investigación de la corteza continental a través de perforaciones profundas, permite obtener una visión tridimensional que complementa la información superficial.

Así, en 1985 se aprueba el **Programa alemán de Perforación Con-**

tinental Profunda (KTB), gracias al acuerdo firmado por la comunidad geocientífica alemana y el Ministerio Federal de Investigación y Tecnología.

Desarrollo del Proyecto KTB

Las primeras ideas acerca de un proyecto de perforación profunda en Alemania se remontan a finales de los años setenta. Por aquel entonces, la Fundación Científica Alemana constituyó un grupo de trabajo para realizar los primeros estudios.

Entre 1980 y 1983 se propusieron un total de cuarenta posibles emplazamientos. Tras una amplia campaña de investigación, la «Selva Negra» y el «Oberpfalz» fueron presentadas como las mejores opciones. Paralelamente, el Ministerio Federal para la Investigación y Tecnología aprobaba en 1985, un presupuesto para el programa de perforación profunda KTB dotado con 530 millones de marcos (44.500 millones de pesetas aproximadamente).

En 1986 se tomó la decisión final en favor del Oberpfalz, región situada al noreste de Baviera (fig. 1), a pocos kilómetros de la frontera con Checoslovaquia. El emplazamiento concreto sería en la localidad de Windischeschenbach.

El objetivo fundamental de este ambicioso proyecto es alcanzar los 10 Km. de profundidad, donde se esperan temperaturas alrededor de 300 °C y unos 3.000 bares de presión. En estas condiciones límite, sería posible observar un cambio significativo en las propiedades mecánicas, físicas y químicas de las rocas.



Fig. 1: Localización geográfica del proyecto KTB en el noreste de Baviera (Alemania).

La perforación profunda sirve como un telescopio para investigar el interior de la tierra, permitiendo observar «in-situ» procesos físico-químicos y realizar calibraciones con respecto a los experimentos de laboratorio.

Para llevar a cabo un sondeo que alcance 10 Km. en vertical, hace falta desarrollar una tecnología especial capaz de garantizar toda la inversión. Este es otro objetivo fundamental de KTB, donde se pone en funcionamiento la instalación más moderna del mundo de este tipo.

¿Por qué en Baviera?

Uno de los principales objetivos del programa KTB es el estudio de la estructura y evolución de las zonas internas de una cordillera. El área de investigación de este importante proyecto se sitúa en el límite del Saxoturínico y Moldanúbico, dos de las principales unidades tectonoestratigráficas del hercínico (o variscico) europeo.



Fig. 2: Situación geográfica de los macizos hercínicos aflorantes en Europa. (RHZ: Zona Renohercínica, STZ: Zona Saxoturínica, MZ: Zona Moldanúbica; B: Masa Bohémica).

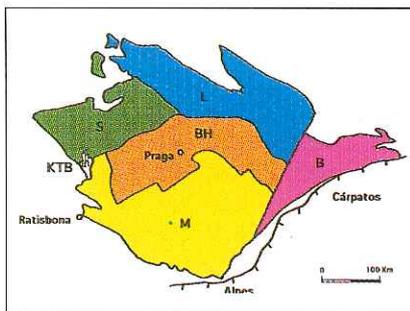


Fig. 3: Emplazamiento de KTB con respecto a la situación de las unidades geotectónicas principales que constituyen la Masa Bohémica.

El basamento hercínico europeo se divide en tres grandes zonas (fig. 2), que de norte a sur son las siguientes: Zona Renohercínica, Zona Saxoturínica y Zona Moldanúbica. Los contactos entre estas tres grandes unidades geotectónicas son zonas de fractura que se extienden por toda Europa. La denominada Masa Bohémica constituye un ámbito claramente diferenciado en la parte más oriental de la Zona Moldanúbica, extendiéndose desde Baviera hasta los Cárpatos.

La Masa Bohémica está subdividida en las siguientes unidades geotectónicas (fig. 3): Lúgica (L), Saxoturínica (S), Bohémica (BH), Moldanúbica (M) y Brunovistúlica (B).

El contacto entre las zonas Saxoturínica y Moldanúbica es un importante límite cortical, donde se localiza una zona de sutura formada hace 320 m.a. tras el cierre de una cuenca oceánica. Este proceso originó una colisión continental y la formación de una cadena montañosa cuyas dimensiones se comparan con la extensión actual del Himalaya.

En la figura 3, se observa una pequeña área aislada donde se sitúa KTB; esta zona denominada «ZEV» (Zona de Erbendorf-Vohenstrauss) ha sido tradicionalmente interpretada como un manto alóctono cabalgante sobre la sutura hercínica.

La geología del entorno KTB

La geología del entorno KTB es bastante compleja. Tras los procesos de subducción y levantamiento ocurridos en la Masa Bohémica hace 400-370 m.a. (caledoniano tardío / hercínico joven), se produjo la colisión continental entre el Moldanúbico y el Saxoturínico hace 330-320 m.a. Posteriormente tuvieron lugar grandes cabalgamientos

y cizallas ligados a movimientos corticales, siendo responsables de la formación de zonas como la de ZEV que constituye un manto alóctono cabalgante sobre la zona de sutura previa.

Dataciones radiométricas confirman la existencia de un metamorfismo de alta temperatura y baja presión hace unos 320 m.a. (hercínico joven), que afecta al Moldanúbico, Bohémico y Saxoturínico. Posteriormente y hace unos 325-290 m.a., tuvieron lugar numerosas intrusiones graníticas provenientes de zonas profundas de la corteza y del manto superior. Esta actividad ígnea es la responsable de un importante flujo térmico en la zona.

En la figura 4 se representa un corte geológico esquemático donde aparece la sección investigada por el proyecto KTB. Podemos reconocer tres zonas bien diferenciadas. Hacia el suroeste se observan los materiales más modernos aquí representados, correspondientes al permo-carbonífero, triásico y cretácico superior. Hacia el noreste aparecen los granitos que instruyen a las rocas metamórficas de ZEV. En la zona central del corte, observamos un conjunto de materiales del proterozoico superior intensamente plegados que corresponden a metabasitas, paragneises y ortogneises. En las metabasitas se han diferenciado varias series, denominadas «b» y «v», en función de sus paragénesis.

Organización del Proyecto

La dirección del proyecto KTB se realiza desde el «Servicio Geológico de la Baja Sajonia» en Hannover. Sin embargo, KTB es parte de un programa internacional para la investigación de la litosfera, y por ello cuenta con la participación de más de 350 científicos provenientes de diferentes naciones e

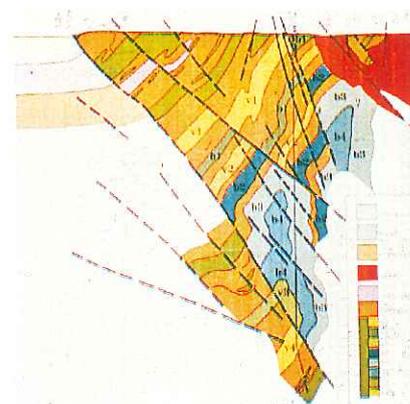


Fig. 4: Corte geológico esquemático del área de investigación del proyecto KTB.

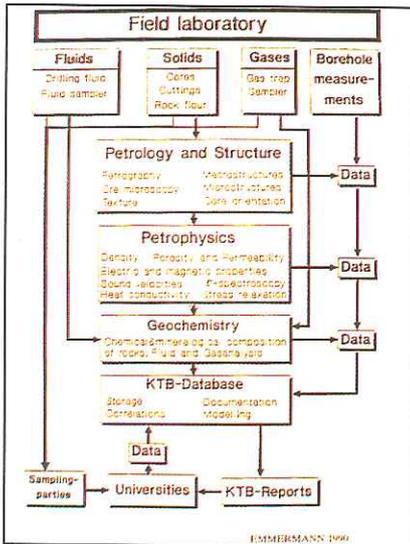


Fig. 5: Organización del laboratorio de campo.

instituciones científicas. Entre ellas podemos citar como más significativas: ODP y DOSECC (EE.UU.), BRGM (Francia), el Proyecto de Gas Sueco, el British Geological Survey (Reino Unido), Checoslovaquia, Canadá, Japón, China y Rusia. Con referencia a Rusia, se ha valorado la experiencia previa del Proyecto de perforación profunda en la península de Kola, donde se ubica el sondeo más profundo del mundo (12.260 m).

En el área de investigación se ha instalado un moderno laboratorio de campo altamente sofisticado, donde se realizan las primeras investigaciones de los testigos, ripios o «cuttings» y del lodo de perforación. Alrededor de 40 científicos y técnicos se encargan de preparar la información básica que, posteriormente, será analizada por grupos de investigación específicos en universidades y otras instituciones.

En el laboratorio de campo se toman muestras de diferentes tipos: líquidas, sólidas y gaseosas. De cada tipo de muestra se realiza un análisis completo, que genera un conjunto de



Fig. 6: Observación de «cuttings» en la lupa binocular.

datos los cuales se recopilan en la Base de Datos de KTB (ver fig. 5). Los testigos y cuttings (ver fig. 6) se estudian detalladamente para obtener información acerca de su petrología, macro y microestructuras, propiedades físicas y geoquímica. Paralelamente se llevan a cabo múltiples estudios dentro del propio sondeo o pozo de perforación utilizando sondas que miden propiedades eléctricas, electromagnéticas, químicas, etc. Los registros obtenidos complementan los estudios realizados en el laboratorio de campo.

Finalmente, se generan informes que constituyen el material básico de investigación para posteriores estudios.

Las llamadas «sampling parties» son reuniones que tienen lugar periódicamente en el laboratorio de campo, donde se dan cita todas aquellas personas e instituciones interesadas en el proyecto para intercambiar impresiones, tomar nuevas muestras, etc.

Para llevar a cabo todas estas investigaciones, se propusieron dos sondeos. El sondeo piloto (KTB-VB) se inauguró en septiembre de 1987, y alcanzó una profundidad final de 4.000,1 m en abril de 1989. Cinco meses más tarde, en septiembre de 1990, se inauguró el sondeo principal (KTB-HB), dotado con la tecnología suficiente como para soportar más de 2.000 bares y 300 °C a una profundidad de 10 Km en vertical. En octubre de 1994, el sondeo principal (fig. 7) alcanzó la profundidad final de 9.101 m. KTB-HB es el cuarto sondeo más profundo del mundo.



Fig. 7: El sondeo principal KTB-HB. Altura 83 m; peso aproximado 2.500 t.

Aplicación de nuevas tecnologías

Si excluimos los sondeos realizados «offshore» (en el mar), KTB-HB está dotado con el equipo de perforación más grande del mundo y utiliza la tecnología más avanzada. Este moderno equipo de perforación ha sido especialmente construido, junto con un sistema activo de perforación vertical, para cumplir con los requerimientos de un sondeo de perforación profunda en rocas cristalinas.

Se ha tratado de reducir de forma significativa el tiempo empleado en cada maniobra; así se ha construido un sistema automatizado para el manejo de las varillas de perforación, que se controlan desde la cabina de mandos. Cada tren de varillaje está constituido por tres varillas, con una longitud total de 40 m.

Tras la experiencia adquirida en el sondeo piloto (KTB-VB), se vio la necesidad de mantener una perforación vertical en la parte superior del sondeo, que permitiera extenderlo a grandes profundidades. Una de las principales tecnologías desarrolladas específicamente para KTB, ha sido la creación conjunta de una herramienta que permita la perforación dirigida, junto con un motor acoplado en la columna perforadora. Este sistema permite registrar desviaciones en la pared del sondeo, y en caso necesario corrige automáticamente la dirección.



Fig. 8: Impresionante aspecto de un tricono utilizado en KTB-HB.

Se han utilizado diferentes tipos de triconos, coronas y combinaciones mixtas, que permiten obtener muestras de roca en forma de rípios (denominados comúnmente «cuttings») y de testigos. La planificación de un sondeo tan profundo, hace necesaria la utilización de trépanos de gran tamaño en la sección superior del sondeo (ver fig. 8).

El funcionamiento de todo este sistema requiere la presencia del lodo de perforación, el cual tiene las siguientes características y funciones:

- Está compuesto básicamente por agua y sustancias añadidas (arcillas especiales, poliglicoles, etc) que le dan consistencia y rigidez específica en función de la temperatura.

- Refrigerera y aporta lubricación y estabilización en las paredes del sondeo así como en los testigos y «cuttings».

- Cuando está en movimiento y posee la viscosidad necesaria, es el medio de transporte de los «cuttings» hasta la superficie.

- Contiene los fluidos provenientes de la formación rocosa perforada.

- Permite detectar emisiones gaseosas que podrían poner en peligro todo el sondeo.

- Es el medio de transporte hasta la superficie de los pulsos originados por las diferentes sondas geofísicas y geoquímicas introducidas en el sondeo.

Como consecuencia de las elevadas temperaturas y presiones a gran profundidad, todas las sondas y aparatos electrónicos utilizados han sido especialmente diseñados para el proyecto KTB.

Con el objeto de cumplir con normas medio ambientales de prevención de ruidos, todos los sistemas relacionados con la perforación funcionan eléctricamente.

Conclusiones

El Proyecto de Perforación Profunda KTB supone un gran esfuerzo en la investigación geológica de nuestro planeta. Así mismo el desarrollo tecnológico asociado, constituye un gran avance en el campo de la perforación e investigación con sondas especiales en condiciones de alta presión y temperatura. Estas nuevas tecnologías se aplican con éxito en la exploración de petróleo y gas.

Bibliografía recomendada

- ABBOTT, A. y SCHIERMEIER, Q. (1996): Nature, vol. 382, 18 July 1996, pág. 196.
- BMFT (1993): Kontinentales Tiefbohrprogramm der Bundesrepublik Deutschland, Bundesministerium für Forschung und Technologie, 2 ed., Bonn.
- BUICK, R. et al (1995): Record of emergent continental crust ~3.5 billion years ago in the Pilbara craton of Australia, en Letters to Nature, vol. 375, pág. 574.
- ELLINS, M. y TRAN VIET, T. (1990): Germany's Continental Deep Drilling Program KTB, Drilling Fluid Concept and Data Acquisition System, en Oil and Gas European Magazine 16, págs 30-34.
- FRANKE, W. (1989): Variscan plate tectonics in Central Europe - current ideas and open questions, en Tectonophysics, 169, págs 221-228, Amsterdam.
- GSL (1993): KTB German Continental Deep Drilling Program, Project management KTB, Geological Survey of Lower Saxony, Hanover.
- RISCHMULLER, H. (1990): Oil and Gas European Magazine, Germany's Continental Deep Drilling Program KTB, Example for Advanced Drilling Technology, en Oil and Gas European Magazine, págs 16-20.
- STETTNER, G. (1990): KTB Umfeldgeologie, Bayerisches Geologisches Landesamt, Munich.
- STETTNER, G. (1992): Geologie im Umfeld der Kontinentalen Tiefbohrung Oberpfalz. Einführung und Exkursionen, Bayerisches Geologisches Landesamt, págs 7-22, Munich.
- VAN EEK, W.H. et al (1980): Geological Nomenclature, Royal Geological and Mining Society of the Netherlands, Scheltema & Holkema BV.
- WOLHGEMUTH, L. y CHUR, C. (1990): Germany's Continental Deep Drilling Program KTB, The KTB Drilling Rig, en Oil and Gas European Magazine, págs 42-46.



La prevención de riesgos naturales. El caso de Biescas

Juan Martínez Goytre

Geología Aplicada y Medio Ambiente, S.L. Geólogo (U.C.M., 1.985). Master en Geomorfología Fluvial e Hidrología Superficial (University of Arizona, 1993).

Javier Martínez Gil

Catedrático de Hidrogeología de la Universidad de Zaragoza.

Guilhermina Garzón Heydt

Profesora Titular de Geomorfología de la Universidad Complutense de Madrid.

La catástrofe del Barranco de Arás ocurrida en Biescas la tarde del pasado 7 de Agosto de 1996 es el objeto de este trabajo, en el que se plantean cuestiones claves como ¿cuándo podía ocurrir?, ¿qué magnitud podría tener?, o ¿dónde podría ocurrir?, que ponen trágicamente de relieve las limitaciones existentes en la predicción de riesgos naturales.

The Arás catastrophe in Biescas (Pyrenees) in the evening of August, 7, 1996, is the target of this paper. Key questions as when could this flows and reinstorms occur?, what magnitud could have? and Where could occur? are treated in this contribution aimed to show the limitations in hazards predictions.

La catástrofe ocurrida en Biescas la tarde del pasado 7 de agosto, con un balance final de 96 muertos y 1 desaparecido, y unas pérdidas económicas oficialmente valoradas en varios miles de millones de pesetas, ha puesto trágicamente de relieve las limitaciones existentes en la predicción de riesgos naturales así como los posibles errores cometidos en este caso particular. Consideramos preferible hablar de *riesgos* naturales y no de *catástrofes* naturales, ya que la naturaleza se limita a crear fenómenos que presentan un determinado riesgo de ocurrencia, mientras que es la interacción de estos fenómenos con el hombre lo que crea las catástrofes. Nadie negará que si el suceso de Biescas se hubiera producido en una zona despoblada, no hubiera merecido ni una sola línea en los periódicos, como así ocurrió ese mismo día en diversos puntos del Sistema Ibérico de Aragón, en las proximidades de las localidades de Calanda y Albarracín, y en la Sierra de Jabalambre, en donde se registraron precipitaciones de magnitud comparable e incluso superior a las de Biescas. La catástrofe, por lo tanto, se produce en el momento en que existe una presencia humana que se ve negativamente afectada por estos fenómenos.

Los trabajos de predicción de riesgos naturales en general, y de inundaciones en particular, tienen como principal objetivo resolver las tres incógnitas siguientes: *cuándo* se va a producir el fenómeno, *con qué magnitud* va a ocurrir, y *en dónde* va a tener lugar. Únicamente si estas tres pregun-

tas se resuelven correctamente, se puede decir que la predicción ha sido totalmente satisfactoria. Lógicamente, esta labor de predicción está sujeta a las limitaciones técnicas y de conocimiento que en cada caso condicionan el éxito o fracaso de la tarea.

En el extremo de los riesgos naturales impredecibles se puede situar la caída de meteoritos, en el que las tres preguntas anteriores —cuándo va a caer el meteorito, de qué tamaño, y en dónde— son prácticamente irresolubles. En otros fenómenos naturales, como los terremotos o las erupciones volcánicas, algunas de estas incógnitas pueden ser resueltas en parte, y cada vez es más frecuente escuchar noticias referentes a que en determinadas zonas se espera la ocurrencia, en un periodo de tiempo específico, de un terremoto de una magnitud concreta.

La predicción de inundaciones es una tarea en la que el grado de conocimiento existente en la actualidad permite ser cada día más optimista. Expresiones como “son fenómenos impredecibles”, “la naturaleza se revela contra el hombre”, “lluvias imposibles de imaginar”, etc., deben ir poco a poco desapareciendo de nuestro lenguaje, pues están cada vez menos justificadas. Y en el caso concreto de Biescas tampoco está justificada su utilización. Veamos por qué.

¿Cuándo podía ocurrir?

Esta pregunta fue satisfactoriamente resuelta en el caso de Biescas

con el grado de desarrollo existente en la actualidad. No hay que olvidar que se trató de una fuerte tormenta de verano, muy concentrada en el tiempo y en el espacio, lo que supone una dificultad añadida en las tareas de predicción. A este respecto se puede señalar que el Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) está pensado para conocer en tiempo real la situación de los grandes ríos españoles, escapando de su objetivo situaciones como la del barranco de Arás. El barranco de Arás es una pequeña cuenca tributaria del Gállego por su margen derecha, apenas situada a un kilómetro aguas abajo de la localidad de Biescas. Tiene algo más de 18,8 km² de cuenca hidrográfica, y está formada por la confluencia de tres barrancos menores: el de Asó, el de Betés y el de La Selva. Este conjunto de barrancos fluyen entre materiales del flysch del eoceno superior pirenaico, con laderas cuyas pendientes oscilan en una amplia zona entre el 40% y el 60%, en las que destaca la presencia de abundante material morrénico (García Ruiz et al., 1996).

La cuenca del barranco de Arás discurre entre cotas que superan los 2.000 m.s.n.m en la zona de cabecera hasta por debajo de los 900 m. en su desembocadura en el Gállego. Un cálculo aproximado del tiempo de concentración de la cuenca, cuya longitud es de escasamente 9 km. y cuya pendiente media es de un 15%, da un resultado de unos 40 minutos. Esto quiere decir que se dispuso de muy poco tiempo desde el momento en que empezaron las lluvias hasta que se alcanzó el pico de la avenida en la zona del camping.

El Instituto Meteorológico Nacional avisó con cierta antelación de que en determinadas zonas de la vertiente sur del Pirineo se estaban produciendo una serie de circunstancias (aire muy frío en altura, aire muy caliente y cargado de humedad en las capas bajas de la atmósfera) que hacían previsible que se desencadenaran fenómenos tormentosos de consideración en la tarde del día 7 de agosto. Se puede argumentar que este aviso no fue suficiente y que estas predicciones deberían ser más concretas. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que este tipo de predicciones son, hoy por hoy, muy difíciles y que ni siquiera en los países más desarrollados en la predicción de inundaciones se llega mucho más lejos de lo que en

este caso se hizo. Esto no es óbice para que se deba reclamar a los distintos organismos públicos mayor coordinación en la comunicación de las predicciones, pues no siempre llegan a sus potenciales usuarios a tiempo.

¿Qué magnitud podía tener?

Respecto a la *magnitud* del fenómeno, al igual que ocurre con la pregunta anterior, poco más se puede hacer de lo que se hizo, esto es, avisar de la posibilidad de tormentas. Predecir la intensidad de las precipitaciones es una tarea muy difícil cuando se trata de fenómenos como el que aquí nos ocupa. Sí sería deseable, sin embargo, que al menos se dé una orientación de las intensidades de precipitación esperables, como ya se hace en algunos países, pues esto ayudaría en gran medida a identificar los fenómenos potencialmente peligrosos.

Desde los medios de comunicación más diversos se han ido dando, hasta el día de hoy, multitud de datos, contradictorios en muchos casos, sobre las cifras de precipitación acaecidas en la tarde del 7 de agosto en la zona. Gracias al excelente trabajo elaborado por los técnicos del Centro Meteorológico de Aragón, La Rioja y Navarra, ubicado en Zaragoza, hoy en día se sabe la magnitud bastante aproximada de la tormenta. Este trabajo ha sido realizado a partir de las informaciones registradas por los radares y el correspondiente calibrado posterior de sus datos con los valores medidos directamente en los pluviómetros de la zona dotados de observador cualificado.

La información de los radares ha permitido saber, con intervalos de diez en diez minutos, cuál fue la intensidad de la lluvia en el barranco de Arás y en el resto de la zona afectada con una resolución de 2 por 2 km. y un margen de error apenas relevante con respecto a la magnitud total del suceso. La tormenta estuvo estabilizada durante una hora y cincuenta minutos fundamentalmente en la subcuenca del barranco de Betés; en el resto la lluvia alcanzó menor intensidad, especialmente en la cabecera del barranco de Asó. Las máximas intensidades se registraron, incluso, en otro núcleo tormentoso situado ligeramente al norte, aguas arriba de Biescas.

Se recogieron en 24 horas cantidades variables entre los 50 y 70 mm. en la cabecera del barranco de Asó, y entre 160 y 250 mm. en el barranco de Betés, según se tome el ajuste más favorable o el más desfavorable de todas las calibraciones posibles.

De acuerdo a los datos de los radares meteorológicos, se puede decir que en la hora y cincuenta minutos que duró el episodio de intensidad violenta (desde las 15h 50' hasta las 17h. 40' solares) se registraron lluvias del orden de 50 mm. en la cabecera del barranco de Asó y unos 175 mm. en el de Betés. En los 40 minutos más lluviosos (tiempo de concentración de la cuenca) fueron registrados 35 mm. en la cabecera del barranco de Asó y 100 mm. en el de Betés, lo que corresponde a intensidades horarias de 50 mm/h y 150 mm/h respectivamente.

López Bermúdez y Romero (1992-1993) han recopilado los valores más altos de precipitación en la zona mediterránea, citando cifras de 600 mm. en 3 horas en octubre de 1973 en Zurgena, Murcia; 220 mm. en 1,5 h. en octubre de 1975 en Ses Pastores, Mallorca; o los casi 800 mm. en 24 h. en Puebla del Duc, Valencia, en noviembre de 1987. Además, núcleos tormentosos de gran intensidad son frecuentes en distintos puntos de la geografía pirenaica todos los veranos, no siendo extraño que en algunos casos se superen los 100 mm/h. Este conjunto de datos indica que la tormenta de la tarde del 7 de agosto fue un episodio de una magnitud considerable, pero en ningún caso excepcional, en el sentido de impensable, imprevisible o inimaginable.

Las estimaciones del caudal punta realizadas mediante métodos indirectos se sitúan en torno a los 500 m³/s (García Ruiz et al., 1996). Una intensidad de lluvia de 100 mm/hora (no muy infrecuente en las tormentas veraniegas en el Pirineo) representa un caudal de lluvia de 27,7 m³/s por cada km² de cuenca. Admitiendo que las pérdidas por infiltración, retención o evapotranspiración en un fenómeno de estas características son muy pequeñas (la torrencialidad de la lluvia prácticamente impide la infiltración del agua en el terreno), en los 18,8 km² de la cuenca del barranco de Arás se podría generar un caudal punta de 27,7 m³/s/km² x 18,8 km² = 520 m³/s. Un cálculo tan simple da una idea de que un caudal de varios centenares de m³/s no

era totalmente descabellado que pudiera producirse en el barranco de Arás.

Justificar la excepcionalidad de la tormenta de la tarde del 7 de agosto argumentando que nunca antes se había registrado tal intensidad de lluvia en la zona afectada, o que no era de prever una lluvia de tamaño intensidad o duración, no es válido. En noviembre de 1982 se produjeron en el Pirineo aragonés lluvias de intensidad, duración y extensión de mayor relevancia que las de Biescas. Utilizar el método de los períodos de retorno, ajustando leyes teóricas de distribución de frecuencias a un evento de estas características, aplicado al reducido espacio del barranco de Arás en el que no hay datos, es un atrevimiento.

¿Dónde podía ocurrir?

Al responder a la pregunta de *en dónde* se puede producir un fenómeno de estas características es cuando ha surgido la polémica. Distintos estamen-



FOTO 1. Vista frontal del abanico del barranco de Arás. Se aprecia la canalización del barranco, las casas del camping, y el lóbulo de sedimentos (zona de color blanca) depositado en la parte proximal del abanico.

tos públicos aducen que la excepcionalidad del suceso (la alta precipitación y

los elevados caudales resultantes) hacía impredecible su ocurrencia, mientras

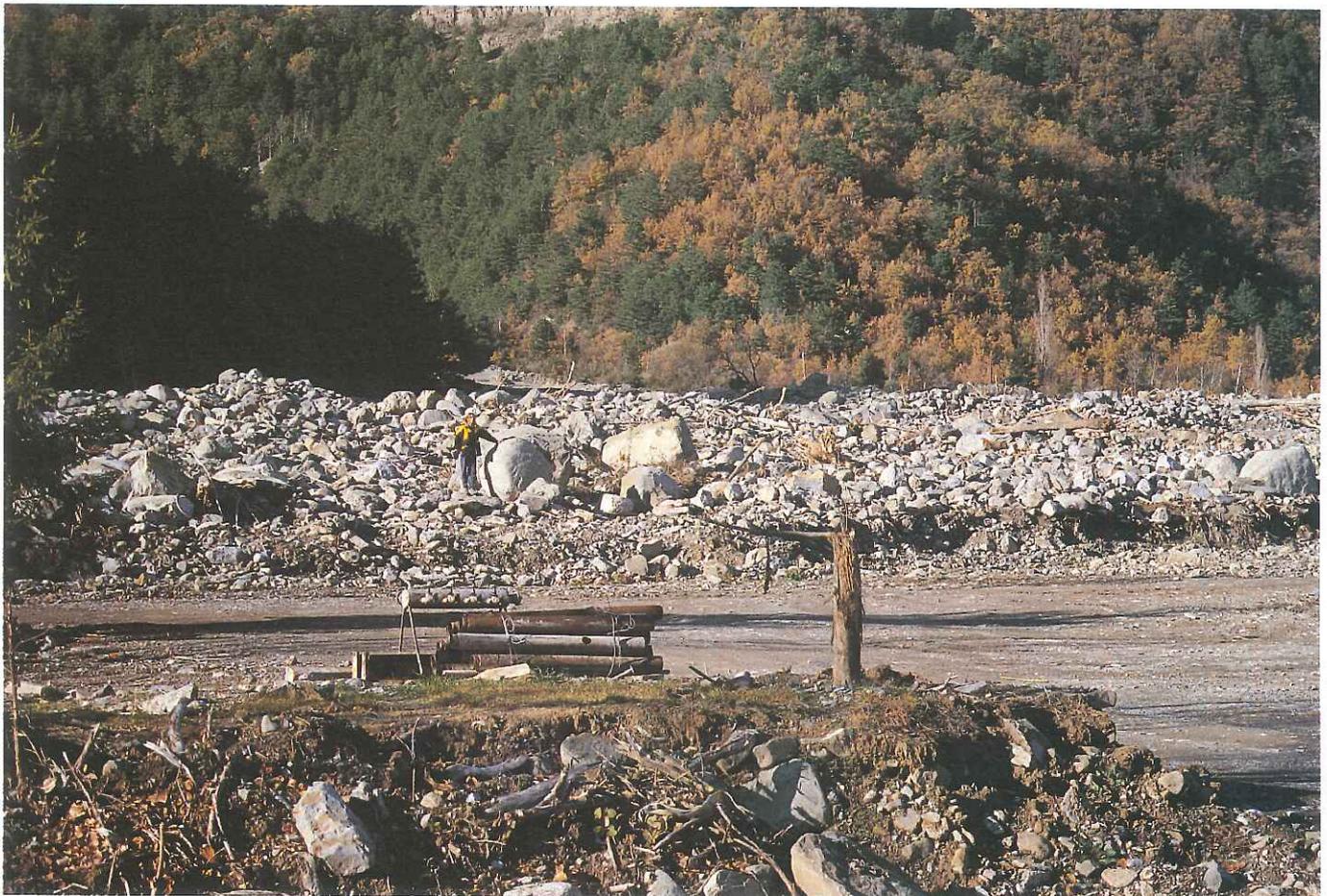


FOTO 2. Aspecto de los bloques transportados por el barranco de Arás durante la riada y depositados ligeramente aguas arriba del camping.

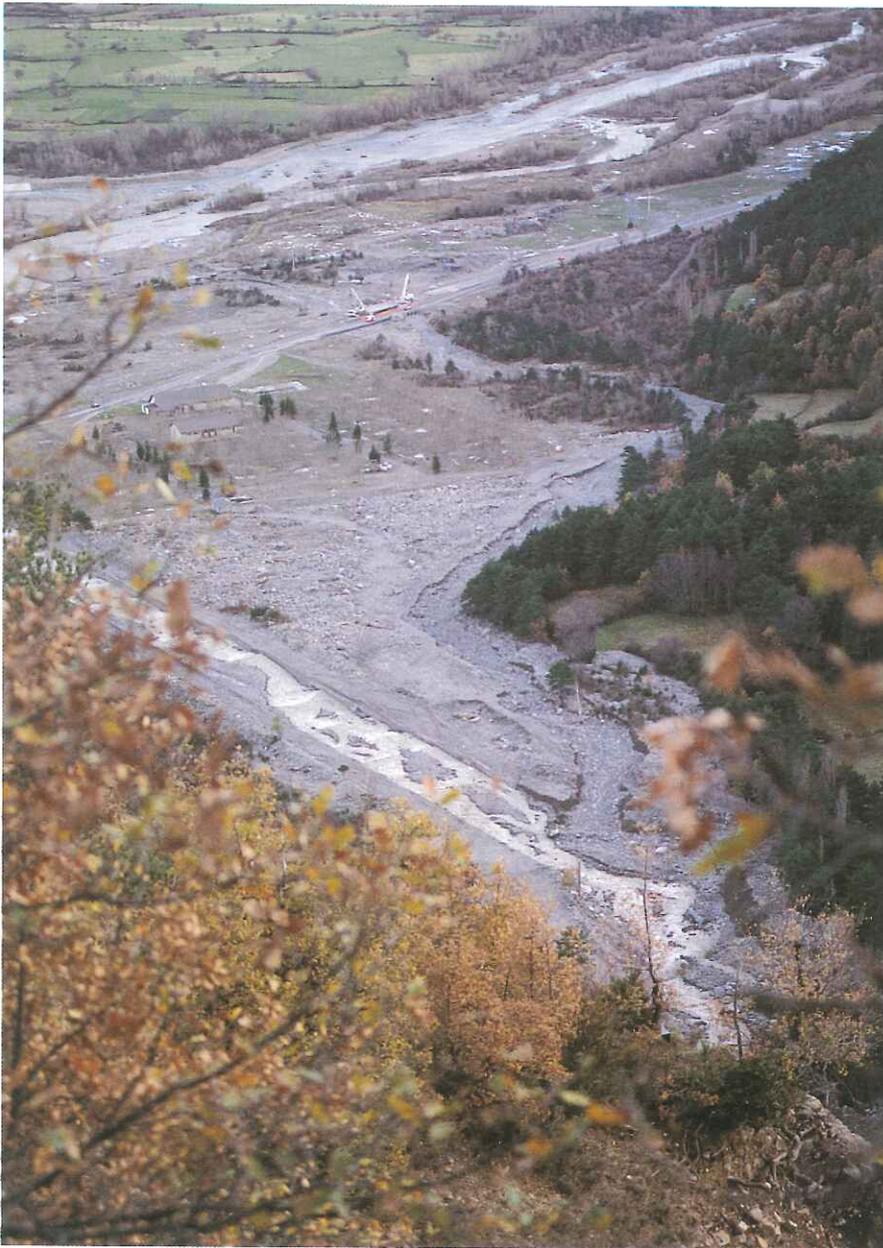


FOTO 3. Vista desde arriba de la zona del ápice del abanico, en donde se aprecia claramente la canalización existente y el cauce abierto durante la riada, que sigue el borde derecho (sur) del abanico. Al fondo se observa el río Gállego.

que determinados grupos han señalado que la ubicación del camping no era la más idónea, al estar situado en una zona de alto riesgo. Geológicamente, el camping estaba situado en un abanico aluvial (foto 1). Un abanico aluvial, como cualquier geólogo sabe, es un cuerpo sedimentario situado generalmente al pie de los frentes montañosos, formado por sucesivas acumulaciones de sedimentos transportados por los barrancos durante tormentas o riadas.

En su parte baja, antes de desembocar en el abanico aluvial, el barranco de Arás atraviesa una serie de depósitos morrénicos del valle del Gállego,

materiales sueltos y fácilmente erosionables. Éstos suponen una fuente muy importante de sedimentos al barranco, lo que explica tanto el gran volumen del abanico sobre el que se situaba el camping como la rapidez con la que se han colmatado en sus pocos años de vida las más de veinte represas de contención de sedimentos. La existencia de los depósitos morrénicos junto con la fuerte pendiente del cauce en la zona, más de un 16%, justifica el gran volumen (varios m^3) de algunos de los bloques transportados hasta el abanico (foto 2) y el de los existentes aguas arriba en el barranco.

Un reconocimiento geomorfológico de la zona en donde se asentaba el camping habría puesto de manifiesto que estaba situado sobre materiales que habían sido transportados por el barranco durante otras tormentas anteriores, y que habían sido depositados en la zona en cuestión. Si esto ya había pasado otras veces, es razonable pensar que podría ocurrir de nuevo. Los hechos históricos muestran que la torrencialidad del barranco de Arás es en verdad excepcional: es el único del Pirineo aragonés que ha sido objeto de tamañas obras de corrección, colmatadas todas ellas en los pocos años de funcionamiento; y existen referencias de episodios catastróficos concretos en el barranco.

Ingenuamente se podría pensar que la construcción de un encauzamiento como el que existía, cuya capacidad de desagüe era de algunas decenas de m^3/s , limitaba el riesgo de inundación exclusivamente a la zona encauzada. Un abanico aluvial se caracteriza por la alta variabilidad en la posición de los cauces, ya que al ser un sistema de alta energía y con gran removilización de sedimento, es muy fácil que durante las riadas los cauces existentes se taponen y se formen nuevos canales de desagüe. Llevando las cosas al extremo conservador, la Federal Emergency Management Agency de los Estados Unidos (organismo equivalente a nuestra Protección Civil y con plenas competencias en la cartografía de riesgos naturales), al tratar del riesgo de inundación en los abanicos aluviales considera que la posición de los canales de desagüe es aleatoria y por lo tanto irrelevante a la hora de establecer el riesgo. Cualquier parte del abanico es susceptible de ser afectada durante una inundación, independientemente de la posición de los cauces en el momento de establecer la predicción.

En el caso del barranco de Arás, el material removilizado, al llegar a la parte proximal del abanico se depositó, taponando la canalización y favoreciendo la apertura de un nuevo cauce (foto 3). Casualmente, el cauce que se formó retomó la zona topográficamente más baja del abanico, situada en su borde meridional, por donde solía discurrir anteriormente a la construcción del encauzamiento. Por lo tanto, pensar que con una canalización como la que existía se había limitado la varia-

bilidad intrínseca de los abanicos aluviales es desconocer totalmente su funcionamiento. Habría hecho falta una obra de mucha mayor envergadura que probablemente no hubiera estado justificada.

La Cartografía de Riegos de Inundación

En la actualidad, los estudios de delimitación de zonas con riesgo de inundación, cuando se hacen, atienden exclusivamente a aspectos hidrológicos e hidráulicos. Desgraciadamente, estudios como los realizados por el ITGE a finales de los años ochenta y principios de los noventa (por ejemplo ITGE, 1989), en los que se daba gran importancia a las características geomorfológicas de la zona de estudio y a los datos de avenidas históricas, han dejado de realizarse.

La metodología "standard" de las Confederaciones Hidrográficas u otros organismos competentes consiste en analizar las series de precipitación existentes en los pluviómetros de la zona de estudio, y a partir de estos datos realizar extrapolaciones estadísticas para distintos períodos de retorno utilizando cualquier método standard (ajustes de Gumbel, SQRT, Log Person, o cualquier otro). A continuación, y mediante el uso de programas de transformación de precipitación-escurrimiento se calculan los caudales resultantes para los períodos de retorno a analizar. La utilización de modelos hidráulicos permiten, finalmente, calcular los calados, velocidades y zonas inundadas en función de los caudales considerados.

Esta metodología tiene el grave inconveniente de no tener en consideración aspectos como las condiciones geomorfológicas o la dinámica natural de la zona, que es a la postre la que impone las restricciones fundamentales. En primer lugar, las series de datos pluviométricos difícilmente superan las pocas decenas de años, por lo que en muchos casos realizar extrapolaciones estadísticas a largo plazo no pasa de ser un juego meramente estadístico, que rápidamente pierde el contacto con la realidad. Además, como ya se ha señalado, las características de las tormentas que originan riadas como la de Biescas muchas veces escapan al registro de los pluviómetros debido al

pequeño tamaño de los núcleos tormentosos.

Por otro lado, y este es un aspecto de gran relevancia, no se establecen diferencias entre los cursos fluviales existentes en distintos ambientes morfoclimáticos. Así, no se tienen en cuenta las diferencias existentes entre un río bien estructurado y desarrollado, una rambla sometida a una dinámica torrencial y esporádica, un torrente de montaña, o un abanico aluvial en el que dominan los fenómenos de alta energía. Hablar de cauce, zona de servidumbre o zona de policía, tal y como se hace en la Ley de Aguas, ha de tener necesariamente distinto significado según se trate de un río, una rambla, un torrente o un abanico. Ello ha de implicar conocer la dinámica particular de estos sistemas y desarrollar una metodología de trabajo específica para cada caso.

Se puede concluir, por lo tanto, que una adecuada cartografía de riesgos, en la que las características geomorfológicas de la zona se hubieran tenido en cuenta, habría identificado el alto riesgo del lugar en donde se ubicaba el camping.

Consideraciones Finales

Todo lo anteriormente expuesto nos lleva a establecer que la riada de Biescas ha estado provocada por un fenómeno tormentoso que puede calificarse de poco frecuente en cuanto a la precipitación y a los caudales resultantes, aunque no de carácter excepcional. Sin embargo, la zona en donde estaba situado el camping era claramente de alto riesgo y estudios de carácter geomorfológico, de haberse realizado, así lo habrían puesto de relieve. Precipitaciones menos intensas que las producidas habrían originado caudales más pequeños que probablemente no hubieran originado tan elevado número de pérdidas humanas. Sin embargo, más temprano que tarde el camping se habría visto afectado por algún desbordamiento, con la evidente posibilidad de que se produjeran pérdidas de vidas.

No considerar que el abanico del barranco de Arás es un sistema de alta energía en el que la capacidad de migración del cauce es una de sus características intrínsecas, indica un desconocimiento del medio natural.

Decir que la riada que se produjo se repite cada 500 ó 1.000 años, atendiendo exclusivamente a los datos de precipitación disponibles carece de todo sentido si esta afirmación no cuenta con estudios geomorfológicos y sedimentológicos que la respalden. Pensar que la canalización que existía (con una capacidad de desagüe de varias decenas de m³/s) era suficiente para salvaguardar al resto del abanico de posibles desbordamientos indica un total desconocimiento de la dinámica de estos sistemas morfológicos. Supeditar todo un estudio de riesgo de inundaciones a artificios estadísticos y matemáticos, olvidando las características y la dinámica natural de la zona de estudio, es una clara muestra de práctica profesional sesgada. Finalmente, dejar toda la responsabilidad de lo ocurrido a los designios divinos y a la fatalidad es una incompetencia poco justificable a finales del siglo XX.

La pregunta que se plantea es ¿se puede evitar que se reproduzcan situaciones como las que trágicamente nos ha tocado vivir en Biescas? La respuesta es sí. No se puede evitar ni el exceso ni el defecto de lluvia, la tecnología no permite, todavía, llegar a establecer con suficiente antelación cuándo se van a producir tormentas como la que nos ocupa ni su intensidad, pero sí podemos llegar a determinar qué zonas son susceptibles de ser inundadas y establecer en ellas una ordenación de usos que eviten catástrofes como la que ha motivado este artículo. Los mapas de riesgos de inundación en los que se tengan en cuenta las características geomorfológicas de la zona son, hoy por hoy, una herramienta básica para la correcta gestión del territorio.

Bibliografía

- García Ruiz, J.M.; White, S. M.; Martí, C.; Valero, B.; Errea, M.P.; y Gómez Villar, A. (1996). La Catástrofe del Barranco de Arás (Biescas, Pirineo Aragonés) y su Contexto Espacio-Temporal. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Inst. Pirenaico de Ecología de Zaragoza. 54 pags.
- I.T.G.E. (1989). Mapas Previsores de Riesgo de Inundación en los Núcleos Urbanos de Güüimar y Playa de las Américas (Tenerife). Serie: Ingeniería GeoAmbiental. 42 pags.
- López Bermúdez, F. y Romero, M.A. (1992-1993). "Génesis y consecuencias erosivas de las lluvias de alta intensidad en la región mediterránea". Cuadernos de Investigación Geográfica, 18-19, pags. 7-28.

Impacto ambiental y restauración de canteras en Andalucía Oriental

Antonio F. Castro Gámez

Licenciado en Ciencias Geológicas por la Universidad de Granada. Ha trabajado durante varios años en investigación (ITGE, Universidad de Granada) así como en el ejercicio libre. Desde el año 1992 es funcionario de la Junta de Andalucía.

M. Oñate Parejo

Licenciado en Ciencias Biológicas e Ingeniero T. Industrial por la Universidad de Málaga. Posee una dilatada experiencia en el campo de la empresa privada. Desde el año 1992 se incorpora como funcionario a la Administración autonómica andaluza.

En el presente artículo se describe, de manera sintética, la situación ambiental de las explotaciones mineras en Andalucía Oriental, fundamentalmente en cuanto a restauración e impacto ambiental.

This article describes the environmental situation of mining explotations in Andalucía Oriental, with emphasis on environmental impact and restauration.

«Hemos herido a esta montaña y sólo lamento no poder restaurarla ...»

B. Traven, «El tesoro de Sierra Madre»

1.-Introducción

Resulta evidente la necesidad de las canteras a la vez que se hace no menos patente la necesidad de su restauración, fuertemente reclamada por sectores sociales cada vez más amplios. Esta restauración, o quizás de manera más precisa regeneración del espacio natural afectado, viene regulada por el Real Decreto 2994/1982. Catorce años después de su entrada en vigor parece ser un momento oportuno para analizar, siquiera superficialmente, la situación en Andalucía Oriental.

La incorporación del principio de preservación al desarrollo económico, se tradujo legalmente en la publicación del Real Decreto Legislativo 1302/1986 de Evaluación de Impacto Ambiental y del Real Decreto 1131/1988 por el que se aprueba el Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental, que en su anexo II.12 contempla la actividad extractiva como sujeta previamente a la realización del correspondiente Estudio de Impacto y obtención de la Declaración favorable del organismo ambiental. No obstante, estos textos legales restringen su aplicación al cumplimiento de determinadas circunstancias como son la distancia a núcleos urbanos, el tonelaje total del movimiento de tierras, la distancia a las concesiones mineras existentes, etc. Recientemente la Ley 7/1994 de Protección Ambiental de la Comunidad Autónoma Andaluza, así como el Decreto 292/1995 por el que se aprueba el Reglamento de Impacto Ambiental amplían el ámbito de aplicación.

2.-El contenido de los Planes de Restauración

Desde la publicación del Real Decreto 2994/1982, es obligatoria la presentación de un Plan de Restauración del espacio afectado por las actividades mineras, estableciendo las condiciones de protección del medio ambiente para amortiguar el deterioro de los terrenos afectados por las explotaciones, reduciendo, entre otras, las alteraciones paisajísticas y geomorfológicas.

3.-Ensayo de Clasificación

Se ha establecido un principio de clasificación «grosso modo» de las canteras de la zona oriental andaluza que, sin pretender ser exhaustivo, se adapte a las posibilidades de restauración según el tipo de sustancia y el método de laboreo. Así, se distinguen los siguientes grupos:

- Canteras de Arcilla.
- Canteras de Caliza-Dolomía.
- Explotaciones de diferentes materiales.

4.-Geología. Fisiografía. Comunidades Vegetales

4.1 -Canteras de arcilla

Generalmente se trata de arcillas pliocenas o miocenas. Las reservas son muy amplias en todas las cuencas (Campanillas, Bailén, Granada, etc.).

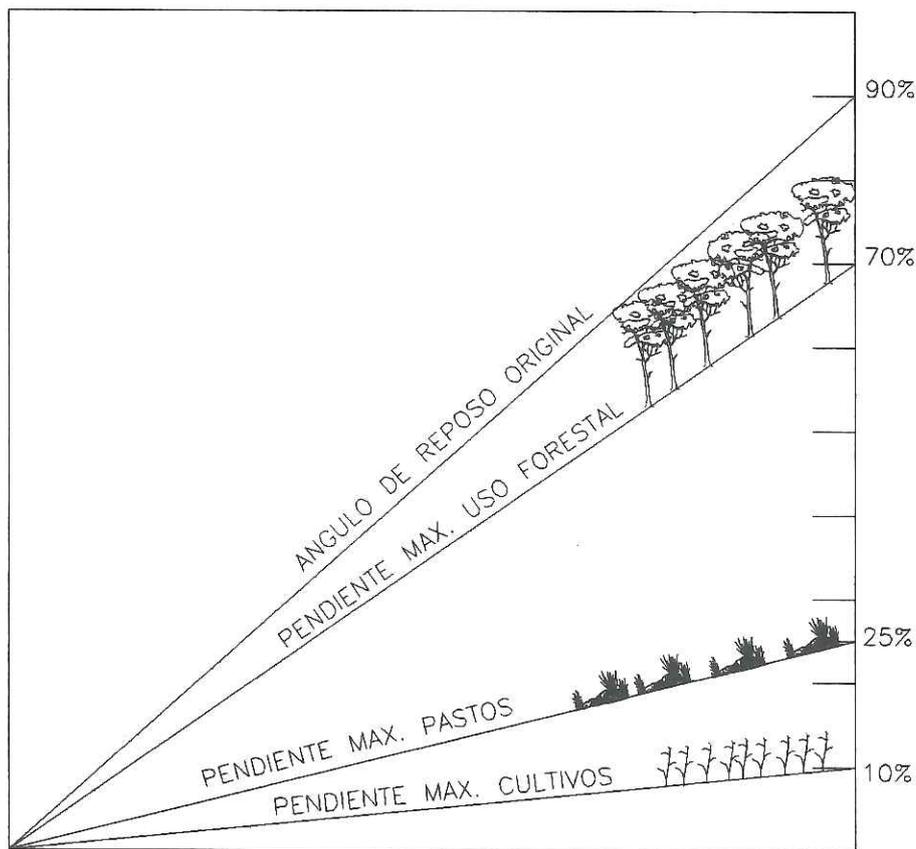


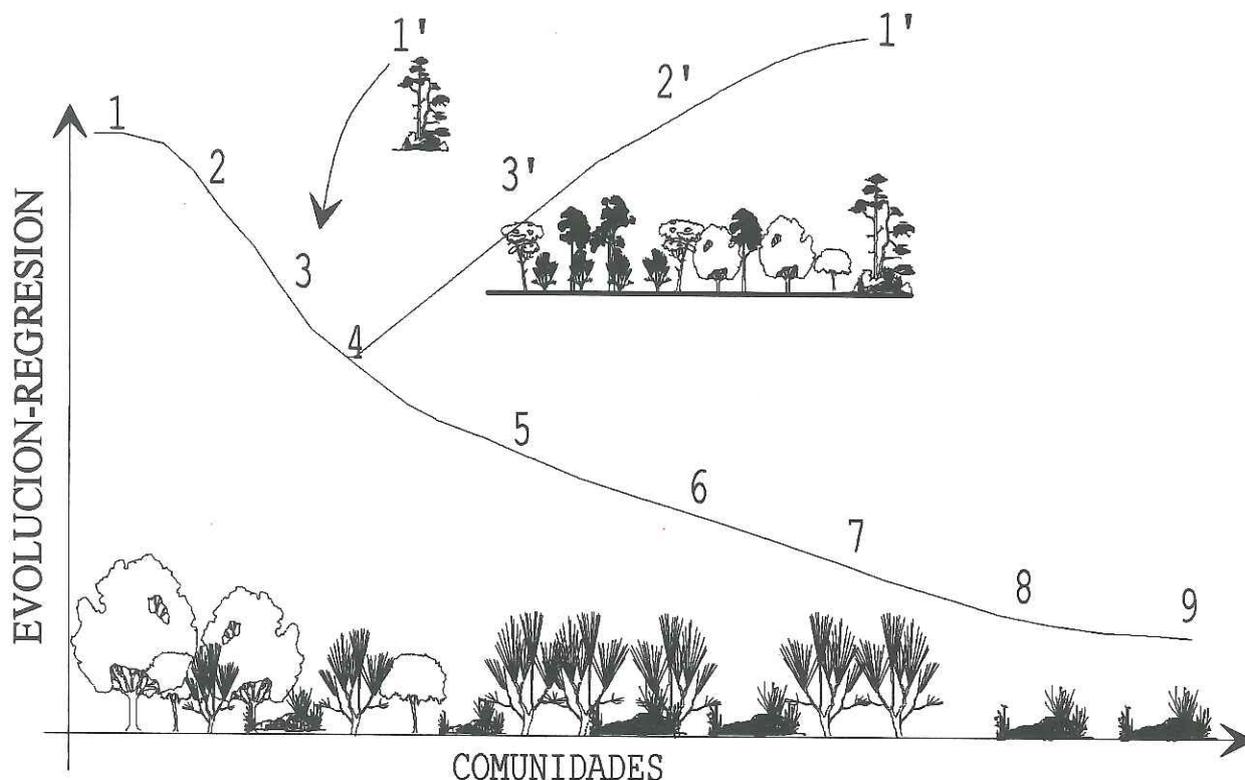
Figura 1. Pendientes máximas para diferentes usos del terreno.

Fisiográficamente se trata de áreas planas, suavemente alomadas y con escasos desniveles. La capa de alteración superficial es de orden centimétrico y la cubierta vegetal más usual está degradada consistiendo en matorral o herbáceas, restos de la vegetación original en sus últimas etapas de regresión, incluyendo especies diferentes según la composición de los suelos.

4.2 –Canteras de caliza / dolomía

Materiales ampliamente representados en los tramos más altos del Bético s. str. y del subbético y Paleógeno. Son especialmente abundantes en los afloramientos de Granada, Almería y Jaén, y particularmente en la Unidad Blanca de la provincia de Málaga.

La vegetación *clímax*, en los pisos inferiores, termomediterráneo y mesomediterráneo meridionales, está representada por las series de la encina (*Quercus rotundifolia*), que en una etapa madura corresponde a un bosque denso de encinas, con un sotobosque no muy denso. En los encinares termófilos pueden competir otros árboles como el algarrobo (*Ceratonia siliqua*) o el acebuche (*Olea*



LEYENDA:

1.-Bosque de frondosas; 1'.-Bosque mezclado de frondosas y pinos; 2.-Bosque de frondosas aclarado; 2'.-Pinar con matorral y leguminosas; 3.-Restos de bosque; 3'.-Pinar con matorral heliófilo; 4.-Matorral heliófilo abundante; 5.-Invasión de matorral colonizador; 6.-Matorral, avanzada regresión; 7.-Asociación de herbáceas de degradación; 8.-Suelo esquelético; 9.-Roquedo, canchal, arenal.

Figura 2. Estados de regresión de las comunidades vegetales.

	GEOLOGIA	FISIOGRAFIA	VEGETACION	RESTAURACION DIFICULTADES
EXPLOTACIONES DE ARCILLA	Arcillas Pliocenas, Miocenas	Areas llanas, relieve suave	Serie de la encina Matorral Herbáceas	Relleno de huecos
EXPLOTACIONES DE CALIZA/DOLOMIA	Mesozoico Subbético Paleógeno U. de Blanca	Fuertes relieves Pendientes pronunciadas	Serie de la encina Matorral Herbáceas	Altura de frentes Capaceo de suelos Remodelación morfológica
	TALCO	Peridotitas	Especies adaptadas	Volumen estériles
	YESOS	Trias-Mioceno	Romerales, coscoja	Tamaño de explotaciones y volumen de estériles
VARIOS	OFITAS	Trias	Vegetación según encajantes	Profundidad explotación Altura de frentes
	ARENAS	Areniscas Aljibe Aluviales Cuaternarios	Serie de la encina Matorral Herbáceas	Capaceo de suelos

Tabla 1.-Situación general y principales dificultades que presenta la restauración de las explotaciones mineras.

europaea sylvestris). La etapa de sustitución está formada por vegetación arbustiva de coscoja, filirea, aladierno, etc. (*Quercus coccifera*, *Phillyrea angustifolia*, *Rhamnus alaternus*) que en etapas inferiores adopta formaciones de *Pistacia lentiscus* -*Rhamnus alaternus*, y en su última etapa adoptaría la forma de un pastizal de gramíneas y leguminosas.

El grado de cobertura y su relación con la pendiente determina las peculiaridades del uso del suelo según se observa en la figura 1.

La figura nº 2 sintetiza los estados de regresión de las comunidades vegetales.

4.3 -Varios

Se incluyen en este apartado diversas explotaciones de diferentes sustancias con características distintivas respecto a su laboreo y, por tanto, en lo que se refiere a su incidencia en el medio.

4.3.1 -Talco

Se localiza fundamentalmente en la Serranía de Ronda, en las zonas de fractura del Complejo Ultrabásico. Se sitúan en zonas de fuerte relieve, lo

que condiciona el método de explotación, normalmente el laboreo se realiza mediante la creación de bancos utilizando pequeñas prevoladuras.

4.3.2 -Yesos

Especialmente abundantes en el Trias subbético y en el Mioceno. Los depósitos triásicos presentan forma de pequeños domos dado el carácter diapírico de los yesos. En otros casos, se trata de «cabezos».

Los yesos miocenos de las depresiones postorogénicas son especialmente abundantes, particularmente en la Depresión de Granada y en la de Almería-Sorbas, suelen presentar forma lentejonar, ocupando una gran extensión superficial. Los segundos se caracterizan por su homogeneidad, excelente calidad y ausencia de recubrimiento. Las producciones son las más elevadas de España.

Las comunidades vegetales sobre suelos de yeso presentan peculiaridades tanto en la adaptación, como en cuanto a las especies indicadoras, así se asocian romerales gipsícolas con coscoja y/o pino carrasco, acompañados de especies de *Genista*, *Helianthemum* y *Ononis*.

En ciertas áreas las comunidades son de espatales y pastizales de herbáceas.

4.3.3 -Ofitas.

Depósitos de diabasas asociados al Trias en el área Antequera- Archidona. Normalmente son pequeños afloramientos aislados, de contorno circular y morfología alomada englobados dentro de la masa margoyesífera triásica.

4.3.4 -Arenas

Fundamentalmente asociados a los aluviales, piedemontes y playas. Son de destacar las explotaciones situadas en las llamadas Areniscas del Aljibe, incluidas dentro de las Unidades del Campo de Gibraltar, habida cuenta de la calidad del material explotado. Asimismo, se extraen arenas como producto de alteración de las calizas triásicas y jurásicas subbéticas. En ocasiones, se trata de una zona superficial con potencia raramente superior a los cinco metros, en otras son lentejones o bolsadas heterométricas con un porcentaje muy elevado de tamaño arena, englobados en la masa calcárea, en zonas de fractura o en los mármoles de la Unidad Blanca. El fácil arranque del material produce en ocasiones explotaciones de aspecto caótico con el consiguiente impacto sobre el medio ambiente.

Las comunidades vegetales en

estos suelos arenosos estarán en función de su composición calcárea, silíceo, o eventualmente salina. Por otra parte, las propias características de consistencia y estructura del suelo, así como la humedad, determinarán las comunidades presentes, que serán similares a las citadas en el apartado 4.2 anterior.

5.-Método de explotación-restauración (Tabla 1)

5.1-Arcillas

Normalmente el método de laboreo es el de banco con plano inclinado sobre el cual el material es ripado con bulldozer o traílla, que a su vez lo empuja hacia el patio de carga.

La restauración se plantea de forma sencilla, remodelando la topografía, bien con amplios bancales, bien adaptándose a un relieve alomado. Resta la situación de las zonas en cubeta que requerirían un relleno de los sectores más profundos, que puede realizarse con materiales residuales de la clasificación o con materiales de la planta de fabricación, aunque en ocasiones el volumen del hueco resulta difícilmente rellenable si no es con aporte exterior, lo que puede constituir un serio condicionante económico para la restauración.

La vegetación conveniente se adecuaría a la situación preoperacional, utilizando especies autóctonas que deben figurar en el inventario de flora inicial o en el correspondiente a las zonas limítrofes. La adición de materia orgánica (enmiendas) y fertilizantes, la aportación de una capa ligera de suelo vegetal y un semillado a voleo o incorporado en el suelo de aportación, complementado por un riego periódico durante los períodos secos del primer año, debe ser suficiente para conseguir restituir las condiciones iniciales.

5.2 -Calizas/Dolomías

Las afecciones ambientales más significativas se producen sobre la vegetación, la geomorfología, el suelo, la alteración del drenaje, los procesos geológicos y ecológicos y el paisaje. En los casos en que las canteras se encuentren próximas a zonas de población, el ruido, las vibraciones y el pol-

vo incrementan su importancia en la valoración de las afecciones, que se incrementan con el aumento del tráfico de vehículos pesados que generan nuevas afecciones.

La restauración de estas canteras puede presentar dificultades y costos considerables. En primer lugar, la explotación no suele realizarse con un criterio convergente de explotación-restauración: bancos de altura considerable, bermas estrechas, ocupación hasta los mismos límites de la parcela, taludes elevados, y en definitiva, escasa o nula coordinación entre explotación y restauración y su posible simultaneidad. Todo ello trae como consecuencia que las operaciones de aporte de suelo vegetal y la plantación y siembra sean escasamente factibles, y además apenas quede margen para la remodelación morfológica.

5.3 -Varios

5.3.1-Talcos

Las explotaciones se sitúan en zonas de fuerte relieve lo que condiciona el método de explotación, este ha variado considerablemente en los últimos años, pasando del arranque en galería con escobrero al pie de la bocamina, a la explotación mecanizada a cielo abierto. El volumen de estériles generado suele ser considerable y aprovechable para la restauración (relleno, protección de cauces, capaceo del suelo vegetal, etc.).

5.3.2 - Yesos

El laboreo -con una evolución similar a la citada en el apartado anterior- suele realizarse mediante las técnicas ya descritas de banco con talud forzado y empleo de pequeñas cantidades de explosivos y pala mecánica.

Salvo por el tamaño de algunas de las explotaciones de Almería, la restauración no plantea problemas específicos, siendo especialmente importante la correcta elaboración del correspondiente inventario de vegetación al objeto de restituir la situación inicial.

5.3.3 -Ofitas

La explotación se realiza por medio de bancos, con voladuras y palas

mecánicas. En explotaciones de gran tamaño son frecuentes las oscilaciones en el volumen de ventas en relación directa con la realización de obras públicas.

La morfología de los afloramientos puede dar lugar a explotaciones profundas y/o con elevados frentes, siendo necesario para el laboreo un considerable movimiento de tierras con efectos ambientales notables tanto en el aspecto morfológico como paisajístico.

5.3.4 -Arenas

La explotación suele llevarse a cabo con pala mecánica, previo desmonterado de la capa de suelo, o mediante la creación de bancos con talud forzado. Raramente se utilizan los explosivos procediéndose en la mayoría de los casos al arranque directo. Esta misma característica facilita la restauración de las zonas afectadas que sólo en el caso de bolsadas incluidas dentro de masas calcáreas pueden ocasionar situaciones de muy difícil regeneración dando lugar a una casuística ya comentada en el apartado dedicado a áridos.

6.-Conclusiones

De las ideas expuestas se desprenden una serie de conclusiones: la necesidad de un emplazamiento adecuado para evitar la incidencia paisajística, la viabilidad económica del transporte a las zonas de utilización, la previsión de los costes de restauración, la conveniencia de métodos de laboreo que permitan simultáneas explotación y restauración y la conveniencia de restaurar con especies autóctonas.

7.-Bibliografía

- BOJA. Nº 79 y Nº 166. (1996).
- COLEGIO OFICIAL DE GEOLOGOS. (1984). Aridos
- FERRERAS, C. & AROZAMENA, M.E. (1987). Los Bosques. Guía Física de España.
- ITGE (1989). Manual de Restauración de terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales en Minería. 2ª Edición.
- JUNTA DE ANDALUCIA. Dirección General de Industria, Energía y Minas. (1986) Libro Blanco de la Minería Andaluza.
- LOEMCO (1984). Manual de Aridos.
- M.O.P.T. (1991). Las estepas ibéricas.
- RIVAS MARTINEZ, S. (1987). Memoria del Mapa de Series de Vegetación de España.

La Geología vista por el cine: una interpretación particular

Marc Martínez Parra

Es Licenciado en Ciencias Geológicas por la Universidad de Barcelona y Diplomado en Hidrogeología por el Curso Internacional de Hidrología subterránea (C.I.H.S.). Desempeña su labor como hidrogeólogo en el I.T.G.E. Además es un sufrido espectador del Séptimo Arte, una de sus principales aficiones, lo que, en ocasiones, resulta todo un suplicio.

Como es bien sabido el pasado año se celebró el centenario del nacimiento del cine. Vio las primeras luces en Europa pero fue en EE.UU. donde pasó su niñez y adolescencia, adquiriendo la mayoría de edad y con ella su significado como industria, fábrica de sueños (también de bostezos y pesadillas) y sobre todo, de recuerdos.

También para la geología y sus profesionales existe un rinconcito en su corazón. Este artículo no trata de enumerar sistemáticamente todas las películas que han tratado, aunque sea referencialmente, sobre geología, sino que pretende ser un ejercicio de memoria colectiva (y si se quiere, de nostalgia) para que quien lo lea disfrute de un entretenido rato, que, al fin y al cabo, es el objetivo real del cine. That's entertainment!

As everybody knows, the last year occur the centenary of the cinema. It saw first lights in Europe, but was in U.S.A. where pass its childhood and youth, acquiring its maturity and significance like industry, factory of dreams (also yawns and nightmares) and overcoat, of memories. Also for Geology and Their professionals have a little place in its heart. This article wouldn't enumerate all movies about Geology (even though be referencialy), it try to be an exercise of collective memory (may be nostalgia) for that readers have a nice time because this is the real objective of the cinema. That's entertainment!

Introducción

Para la búsqueda de las películas que tratan sobre geología se han empleado unos amplios criterios de selección, atendiendo a las temáticas usadas en las líneas argumentales. En el presente artículo se han recogido algunos filmes que han tratado, aunque sea de manera somera, la prospección minera, la hidrogeología, la paleontología, el estudio del paleolítico, los cambios evolutivos, el impacto ambiental, el cambio climático, la geología del petróleo, la vulcanología, la geofísica, la geología endógena y la tectónica. No están todos los campos de la geología ni todas las películas, pero las que se mencionan figuran de manera, como se apreciará, muy justificada.

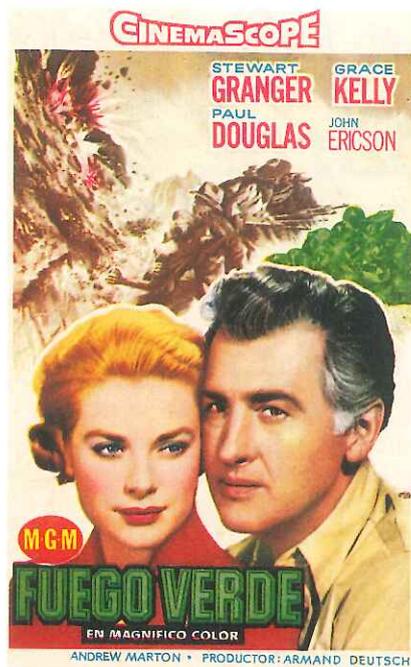
La prospección minera: la avidez del buscador de oro y la desdicha del minero del carbón

El campo de la prospección minera siempre ha supuesto un auténtico *filón* para los guionistas, diferenciándose, a grandes rasgos, dos temáticas: las que relatan aventuras (generalmente

cuando buscan oro en Alaska o California) y las obras de denuncia social (situadas en Europa y en sus cuencas mineras del carbón).

En el primer caso la línea argumental suele ser muy parecida: un conjunto de personajes, de distintos orígenes, pero con el común estigma del *perdedor*, se unen por diversos avatares para buscar oro como forma de redención y conseguir una segunda oportunidad que les permita rehacer su vida, aunque algunos, en el fondo, prefieren vivir libres de ataduras, rechazando la vida civilizada. Son personajes pendencieros, granujas, borrachos, sin ningún amor a la ley, con una moral muy relajada, algunos de buen corazón pero otros malos como la tiña; este es el caso de Humphrey Bogart en *El Tesoro de Sierra Madre* (J. Huston, 1948) o a los malvados hermanos mineros de *Duelo en la Alta Sierra* (S. Peckinpah, 1962).

Casi siempre se encuentran abandonados a su suerte en tierras inhóspitas, enfrentados a múltiples y variopintos peligros y adversidades: desde indios poco amigables a profetas iracundos (*El árbol del ahorcado*; D. Daves, 1958), pasando por forajidos



desalmados (*El oro de MacKenna*; J. Lee Thompson, 1969) y capitalistas que no creen demasiado en la libre competencia (*El jinete pálido*; C. Eastwood, 1985).

También su codicia ha ocasionado guerras de inesperado desenlace, sobre todo para el General Custer (*Murieron con las botas puestas*; R. Walsh, 1941).

Hay obras maestras como *Avaricia* (E. Von Stroheim, 1923) —en la que un minero abre un consultorio odontológico— o las anteriormente citadas e innumerables películas de similar línea argumental, de las que se destacan *Alaska, tierra de oro* (H. Hathaway, 1960), *El jardín del diablo* (H. Hathaway, 1954), o la más reciente *Colmillo Blanco* (R. Kleiser, 1991). Incluso Charles Chaplin (*La Quimera del Oro*, 1923) o los Hermanos Marx (*Los hermanos Marx en el Oeste*) han sabido reírse de todas estas tópicas situaciones.

No obstante, siempre quedará en la memoria el socarrón buscador de oro interpretado por Lee Marvin en el musical *La leyenda de la Ciudad sin nombre* (J. Logan, 1969), cuyo final viene a reflejar el *modus vivendi* que el cine ha atribuido a estos personajes: cuando el campamento minero queda destruido y se plantea su posterior *civilización*, perdiendo su anárquica forma de vida, los dos amigos mineros (Clint Eastwood y Lee Marvin) siguen caminos distintos, uno se queda con la chica (seductora Jean Seberg) para formar parte de la posible *nueva ciudad*

mientras que el otro, habituado a vivir sin normas, prefiere marchar en busca de nuevos horizontes.

En las antípodas de las películas anteriores se encuentran las relacionadas con la minería del carbón. Situadas en Europa (Gran Bretaña y Francia), reflejan con amargura las misérrimas condiciones de vida de los mineros, tremendamente honestos y tremendamente pobres, aunque orgullosos. Son películas con *mensaje* y con ánimo de una suave denuncia social, en la medida de lo posible y dentro de los parámetros de lo *políticamente correcto* (*Qué verde era mi valle*; J. Ford, 1941; *Germinal*; C. Berri, 1994; o la española *Las aguas bajan negras*; A. Saénz de Heredia, 1949).

Sin embargo, existe un film que trata sobre una huelga en una mina de zinc que ha adquirido la condición de mito por su carga reivindicativa y las funestas consecuencias para su director, represaliado por el Comité de Actividades Anti-americanas del senador Macarthy y para los actores, siendo su actriz principal (Rosaura Revueltas) deportada a Méjico como inmigrante ilegal; se trata de *La sal de la tierra* (H. J. Biberman, 1953).

Un último apunte: el cine patrio tiene, sin duda, el honor de inventar un nuevo género, adelantándose a la industria estadounidense: el cine *minero-musical*, con el himno por excelencia *Soy minero*, cantado por Antonio Molina en *Esa voz es una mina* (L. Lucía, 1955).

La geología del petróleo: Más que siete hermanas, siete madres

Como cualquier industria que supone una importante fuente de ingresos y que maneja gran poder, está revestida de inusitada expectación para el público estadounidense. Las películas relacionadas con el mundo del petróleo también pueden considerarse un subgénero dentro del cine. La más conocida de ellas, aunque no la más representativa, es *Gigante* (G. Stevens, 1956), que trata de reflejar los cambios sociales de los EE.UU. narrando los sufridos por una familia hacendada pero que se queda en las buenas intenciones; no pasará a la historia del cine por su calidad, sino por ser la última interpretación de James Dean (aunque no la más lograda) como *self-made-man* petrolero.

Bahía negra (A. Mann, 1953), relata las tensas relaciones entre pescadores de una población de la bahía de Méjico y el geólogo que instaló con éxito la primera plataforma petrolífera marina. Al final, el funcionamiento de la plataforma atrae a las gambas más apreciadas por los pescadores —*gambas de oro*— creándose una situación de simbiosis y de aceptación social. Este mensaje refleja la necesidad que han tenido las compañías petroleras de ofrecer una imagen respetuosa con el medio ambiente, y de integrarse o ser asimilados como miembros inocuos de la sociedad, junto al lechero y al panadero. Esto que les llevó, entre otras, a producir su última cinta al pionero y gran documentalista Robert Flaherty *Louisiana Story* (1948) filmando una película de serena belleza y sencillez, que relata la instalación de una plataforma en una zona pantanosa.

Sin embargo, durante la década de los 80 y en TV, el auge de teleseries de familias adineradas y poderosas permite la inclusión de geólogos con más o menos protagonismo. En *Dallas* solía aparecer de vez en cuando algún geólogo con dos líneas de diálogo, que confirmaba algún negocio redondo del pérfido J. R. En *Dinastía* hubiera sido mejor que no aparecieran, porque el personaje interpretado por Bo Svenson, un geólogo del petróleo, entre una multitud de desdichas, es apaleado y expulsado de un país islámico, su patrono Blake Carrington le traiciona y arruina, su mujer lo engaña con el hijo bisexual del último, siendo todo aireado en público en un juicio ante cientos de periodistas, por lo que finalmente desaparece. Sin duda un ejemplo deprimente para la profesión.

Sin embargo en *Falcon Crest* se dignificó al oficio de geólogo ya que Lance Cunsom (Lorenzo Lamas) tenía un padre intrépido-geólogo-petrolero (John Saxon). Desgraciadamente su amado hijo lo odia, su ex-mujer es una asesina y su suegra, Angela Channing, lo desprecia profundamente. Además en esta serie, la hija de Chu-Li, el discreto y sonriente criado chino, era una geóloga estudiosa de los terremotos.

También en las televisiones europeas se abordó la historia de un peculiar geólogo. *El loco del desierto* mostraba la vida de un geólogo francés, Killian, al que el sol le había afectado más de la cuenta. Complicado en una peligrosa trama de política internacio-

nal y petróleo en Argelia, le acaba costando la vida, hundido en la mayor de las miserias.

Así, el común denominador de todos estos personajes televisivos es el escarnio y vapuleo continuo que sufren, siendo poco recomendable frecuentar su compañía, si no se quiere acabar paranoico y depresivo.

La geofísica y geología endógena: la astenosfera es una patraña

La explicación de que la geofísica no haya cautivado a Hollywood debe buscarse en la entretenida novela de Julio Verne *Viaje al centro de la Tierra*, con las atractivas peripecias de intrépidos personajes, que es lo que Hollywood busca y el público quiere.

Se han rodado dos adaptaciones sobre esta novela, la ingenua y algo sosa de H. Levin (1959), en la que los héroes corren ante un río de lava sin chamuscarse siquiera los trajes, y la española del, en ocasiones interesante, J. Piquer (1977), pionero del maltratado *fantastique* español. También se ha estrenado en las salas comerciales un presumible episodio piloto de TV, *Viaje al corazón de la Tierra* (W. Dear, 1993).

Todas estas cintas coinciden en mostrar un mundo subterráneo, con grandes cavidades, mares interiores, civilizaciones en cada ocasión más surrealistas y monstruos variados, que deleitan a los lectores de revistas sobre

para-ciencia, obsesionadas con la idea de la existencia de un mundo interior bajo la corteza, poblado de todo tipo de seres fantásticos.

Sin duda estas aventuras resultan menos arriesgadas para la humanidad que experimentar que sucede si se explosiona una bomba atómica en el corazón de la Tierra, como en *¿Hacia el fin del mundo?* (A. Marton, 1965), película catastrofista donde las haya que aprovecha una de las teorías sobre el origen de la luna en boga en aquellos años: la escisión de parte de la corteza terrestre, aderezado con un científico algo patoso.

La vulcanología: problemas freudianos

Los efectos psicológicos que pueden ejercer la presencia de los volcanes en las poblaciones cercanas ha sido una constante que el cine ha *investigado*. Habitualmente una presumible erupción provoca un auténtico pavor y deseos de huir con prontitud, como en *El diablo a las 4 en punto* (M. LeRoy, 1961) o en la película típica de este subgénero —*Al Este de Java* (B. Kowalski, 1969)— divertido espectáculo de erupciones y maremotos, a pesar de que el Krakatoa se encuentra al Oeste de la isla.

En ocasiones resultan más acogedores los volcanes que la gente del lugar (*Stromboli*; R. Rossellini, 1949), aunque en otras, la población indígena sufre una especie de *Síndrome de Estocolmo*, arrojándose sus más bellas conciudadanas a la caldera, cual piscina climatizada (*Ave del paraíso*; K. Vidor, 1932).

La paleontología: la extinción no extingue del todo

Una de las ideas que han resultado más exitosas para la industria y más atractivas para el gran público es la de descubrir, por casualidad o no, especies que se creían desaparecidas hace millones de años. Estas películas canalizan la pasión que tiene todo mortal de alcanzar lo imposible, por hallar algo irremisiblemente perdido —*la aguja en el pajar*— como pensar que Elvis sigue vivo en algún lugar, o que James Dean no murió, sino que quedó completamente desfigurado.

Aunque para la paleontología no resultan rigurosamente científicas, ca-

si todos los espectadores se han familiarizado con los dinosaurios más por estas películas que por publicaciones o museos, por lo que se les debe atribuir un innegable interés *didáctico* y *divulgativo*.

Ya desde los albores del cine (*El mundo perdido*; H. Hoyt, 1925) se ha desarrollado la idea de la existencia de un lugar remoto, santuario en el que saurios de todo tipo conviven en cierta armonía (aunque sin diferenciar sus edades geológicas, ya que no conviene complicar demasiado al espectador). Además de la adaptación de la novela de A. Conan Doyle se han filmado otras películas con similar temática, como son *King Kong* (E. B. Schoedsack y H.C. Cooper, 1933; J. Guimermin, 1976), *El valle de Gwangi* (J. O'Connell, 1968), *La tierra olvidada por el tiempo* (K. Connor, 1975) o *Viaje al mundo perdido* (K. Connor, 1977).

No contentos con esto, y ante la idea de *experimentar* que ocurriría con un saurio o similar, de gran tamaño y aviesas intenciones, suelto por una ciudad del siglo XX, surgieron películas como *Behemoth, the sea monster* (G. Lourie y D. Hickox, 1959), *Gorgo* (G. Lourie, 1961), la susodicha *King Kong* o *Japón bajo el terror del monstruo* (I. Honda, 1954), con el debut estelar del afamado monstruo *Godzilla*. Las conclusiones del experimento fueron bastante desalentadoras: las ciudades de Londres, Nueva York y Tokio son arrasadas sin miramientos, los transeúntes pisoteados con cierto descaro y mofa, aterrorizando a los niños para regocijo de la sala. ¿Qué ocurriría si los sueltan por Barcelona o Madrid? ¿Surgirían del Moll de la Fusta o del estanque del Retiro y se encaramarían a la Torre Picasso para derribar los helicópteros de la DGT?

A partir de la década de los años 70, favorecido por el revisionismo histórico que sacudió a la sociedad y que reconvirtió a los indios malos al bando de los buenos incomprendidos, se les dio a las películas una pincelada ecológica y un motivo a los monstruos para su salvaje comportamiento: no son malvados por naturaleza, sino que son obligados por desaprensivos humanos a luchar por su propia supervivencia; es el caso de *Baby* (W. L. Norton, 1985) o *King Kong 2* (J. Guillermin, 1986). Sin embargo *Parque Jurásico* (S. Spielberg, 1993) puso de nuevo las



cosas en su sitio: hay dinosaurios buenos pero también malos, y estos últimos son terriblemente sanguinarios y crueles, siendo capaces de comerse un abogado sin que *les repita*. Los nuevos efectos especiales infográficos desarrollados para la película, y el éxito obtenido por la misma permitían pensar en una nueva edad de oro dinosauril, pero ésta se ha visto eclipsada por las hordas marcianas y por la necesidad incipiente de hallar *la verdad que está ahí fuera*.

Los estudios sobre el Paleolítico: Las top-model vienen de antiguo

Si bien en algunos campos de la Geología Hollywood se ha acercado con cierto respeto, la visión ofrecida sobre los albores de la humanidad (con los datos de los que se dispone actualmente) es, siendo generosos, más bien *inexacta*.

Aunque se siga investigando en los yacimientos de Atapuerca y de Orce, Hollywood hace tiempo que descubrió cómo eran los antepasados del hombre y los ha descrito en un subgénero creado a tal efecto y que se puede denominar **cine prehistórico**.

Este subgénero ya fue visitado por Charles Chaplin y Buster Keaton, que realizaron alguna incursión paródica. Pero su apogeo de los años sesenta fue debido al éxito que tenían los filmes de temática *histórica* o **peplums**, cuyo rigor habitualmente era sacrificado en aras de una posible comercialidad. La película estandarte de este subgénero, y que muchos entendidos consideran de ciencia-ficción, fue la disparatada **Hace un millón de años** (D. Haffey, 1966) y su secuela **Cuando los dinosaurios dominaban la tierra**, en las que el argumento es lo de menos. Muestran un planeta Tierra muy joven, aún humeante, sin apenas vegetación. Los antepasados de la humanidad eran generalmente, anglosajones bien formados (sobre todo ellas) que correteaban ante voraces dinosaurios luciendo bikinis de piel. No se emplean diálogos, sino una suerte de gestos y gruñidos que recuerdan a Chiquito de la Calzada. No obstante, la película marcó un hito y supuso para su protagonista, Raquel Welch, ser un sex-symbol (muy justificado) de la década de los 60.

Como presagiaban sus inicios, el cine prehistórico derivó hacia la come-



dia de risa fácil y tonta, con películas como **Cavernícola** (C. Gottlieb, 1981), donde se postula con la posibilidad de que el común antepasado de la humanidad se pareciera sospechosamente a Ringo Starr o la inenarrable saga de bodrios de serie Z y factura italiana, con títulos como **Cuando los hombres usaban cachiporra...** en la que relatan, con toda minuciosidad, el comportamiento alterado que tienen una pandilla de obsesos descerebrados ante la presencia de una guapa moza. Las últimas perlas de este tipo de cine de comedia cavernícola corresponden a **El hombre de California** (L. Mayfield, 1992), comedia juvenil al uso y la muy publicitada **Los Picapiedra** (B. Levant, 1994) que relata las tribulaciones de un cantero para mejorar socialmente en un mundo infestado de yuppis trogloditas (que son los auténticos monstruos). Su resultado fue muy inferior a la serie de dibujos animados en la que se basó.

No obstante, algunos guionistas se han esforzado en ofrecer una visión más *real* y documentada, alejándose de delirios anteriores. Son cintas como **En busca del fuego** (J. J. Annaud, 1981), **El Clan del oso cavernario** o **El hombre de los hielos** (F. Schepisi, 1984), en la que un cro-magnon de 40.000 años y en accidental hibernación revive y es estudiado por un equipo científico.

Una variación que también tuvo cierto éxito (al amparo del empleo imaginativo del látex y del maquillaje terrorífico) fueron las películas sobre eslabones perdidos, que en la mayoría

de los casos era preferible no encontrarlos; **La mujer y el monstruo** (J. Arnold, 1954) o **Pánico en el transiberiano** (E. Martín, 1972) son buena muestra de ello.

Mención aparte merece Roger Corman, que dirigió en 1958 **Yo fui un cavernícola adolescente**, título desternillante con un Robert Vaughn a la búsqueda de la verdad prehistórica aunque con moraleja nuclear final, creando el subgénero de filmes prehistóricos post-apocalipsis nuclear, de la que debe ser, con toda probabilidad, su única representante.

Hollywood interpreta a Darwin: Así fue la evolución

Ligado con el anterior apartado, aunque con interesantes especulaciones, se ha *profundizado* en el origen del hombre. ¿Quiénes somos? ¿De dónde venimos? ¿Influyó algo o alguien en la evolución humana? Tan interesantes preguntas tienen respuesta: la existencia de una inteligencia extraterrestre como supervisora de la evolución. En lo que no hay acuerdo es en la naturaleza de la misma; pudo ser un monolito (que recuerda sospechosamente a una barra de turrón) como revela **2001, una odisea del espacio** (S. Kubrick, 1968), pero también unas langostas marcianas con oscuras intenciones para el destino de la humanidad (¿**Qué sucedió entonces?**; R. Ward Baker, 1967).

Y si la evolución humana pudo ser modificada, ahora que el hombre puede jugar con la genética, ¿a dónde vamos? ¿a seres como los de **La isla del Doctor Moureau** (D. Taylor, 1977; J. Frankenheimer, 1996) o a majaderos integrales como los de **Soldado Universal** (R. Emmerich, 1992) o **Rambo** (G. Pan Cosmatos, 1985)? Y si tal desgracia ocurre, ¿qué especie heredará la tierra? Para ello Hollywood también ha cavilado y sugerido diversas posibilidades: desde hormigas pequeñas pero inteligentes (**Sucesos en la cuarta fase**; S. Bass, 1973), hormigas gigantes pero de pocas luces (**La humanidad en peligro**; G. Douglas, 1954) a simios evolucionados y racistas (**El planeta de los simios**; F. J. Schaffner, 1968).

Sin duda, ante esta panorámica y nuevas líneas de investigación *sugeridas* por Hollywood, los paleontólogos y biólogos podrán obtener interesantes

respuestas sobre la evolución de las especies, y conocer cuáles fueron sus influencias, eso sí, siempre que puedan superar su estupor inicial.

Impacto ambiental: Centrales nucleares y residuos tóxicos, un cóctel de muchos grados

La expiación socio-política de los pecados ecológicos que se cometieron en los años del progreso desbocado de la década de los 60, tuvo su reflejo en las películas que se rodaron posteriormente, en las que se denunciaba todo lo denunciado.

Se han rodado historias truculentas sobre nucleares mal construidas (*El síndrome de China*; J. Bridges, 1978, *Silkwood*), que generalmente acaban mal, con el protagonista concienciado dentro de un ataúd de pino. El exponente español es *Hablamos esta noche* (P. Miró, 1982), impresionante ejercicio de surrealismo berlangiano (desgraciadamente sin proponérselo), superior a cualquier culebrón venezolano, plagado de trepas inmisericordes y sin escrúpulos, amantes, familias enfrentadas, separaciones, amantes engañadas, suicidios, estupro, homosexualidad juvenil en aulas, escándalos y condimentado con una central nuclear situada sobre una falla activa. Más que tratarse de una película-denuncia, entraría dentro de la categoría de películas *denunciables*.

Los vertidos de sustancias tóxicas también han sido objeto de interés, aunque de una manera muy particular. En *Profecía maldita* (J. Frankenheimer, 1979) los compuestos de mercurio, empleados para la conservación de los troncos talados en los ríos, crea abominables mutaciones de seres vivos en una paradisíaca zona boscosa norteamericana, llevándose la palma un aberrante monstruo asesino que tiene especial animadversión a campistas ruidosos. Por el contrario, para acabar con unas pirañas que tienen especial deleite por la carne de tierno boy-scout (*Piraña*; J. Dante, 1978), se les intoxica con el consumo de sustancias tóxicas vertidas a un embalse, sin realizar el pertinente estudio de impacto ambiental.

Si las anteriores películas trataban el efecto nocivo de estas sustancias con cierta seriedad, la productora independiente TROMA aprovechó su aspecto



más desagradable y *gore* para producir las diversas gamberradas que tienen como protagonista al *Vengador Tóxico*, super-héroe mutante que combate al mal vestido con un tu-tú y usando una fregona vieja. Así, en *Mutantes en la Universidad*, una joya de las películas basura de serie Z, unos tiernos adolescentes ven cambiadas sus vidas tras horribles mutaciones causadas por el consumo de aguas contaminadas y por fumar *canutos* de drogas cultivadas donde se realizan los vertidos ilegales por las malévolas industrias. Indescriptible.

El cambio climático: ¿Pudo ocurrir esto antes?

Se han profetizado todo tipo de hecatombes climáticas que sacudirán a este maltratado planeta: efecto invernadero, agujeros de ozono, fusión de los polos, subida del nivel del mar, desertización... en los años sesenta y setenta también se hablaba del invierno nuclear.

Ante tanta expectativa y como variante sobre las películas catastrofistas, surgieron las cintas de un nuevo género, el cine catastrófico-climático.

Contaminación (C. Wilde, 1970) relata que ocurre cuando la hierba desaparece del mundo, y la hippie *Gass-s-s, or it became necessary to destroy the world in order to save it* (R. Corman, 1970), muestra un mundo en que los mayores de 25 años han muerto a causa del gas.

En *Callejón infernal* (J. Smight,

1974) el cambio del eje de rotación de la Tierra junto a mucha, mucha radiación (producto de una hecatombe nuclear) causa plagas de cucarachas blindadas y antropófagas, escorpiones gigantes, tormentas espantosas y obsesos babeantes.

Con *Slipstream* (S. Lisberger, 1989), se le da una nueva vuelta de tuerca, introduciendo el concepto de Gaia en el cine. *Slipstream* es la denominación de la corriente de aire generada por Tierra-Gaia para castigar a la humanidad por alejarse demasiado de ella. La más reciente muestra es *Waterworld* (K. Reynolds, 1995), o como la fusión de los polos inunda todo la superficie terrestre, transformando a la humanidad en una mezcla al alimón de los Angeles del Infierno y de pijos-playa con sus motos acuáticas, vestidos con modelitos de Jean Paul Gaultier. Sin duda es la cinta que tiene al héroe (K. Costner) con *más agallas* de la historia del cine.

La hidrogeología: el agua, un bien demasiado escaso

No es una de las ramas más fructíferas para el cine, pero también ha dado pie a interesantes películas, predominando dos argumentos: las disputas por la posesión del agua, y aunque parezca *herético* las de hidrogeólogos *autodidactas* o zahorís.

La posesión del líquido elemento es la causante de un conflicto que posteriormente desencadena una tragedia (de mimbres griegos), como ocurre en las francesas *El manantial de las colinas* y su continuación *La venganza de Manon* (ambas de C. Berri, 1986). Otra de las destacadas es *Chinatown* (R. Polanski, 1974), ambientada en la California de los años 30, y que escenifica una complicada trama de asesinatos, contrabando y especulación con el agua en época de sequía, corrupción e incestos que un detective privado (Jack Nicholson) trata de desenmarañar con desigual fortuna. Un clásico del cine *negro*. Pero sin duda la mejor de las películas rodadas sobre esta temática es uno de los clásicos del western de todos los tiempos: *Hasta que llegó su hora* (S. Leone, 1968), en la que la lucha por la posesión de un pozo para abastecimiento de una futura línea de ferrocarril desencadena una serie de masacres, venganzas, asesinatos, raptos y traiciones que desembocan en el mejor duelo

jamás filmado, entre los personajes de Armónica (el héroe-Charles Bronson) y Frank (el villano dechado de perversidad-Henry Fonda).

Una fascinante variación futurista-futurible (si vuelve la pertinaz sequía) la ofrece **Dune** (D. Lynch; 1994) en la que la lucha por el agua alcanza magnitudes planetarias.

Respecto al caso de los hidrogeólogos *autodidactas* existen algunos notables ejemplos. En **La balada de Cable Hogue** (S. Peckinpah, 1970), un minero asaltado, abandonado a su suerte y a punto de morir deshidratado, descubre un manantial que supondrá un auténtico negocio como parada de diligencias; desgraciadamente el progreso le pasa por encima, siendo atropellado por uno de los primeros automóviles. Otro caso corresponde al alumbramiento de la fuente por inspiración divina en **La canción de Bernardette**, que podría considerarse la patrona de todos los hidrogeólogos.

Pero el más representativo de estos personajes corresponde al padre atormentado en la bella y preciosista **El Sur** (V. Erice, 1983); zahorí de pro que emplea un péndulo, su hija, unas monedas y sobretodo unos parroquianos crédulos. Desgraciada-

mente no se desvela si acierta o no. Para mayor información el personaje acaba suicidándose.

La tectónica: todo tiembla, hasta la cordura

La tectónica de placas fue la panacea para los gurus del cine catastrófico. Los japoneses, con ese sentido de autoinmolación tan arraigado reflejaban en **El hundimiento del Japón** (S. Moritani, 1973), las funestas consecuencias de poblar los arcos-islas. La elasticidad de las placas fue aprovechada por los guionistas para dar pie a películas como **San Francisco o Terremoto** (M. Robson, 1974), donde Charlton Heston, algo ajado, entre solapones y su incipiente calvicie, no da abasto para terremotos en su vida personal, presas que revientan y pillaje en la ciudad. Y si el terremoto es submarino, el maremoto subsiguiente puede ocasionar más de un sobresalto a los pasajeros de un crucero, al que deja boca abajo (**La aventura del Poseidón**). En **Vinieron las lluvias** (C. Brown, 1939) y para demostrar que las desgracias no vienen solas, lo acompañan de inundaciones y epidemias de cólera.

El conocimiento de la geología

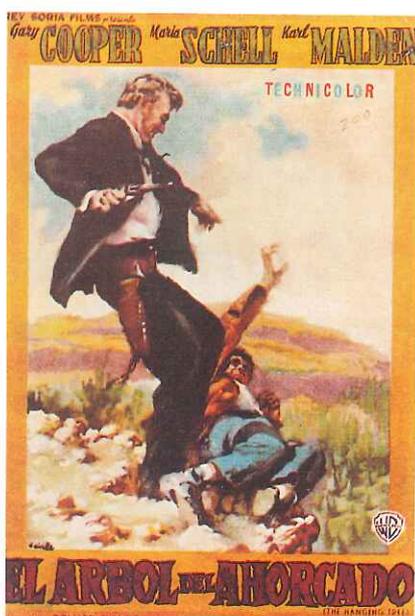
también puede emplearse para el mal, o al menos así piensa el villano-especulador inmobiliario Lex Luthor (Gene Hackman) en **Superman** (R. Donner, 1978). Su plan consiste en hundir California en el mar provocando un macroterremoto al lanzar unos misiles en la falla de San Andrés y vender las parcelas de la nueva costa que se forme.

El geólogo protagonista

El número de películas donde algún personaje sea geólogo de profesión es más bien decepcionante, y a **grosso modo**, se pueden contar con los dedos de una mano: cinco. En la 2ª versión de **King Kong** es un risueño especialista en petróleo, al que llevan a la isla del gran gorila para identificar unos sospechosos charcos de una sustancia oscura. El que aparece en **Terremoto** muere en acto de servicio: mientras se halla dentro de una falla estudiándola, ésta se le cierra. Glorioso fin.

Pero si estos eran personajes secundarios o terciarios, el que interpreta Stewart Granger (Ryan Mitchell) en **Fuego verde** (A. Marton, 1954) dignifica la profesión. Buscador de esmeraldas, tiene el estigma de la mayoría de los geólogos fílmicos: todo le sale





mal, se arruina, pero (y he aquí la audacia) encuentra una esmeralda y se queda con la chica, que es Grace Kelly (vítores y aclamaciones).

Otro de los ejemplos recientes corresponde a la bella película *Un lugar en el mundo* (A. Arastarain, 1992), con un lirismo y canto a la amistad propio de los mejores filmes de John Ford. Evoca el tránsito de la infancia a la adolescencia de Ernesto (Gastón Batyi) en Valle Bermejo (Argentina), la relación con sus padres idealistas y con el geólogo hispano-alemán Hans Meyer-Plaza (José Sacristán), un *per-*

dedor, irónico y desencantado de la vida, pero un buen amigo.

El epílogo (hasta ahora) corresponde a *Parque Jurásico*, donde aparece un paleontólogo interpretado por Sam Neill, que cumple el sueño de la mayor parte de sus colegas, estudiar de cerca el comportamiento de saurios cretácicos vivitos y coleando, aunque con más riesgos que una campaña en la Cuenca de Tremp.

Conclusiones y títulos finales

La geología, desde un punto de vista amplio, ha interesado en ocasiones a la industria del cine. Esta temática casi siempre se ha empleado como telón de fondo ante el que se desarrollan las aventuras o historias relatadas. Buscadores de oro, hormigas gigantes, langostas marcianas, mineros, monolitos, monstruos, mutantes, petroleros, santas, saurios o villanos de la peor calaña han sido algunos de los personajes principales en estas películas, pero el profesional de la geología *sensu stricto* no ha sido, desgraciadamente, de los más utilizados.

El geólogo fílmico es un personaje irónico y escéptico aunque también intrépido (cuando se precisa), tenaz y emprendedor, de pocos recursos y muchas ideas. Encaja dentro de la imagen que Hollywood tiene del *héroe aventurero* y en ocasiones romántico. Apenas

hay diferencias entre los personajes interpretados por Stewart Granger en *Fuego verde* y el de *Las Minas del Rey Salomón* (C. Bennet, A. Marton, 1950), aunque uno es geólogo y el otro cazador-explorador, ya que, al fin y al cabo, se trata de arrojados aventureros, ante los que la chica no puede quedar impertérrita.

Probablemente, para dar una visión actual y más acertada del geólogo, se deba esperar a que algún director como Ken Loach, autor de *Riff-Raff* o *Lloviendo piedras*, realice alguna película que refleje la problemática laboral que sacude actualmente a la profesión. Pero eso ya no sería ficción, sino realidad.

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi familia, buenos amigos y amigas la inestimable colaboración aportando sus recuerdos y opiniones sobre las películas. Sin ellos hubiera sido imposible su elaboración y a la escuela de cinematografía y del audiovisual de la CAM por la cesión de las imágenes que ilustran el presente artículo.

Bibliografía

- J. Bassa y R. Freixas (1993): *El cine de ciencia ficción. Una aproximación*. Ed. Paidós Estudio.
 A.M. Torres (1993): *Videoteca básica de cine*. Alianza Editorial. nº 1643. Madrid.

DIEZ PELÍCULAS QUE TODO GEÓLOGO DEBERÍA TENER EN SU VIDEOTECA

- 1ª)- *Fuego verde* (porque es un geólogo intrépido y se queda con la chica).
- 2ª)- *Un lugar en el mundo* (porque es un geólogo *nuestro*).
- 3ª)- *¿Hacia el fin del mundo?* (porque se ven los resultados del empirismo científico).
- 4ª)- *El hundimiento del Japón* (porque ponen en práctica la tectónica de placas).
- 5ª)- *La leyenda de la Ciudad sin nombre* (ojalá todos los campamentos de prácticas de la carrera fueran así).
- 6ª)- *Parque Jurásico* (porque es buena y documentada).
- 7ª)- *Hasta que llegó su hora* (porque es la mejor, es única).
- 8ª)- *Hace un millón de años* (porque te ríes un montón).
- 9ª)- *Dune* (porque su trama parece extraída de la Historia Antigua).
- 10ª)- *Louisiana Story* (porque es una película hermosa).

Y sobre todo, lo que JAMAS debe ver o revisionar si cometió el error en su día de emisión son los doce primeros episodios de *Dinastía*, ya que puede causar una crisis de vocaciones.

Los elementos geológicos de Aragón como recurso sociocultural

Francisco Javier Burillo Panivino

Licenciado en CC. Geológicas por la Universidad de Granada (Promoción 1984). Su vida laboral ha transcurrido entre la empresa privada y la Administración, en el campo de la geología aplicada al medio ambiente, la obra pública y la minería. Desde agosto de 1991, es funcionario superior del Gobierno de Aragón, desempeñando sus funciones en el servicio de Minas e Investigación Minera. Recientemente ha sido nombrado Jefe del Servicio de Minas e Investigación Minera de la Diputación de Aragón.

El patrimonio geológico es un verdadero recurso natural, merecedor de una gestión adecuada por su valor didáctico, científico, paisajístico y cultural. La importante riqueza geológica de Aragón hace de esta región un medio privilegiado como aula en la naturaleza.

The geological heritage is a natural resource which deserve an accuracy of management because of his scientific, scenic and cultural values. The geological variety of the Aragon Autonomic Community makes this region as a teaching natural place.

La geología en nuestro país, para aquéllos que no es objeto de su dedicación, resulta una disciplina científica y técnica poco conocida, y podría decirse que hasta fría: no existe una idea clara acerca de su contenido y utilidad o, sin más historias, no se sabe lo que es.

Cuando me preguntan sobre mi trabajo, surge casi de forma invariable el mismo comentario, más o menos como sigue: "Ah, eso tiene que ver con las piedras..., ¿verdad?" Sorprende una concepción tan limitada para una ciencia básica de nuestro entorno, cuando, sin embargo, hablamos sin complejos de otras materias como ecología, medio-ambiente o naturaleza. Son temas de moda, sobre los que ahora recae una especial sensibilización social; pero, que generan fácilmente una asociación mental con la actividad del hombre y su repercusión ambiental. Por patrimonio natural, entendemos aquél que está en relación con los seres vivos o con el paisaje, de una forma un tanto indefinida. Se trata de cuestiones que dejamos muy limitadas en cuanto a su verdadera significación y alcance.

La naturaleza es un todo dinámico, fuente de vida y recursos para el hombre, parte esencial de su civilización y cultura. Y la geología, como ciencia de la tierra, tiene un carácter integral, inseparable de otros conocimientos físicos o naturales. El medio geológico comprende todos aquellos procesos, rápidos o lentos, pero siempre constantes, que implican el interior y exterior de nuestro planeta, la capa gaseosa que lo rodea e incluso el espacio exterior; es fuente de riqueza mineral,

de aguas superficiales y subterráneas, de suelos fértiles, etc.; origina cadenas montañosas y valles; también, grandes catástrofes naturales (terremotos, volcanes, inundaciones, etc.); supone la base sobre la cual se fundamentan las construcciones, y muchas veces, nuestro propio quehacer. En definitiva, condiciona los asentamientos del ser humano, su forma de vida y sus mitos y leyendas, actuando de soporte físico para su desarrollo y de aula primigenia en su formación cultural.

Indagar en los elementos y procesos geológicos equivale a leer un antiguo y misterioso libro. Los estratos, las formaciones geológicas en general, representan de alguna forma esas apasionantes páginas del pasado, que nos revelan la historia de la tierra y de la vida. La variedad de terrenos y morfologías son el resultado de un pulso constante entre las fuerzas internas y externas terrestres (tectónica y meteorización). Por otro lado, el acúmulo de sedimentos conlleva una impronta de fósiles, estructuras y litologías que nos hablan de las características y evolución del medio en el que se ha dado el depósito. Así, se puede establecer una relación directa entre esos medios y la vida (paleontología o paleoecología), o con el hombre (arqueología, prehistoria o paleoantropología).

Al mismo tiempo, el "libro" geológico tiene una lectura muy actual, como manual técnico, como inventario de múltiples recursos o en forma de guía para el disfrute de la naturaleza. Esta, a veces, nos ofrece obras especialmente significativas, por su belleza o por la información que contienen.



Huella de dinosaurio. Galve (Teruel).



Mallos de Riglos (Huesca).

Como un delicado orfebre o como un ciclópeo escultor, el medio terrestre "moldea" un armonioso museo, útil para el que aprende, investiga o siente curiosidad, y placentero para el que busca un lugar de ocio y esparcimiento.

Llegados a este punto, hemos de reconocer la existencia de un patrimonio natural, del cual la geología forma parte fundamental e indesligable. El patrimonio geológico, cuando se relaciona con el desarrollo humano, alcanza, por añadidura, un carácter cultural. De una forma o de otra, los elementos geológicos notables merecen la consideración de bienes de dominio público, y el correspondiente reflejo legal de la misma. En nuestro país, la "Ley de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres" (1989) y la "Ley de Patrimonio Histórico Español" (1985) representan el marco legislativo estatal que puede amparar esos casos.

La Ley de Conservación de Espacios Naturales clasifica las zonas a

proteger en cuatro categorías: Parques, Reservas Naturales, Monumentos Naturales y Paisajes Protegidos. Ya en los Parques, el texto normativo hace referencia a las "formaciones geomorfológicas", pero es quizá la figura de Monumentos Naturales la que mejor recoge "... las formaciones geológicas, los yacimientos paleontológicos y demás elementos de la gea que reúnan un interés especial por la singularidad o importancia de sus valores científicos, culturales o paisajísticos". Por otro lado, la Ley de Patrimonio, en su artículo primero y a lo largo de la misma, integra, entre otros, los elementos de interés paleontológico, arqueológico, antropológico y científico-técnico.

El sentido práctico de esas leyes pasa por un esfuerzo de ordenación, que, en buena parte, está por realizar; una ordenación que supone el inventariado, estudio, reconocimiento del estado de conservación, medidas de protección y, en su caso, de restauración,

determinación de usos y promoción de los lugares escogidos.

La atención que se ha podido prestar al patrimonio geológico ha dado lugar al uso de la expresión "Punto o Lugar de Interés Geológico", que ha adquirido una profusión y significado claro para los conocedores de la materia. El término en cuestión trata de integrar aquellos espacios o elementos que, por sus características, resultan especialmente adecuados para mostrar, reconocer e interpretar la historia geológica de una región. De una forma más amplia, podríamos hablar de "georecursos culturales", tratando de abarcar aquellos aspectos relacionados con la evolución del hombre que antes mencionábamos, y la eventual faceta de tradición histórica o turística.

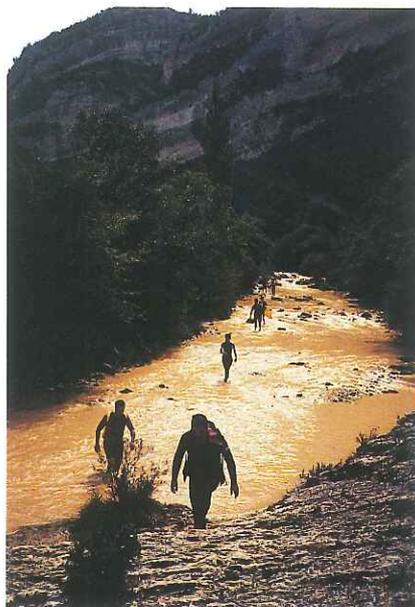
A nivel estatal, encontramos algunas fuentes de información general, como el Inventario Nacional de Puntos de Interés Geológico, proyecto inacabado que se inició en 1978 por el entonces Instituto Geológico y Minero de



Valle glaciario de Ordesa (Huesca).



Ibones de Respomuso (Huesca).



Garganta del río Vero (Huesca).

España. El Inventario Nacional de Paisajes Sobresalientes y el Inventario Abierto de Espacios Naturales de Protección Especial (ICONA, 1977-1980) recogen otras áreas de interés nacional o internacional.

En los últimos años, y como consecuencia de la creación de las Autonomías y de la progresiva presión social, ha aumentado el número de espacios preservados o su grado de protección. A la Comunidad Autónoma de Aragón, según su Estatuto de Autonomía, le corresponde la competencia exclusiva sobre esos lugares especiales, en el marco de la legislación básica del Estado. Esto supone una cierta capacidad de desarrollo normativo y una habilitación para declarar y ordenar espacios protegidos, exceptuando los Parques Nacionales. Así, se han llegado a establecer el Parque de la Sierra y Cañones de Guara, impresionante ejemplo de morfología fluvial y kárstica (muchas cavidades poseen pinturas rupestres); los Monumentos Naturales de los Glaciares Pirenaicos, auténticos vestigios activos de la última glaciación cuaternaria; y la Reserva Natural de Los Galachos de La Alfranca, La Cartuja y El Burgo de Ebro, prototipo de forma fluvial en estado de madurez, los meandros, con presencia de abundante vegetación y fauna (la palabra galacho, de origen aragonés, denomina aquellas zonas húmedas que se generan en los giros o meandros del río, abandonados por el cauce principal).

Con una intención preventiva so-

bre las áreas del territorio con alto valor medio-ambiental o paisajístico, se dispuso en 1990, por parte de la Diputación General de Aragón, el Decreto de "medidas urgentes de protección urbanística en Aragón". La norma contiene una larga relación de zonas, delimitadas por nuevo Decreto en 1992, que quedan a la espera de una declaración más específica.

En nuestra región existe otro Parque Natural, el de la Dehesa del Moncayo, declarado en 1978, antes de la Autonomía, que tiene quizá como aspecto geológico más destacado la existencia de los únicos restos observables, en la Cordillera Ibérica, de una antigua actividad glaciaria; se trata de varios circos o nichos de nivación.

Dentro de las grandes zonas protegidas, la más importante es el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, donde confluyen espectaculares formas de herencia glaciaria (destaca el valle del Arazas, con sección transversal típica en "U" y el glaciar relicto de Monte Perdido); desarrollo de aparato kárstico (por disolución de las calizas); gargantas fluviales (Escuaín y Añisclo), y estructuras geológicas variadas, como pliegues y fallas.

La riqueza geológica de Aragón es impresionante; la región está configurada por tres grandes dominios: Pirineos, Depresión del Ebro y Cordillera Ibérica, que albergan, además de los grandes espacios a considerar, múltiples puntos más reducidos en extensión, pero no por eso merecedores de desamparo.

Los Pirineos son ya de por sí, en su conjunto, un verdadero museo natural. Una gran variedad de litologías, cuyas edades más antiguas se remontan al Precámbrico (podemos situarnos en torno a los 600 millones de años), se estructuran de forma compleja, como resultado del acercamiento entre las placas ibérica y europea. Ese proceso, cuyas últimas fases debieron culminar hace unos 20 m.a., ha dejado sus secuelas, en forma de un cierto crecimiento de los relieves que aún permanece, de una actividad sísmica moderada y de un termalismo, del cual tenemos buen modelo en los Baños de Panticosa. Por citar algún paraje más, un recorrido por el alto valle de Aragón nos puede permitir apreciar algo de lo que es capaz la energía de los procesos terrestres, en forma de magníficos pliegues y fracturas que afectan



Cascada «Cola de caballo». Circo de Ordesa (Huesca).

a los farallones calizos. En el otro extremo del Pirineo, en el valle de Benasque, el "Forau de Aigualluts" es un espléndido ejemplo de torca kárstica, que "engulle" un caudaloso torrente.

La Depresión del Ebro empieza a formarse hace unos 60 m.a., dando lugar a una vasta extensión, verdadera depresión geográfica, que, pese a su aparente monotonía, contiene muchos elementos geológicos notables: las saladas de Alcañiz y de Sástago-Bujaraloz, como áreas de funcionamiento endorreico; las estepas de Belchite o las Bardenas orientales, como paisajes semiáridos modelados por la erosión; los paleocanales exhumados de Alcañiz o Caspe, mudo testigo de antiguos cauces; las minas de sal de Remolinos, beneficiadas mediante una explotación subterránea de gran magnitud; o los Mallos de Riglos, imponente forma erosiva en los conglomerados del borde norte de la Depresión, son algunos de los casos que pueden mencionarse.

La Cordillera Ibérica, que ocupa casi toda la provincia de Teruel y el margen occidental de la de Zaragoza, es otro gran muestrario de riqueza geológica. Se configura en períodos próximos en el tiempo (el tiempo geológico), aunque no coincidentes, a los Pirineos.

Teruel es conocida por su intensa actividad minera en relación, sobre todo, con el carbón (la Val de Ariño es una zona muy representativa) y, hasta hace unos años, con el mineral de hierro (Ojos Negros). La minería de las

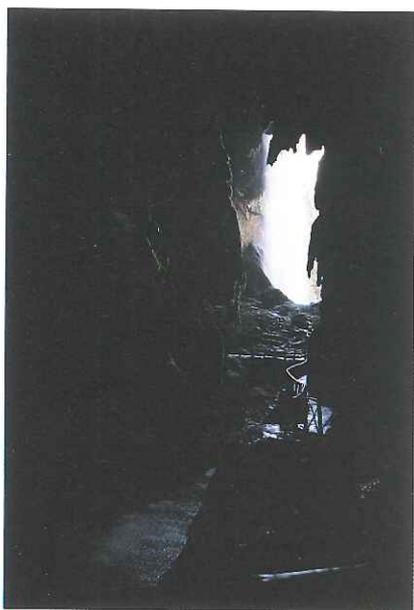


Macizo del Moncayo y circo glaciar «San Gaudioso» (Zaragoza).

arcillas, también importante, encuentra un buen exponente en Galve, cuyo término constituye además un valioso yacimiento de restos de dinosaurios. Otro yacimiento paleontológico bien conocido entre los coleccionistas es el de fósiles de ranas de Libros.

Los poljes de la franja meridional turolense, las dolinas y otros encantos geomorfológicos de la Sierra de Albarracín, la mágica Gruta de Cristal de Molinos, o las surgencias del nacimiento del río Pitarque son buena muestra de lo que es capaz la acción del agua sobre las calizas.

Son también llamativas las formas



Cavidad en travertinos. Monasterio de Piedra (Zaragoza).

periglaciares en los macizos montañosos de Gúdar, Javalambre y Albarracín, y quizá, entre ellas, las más destacadas sean las turberas y ríos de piedras de la Sierra del Tremedal.

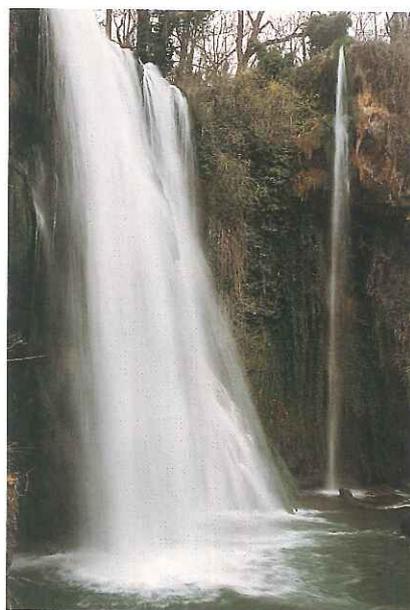
Los estratos verticales de los Organos de Montoro, la extensa laguna endorreica de Gallocanta, los travertinos y cañones de los ríos Mesa y Piedra, el termalismo de Alhama de Aragón y Jaraba, los abanicos aluviales de Sierra Palomera, ... son tan sólo algunos casos más del amplio repertorio disponible.

Apenas hemos dado una ligera pincelada sobre lo que es el patrimonio geológico aragonés. Día a día, va aumentando una sensibilización y conocimiento sobre el mismo, incluso a nivel local, que deriva, por ejemplo, en la creación de parques geológicos (ésta no es una figura legal) como el de Aliaga, o en la incorporación de aspectos geológicos en parques culturales como el de Molinos o el de Albarracín. Otra iniciativa importante es la del Museo de Historia de la Vida, que cuenta con una nutrida y bien ordenada colección de fósiles. El museo, adscrito a la Universidad de Zaragoza, se integra en el Departamento de Ciencias de la Tierra, que, a su vez, es de inexcusable visita a la hora de captar datos.

Sin embargo, no es poca la tarea que queda por hacer: falta mucho para llegar a ese nivel de concienciación social que ha permitido a nuestros vecinos del otro lado del Pirineo llegar a tener incluso grupos locales de aficio-

nados a la geología. Es necesario recopilar toda la información disponible, proteger, en especial los puntos singulares, mediante las fórmulas legales oportunas (se trata, no lo olvidemos, de unos recursos no renovables), crear itinerarios y guías didácticas, e integrar nuestra red de lugares de interés geológico en los proyectos europeos (Red Natura "2000").

La geología es profesión y vocación; aprender de la tierra es una necesidad y un placer, porque en el palpitar de nuestro planeta están nuestras raíces, nuestra actividad de cada día y nuestro futuro.



Monasterio de Piedra. Cascadas y formaciones travertinas (Zaragoza).

José Ganfornina o el realismo fantástico

Juan José Durán Valsero

Realismo mágico, Romanticismo visionario, Realismo profético, Superrealismo heterodoxo, Surrealismo..., todos estos términos han sido empleados como aproximaciones, definiciones o incluso negaciones de la obra de José Francisco Ganfornina Moreno. Incluso se ha llegado a decir —a escribir— que ambos, el pintor y la obra, escapan de influencias pictóricas específicas, y se sitúan *fuera del tiempo* en el que les ha *tocado* vivir.

Sea esta última y tajante aseveración cierta o no, lo que sí parece evidente es que francamente es difícil definir con pocas palabras la obra y el estilo de José Ganfornina; se resisten a ser encerrados en un corsé, por artístico que éste sea, a ser *clasificados*. Esto es así porque posiblemente, lo personal se impone sobre lo genérico. La *tiranía* de un *estilo* al uso, definido, no tiene cabida en la paleta de Ganfornina, entre sus óleos y pinceles.

Muy al contrario, éste se esfuerza en configurar con firmeza rebelde un *estilo* propio, diferente, académicamente rebelde, y complejo y rico en matices a la hora de encasillarlo.

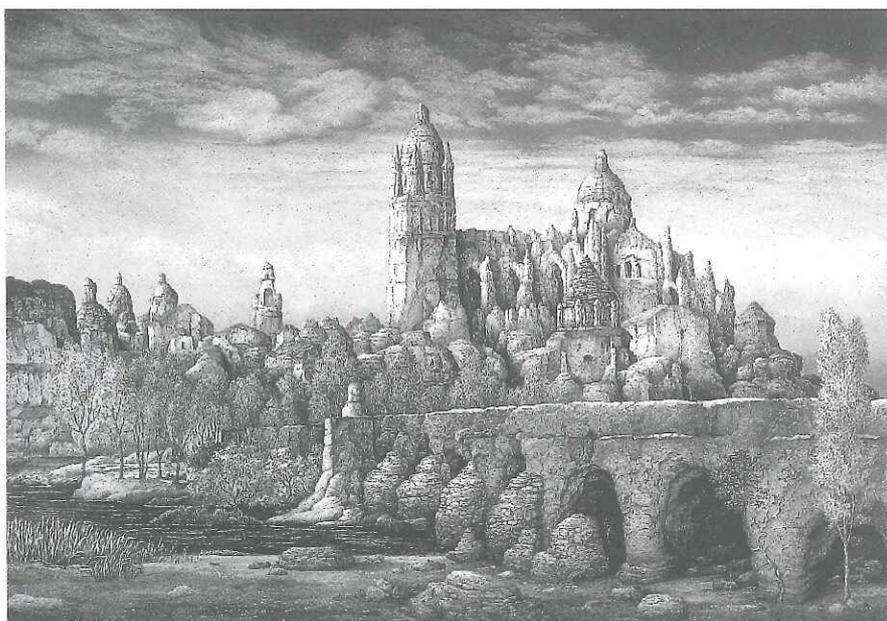
Ahora bien, lo que está claro es que Ganfornina y su obra no pasan, allá donde van, desapercibidos. Aquí y allá despiertan emociones, enfrentan opiniones y arrancan comentarios. Buena prueba de ello es el rosario de exposiciones que ha venido realizando en España y fuera de ella. Recientemente, su obra se ha mostrado públicamente *allende los mares*, en el centro neurálgico artístico del Nuevo Continente, llevando la luminosidad de su lugar de origen a la capital neoyorquina.

En la exposición sobre Patrimonio Geológico que tuvo lugar en el ICOG en el mes de junio de 1996, gestada tras su periplo americano, el artista se ha centrado en la interpretación fantástica de algunos lugares particularmente representativos del patrimonio geológico de la Península Ibérica.

En clave onírica, los paisajes recreados por Ganfornina mantienen la suficiente conexión con la realidad física actual para poder identificarlos sin problemas. A la vez, ofrecen elementos simbólicos añadidos que posibilitan la explicación de su génesis, en unas ocasiones; en otras, juegan visualmen-



Cueva del Gato.



Piedra Salmantina.

te con sus denominaciones u ofrecen metáforas relacionadas con sus particulares parecidos morfológicos.

En todos y cada uno de los casos es difícil encontrar una síntesis más perfecta entre lo mineral, lo animal y lo vegetal. Sólo el hombre está ausente de su obra, con algunas excepciones que confirman la regla: su mano se esconde tras la Catedral de *Piedra Salmantina*, o tras la Presa de los Caballeros, disimulada en la *Cueva del Gato*.

Con una intersección que raya el preciosismo entre el lenguaje de lo simbólico y de lo estético, entre la técnica más depurada y la investigación de nuevas formas de expresión, la obra de Ganformina se abre camino entre la representación del espacio y del tiempo, con un pasado de reminiscencias naturalistas y mitológicas, y un pre-

sente y un futuro que dejan entrever ciertos visos de fatalismo, por otra parte no sin una dosis de razón.

El perfeccionismo de los elementos naturales deja claro que su principal modo de inspiración es la observación detallada de la Naturaleza, actividad fácil para Ganformina, por su permanente contacto con la misma a lo largo y ancho de las geografías donde ha vivido. La mitología clásica, el estudio de las más variadas tendencias artísticas y de las filosofías orientales son otras fuentes de alimentación de los elementos que surcan sus obras. La exquisita atención al detalle, la presencia de imágenes sorprendentes e inesperadas, los juegos y metáforas visuales son lugares comunes en las pinturas de José Ganformina.

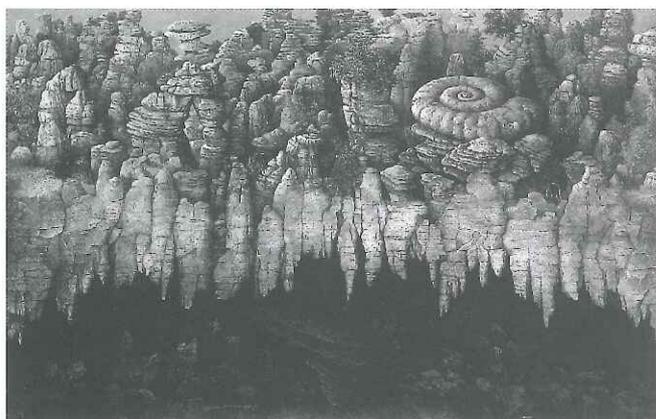
Llegados a este punto, si necesari-



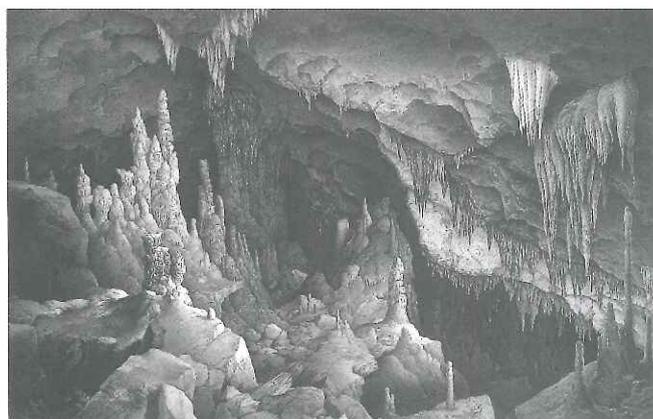
Despeñaperros.

amente tuviera que *posicionar* artísticamente el estilo de Ganformina, lo colocaría a mitad de camino entre ninguna parte y un lugar equidistante de la literatura fantástica de García Márquez, la desbordante imaginación de Lovecraft, la frescura y el colorido de la prosa pictórica de Laura Esquivel y el dramatismo de algunas de las obras de Auguste Briard, pintor romántico francés del siglo XIX.

En cualquier caso, lo que es seguro es que un universo misterioso, personal, e inagotable, alimenta los cuadros de José Ganformina y que su gran capacidad artística genera nexos de unión, autopistas alegóricas, entre los diferentes elementos explicativos de cada obra, llevándonos de la mano a mundos paralelos que, como no podía ser menos, a buen seguro que están en éste.



Torcal de Antequera.



Sala de la Montaña.

¿El primer habitante de Eurasia?

Alfonso Arribas Herrera

Paleontólogo, especialista en vertebrados. Trabaja en el Museo Geominero del Instituto Tecnológico Geominero de España.

En fechas recientes han aparecido en la prensa inglesa y española titulares anunciando el hallazgo del primer europeo, que habitó Europa occidental hace poco más de medio millón de años. Sin embargo, la hipótesis con más visos de ser cierta es mucho más sorprendente, como proclaman los descubrimientos realizados en los últimos años en el sur de la Península Ibérica (Granada), Georgia y China, y las nuevas dataciones de los homínidos de Java.

Las cifras barajadas en la información pública acerca de la antigüedad de «los primeros europeos», entre medio millón y setecientos mil años, contrastan con las investigaciones más sistemáticas que se están llevando a cabo en yacimientos de Eurasia, cuyas edades preceden en un millón de años a la cifra ofrecida como novedad. Además, en la región paleobiogeográfica euroasiática, definida por la dispersión de mamíferos pliocuaternarios (Europa no tendría dentro de la misma una entidad particular), no dejan de ser relativamente abundantes otros yacimientos con registro de fósiles humanos o de actividad humana con medio millón de años de antigüedad, como por ejemplo Mauer, Azych, Zhoukoudian, Chenjia-wo, Ngandong, Isernia, Escale, Soleihac, e incluso Cúllar de Baza en España, que habría que sumar a los dados a conocer más recientemente de Boxgrove y Atapuerca.

En los últimos años, las investigaciones sobre la dispersión del hombre fuera de África han experimentado notables avances gracias a la multiplicación de los descubrimientos, tanto arqueológicos como paleontológicos. Hasta hace una década se pensaba que se sabía casi todo sobre el tema; y una vez conocido el origen africano del linaje humano, hace aproximadamente 2,5 millones de años, los hallazgos permitían situar a los primeros seres humanos en el mapa euroasiático no antes de los 700.000 años, tal como apuntaban los yacimientos de Ngan-

dong y Sangiran en Java, Yuanmou en China y Mauer en Alemania. En la década de los 70, algunos científicos lanzaron una hipótesis que postulaba una migración más antigua, fundada en el descubrimiento de utensilios líticos en yacimientos europeos de antigüedad estimada entre los dos millones y el millón y medio de años, aunque tales evidencias fueron acogidas con escepticismo por la comunidad científica internacional. Poco después se produjo el hallazgo de algunos fósiles fragmentarios en Venta Micena (Granada), atribuidos al llamado «hombre de Orce», cuya antigüedad fue estimada inicialmente en un millón trescientos mil años, y que vinieron a sumarse a esta polémica. El significado de estos huesos fósiles, objeto de un espinoso debate fuera de los foros científicos especializados, pasó a discutirse en los medios de comunicación, así como en pasillos y bares de distintos congresos y departamentos universitarios.

La prosecución de las investigaciones en las regiones de Granada y Murcia han aportado durante los últimos años interesantes datos sobre las faunas y ambientes que existieron en el sureste peninsular hace más de un millón de años, y que dan nuevos visos de verosimilitud a una presencia humana tan antigua. Entre los primeros, se han descubierto especies fósiles de hipopótamos, tigres con dientes de sable, hienas, lobos y primates, que hasta ahora sólo se conocían en yacimientos africanos de la misma edad (entre 2 y 1,4 millones de años), y que bien pudieron ser acompañados en su migración por algunos otros mamíferos (como los primitivos humanos). También se han encontrado en esta misma región nuevos yacimientos con industrias líticas en sílex (Fuente Nueva-3 y Barranco León-5), y nuevos fragmentos de fósiles humanos asociados a varios miles de restos de otros mamíferos, igualmente fragmentados por encontrarse en una acumulación generada por hienas carroñeras que destruyen parcial-

mente los huesos de sus presas (yacimiento de Venta Micena). Todos estos restos se han localizado en estratos fosilíferos con una gran continuidad lateral, —hasta 16 Km², cuya datación absoluta podrá ser afinada próximamente gracias a los estudios paleomagnéticos que se están realizando.

Como hemos dicho, al margen de los hallazgos del sureste de España, existen otros restos en Eurasia que son sistemáticamente olvidados cuando se tratan estos temas. En el año 1989, se dio a conocer el descubrimiento, en Dmanisi (Georgia), de una mandíbula humana completa asociada a algunas de las especies encontradas en Orce, junto a industrias líticas e incluso a fósiles de avestruz, siendo su antigüedad aproximada de un millón y medio de años, como se ha confirmado en 1995. Si a la información aportada por este fósil y el contexto en que aparece, añadimos las nuevas dataciones de los fósiles humanos de Java (Mojokerto y Sangiran), publicadas el año 1994 en la revista *Science* (entre 1,8 y 1,6 millones de años), no parece tan disparatada la hipótesis planteada inicialmente tras los hallazgos de Granada. Recientemente, también en el año 1995, han sido descubiertos en Longgupo (China) fósiles humanos con una antigüedad de aproximadamente 1,9 millones de años. Así pues, sí existen evidencias de la llegada tan temprana de animales africanos a Eurasia durante el Plioceno superior, es muy posible que éstos fuesen acompañados en su migración por algunos seres humanos, cuyos propios restos fueron en el pasado tan injustamente cuestionados.

En cuatro puntos del planeta, fuera de Africa, se plantea e investiga la presencia humana un millón de años antes de lo postulado por la prehistoria tradicional europea, conocedora de yacimientos en cuevas y ríos, pero principiante en lo que se refiere al estudio de yacimientos en sedimentos de cuencas abiertas como lagos o pantanos. La realidad es que en Java, Georgia y China tales investigaciones son potenciadas institucionalmente, tanto por organismos nacionales como internacionales, dado el enorme interés científico de contrastar una hipótesis trascendental, mientras es significativa la falta de interés observada en España. No opinan de igual forma numerosos paleoantropólogos y prehistoriadores europeos, africanos y norteamericanos, que han decidi-



Homo habilis es probablemente la especie humana que protagonizó la primera gran dispersión.

do involucrarse en las investigaciones desarrolladas en el Sureste peninsular.

Así pues, es posible que las evidencias fósiles del primer euroasiático, que no «primer europeo», se encuentren en cuatro lugares diferentes: Orce, Dmanisi, Java y China, correspondiendo a seres humanos que partieron, en una misma migración, de Africa y siguieron distintas vías en su dispersión por los nuevos territorios a colonizar.

El registro de presencia humana a lo largo de todo el Cuaternario que se documenta en yacimientos españoles, convierte a nuestro país en un punto de observación privilegiado para la investigación paleontológica. Así lo testimonian viejos y nuevos hallazgos: Orce (Granada) y Cueva Victoria (Murcia), con un morfotipo humano

«primitivo» de antigüedad superior al millón de años; Atapuerca (Burgos) y Cabezo Gordo (Murcia), con un morfotipo humano «primitivo» de más de medio millón de años, y otros «evolucionados» (de más de 100.000 años), igualmente presentes en estos últimos yacimientos; neanderthales en diversos yacimientos, e incluso posiblemente el «último» de los neanderthales europeos en Zafarraya, con unos 30.000 años de antigüedad. Con todo, los aspectos de mayor interés en estas investigaciones seguro que aún están por llegar, a partir tanto de yacimientos conocidos como de áreas inexploradas, por lo que el apoyo de las instancias científicas oficiales, tan deficitario en estos momentos en algunos yacimientos, continúa siendo imprescindible.

El patrimonio geológico

por Joaquín Araújo

Casi comprendemos. Pero es mucho más lo que se nos quiere olvidar. Lo móvil y palpitante del paisaje es menos aún que la punta del iceberg, menos que la piel o la corteza. Todo lo que fascina fácilmente sería imposible sin ese amasijo de piedra, sin esos suelos, sin el cimiento de lo sólido, sin la tierra.

Como hemos sido, y somos, multitud los que nos sentimos compensados y hasta alegres por los leves y fugaces acontecimientos de la vida, no extraña que los deseemos repetidos, incesantes y a nosotros en medio de ellos. Resulta fácil relacionarse sentimentalmente con los grandes espectáculos de la Naturaleza. Pero hay también parcialidad, desagradecimiento.

Nuestra sociedad comienza a sentir algo de aprecio por la fracción móvil de los paisajes. Los animales despiertan interés, movilizan lo más nutrido del movimiento ecologista y hasta han protagonizado campañas internacionales bien reflejadas en los medios de comunicación. Incluso decenas de Ong's viven de los dineros recaudados y aceptados para la defensa de especies zoológicas amenazadas de extinción.

La flora, y sobre todo los bosques, también han sido redescubiertos por la opinión pública, capaz de reclamar mayor protección, reforestación y hasta clama por más garantías para unas cuantas endemias escasísimas. El espacio que cobija a ambas manifestaciones de la vida a menudo es considerado como precioso legado del tiempo.

Pero son sólo dos puntos de apoyo y lo bípode guarda muy raramente el equilibrio. O mejor bordea siempre ese fracaso llamado desplome. Si queremos que la emergente cultura naturalística o ecológica se asiente necesitamos que nos crezca también la sensibilidad hacia lo que alberga a todo y a todos.

No recordar que el substrato y su forma es el primer fundamento de lo que sobre él se despliega acarrea serias agresiones. Tantas que en la actualidad hay más daño a lo inerte que a cualquier otro componente de nuestro mundo. El volumen de destrucción de lo que dibujó el lápiz del tiempo, la degradación visual, la incorporación contaminan-

te de minerales, tierras y sustancias químicas a la atmósfera y a las aguas, supera en tonelaje a todas las producciones constructivas y alimentarias del conjunto de la Humanidad. Urge por tanto una terapia que incluya lo geológico entre nuestros valores de primer rango. Como una referencia del grado de sensibilidad de un conjunto de humanos. Va siendo hora de que aceptemos el criterio de esas miradas que descubren el pasado por lo que no se ve y explican el presente. De esas radiografías que hacen del geólogo un proyecto de nexo entre lo sido y lo que es. De que apreciemos la oportunidad de diagnósticos rigurosos de lo que puede erigirse sobre la superficie del mundo. Tampoco resulta de menor importancia la porción más abstracta de la geología para entender y entendernos:

Tiempo medido por eternidades. Indagadores de las raíces de todas las cosas. Y aún así quedan pocas veces valoradas las valías de quienes estudian lo remoto, lo profundo y ese palpito lento de los paisajes. La migración imperceptible de los continentes. Las ascension de las montañas y su desmantelamiento. Todo eso es cultura, es un legado, un patrimonio insustituible.

Cierto es que asistimos a un notable auge de la utilización del término patrimonio, acaso para demasiadas realidades. Palabra casi siempre asociado a dos valores muy arraigados en nuestro modelo cultural: la herencia y el patriarcado.

Lo del padre, cuando en origen esta palabra está vinculada a dominio, es decir, tiene también vínculos con el poder. Padre y jefe se confundieron en un lejano pasado. Tal vez por eso el término patrimonio a menudo fracasa por incompleto y convendría comenzar a entender que lo nuestro con el pasado, cercano o lejano, es en realidad un matrimonio un vínculo de sentimientos fértiles que deben incluir a esa preciosa dama, la Gea que desde siempre acoge a todos, sin límites ni excepciones.



Geología y política: Casiano de Prado y Valle (1797-1866)

Leandro Sequeiros

Presidente de la Sociedad Española de Paleontología y editor del Boletín de la Comisión de Historia de la Geología de la Sociedad Geológica de España.

En el año 1997 se cumplen 200 años del nacimiento de dos geólogos ilustres: Charles Lyell y Casiano de Prado. Este año se celebrarán en el mundo múltiples homenajes a Lyell, autor de los famosos *Principles of Geology* (1831-1837) y que abrieron el campo de la moderna Geología. Lyell nació en Kinnordy (Escocia) en 1797 y falleció en Londres en 1875. Posiblemente, la figura de Casiano de Prado (1797-1866) —menos conocida que la de Lyell— sólo la recordaremos en España. Aún así sus méritos como geólogo fueron grandes.

Universitario y activista político

Casiano de Prado y Valle¹ nació en Santiago de Compostela el 13 de agosto de 1797. Allí inicia sus estudios y en su universidad realiza los cursos superiores de matemáticas. Su amistad con otro estudiante de ideas progresistas, Ramón de la Sagra, le convierte en activista político y social. Ambos recorrían Galicia estudiando las plantas y cuando por causa de la lluvia no era posible, se dedicaban a leer libros, entre ellos algunos prohibidos por la Inquisición. Esta afición le lleva con 20 años a ingresar en la Cárcel de la Inquisición donde permanece 400 días. El movimiento revolucionario de La Coruña lo liberó. Más tarde, en febrero de 1820 apoya desde La Coruña el movimiento liberal de Cádiz y se alista en la Milicia Nacional creada en esta ciudad. Fue uno de los promotores de la «Sociedad Patriótica Coruñesa» y secretario de la misma. Defendió (1823) con las armas en la mano el sistema constitucional.

La Carrera de Minas

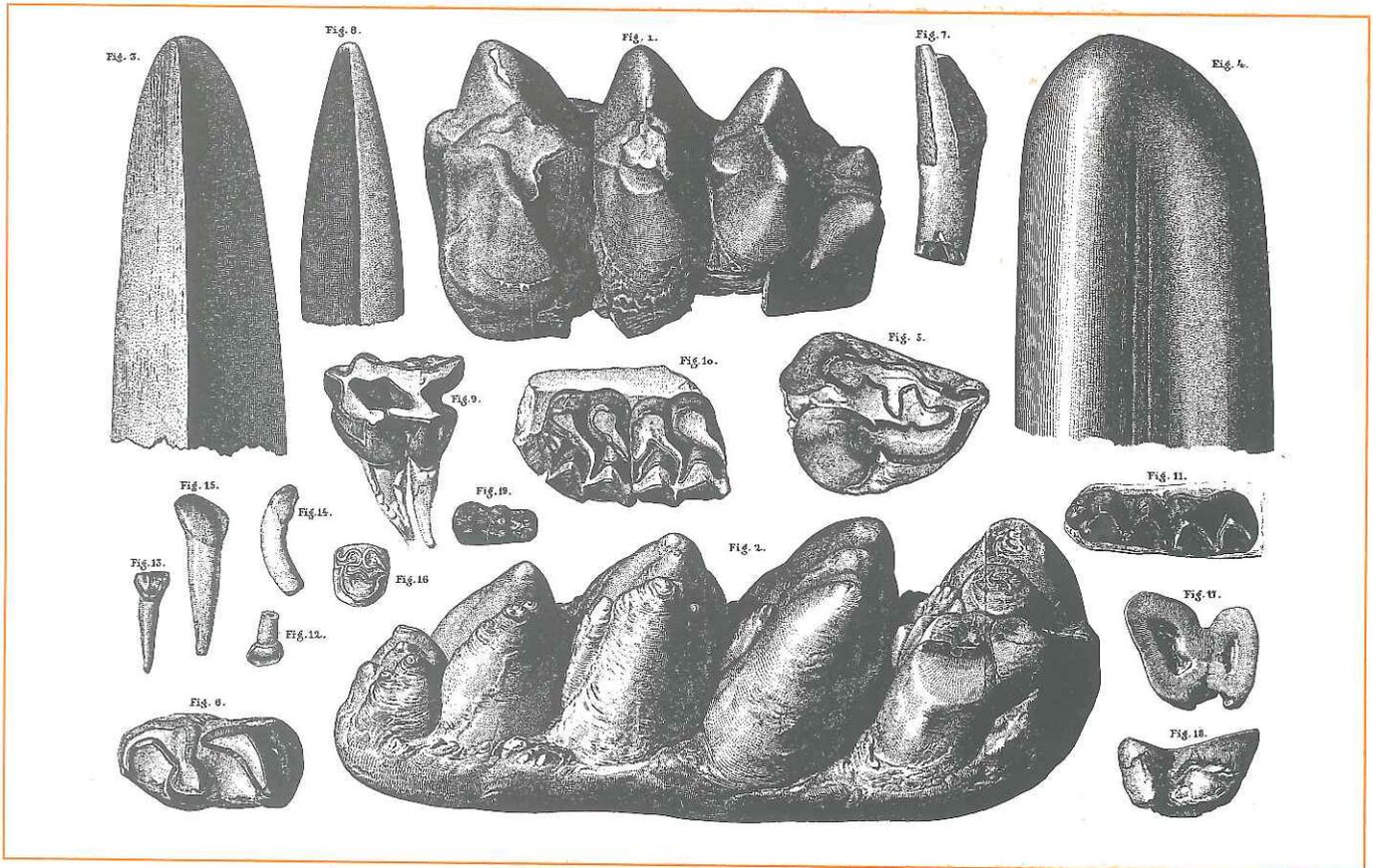
En 1828 va a Madrid y se decide por la carrera de Minas. En 1834 ingresa en el Cuerpo de Minas, pero su vida profesional no se vio libre de las convulsiones políticas de la época.



Casiano de Prado (1797-1866), autor del mapa de la provincia de Madrid, primero publicado por la Comisión del mapa geológico de España.

Después de realizar diversos estudios mineros, fue destinado en 1835 al distrito de Aragón y Cataluña, en donde ejerció durante cinco años. Comenzó la publicación de sus obras geológicas con la titulada «*Vindicación de la Geología*» cuando estaba encargado de la Inspección del Distrito de Cataluña y Aragón. En sus ratos libres escribió y publicó una serie de artículos, primero en el «*Observatorio Pintoresco*» editado en Madrid. A causa de unos artículos publicados en «*El Tarraconense*» (1837-1838), del que fue promotor

¹ López de Azcona, J. M. (1962) *Bibliografía de Minería, Metalurgia, Geología y Ciencias afines (1778-1961)*. Madrid, 560 pág. ibid (1966) *Biografía de Casiano de Prado y Valle (1797-1866)*. *Notas y Comunicaciones del Inst. Geol. y Min. de España*, pp. 97-98. Ibid. *Mineros destacados del siglo XVIII: Casiano de Prado y Valle (1797-1866)*. *Boletín IGME*, Madrid, V, 494-499. Juan Vernet Ginés (1976) *Historia de la Ciencia española*. Instituto de España, Madrid, 312 pág. (sobre todo, pág. 249). Echarrí, A. (1980). Contribución al estudio de la Escuela Geológica-minera española del siglo XIX: datos bibliográficos de Casiano de Prado. *I Congr. Soc. Españ. de Hist. de las Ciencias*, p. 229-239. Solé Sabarís, L. (1981). Raíces de la Geología española. *Mundo Científico*, vol. 1, 1018-1032. Solé Sabarís, L. (1983). Los más antiguos mapas geológicos de España. *Mundo Científico*, vol. 3, 252-262.



Fósiles de mamíferos terciarios de la provincia de Madrid, figurados por D. Casiano de Prado en 1864.

y editor, fueron causa de su separación de la Inspección (1840).

Dado su creciente prestigio profesional, le encomiendan la Inspección de la Mancha en 1841. Destinado a Almadén como Director, restableció el orden en el laboreo, realizando una meritoria labor. Pero con el pronunciamiento de 1843 es destituido dos años más tarde por la junta revolucionaria local. Entonces es enviado a las minas de Sierra Almagrera, y dos meses más tarde a Galicia y Asturias. Expedientado, presenta la renuncia al Cuerpo hasta su reingreso tres años después, pero se le concede con postergación y se le destina a Riotinto.

La Comisión Nacional de Geología

Nombrado vocal de la **Comisión del Mapa Geológico** (1849) se dedica con entusiasmo a la geología. Jefe de la sección de Geología y Paleontología de la Comisión, inicia en 1850 los estudios en Madrid, donde descubre un elefante junto al cementerio de San Isidro al que obligan a dar sepultura eclesiástica. En 1851, con motivo de un via-

je a París y Londres, se le reconoce su categoría científica como geólogo por figuras como Verneuil y Barrande. Fue miembro de la Academia de Ciencias, en la que publicó diversos trabajos.

Es autor de buen número de memorias y mapas geológicos, entre los que figura el de la provincia de Madrid (1864), Valladolid (1854), Segovia (1855), Palencia (1856), León (1861), Toledo (1870) y Avila (1861).

Casiano de Prado y Europa

Con objeto de colaborar en el Mapa Geológico de Europa, el gobierno español, desconociendo la existencia de geólogos españoles de valía, contrata en París a dos hombres de prestigio. Eduardo Lartet (1801-1871) y Philippe Eduard Pouletier de Vernuil (1805-1873). Estos se ponen en contacto con Prado para que los acompañe durante sus excursiones geológicas. Les enseña a los franceses sus apuntes sobre el Mapa Geológico de España y ambos quedan impresionados por el trabajo. Escriben al Ministerio de Fomento ponderando la labor (ignorada) de Casiano de Prado.

Al regresar Lartet y Verneuil a París, proponen el nombramiento de Prado como miembro del Instituto de Francia, entre las seis plazas de extranjeros, lo que le valió un homenaje presidido por la reina Isabel II, como compensación a tantos sinsabores padecidos.

En la Junta Facultativa de Minas

Como vocal de la Junta Facultativa de Minas, realizó una visita de inspección (1866) al Distrito Minero de Huelva, aprovechada para efectuar un reconocimiento geológico por las Islas Canarias donde recopiló abundantes datos vulcanológicos. En el archipiélago contrajo una erisipela, causa de su fallecimiento en Madrid ese mismo año de 1866.

En su necrológica escribió Fernández de Castro: «El año de 1866, fue triste para la Geología, pues dejó de existir el primero de nuestros geólogos, que durante cuarenta años de trabajos incesantes había contribuido como ninguno al renacimiento de la geología española».

III Congreso Nacional del Medio Ambiente

Se celebró en Madrid en la semana del 25 al 29 de noviembre en el Palacio de Exposiciones y Congresos, el III Congreso Nacional del Medio Ambiente, organizado por el Colegio Oficial de Físicos, Unión Profesional Interdisciplinar de Normalización de Integración Ambiental (APROMA).

Esta cumbre ambiental reunió a profesionales, técnicos, empresarios, representantes de las administraciones, ecologistas, consumidores, sindicatos, y a las personas preocupadas por el medio ambiente, para aunar voluntades e intentar llegar a compromisos en beneficio de los ciudadanos y del medio ambiente.

En este foro de debate se desarrollaron 44 grupos de trabajo, que en forma de seminarios debatieron el contenido de las ponencias presentadas. 75 personas destacadas en el diseño de las estrategias ambientales se sentaron en nueve mesas redondas, para debatir pormenorizadamente algunos de los asuntos ambientales de más actualidad. Se contó con la participación de unos 500 congresistas, cifra menor que en las ediciones anteriores, lo que quizás indica una excesiva frecuencia (bianaual) en la celebración de esta cita congresual.

El acto de inauguración contó con la presencia de la Ministra de Medio Ambiente, doña Isabel Tocino; el Alcalde de Madrid, don José M.^a Álvarez del Manzano; la Alcaldesa de Valencia y Presidenta de la Federación Española de Municipios y Provincias, doña Rita Barberá, así como representantes de las distintas entidades organizadoras.

Entre las declaraciones más destacadas puede resaltarse la de don Gonzalo Echagüe, Presidente del Colegio Oficial de Físicos, el cual afirmó que, «el medio ambiente sólo ha mejorado en un aspecto, la participación ciudadana y de las empresas».

El director de la Agencia Europea de Medio Ambiente, Domingo Jimé-



Vista parcial de la mesa inaugural del III Congreso Nacional del Medio Ambiente.

nez Beltrán pidió que España reduzca las emisiones de dióxido de carbono, principal gas causante del cambio climático, dentro de una política global europea. Jiménez restó validez al argumento utilizado por España para no marcarse objetivos de reducción de emisiones a corto plazo, por estar por debajo de la media comunitaria en este tipo de emisiones.

Lo más destacado de la intervención de doña Isabel Tocino, fue el anuncio de la elaboración de un borrador de Ley de Responsabilidad Civil, que se aprobará en esta legislatura «para que ninguna actividad que dañe el medio ambiente quede impune» y así «cuando esté articulada esta responsabilidad civil, se trabajará con mucho más cuidado y atención, porque pretendemos que ningún daño ambiental quede sin castigo».

La titular de Medio Ambiente subrayó también, que en el próximo año se retocarán las dos principales leyes que elaboró el PSOE en medio ambiente, la Ley de Aguas y la de Costas.

Y volvió a comprometerse con tener listo el Plan Hidrológico Nacional en esta legislatura; para ello, en 1997 se presentará un Libro Blanco del Agua, que abrirá nuevamente el debate sobre tan delicado asunto.

En el III Congreso Nacional del Medio Ambiente se repitió el acto de años anteriores, la entrega de los premios del Certamen Escolar, así como diversas menciones honoríficas en materia de periodismo Ambiental. Igualmente, se produjo el intercambio de proyectos sobre actividades ecológicas, entre un colegio español y un colegio croata.

Distintas autoridades de reconocido prestigio participaron en el acto de clausura de esta llamada cumbre «verde», en el que se resaltaron la importancia del conocimiento y la ciencia, como motores de desarrollo humano, reto cada vez más importante de nuestra sociedad ante la conservación del medio ambiente.

Fátima Camacho Serna

PUNTO DE VISTA: AFICIONADOS VS. PROFESIONALES

LA CARTA

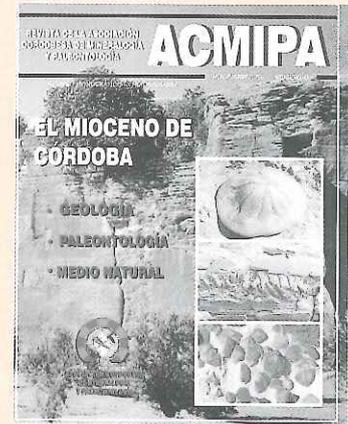
Córdoba, 2 de Diciembre de 1996

Adjunto remito noticias y publicación anexa, como especial de la revista de la Asociación ACMIPA que funciona en Córdoba, y que como ves empieza a ser una asociación cultural en aras de la protección del patrimonio Geológico. Esta va tomando bastante auge, tanto por los aficionados, que representan la base de la asociación como por los profesionales, que cada vez son más y además interesados en marcar una senda interesante para el futuro de este patrimonio.

Creo que los propios comentarios de la asociación en la revista y algunos de los artículos pueden ser motivo de noticias y publicaciones en el ICOG.

Antonio Jesús González.
Córdoba

LA REVISTA



EL COMENTARIO

Sobre actitudes continuistas y poco rigurosas con respecto al registro y a las ciencias geológicas

En Noviembre de 1996 la Asociación cordobesa de Mineralogía y Paleontología (ACMIPA) publicó un número extraordinario de su revista titulado «El Mioceno de Córdoba». Esta publicación es una buena muestra, en líneas generales, de cómo se ha de transmitir a los aficionados al contenido del registro geológico, la información básica que se obtiene del estudio científico del medio natural. El volumen incluye artículos generales de divulgación sobre la geología y la paleontología de Córdoba, realizados por profesionales de las Ciencias de la Tierra de reconocido prestigio en España, junto a trabajos escritos por aficionados a la paleontología. En los últimos las fuentes bibliográficas más abundantes son las guías de fósiles publicadas con destino a la formación de niños y adolescentes de enseñanza primaria o secundaria, y a los aficionados en general.

No es intención de esta nota hacer demasiado hincapié en analizar esa forma de ver las cosas, ya que los destinatarios del número extraordinario sobre el Mioceno de Córdoba son otros aficionados a recoger objetos variados del suelo o subsuelo del territorio. Pero parece necesario recordar que la divulgación de cualquier área de conocimiento sólo es rigurosa si es efectuada por los profesionales de la misma.

Un problema de base se deja traslucir en esta publicación, especialmente en el último artículo de la misma en el que se llega a decir (pág. 53) «...personas de este segundo grupo (se refiere a un párrafo anterior en el que se habla literalmente de amas de casa, administrativos, panaderos o abogados) han llegado a veces a convertirse en verdaderos expertos...». Una página más adelante se afirma que una de las metas que se fija ACMIPA, es aumentar su propio fondo de materiales (pág. 54). Y para finalizar afirman (pág. 54) que ACMIPA «Respetar, no obstante, el comercio de minerales y fósiles (siempre que sea controlado, con fines educativos, etc., y se atenga a la legislación) y el coleccionismo privado no egoísta (que conserva y cede muestras a investigadores y Museos cuando se requiere).»

La Paleontología es una ciencia histórica, con menos de dos siglos de desarrollo, que es estudiada y aumentada en conceptos y contenido por los paleontólogos. Paleontólogo no es cualquier

persona a la que le agradan los fósiles, por mucho que crea que sabe de ellos. Los paleontólogos son científicos formados en las universidades tras años de estudio y especialización en las ciencias de la tierra y de la vida. Dichos estudios universitarios «básicos» permiten después de años de trabajo, investigación, conservación y protección de los materiales y de los yacimientos, acceder a los conocimientos paleontológicos reales. La paleontología es una de las ciencias geológicas vinculada íntimamente con las ciencias biológicas, no una afición de fin de semana, en la que trabajan los profesionales de la misma: titulados superiores con acreditación oficial de los centros docentes estatales. Por otra parte los paleontólogos, a diferencia de los «aficionados», siguen a rajatabla las legislaciones vigentes en cada Comunidad Autónoma para poder tener acceso a los materiales sujeto de sus estudios, los fósiles. El trabajo comienza por planificar los proyectos de investigación, solicitar y obtener los necesarios permisos oficiales para poder recuperar del subsuelo los materiales (siempre propiedad de las Comunidades Autónomas correspondientes) y realizar las excavaciones sistemáticas en las que se respeta y evalúa toda la información que se puede obtener de los estratos y de sus registros. El ejemplar completo o espectacular no tiene más importancia que el fragmento, incluso en numerosas ocasiones lo fragmentario y «feo» aporta más o mejor información científica que la pieza «extraordinaria».

Los fósiles son uno a uno patrimonio de todos los ciudadanos y por esto han de ser depositados y custodiados en los centros públicos destinados a ello, donde son conservados con las suficientes garantías. El que este patrimonio no esté todavía suficientemente valorado y protegido en nuestro país no le permite a nadie continuar planteando actitudes personales decimonónicas (fundamentalmente la sustracción de materiales de las rocas sin los pertinentes permisos oficiales) con respecto al registro, es decir, jugar con, recolectar, guardar, intercambiar, comerciar o destruir testimonios únicos de la vida en el pasado que a todos pertenecen.

Alfonso Arribas Herrera, ITGE (Madrid)

N. de la R.: Sobre este asunto, se admiten comentarios, propuestas y sugerencias que podrán ser publicadas en el próximo número de T & T.

CASON DE LA PINILLA

CASON DE LA PINILLA

Tfno.: 911/55720

Cerezo de Arriba

40592 - Segovia

Cerca, sí, de la Pinilla, la estación de esquí segoviana se localiza este hotel rural, antigua vaquería en ruinas de las afueras de la localidad de Cerezo de Arriba. Lo de rural no lleva segundas intenciones, pues en su interior se respira un cierto aire *intelectual* (hay hasta alguna tesis doctoral en sus estanterías...) que complementa los toques arquitectónicos y de decoración propia de un hotel de montaña y de naturaleza. Los nombres de las habitaciones (9, sólo 9) destilan sintonía con el medio: retama, acebo, endrino, aguilera, brezo, genista, parra y zarza.

En el comedor, además de muy buena comida, unas ramitas de hierbabuena, que crece en el jardín, sustituyen a las clásicas florecitas de la mayoría de los restaurantes. Para no morir



de un empacho botánico, a un tiro de piedra se encuentra la Sierra de Ayllón, que Lucas Fernández Navarro llamara el «Tirol Español», por su riqueza mineralógica. Y muy cerca también, hacia Segovia, puede disfrutarse de un

bonito paseo subterráneo visitando la Cueva de los Enebralejos, en Prádena, recientemente habilitada para su visita turística.

Juan Pequeño

HOSPEDERIA DE ARGUIS

HOSPEDERIA DE ARGUIS

Ctra. N-330

Tfno/Fax: 974-271211

22150-Arguis

Huesca

Hotel activo. Así se autodefine esta hospedería situada a orillas del Embalse de Arguis, a 20 km al Norte de Huesca, por la CN 330. Activo, si se quiere, pero tranquilo si así se desea, pues el lugar invita al reposo y a la relajación. Para los amantes de la *actividad*, el repertorio es prácticamente interminable: senderismo, montañismo, escalada, espeleología, descenso de canoas, bicicleta de montaña, equitación, golf, pesca, rafting, puenting, buceo en ibones (¡con helicóptero!), rutas ornitológicas, excursiones culturales y a puntos de interés geológico, astronomía, ala delta, parapente, etc., etc...

Esta singular fórmula hotelera es atractiva además por muchas otras razones: los precios, la gastronomía y el entorno son tres de ellas. Los primeros son bastante asequibles, acorde con el

espíritu social de la empresa que lo regenta, participada por la Federación Aragonesa de Montañismo, el Gobierno de Aragón, la Diputación de Huesca, clubes y particulares.

La gastronomía es abundante y representativa de la buena comida aragonesa, merece la pena. Y el entorno, en plena ruta al Pirineo Central, tiene su

mejor exponente en el inmediato Parque Natural de la Sierra y Cañones de Guara, soberbio espectáculo geológico donde las estructuras tectónicas y las morfológicas fluvioikársticas reinan por doquier.

Que aproveche,

Juan Pequeño



Astibia, H.; Del Valle, J.; Murelaga, S. y Serra-Kiel, J., coordinadores (1996) **Homenaje a Máximo Ruiz de Gaona, naturalista y paleontólogo (1902-1971)** *Príncipe de Viana, Suplemento de Ciencias*, año 16, números 14/15, 206 páginas.

El interés por la historia de la Geología española es relativamente reciente. Por eso hay que celebrar la publicación de este libro sobre el naturalista Máximo Ruiz de Gaona, fallecido en 1971. Su aportación al mundo de la geología y de la paleontología española ha pasado desapercibida hasta ahora. Un grupo de geólogos y paleontólogos han impulsado la publicación de este libro que es un homenaje a este hombre injustamente postergado por la ciencia española.

El volumen que presentamos –dentro de la revista *Príncipe de Viana* de la Institución del mismo nombre del Gobierno de Navarra, contiene 16 trabajos originales. De ellos, nueve se dedican a los aspectos humanos y científicos de Ruiz de Gaona desde prismas muy diferentes. Los otros siete trabajos tratan de aspectos geológicos y paleontológicos de los entornos navarros tan queridos por este escolapio.

La ciencia española tiene una deuda de gratitud con muchos hombres y mujeres que, desde muy distintos campos, han aportado muchos pequeños granos de arena que construyen montañas a las ciencias naturales. Entre estos nombres injustamente olvidados está este singular y minucioso profesor de enseñanzas medias que dedicó toda su vida al conocimiento de la naturaleza. El primero de sus trabajos es de 1941 (casi con cuarenta años) y describe los mamíferos pleistocenos de Olazagutía (*Bol. Real Soc. Española de Historia Natural*). El último de ellos, que quedó como borrador sin publicar, debido a su fallecimiento en 1971, se dedica a la microfauna de San Vicente de la Barquera. Entre esos 30 años de fecunda vida docente, científica y humana se desarrolla la obra de Ruiz de Gaona.

La presentación del volumen homenaje está firmada por el profesor Humberto Astibia. Un compañero de religión, Jesús Heliodoro Latasa, pergeña la reseña humana de un escolapio. Miguel Arbizu y Ramiro Pomés, presentan cariñosamente la visión de unos que lo conocieron siendo niños. Salvador Reguant, se refiere también a los recuerdos personales del P. Ruiz de Gaona. Sebastián Calzada, compañero de religión, describe las relaciones del geólogo con el Museo del Seminario de Barcelona, así como de algunos temas paleontológicos de Ruiz de Gaona. El original inédito de Ruiz de Gaona sobre San Vicente de la Barquera es presentado, transcrito y comentado por el Dr. Jaime Truyols, presidente de la Comisión de Historia de la Geología de España de la SGE. La figura de Ruiz de Gaona como prehistoriador y paleontólogo de vertebrados es glosada por H. Astibia, X. Murelaga y X. Pereda-Suberbiola.

Los trabajos geológicos y paleontológicos que completan este libro homenaje profundizan en algunos temas que ya fueron abordados hace casi medio siglo por Ruiz de Gaona: los Rinocerontes (P. Castaños), el Albiense superior Cenomaniense entre Altsasu y Asparrrena (M. López-Horgue, D. Lertxundi, J. I. Baceta), los Inoceramidos (Gregorio López), los Selacios (J. Carmelo), las calizas del Eoceno (A. Payros, V. Pujalte, J. I. Baceta, X. Orue-Etxebarria, J. Serra-Kiel), las biozonas de nummulitidos (J. Tosquella y J. Serra-Kiel), las biozonas de nummulitidos (J. Tosquella y J. Serra-Kiel) y la hoja geológica de Pamplona (J. del Valle).

Un listado de 38 publicaciones de Máximo Ruiz de Gaona completan este libro al que se han añadido algunas fotografías originales cedidas por una hermana del homenajeado. La presentación del libro es muy correcta y la iniciativa de su publicación es digna de encomio.

Leandro Sequeiros



García Ruiz, J. M.; White, S. M.; Martí, C.; Valero, B.; Errea, M. P. y Gómez Villar, A. (1996): «La catástrofe del Barranco de Arás (Biescas, Pirineo Aragonés) y su contenido espacio-temporal». Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC), 54 pp., Zaragoza.

El Departamento de Erosión y Usos del Suelo del Instituto Pirenaico de Ecología (CCSIC) ha publicado recientemente los resultados del estudio realizado respecto a la catástrofe ocurrida en el barranco de Arás (Biescas) en la tarde del 7 de agosto de 1996.

En este trabajo se analizan las características de la lluvia y del pico de crecida y se estima el caudal máximo alcanzado, así como el volumen de sedimentos removidos desde las presas y los procedentes de la erosión de la morrena. Por otro lado, se estudian los efectos geomorfológicos de la crecida y las razones que explican sus consecuencias en el cono de deyección.

Con ello, se destacan las limitaciones de los actuales sistemas de análisis probabilístico de riesgos, dada su gran irregularidad espacial y temporal. A la vez, se resalta la necesidad del uso de otros indicadores indirectos como los paleohidrológicos y geomorfológicos, capaces de aportar información sobre la dinámica de laderas, la producción de sedimentos y la intensidad de las avenidas.

Mercedes Vallejo

MISCELANEA

Proyecto Toros (Tinto Odiel River Ocean Study): «Biogeoquímica de un sistema ácido río-estuario rico en metales, consecuencias para las aguas de la plataforma atlántica»

Dentro del IV Programa Marco de I + D en Medio Ambiente y Clima de la Unión Europea (1994-1998), y a su vez en el Plan Científico del Proyecto ELOISE (European Land-Ocean Interaction Studies), ha sido aprobado por la Dirección General XII en mayo de este año un proyecto de investigación, que bajo el anagrama Toros (Tinto Odiel River Ocean Study) tiene como objetivo principal el estudiar durante los tres próximos años la biogeoquímica del ecosistema costero del estuario de la Ría de Huelva, formado en la confluencia de los ríos Tinto y Odiel, con la finalidad de conocer y modelar las influencias y consecuencias que sobre la plataforma atlántica tienen los aportes ácidos ricos en metales procedentes de dicha Ría.

El conocimiento en detalle de estos procesos supondrá una inversión Comunitaria de 730.000 ECUS entre el 1 de junio de 1996 y el 31 de mayo de 1999.

El proyecto está siendo ejecutado por numerosos investigadores de España, Francia, Inglaterra y Bélgica, coordinados por la Dra.



Françoise Elbaz-Poulichet de la Universidad de Montpellier-II. La responsabilidad científica del mismo corresponde a los Drs. Arsenio González (por la Universidad de Huelva), María Jesús Gutiérrez (por el INTA, Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial de Madrid), Mario Chica (por la Universidad de Granada), Antonio Cruzado (por el CEAB/CSIC, Centro de Estudios Avanzados de Blanes), Nicholas H. Morley (por la Universidad de Southampton), Eric Achterberg (por la Universidad de Plymouth) y Jean-Marie Beckers (por la Universidad de Liege).

El proyecto inició su andadura el pasado mes de junio y entre sus próximas acciones prioritarias se cuenta con la realización de la primera campaña oficial de investigación oceanográfica frente a las costas de Huelva en un buque de reconocimiento especialmente equipado para tal misión, y su presentación oficial a la sociedad y a las Autoridades provinciales y regionales, acción que se llevará a cabo en la Universidad de Huelva hacia el final del próximo mes de noviembre.

Con el fin de facilitar la información sobre este proyecto a los interesados, se ha creado una página Web especial para el mismo que puede consultarse a través de Internet en la dirección <http://carpan-ta.ugr.es/toros.html>.



La FEDERACION DE EUROPARQUES plantea el problema de compatibilizar el turismo con la protección de espacios naturales. El presidente de la federación, Matthew Aitken Clark ha alertado del peligro para algunas áreas protegidas de "morir de éxito" por la entrada masiva de visitantes. En España reservas como el Teide, Ordesa y Picos de Europa, se enfrentan a este problema. "El turismo", dijo Aitken, "ha de ser sostenible", y dio una serie de consejos: "En algunas zonas no puede haber turismo".

Los Primeros indicios de vida en la Tierra datan de 3.800 millones de años. Los estudios que han realizado científicos estadounidenses se han basado en rocas de Groenlandia. En estas rocas sedimentarias, las más antiguas del Mundo, se han encontrado indicios de vida. Hay dos tipos de indicios: presencia de acumulaciones de apatito, que contiene fosfato, y es necesario para la vida, y por otro lado, hay inclusiones de carbono. Su análisis denota que hay muy poco Carbono 13 en relación con el Carbono 12, y no existe ningún proceso con esta desproporción que no sea la vida. La cuestión es cómo pudieron los mares contener vida microscópica, en un momento en que el planeta estaba sometido a bombardeos de asteroides y cubierto por lava.

Se esperaba que la erupción volcánica en Islandia provocara inundaciones. La erupción tuvo lugar en el glaciar Vatnajokull, en el Sur de Islandia. El volcán en cuestión es el Grimsvotn. La erupción ha causado la fusión de 3 Km cúbicos de hielo. El agua acumulada bajo el glaciar comenzó inundando una zona desierta adyacente, formada por arenas volcánicas arrastradas hasta allí por anteriores inundaciones, que a su vez fueron causadas por otras erupciones. Posteriormente, tras una pausa, el agua rompió los bordes helados del Lago Grimsvotn, al que había ido a parar tras su deshielo, y comenzó a deslizarse hacia el exterior, pero sin peligro. El agua pasó a una grieta que el calor produjo, y de ahí a una "caldera natural", en la que se está filtrando. Lo más interesante de esta erupción, es que se ha podido observar en directo por cien-

tíficos, cómo se produce una erupción bajo un volcán, y esto permite una mejor comprensión de cómo se formaron las montañas en la era glacial.

Recientemente se ha inaugurado un área de recreo hecha con material reciclado en San Agustín de Guadalix (Madrid). El área consiste en 2.000 metros cuadrados de extensión y 1,5 de profundidad bañados por aguas del río Guadalix. Las barandillas que rodean el estanque son postes de luz y troncos partidos de inundaciones pasadas. En el lugar donde ahora está el estanque antes había un basurero, y los patos que ahora viven allí antes lo hacían en una cervecera. Todo lo han hecho los guardas forestales, y ahora sólo falta esperar que comiencen a poblarlo aves acuáticas y la vida se restablezca.

Desde este verano se piensa en la posibilidad de vida en Marte. La teoría surgió de las investigaciones realizadas sobre un meteorito que cayó en la Tierra hace 15.000 años, que se piensa que proviene de Marte. La forma de vida sería muy primitiva, semejante a las bacterias terrestres, y tendría una edad de 3.000 millones de años.

¿Por qué se investigará el planeta rojo? Hace unos meses The Planetary Society explicó las razones del porqué explorar Marte. Hay dos motivos principales: por un lado, es el único planeta que puede ser explorado por tripulaciones humanas actualmente, y por otro, es el planeta gemelo a la Tierra y se pretende explicar qué cambios ha tenido que sufrir para llegar a divergir tanto de ella. Viéndolo desde este último aspecto, está la gran incógnita de si Marte podría ser "terraformado". Ahora hay que añadir a esto los indicios de vida en Marte a propósito del meteorito ALH84001. Como consecuencia de todo esto, van a ser lanzadas tres naves hacia Marte. Dentro de los cambios sufridos por el planeta se piensa que el ahora debilitado calor interno del mismo haya sido capaz, en otro tiempo, de provocar esos canales desbordados por grandes inundaciones, por el deshielo de casquetes polares. Esos canales divergen en su edad, los hay que parecen

muy recientes, sin embargo la superficie del planeta es ahora seca y de atmósfera tenue, y se hace imposible que exista ninguna corriente de líquido sin que se evapore. Se ha propuesto que el clima de Marte oscila periódica y bruscamente, y esto se conoce como el ciclo de Baker. En las fases cálidas y húmedas la vida habría sido posible, y en las heladas tendría un aspecto como el actual. Estos cambios se deberían a una gran actividad volcánica cíclica, que provocaría la vaporización del agua y CO₂. Aquí circularían ríos gigantes por la superficie que desembocarían en un océano estable. Posteriormente, el CO₂ precipitaría en el océano en forma de caliza y el planeta iniciaría su fase de congelación. Esto provocaría un gran impacto en la biosfera primitiva de Marte, pero tal vez al igual que en nuestro planeta, haya bacterias en los poros de las rocas a grandes profundidades. Estos posibles hábitats serán investigados con el *Mars Pathfinder*, y tal vez nos descubra si Marte ha contenido o aún posee la segunda biosfera de este Sistema Solar.

Nueva exploración de Marte. El reencuentro con la investigación del planeta vecino tendrá lugar cuando llegue a Marte la nave no tripulada lanzada en Septiembre. Se inicia así el programa *Mars Global Surveyor*. Se pretende buscar lugares idóneos para enviar astronautas dentro de algunos años. Las exploraciones se han sucedido en las últimas décadas: en los años sesenta los *Mars* y los *Mariners*, en 1971 el *Mariner 9*, en 1975 *Viking 1* y 2, y tras una larga interrupción de la investigación se vuelve a iniciar el programa. Los planes consisten en lanzar una sonda cada 25 meses durante 10 años para analizar el planeta y explorarlo. Se pretende también descifrar la incógnita del agua en Marte, así como comprender su formación. Los robots tendrán que realizar gran cantidad de trabajo antes de que ningún astronauta pise por primera vez el planeta. El lanzamiento de ninguna nave tendrá que esperar primero a que se disponga de tecnología lo suficientemente avanzada para tal propósito, y que sea viable la posibilidad de mantener juntos durante un largo período de tiempo a una tripulación.

La 2 ha emitido en el espacio "La noche temática" un reportaje que pone de manifiesto cómo se despilfarran, se envenena y se desprecia el agua. La película contenía varios documentales, algunos de ellos relacionadas con el tema, como el caso de "Cuando el río crece", que trata del desbordamiento de un río, cuando lo realmente importante es el desbordamiento de la codicia humana. El documental que más destacó fue "El cambio: hacia una nueva política del agua", que pone de manifiesto la posibilidad de ahorro de agua en Europa, con algunos ejemplos, como el caso de Francfort, que en el subsuelo de su aeropuerto se recoge el agua que les permite su autoabastecimiento; También se informa de cómo han llegado a ahorros de un 20% y su intención es llegar al 50%.

Restos sumergidos de la antigua Alejandría. El arqueólogo y submarinista francés Franc Goddio, tras numerosas inmersiones con su equipo de 16 submarinistas obtuvo como recompensa el hallazgo del supuesto palacio de Cleopatra y tal vez el mítico Faro de Alejandría. Ha sido realizada una cartografía basada en documentos de Estrabón. Los investigadores han descrito grandes avenidas flanqueadas por columnas, estatuas, capiteles, esfinges, etc. Todas las piezas son de la época Ptolomeica, escenario de la epopeya de Cleopatra. Para algunos el hallazgo es sospechosamente importante para los intereses políticos del Gobierno de Egipto dada la difícil situación económica que supone la falta de turismo y para otros el descubrimiento es verídico y lo apoyan. El descubrimiento va a describir el entorno de Alejandría en sí, pero poco se va a saber nuevo de la reina, "lo que sí se sabe es que Cleopatra quería devolver la gloria a Egipto".

Una de las lunas de JUPITER tiene atmósfera de oxígeno. Se trata de Ganimedes. Su atmósfera es muy tenue, ya que su presión sería equivalente a la de la atmósfera terrestre a 400 kilómetros de altura. También se está estudiando la posibilidad de que existan auroras boreales en los polos. Se piensa que el oxígeno procede del

bombardeo de partículas cargadas sobre las moléculas de agua, ya que está formado por agua helada y un núcleo rocoso, algo así al caso del otro satélite, Europa.

Jordi, el simio fósil: ¿Eslabón perdido o callejón sin salida?. En el pasado mes de Octubre tuvieron lugar las jornadas *Sobre la evolución de los homínidos*. Aquí se debatió sobre si los fósiles de estos driopitecos corresponden a un eslabón entre los grandes monos actuales y el hombre, o por el contrario son un callejón sin salida que se extinguió. Por un lado, está David Píbeam que sostiene que el fósil no tiene nada que ver con los antropoides actuales, y por otro, está la idea de Salvador Moyà -director de las excavaciones de Sabadell donde se encontró a Jordi- de que por evidencias morfológicas los driopitecos pertenecen al grupo de los antropoides que actualmente viven, y lo relacionan con el orangután. Concluyen afirmando que serían los animales que vivieron en África evolucionando hacia el chimpancé, y el hombre.

Profesores de la Universidad Complutense y de la Universidad Autónoma de Madrid han estado trabajando en un hallazgo inesperado en la ribera del Jarama. Gracias a las excavaciones que se llevan a cabo en graveras del Jarama, salieron a la superficie troncos fósiles de hace 6.000 años. Los troncos corresponden a olmos, alisos y chopos. Probablemente una subida del nivel del río provocó el enterramiento de los árboles que ahora estudian los investigadores de la Universidad Autónoma, los cuales afirman que "podremos reconstruir cómo era la vida hace sesenta siglos en el Jarama y hacia dónde va el río". Ahora lo que no se sabe es dónde guardar los árboles para que no sufran alteración.

El escultor **Eduardo Chillida desata la polémica en torno a Tindaya**. La obra de Chillida no se llevará a cabo "si hay oposición al proyecto", según el autor. Chillida dice que no irá contra la voluntad de los canarios, pero que la gente no

conoce su proyecto como para hacer un buen juicio. Por otra parte el Presidente de Canarias le ha pedido que exponga su proyecto personalmente. Chillida empezó la idea trabajando con bloques de granito y alabastro, hasta que pensó en "vaciar" una montaña. Chillida se considera un hombre respetuoso con la Naturaleza, y dice que no pretende hacer ningún daño a Tindaya. A pesar de ello han surgido numerosas críticas a su proyecto e idea. Geólogos, arqueólogos y colectivos ecologistas han denunciado el proyecto. Consideran un sacrilegio la idea. En la denuncia se recuerda que la zona arqueológica de Tindaya está declarada Bien de Interés Cultural. La montaña está arraigada en la cultura majorera y canaria, reuniendo elementos de altísimo interés arqueológico, etnográfico, astronómico e histórico. Los vecinos de la villa de Tindaya también se oponen. *El profesor de geólogos*, Telesforo Bravo, opina que la montaña es un punto fuerte en Fuerteventura. Legislativamente la isla ha pasado a ser Monumento Natural en diciembre de 1994, y es también zona de sensibilidad ecológica. Además, se considera de interés botánico y ornitológico. Los fundamentos de protección, según Carlos Alba, jefe de la unidad insular de Medio Ambiente del Gobierno de Canarias, se fundamentan en aspectos geológicos y paisajísticos, así como endemismos de flora y fauna. Pero fundamentalmente Tindaya es una estructura de gran interés geomorfológico.

Organismos termófilos propiedad del Estado. Los organismos termófilos, de los más de 10.000 manantiales de aguas termales que contiene el Parque de Yellowstone, producen beneficios comerciales para aumentar los ingresos del Parque, de los cuales los gestores de Yellowstone pretenden conseguir una participación. Las empresas que obtuvieron su patente consiguieron beneficios de millones de dólares, y ahora el Servicio del Parque quiere que los organismos sigan siendo del Estado aún cuando abandonen el Parque.

Graveras fluviales. Constituyen un notable impacto sobre el medio fluvial. Además son difíciles de reparar

y originan cambios en el ecosistema. En ocasiones las excavaciones llegan hasta el nivel de las aguas subterráneas destruyendo el sistema hiporreico o intersticial. Este sistema está formado por pequeños invertebrados. Las graveras que más destacan son las del Jarama, en el cual se extraerán 100.000 metros cúbicos de grava con la excusa, según la Confederación Hidrográfica del Tajo, de evitar inundaciones.

Nueva especie fósil "Eoalulavis". Se trata de un ave. Ha sido descubierta en la serranía de Cuenca, en las Hoyas. Es de tamaño pequeño, unos 17 cm.. Se encontró sin cabeza ni cola. El fósil se colocó en resina transparente, una vez separado de la roca caliza en la que fue encontrado. Según palabras del director de la Universidad Autónoma de Madrid la *Eoalulavis* es una prueba de que hace 115 millones de años ya existió un sistema de maniobrabilidad que permitiera un mejor control de vuelo. El ave ha conservado su plumaje fósil en buen estado, y el dato de mayor importancia está en un extremo de su esqueleto, donde se sitúa el álula, sistema antes mencionado. Este sistema proporciona un flujo adicional de aire en el ala que evita las turbulencias. El famoso *Archaeopteryx*, más antiguo, no tenía álula y no volaba como un ave moderna. La *Eoalulavis* es por lo tanto una pieza clave en la evolución de las aves hacia su estado actual.

Características geológicas similares a las terrestres. La nave no tripulada *Galileo* investiga los alrededores jovianos y sobrevoló Ganímedes el pasado mes de Septiembre. Aunque la información llega lentamente debido a una avería en la antena, y los datos son todavía poco numerosos, están siendo sorprendentes e inesperados. Los instrumentos de *Galileo* han medido un campo magnético, cuyo origen no se explica todavía, pero se piensa que pudiera tener relación con un posible océano. Este océano con sus corrientes generaría el campo magnético. Hay signos de un antiguo océano, que tal vez esté bajo la superficie helada de Ganímedes. También han encontrado indicios de volcanes helados que po-

drían hacer erupción. Desde que Galileo Galilei descubrió la luna, ésta era sólo un punto en el Sistema Solar, pero ahora las nuevas fotos hechas por *Galileo* llegan a indicar que Ganímedes posee rasgos geológicos similares a los que se producen en la Tierra, sólo que aquí no se conservan con esa claridad. Además, se ha registrado una ionosfera delgada, luego también podría tener una Atmósfera. Ganímedes es, por lo tanto, la primera luna con una magnetosfera propia. La nave pasará más veces en lo que queda de misión.

200 vecinos de La Coruña vivían con la basura. Se trata del poblado de O'Portiño, situado junto al vertedero de Bens. No se sabe qué estaba antes si el poblado o el vertedero, pero algunos vecinos nacieron allí cuando el vertedero ya estaba. En aquel entonces decían que sólo era una escombrera que el mar tenía que limpiar. Ese negocio era propiedad de una compañía que dirigían dos primos, llamada Ferogasa, de los cuales uno llegó a ser alcalde. Con el tiempo, se consiguió que se construyeran unas viviendas que estaban dotadas de cocina, comedor, cuarto de baño y dos habitaciones. En estas viviendas hay repartidos doscientos vecinos payos y gitanos que se dedican a la venta ambulante y a la búsqueda de objetos en el vertedero. Estos últimos consiguen recoger cosas por valor de unas 3000 5000 pesetas en una jornada de nueve horas. Posteriormente al desastre de Bens todos fueron alojados en Riazor. Ahora se pretende que vuelvan a sus casas, pero ellos se niegan, lo que quieren son viviendas sociales.

Argentina procede de Norteamérica. El estudio lo han realizado dos científicos: el norteamericano William Thomas y el argentino Ricardo Astini. La teoría propone que la Pampa se separó de Estados Unidos hace 515 millones de años. El continente atravesó el Iapetus para llegar a su actual posición. Los investigadores afirman que la precordillera argentina estuvo situada en lo que ahora constituye el Golfo de México. Argentina se desprendió de Laurentia para añadirse al supercontinente Gondwana. Hay dos motivos pa-

ra su teoría: Por un lado, la forma geométrica de la precordillera encaja perfectamente en el Golfo de México, y en segundo lugar, las rocas y los fósiles que éstas contienen son similares. El geólogo argentino y el estadounidense estudiaban por su parte Argentina y el Golfo de México respectivamente; al leer Astini los trabajos de Thomas pensó que aquello estaba muy relacionado con los estudios que él realizaba. Fue entonces cuando ambos comenzaron a trabajar juntos y realizaron una comparación de sus datos, sobre todo petrológicos. Finalmente pudieron comprobar que Argentina tenía un origen americano.

A. Wray, Jeffrey S. Levinton y Leo Shapiro con la técnica del reloj molecular retrasan 500 millones de años el origen de los animales. Los primeros restos de animales multicelulares datan de 565 millones de años atrás. Sin embargo los tres científicos afirman que siendo la tasa de mutación de siete genes constante, contando hacia atrás hacia el origen, llegan a la conclusión de que se establece al doble de años de lo que se creía. Han estudiado la tasa de mutación de nucleótidos en varios grupos de animales. El problema que les plantean otros paleontólogos es que no se puede decir a ciencia cierta que la tasa de mutación sea constante a lo largo de la historia de la vida. Se cree que sufre aceleraciones, como por ejemplo en los momentos de grandes explosiones de vida. Un caso es el Cámbrico, con abundantes fósiles que lo prueban. El que no se hayan encontrado fósiles de animales anteriores permite presumir que este fue el punto de partida de la evolución. Aún así Wray y sus compañeros mantienen que los animales anteriores fueron de tan pequeño tamaño que no fue posible su fosilización y no se encontrarían. De este modo sugieren una diversificación anterior a la explosión del Cámbrico.

Se estima que el lago Victoria tiene 12.000 años. A esta conclusión llegaron un grupo de científicos internacionales cuando realizaban unas investigaciones relacionadas con los cambios del nivel de las aguas del lago. Estaban elaborando perfiles sísmicos, y comprobaron

que el barro del fondo no continuaba en profundidad. Entonces para comprobar el perfil llevaron a cabo perforaciones de hasta 10 metros y sacaron el material. Pudieron ver cómo aparecía barro con restos de una zona pantanosa que contenía polen, y más abajo obtuvieron residuos de lo que había sido una planicie de hierba. La edad del lago se pudo hallar mediante datación por carbono radiactivo. Estos datos confirman que las especies de peces que se encuentran actualmente han evolucionado en un período de tiempo muy corto.

Nuevo planeta alrededor de un gemelo del Sol. La estrella en cuestión es la 16 Cyg B. Está situada a una distancia de 85 años luz. Se ha detectado la presencia de un planeta girando alrededor de esta estrella con una órbita muy excéntrica; tanto, que se suponen unos cambios estacionales tremendos. Llega a estar a la misma distancia que Venus del Sol, y como posición más lejana la correspondiente a Marte. Los cambios que sufre dan unas temperaturas máximas, que producen el punto de ebullición del agua en las nubes, y unas mínimas próximas a la congelación. El año de este planeta corresponde a unos 800 años terrestres. Su órbita elíptica va en contra de las teorías de la formación de planetas, que consideran que las órbitas deben ser circulares. Los astrónomos no conocen la composición del planeta, porque no han podido visualizarlo directamente, sino que han inferido su presencia por ejercer una fuerza gravitatoria sobre su estrella.

Un nivel profundo de magma fundida descansa bajo el Vesubio. Se pensaba que este nivel de magma estaba más alto de lo que se ha averiguado. El hallazgo ha sido posible gracias a un estudio sísmico. De este modo los científicos van a elaborar un modelo tridimensional del sistema. El Vesubio se formó hace 25.000 años por una serie de erupciones. Algunas de las cuales eran tranquilas y otras plinianas, como la que destruyó Pompeya. Estas erupciones están alimentadas por magmas compuestos de agua, y que cristalizan a una profundidad de cuatro a diez Km. Para hacer el experimento se dinamitaron tres puntos de las laderas del vol-

cán, cuya señal quedó registrada en los sismógrafos. Con ello obtuvieron datos suficientes para realizar un perfil de 30 Km. Tras esto, pudieron averiguar qué capas de roca hay bajo la superficie y qué localización tienen. El interés mayor de estos estudios es que permitirán hacer mapas de riesgo de la zona, ya que ahora se conoce la conexión de las cámaras con la superficie.

Se ha iniciado una guerra política con la declaración por parte del Ministerio de Industria del **cierre de HUNOSA para el año 2002**. Como réplica a este anuncio ha surgido la rápida respuesta de los sindicatos y los partidos políticos de Asturias, incluido el PP. El anuncio del cierre iba acompañado con el propósito del Gobierno de realizar un fondo para compensar a las regiones mineras. El problema es el corto plazo anunciado, que va en contra de las ideas de los sindicatos y el propio Gobierno de Asturias, que además pone de manifiesto la contradicción dentro del propio PP entre el Gobierno Central y el Asturiano. Los sindicatos inmediatamente anunciaron movilizaciones. Por otro lado, el empresario leonés Victorino Alonso aprovechó para recordar su interés de compra de la compañía.

El PP de Asturias propuso medidas para salvar Hunosa. El Presidente del PP Asturiano propuso cuatro medidas al Ministro de Industria para evitar el cierre de Hunosa en el año 2002: "El Aumento de la productividad mediante la selección, concentración y mecanización del yacimiento; reforzar estos aumentos mediante mantenimiento y mejora del producto final; profesionalización de la gestión en todos sus niveles y áreas, y la apertura del diálogo social". La posibilidad de privatizar algunos pozos es una opción que se decía que tomaría el PP tras la campaña electoral, y ésta se fortaleció tras la oferta que hizo el empresario leonés Victorino Alonso. Sin embargo, la gestión privada de la empresa era un total fracaso hasta 1967 momento en que Hunosa pasó a ser una empresa estatal.

¿Un Geólogo presidente de Rumanía? Emil Constantinescu, geólogo y

profesor se ha presentado a las elecciones de Rumanía. Es difícil encontrar alguien de la clase política que crea en sus posibilidades, cuando incluso el propio Petre Roman, con el que mantiene una alianza política, duda de su capacidad. Pero de momento ya ha ganado las Legislativas.

El 70% de los vertederos españoles podrían pasar a ser ilegales. La importancia del control de los vertederos radica principalmente en la prevención de las filtraciones de fluidos contaminantes a través del suelo hacia los acuíferos subterráneos. La Comunidad Europea está trabajando en una directiva que tendrán que cumplir los vertederos en un plazo de 10 años, en el cual los municipios que posean esos vertederos deberán adaptar sus instalaciones y actualizarlas. La reforma principal consistirá en la impermeabilización del vaso natural o artificialmente, un sistema de compactación y cubrición periódica de la basura, balsa de lixiviados con sistemas de depuración, unidad de emergencia contra extracción de gases... Actualmente cientos de vertederos carecen de las medidas recomendadas por la Comunidad Europea, y sucesos como el de La Coruña podrían repetirse.

La actriz **Ursula Andress** ha abandonado su mansión de Ibiza al agrietarse ésta a causa de unos movimientos geológicos.

El Gobierno ha concedido una prórroga para la explotación de **El Cabril** como **almacén radiactivo**. El plazo de la prórroga se ha ampliado hasta el año 2001.

Los primeros titulados en Ciencias Ambientales por la Universidad Autónoma de Barcelona estrenan profesión. Georgina Vidal (22 años) ha sido la única licenciada en Junio. Ahora la cuestión es el reconocimiento dentro del mundo profesional de estos licenciados, y así realizar su lanzamiento hacia las empresas, que todavía no conocen los servicios que puedan prestarles los licenciados en Ciencias Ambientales. Además, la licenciatura está en lucha con otras titulaciones como

son las Ingenierías de la Politécnica, las cuales están sufriendo un proceso de *ambientalización*, u otra serie de profesionales dentro del marco medio ambiental como son biólogos, geólogos, químicos... También ha surgido el problema de querer aumentar la titulación a otras universidades de Cataluña, lo cual no ayudaría a la carrera.

Realizada una **manifestación de 3.000 personas** en contra del vertedero tóxico de Nerva (Huelva). Recorrieron 4,3 Km bajo la vigilancia de un discreto contingente policial, que no tuvo que intervenir. La plataforma que organiza las manifestaciones contó con el apoyo de ecologistas, sindicatos, O.N.G's y dirigentes de Izquierda Unida. La manifestación terminó transcurriendo a través de Nerva donde las protestas se dirigieron contra el alcalde, principal defensor del proyecto.

El **Real Decreto 1984/1996**, de 2 de Agosto de estructura orgánica básica del Ministerio de Medio Ambiente, en su artículo número 2 contempla que el Instituto Tecnológico Geominero de España queda ahora adscrito al Ministerio de Medio Ambiente a través de la Secretaría de Estado de Aguas y Costas.

Policía subterránea. A partir de ahora una unidad de la Guardia Civil se encargará de la vigilancia e inspección de las alcantarillas. Esta unidad está compuesta por dieciocho hombres, cuya misión principal se llevará a cabo en zonas concretas del alcantarillado de Madrid, como son los Ministerios, la zona del Palacio Real, el Banco de España, las sedes judiciales, el aeropuerto, las estaciones, los museos y los acuartelamientos. Las labores se basan en la localización de posibles bombas de terroristas, aunque según la Guardia Civil los *butroneros* son los que más han frecuentado las alcantarillas.

El pasado 10 de Octubre de 1996 tuvo lugar la presentación del libro **Recursos Minerales** cuyos autores son **D. Manuel Bustillo Revuelta**, Profesor titular de Yacimientos Sedimentarios en la Facultad de C.C. Geológicas

(UCM) y **D. Carlos López Jimeno**, Catedrático de Proyectos de Ingeniería (ETSIMM). El acto, que contó con la presentación por parte de D. Juan Manuel Cabal García -Subdirector de Desarrollo Minero (ENDESA)-, se celebró en el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos en su delegación en Madrid.

Se creó en Octubre la **nueva Comisión de Medio Ambiente del Congreso** con 41 diputados. La Comisión la preside José Ignacio Llorens del PP por Lérida. Su primer vicepresidente es Javier Paniagua del PSOE. Hasta su creación, era la Comisión de Infraestructuras y Medio Ambiente la que se encargaba de las propuestas parlamentarias en este área. La creación de la Comisión ha sido iniciativa del PSOE.

Importantes científicos españoles elaboran un manifiesto sobre la ciencia española. Cinco de los 16 catedráticos firmantes del manifiesto dijeron estar dolidos por el cambio realizado en el Ministerio de Educación y Ciencia, que ha pasado a ser el de Educación y Cultura. El documento que ya lleva la firma de los 16 promotores, se creó tras cuatro sesiones de debate a las que asistieron científicos como: el biólogo Antonio García Bellido, el matemático Miguel de Guzmán o el físico Federico García Moliner. También estuvieron presentes el Secretario de Estado de Universidades e Investigación, Fernando Tejerina, y Juan Rojo que ocupó el cargo con el Gobierno del PSOE. La iniciativa fue coordinada por Miguel Ángel Alario, catedrático de Química, y Antonio Fernández-Rañada, catedrático de Física. Fernández-Rañada destacó la necesidad de establecer un incremento de comunicación entre las empresas, científicos y universidades de modo que se cree una unión entre las tres para su desarrollo mutuo. El motivo del manifiesto es llamar la atención de la opinión pública y el Gobierno para que haya un cambio en la conciencia científica de la sociedad española.

Paralizado el plan LINDE para cauces y dominios de los ríos. Con el programa LINDE España estaría dotada con un mapa de los dominios de los

ríos; Por lo tanto, de lo que son los terrenos de los ciudadanos y también de lo que son las áreas peligrosas, y que no deben ser ocupadas. Si la Ley de Costas fue aplaudida por poner orden en el litoral español, el plan LINDE sería algo similar en el interior. En Agosto, tras la catástrofe de Biescas, Ramón Llamas -Catedrático de Hidrogeología de la UCM- pidió información urgente al Ministerio de Medio Ambiente sobre cuál es la situación del plan LINDE y que si la zona de Biescas había sido incluida en las zonas peligrosas, y no recibió respuesta. Según él la prevención de avenidas no consiste en colocar solamente muros de hormigón, sino que tiene que haber una buena gestión del territorio, cosa que no acaba de entenderse (el 95% del dominio público está sin delimitar). Según Juan Serna, del Fondo Patrimonio Natural Europeo, el plan LINDE es interesante pero no se lleva bien a cabo por falta de presupuesto y profesionalidad, además está congelado desde hace meses, cosa que el Ministerio explica diciendo que fue un plan que inició el PSOE y que el Gobierno tiene que analizar. Tras un análisis hecho en Primavera por Francisco Ayala, del ITGE dijo que las avenidas de mayor riesgo son las que amenazan a las construcciones realizadas en ramblas de la fachada mediterránea y Canarias. Se estima que exclusivamente en la Comunidad de Madrid hay 400 viviendas en el límite con el río Guadarrama, Jarama y Henares, que se encuentran bajo el nivel de los puentes, lo cual constituye una trampa mortal.

Ley de Aguas iraní que regula las actividades que contaminen las aguas subterráneas o superficiales. Al igual que la tala ilegal de árboles, serán penalizadas con la cárcel directamente.

Nueva Ley de residuos en Alemania. Esta Ley es un paso hacia la remodelación de los vertederos ante la falta de espacio y necesidad de la minimización de las basuras. Se cree que la Ley forzaría a las empresas que quieran vender en el mercado alemán a ofrecer productos reciclables. Las consecuencias sobre la vida cotidiana de los alemanes se espera que sea considerable.

Presente y futuro de los Servicios Geológicos

por Manuel Regueiro*

Los Servicios Geológicos Nacionales son la principal fuente de empleo en las Administraciones Públicas para los geólogos profesionales en todo el mundo. Como tales, su evolución y circunstancias deben ser observadas con detenimiento por la Federación Europea de Geólogos.

Como suele ser habitual, los norteamericanos comenzaron lo que ahora parece una fiebre reestructuradora pero, afortunadamente, el Servicio Geológico Americano (USGS), a pesar de una considerable pérdida de personal técnico que afectó a nuestros colegas americanos, sobrevivió a los políticos. Europa siguió la pauta y al Servicio Geológico Británico (BGS) lo pusieron entre la espada y la pared con una seria amenaza de supresión; finalmente tal posibilidad ha quedado como un fantasma pasajero.

Hoy, el Servicio Geológico Sueco, el sexto de Europa en cuanto a relación personal fijo/población (2,39 empleados por cada 100.000 habitantes) se enfrenta a una reducción de personal importante (50 %) y el Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE) parece que va a sufrir un cambio radical tras su traspaso al recién creado Ministerio de Medio Ambiente, que esperamos sea para bien.

En el otro lado del Atlántico también soplan vientos de cambio y el Servicio Geológico Nacional Argentino está paralizado a la espera de que los políticos decidan sobre su futuro, a pesar de que el Banco Mundial está dispuesto a financiar el plan de cartografía geológica más importante que se ha diseñado nunca para el país.

Estos vientos de «modernización» o reducción o muerte, que suelen proceder de los asesores económicos de los gobiernos que olvidan o que, aún peor, quizás no han sabido nunca el significado y el objetivo de un Servicio Geológico Nacional, le hacen a uno preguntarse si no debería haber un debate más amplio en la comunidad geocientífica sobre el papel y el futuro de los Servicios Geológicos Nacionales.

La necesidad de un Servicio Geológico de carácter nacional con campos de actuación y objetivos amplios y claros, tales como la investigación y desarrollo en Ciencias de la Tierra, la cartografía geológica, la evaluación, protección y recuperación de los recursos naturales, la evaluación y prevención de los riesgos naturales entre otras actividades, es, para la mayoría de los geólogos, en especial si trabajas en uno de ellos, algo evidente. Pero los gestores de los Servicios Geológicos precisan del necesario apoyo financiero para desarrollar tales actividades y la mayoría de los Gobiernos no están dispuestos a suministrar los fondos necesarios, ya que sus prioridades sólo coinciden con las de los Servicios Geológicos cuando se

producen ciertos desastres naturales (inundaciones, deslizamientos, terremotos, sequías, etc.). La planificación a largo plazo se hace en muchos casos imposible, lo que provoca situaciones de improvisación y la tentación de entrar en el mercado de la consultoría para recabar fondos o autojustificación. Esto último puede resultar, en ocasiones, competencia desleal, ya que el personal de los Servicios Geológicos está generalmente en la nómina del Estado. Salir a competir en el extranjero es otra posibilidad y estamos contemplando ahora mismo los resultados de la fiera competencia entre los diversos Servicios Geológicos europeos para conseguir contratos en todo el mundo, en especial los de la Unión Europea. La reciente aparición en este mercado competitivo de la Asociación de los Servicios Geológicos de la Unión Europea (EuroGeoSurveys) no parece haber servido para canalizar el debate sobre el papel de los Servicios Geológicos sino para añadir un pescador más (todos juntos) en la ribera de Europa.

Retornando a las razones por las que un país necesita un Servicio Geológico Nacional, creo firmemente que si en nuestro mundo desarrollado nadie cuestiona la necesidad de carreteras, aeropuertos y de las infraestructuras públicas en general, o un buen servicio nacional de salud, eléctrico o de suministro de agua, y está dispuesto a pagar por ellos a través de los impuestos, es porque todo el mundo se ha formado asumiendo el concepto de su necesidad y ha incorporado a su vida cotidiana esa necesidad.

Pero ¿cuántos votantes saben que su país tiene un Servicio Geológico y qué hace?

¿Por qué son los Servicios Geológicos cuestionados por los políticos?

Porque ni los votantes ni sus políticos los conocen.

¿Cómo ser incuestionable? Por la educación, por la difusión, por la cercanía y el contacto con la sociedad.

Abrir los Servicios Geológicos a la gente, poner anuncios, ir a las escuelas y universidades para mostrar lo que hacemos a los estudiantes y a sus profesores, editar más publicaciones generales sobre las Ciencias de la Tierra y distribuir las por todo el país; todas estas actividades ayudarán a convertir la ignorancia en interés y el interés en preocupación. Y así, finalmente, el país se preocupará por su Servicio Geológico, y este gozará de buena salud y estabilidad devolviendo a la sociedad los beneficios que reporta su buen hacer.



* Manuel Regueiro y González-Barros es Presidente de la Federación Europea de Geólogos.

Normas para los autores de artículos de «Tierra y Tecnología»

Tierra y Tecnología es la revista del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España, y tiene una distribución de unos 2.500 ejemplares, entre sus afiliados, universidades, instituciones científicas y empresas relacionadas con la profesión.

Tierra y Tecnología da la bienvenida a artículos inéditos para su publicación. Los trabajos que se reciban serán revisados por el Comité editorial que será quién decida si procede su publicación.

Originales. Los trabajos que se envíen para su publicación en *Tierra y Tecnología* podrán ser de dos tipos: largos y cortos. Los artículos largos tendrán una extensión máxima comprendida entre 3.000 y 4.000 palabras, lo que equivale a 14 -16 páginas, de tamaño DIN-A-4, mecanografiadas a doble espacio, en una sola cara, y con un tamaño de letra de 12 puntos. Además, deben incluir un breve resumen en español e inglés, junto con una nota del curriculum vitae del autor o autores del artículo (inferior a 70 palabras). La extensión de los trabajos ya impresos no debe superar las 8-10 páginas con figuras incluidas. Para este tipo de artículos se recomienda contactar previamente con el Comité Editorial de *Tierra y Tecnología*. Los artículos cortos tendrán una extensión en torno a las 5-6 páginas, con idénticas características a las anteriormente citadas. Como norma general, se recomienda a los autores este tipo de artículos como colaboración con T. y T. El idioma oficial es el español, aunque se admiten trabajos en otros idiomas, preferiblemente en inglés.

Figuras. Las figuras, ilustraciones, gráficos o fotografías, en blanco y negro o color, han de reunir la calidad suficiente como para que puedan ser impresas directamente o mediante reproducción fotográfica. Cualquier detalle que se quiera resaltar, texto dentro de las figuras, tramas, etc., tendrá un tamaño suficientemente grande como para que pueda ser legible después de sufrir una reducción (a una columna, tamaño aproximado 9 cm, o doble columna 18 cm.).

Referencias bibliográficas. Las referencias citadas en los trabajos se incluirán al final de los mismos, en orden alfabético y deben seguir un formato como el que se describe a continuación o similar.

PÉREZ, J. [1995]: La dinámica fluvial en el Valle de Arán (Huesca). *Tierra y Tecnología*, 10, 28-32.

MARTÍNEZ, P. Y PÉREZ, J. A. [1993] : Diferencias espaciales en la respuesta hidrológica... *Bol. Geol. Min.* (x), 1509-1512.

GARCÍA, J.; JIMÉNEZ, P. y RUIZ, A. [1996]: Analogías y diferencias entre en *Geología y cambio climático*, Pérez et al. ed. Aguilar, 37-52.

Los autores enviarán original y dos copias completas de sus trabajos, para facilitar la revisión por parte del Comité editorial, o las personas en quién éste delegue. Es conveniente que al menos el texto se envíe también en disquete, con un formato estandar (preferiblemente en Word), que pueda ser leído por cualquier procesador de textos del mercado.

Separatas. Se enviarán 20 separatas, de forma gratuita al autor, o si son varios, al primero de la lista de autores. Si se desea un mayor número de separatas, lo hará constar por escrito y abonar el precio de este excedente. Para evitar demoras en la devolución, no se enviarán pruebas de corrección de erratas. Dichas correcciones serán efectuadas por el Comité editorial o por correctores profesionales.

El Comité editorial introducirá las modificaciones que sean necesarias para mantener criterios de uniformidad y calidad que requiere la Revista, informando al autor o autores de las mismas.

I CERTAMEN NACIONAL DE FOTOGRAFÍA GEOLÓGICA

«EMILIO ELIZAGA»

ORGANIZADO POR T&T

MODALIDADES Y PREMIOS

PATRIMONIO GEOLOGICO

1^{er}. PREMIO: 100.000 PTS.

2^o. PREMIO: 50.000 PTS.

3^{er}. PREMIO: 25.000 PTS.

*Cantidades aportadas por el ICOG que podrán ser incrementadas por el aporte de otros patrocinadores.

Además se concederán seis accesit de las mejores fotografías en las siguientes modalidades:

-Recursos energéticos

-Medio Ambiente y Riesgos geológicos

-Hidrogeología

-Geotecnia

-Historia de la Geología

-Geología y sociedad

La revista «Tierra y Tecnología» publicará a lo largo del año 1997 las fotografías que estime oportunas. Con una selección de éstas se elaborará un «calendario fotográfico» para el año 1998. Las fotografías seleccionadas serán premiadas con un lote de material fotográfico. Asimismo durante el mes de diciembre se realizará una exposición de las fotografías más destacadas.

BASES

- 1.-Podrán participar en el presente certamen, tanto aficionados como profesionales de la fotografía y de las ciencias de la Tierra.
- 2.-El número de originales a presentar por participante es ilimitado.
- 3.-El formato de las obras podrá ser en B/N o color, en diapositivas o en papel (min. 20 x 24). Todas las obras en papel se enviarán montadas sobre cartulina rígida de 40 x 50 indicando al dorso el título y nombre del autor.
- 4.-Las fotografías se acompañarán de una ficha técnica en la que se indicará el nombre de la obra, lugar de realización, autor y técnica empleada.
- 5.-El plazo de presentación de originales comenzará desde la publicación de este anuncio hasta el día 1 de diciembre de 1997.
- 6.-Las fotografías se enviarán a «T & T» a la siguiente dirección:
I Certamen Nacional de Fotografía Geológica «Emilio Elizaga»
Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España
Av. Reina Victoria, 8, 4.º B
28003-Madrid
Incluyendo además los siguientes datos: Nombre, apellidos, DNI, dirección y teléfono.
- 7.-Las fotografías enviadas al certamen permanecerán a disposición de T & T durante todo el año 1997, pudiendo ser publicadas en el medio que considere oportuno, cediendo los autores todos los derechos de su publicación.
- 8.-Las fotografías premiadas quedarán en propiedad de T & T. Los autores de las fotografías declaradas finalistas así como las premiadas ceden todos los derechos de reproducción y comercialización a T & T.
- 9.-Las fotografías no premiadas se podrán recoger durante el mes siguiente al fallo del certamen que será en diciembre de 1997. Pasado dicho plazo quedan en propiedad de T & T.
- 10.-El Jurado estará compuesto por personalidades de reconocido prestigio en el mundo de la fotografía y de las Cc. de la Tierra.
- 11.-El fallo del Jurado tendrá lugar en el mes de diciembre de 1997 y los ganadores se darán a conocer durante la cena que el ICOG celebrará a final del año, donde se procederá a la entrega de los premios.
- 12.-El fallo del Jurado será inapelable.
- 13.-La participación en este concurso implica la total aceptación de estas bases.

