



Tierra y tecnología

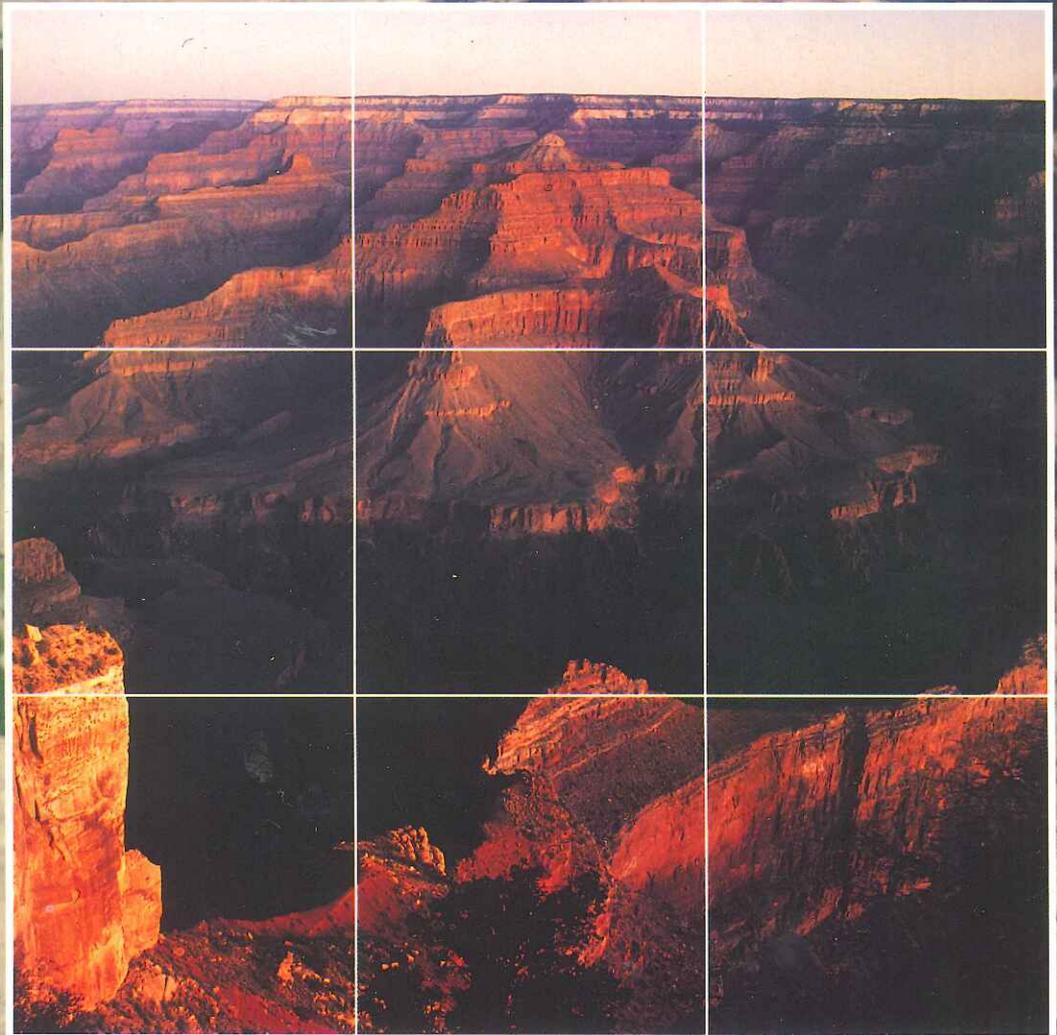
REVISTA DE ACTUALIDAD E INFORMACION GEOLOGICA

TERCER TRIMESTRE. 750 PTAS.

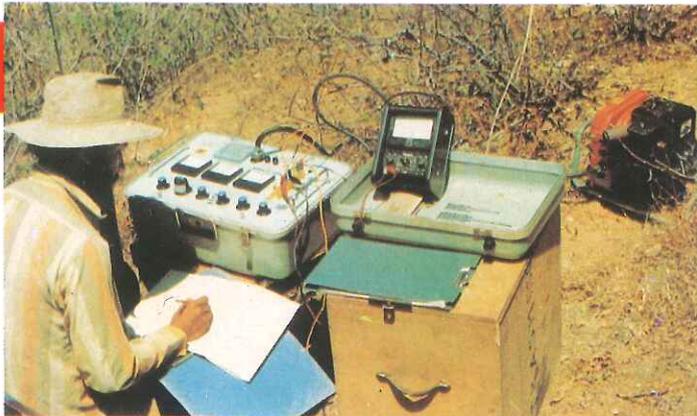
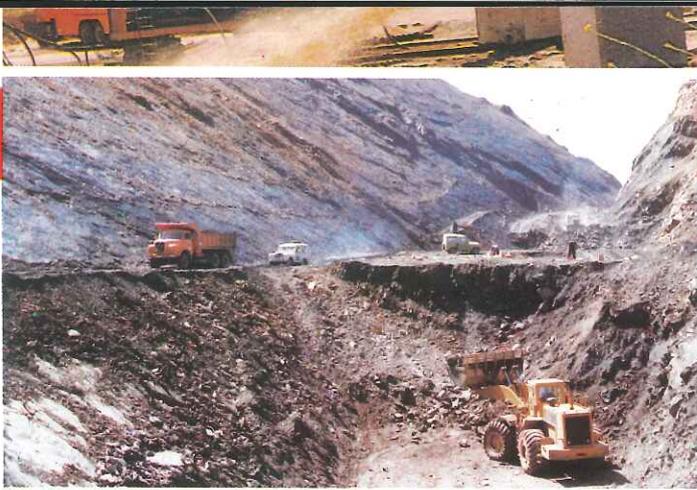
Valoración económica
y sectores de
aplicación de los
minerales y rocas
industriales

Orce: el milagro del
tiempo

Apuntes para una
visita al
Gran Cañón del
Colorado



NUMERO 7. 1994



e. n. adaro

e. n. adaro

e. n. adaro



*** GEOLOGIA BASICA, EXPLORACION, PROSPECCION ***
*** INVESTIGACION E INGENIERIA MINERA ***
*** HIDROGEOLOGIA * SONDEOS * GEOTECNIA * MEDIO AMBIENTE ***

SERVICIOS

Geología
 Geofísica
 Geoquímica
 Hidrogeología y Geotermia
 Teledetección
 Sondeos
 Geotécnica y Geomecánica

Geomatemática
 Cartografía Automática
 Investigación de Yacimientos
 Rocas y Minerales Industriales
 Estudios Económico-Mineros
 Ingeniería Minera
 Seguridad Minera

Procesos Mineralúrgicos
 Medio Ambiente Industrial y Minero
 Residuos Sólidos Urbanos e Industriales
 Laboratorios Químicos
 Laboratorios Mineralógicos
 Laboratorios de Medio Ambiente
 Laboratorios de Carbones

EMPRESA NACIONAL ADARO, S. A.

Polígono Los Olivos - Camino Alto de los Llanos - Carretera de Andalucía Km 12

Teléfono: 5029100 Fax: 5029142

28906 GETAFE - MADRID

ARIDOS

*Aridos naturales y de machaqueo
para la construcción (2.ª Edición)*

THE GEOLOGICAL SOCIETY

Publicación Especial n.º 9 sobre Ingeniería Geológica

editado por M. R. Smith & L. Collis

editado en versión española por

L. E. Suárez & M. Regueiro

Tenemos el gusto de presentarle, la versión española del manual de **ARIDOS**, subtítulo **áridos naturales y de machaqueo para la construcción**. Este libro de más de 400 páginas y de más de 200 figuras, ha sido galardonado con el Trofeo Brewis de la Sand and Gravel Association (SAGA), siendo comentado por la prestigiosa **Canadian Geotechnical Journal** de esta manera: **"Si su trabajo tiene que ver con el uso de los áridos, compre este libro y no lea más"**.

Además de estos reconocimientos, las razones que nos ha llevado al ICOG a adquirir los derechos de la versión española a la Geological Society fueron:

1.-Sin miedo a equivocarnos, podemos afirmar que es el **más avanzado manual de áridos** editado en lengua inglesa, totalmente actualizado, ya que esta segunda edición fue publicada en 1993.

2.-Puesto que en España y demás países de la Unión Europea, la normativa de áridos está siendo adaptada a las directrices del Comité Europeo de Normalización CEN/TC 154 "Aggregates", este libro **nos informará sobre la normativa de áridos europea en el horizonte del año 2000**, dado que el Reino Unido es el país más avanzado en el conocimiento técnico de los áridos, estando un importante número de presidencias de los subcomités y la secretaría del CEN/TC 154, gestionadas para la British Standard Institution.

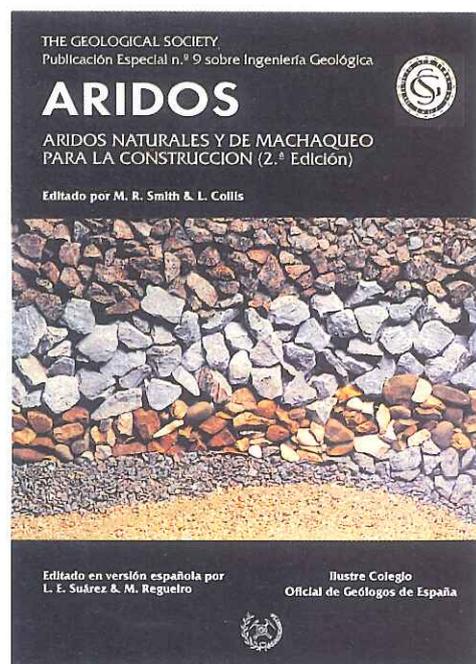
3.-Además de la versión española, los capítulos normativos están completados por addendas realizadas por el panel de Presidentes del Comité Técnico de Normalización AEN/CTN 146 "Aridos", en las que analizan la normativa española en el proceso de normalización europea.

En definitiva, este libro no es una foto fija acerca de los áridos de España. Si quiere conocer todo acerca de la normativa de los áridos en España, pero **necesita saber cuál será el estado del arte de los áridos en España en el horizonte del año 2000**, a causa del proceso de armonización normativa europea, adquiera este libro : será una referencia esencial y valiosa que Vd. podrá utilizar durante muchos años.

Si es de su interés adquirir ese manual de ARIDOS, envíanos la tarjeta de encargo adjunta, bien por Fax (91) 5330343, correo o telefónicamente (91) 5532403 y se lo remitiremos con celeridad.

Como miembro del Colegio, puedes comprar este libro a un precio de sólo 5.500 ptas. más gastos de envío, con un considerable ahorro sobre el precio oficial. ¿Necesitan en tu empresa más de un ejemplar?

410 páginas. Noviembre 1994. PRECIO: 6.900 pts. Precio para colegiados: 5.500 ptas.



TARJETA DE PETICION

Les ruego me envíen al precio de 6.900 ptas.

+ 600 ptas para gastos de envío por ejemplar: 5.500 ptas.

TOTAL

CIF o DNI: N.º COLEGIADO

NOMBRE:

EMPRESA:

CALLE:

POBLACION:

CP: TFNO.:

FECHA: Firma:

FORMAS DE PAGO

A nombre del Colegio Oficial de Geólogos de España

Adjunto cheque por ptas.

Transferencia Bancaria a la C/C n.º 0601372378 BANCO POPULAR (Ag 0075). Glorieta de Cuatro Caminos, n.º 4. 28003 MADRID. (Adjuntar fotocopia)

Se ruego remitan sus pedidos a: ICOG, Avda. Reina Victoria, n.º 8, 4.º B.

THE GEOLOGICAL SOCIETY

Publicación Especial n.º 9 sobre Ingeniería Geológica



ARIDOS

ARIDOS NATURALES Y DE MACHAQUEO
PARA LA CONSTRUCCION (2.ª Edición)

Editado por M. R. Smith & L. Collis

ARIDOS: naturales y de machaqueo
para la construcción (2.ª Edición)

THE GEOLOGICAL SOCIETY

Publicación Especial n.º 9 sobre Ingeniería Geológica

editado por M. R. Smith & L. Collis

En 1985, The Geological Society publicó **AGGREGATES** (Aridos) como primer volumen de la serie especial sobre Ingeniería Geológica. Fue inmediatamente reconocido otorgándole la *Sand and Gravel Association* (SAGA) en 1986 el *Trofeo Brewis*, obteniendo críticas favorables de la prensa de ingeniería geológica. El *Canadian Geotechnical Journal* hizo el siguiente comentario en 1988:

«Este libro es en general una guía útil, bien documentada e informativa para la localización, muestreo y ensayo de áridos. Si su trabajo tiene que ver con el uso de los áridos, utilizará durante muchos años».

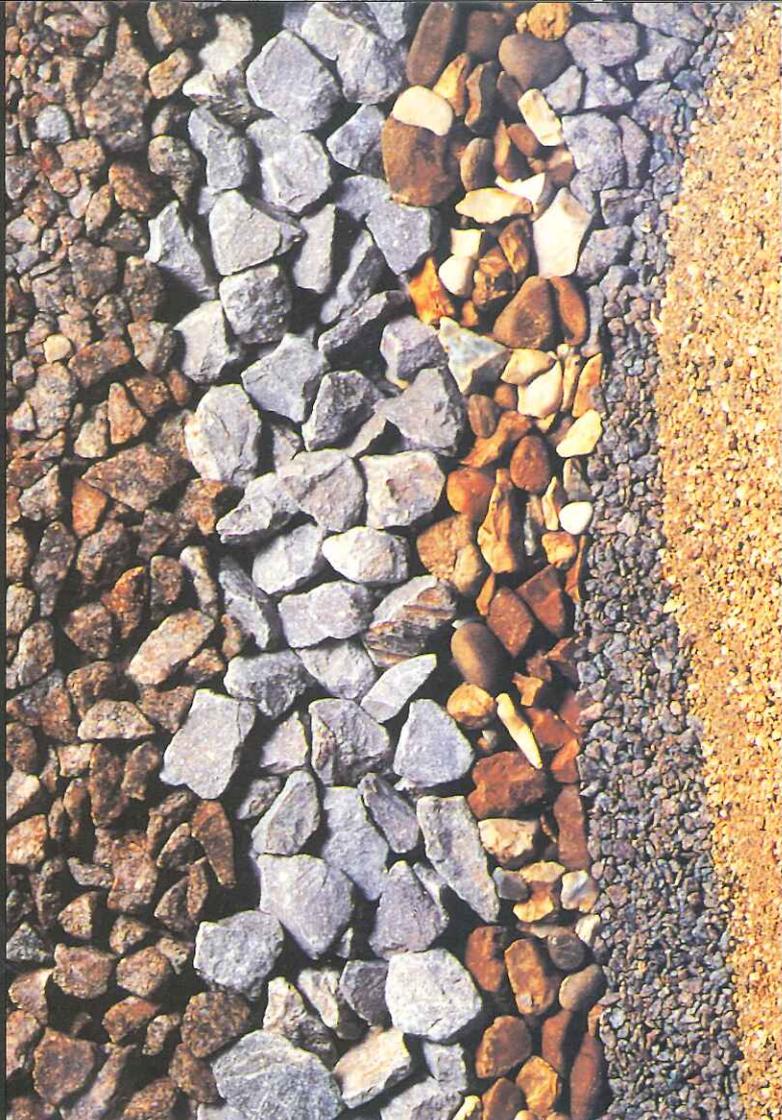
En 1989, el Grupo de Trabajo, que había elaborado la primera edición de *Aggregates* (Aridos) volvió a reunirse para revisar, poner al día y ampliar aquel informe. Esta segunda edición representa la esencia de un enorme caudal de conocimiento y experiencia, no sólo de los miembros del grupo de trabajo, sino también de muchos expertos internacionales, científicos e ingenieros, que contribuyeron como supervisores, correctores y autores correspondientes.

La favorable acogida de esta edición entre cualificados técnicos españoles, así como la perentoria necesidad de disponer de un manual avanzado de áridos, que marcara un horizonte de desarrollo normativa y de mejora de calidad al sector de los áridos españoles, ha impulsado al Colegio Oficial de Geólogos de España a firmar con The Geological Society un convenio de edición para la publicación de la versión española de *Aggregates*.

A pesar de que los conocimientos técnicos y normativos de esta edición, posiblemente marcará el salto cualitativo que el proceso de armonización del **Comité Europeo de Normalización** (C.E.N.) producirá en las futuras normas UNE de áridos, los editores de la versión española han considerado útil, agregar en los capítulos normativos una addenda relativa a la normativa española, realizadas por los miembros de Comité Técnico de Normalización AEN/CIN 146 «ARIDOS». Por otra parte dado el carácter fuertemente administrativo de la legislación minera en España, se ha agregado un capítulo sobre la legislación minera de áridos en España.

Miembros del Comité Técnico de Normalización 146 «Aridos»: Presidentes: D. Juan Carlos Mampaso, Secretario: D. Rafael Fernández Aller, Presidentes de Subcomités: SC-1, Áridos para morteros: D. Demetrio Gaspar, SC-2, Áridos para hormigones: D. Eduardo Herrero, SC-3, Áridos para carreteras: D. Diego Morillo, SC-4, Balasto y otras aplicaciones: D. Luis Suárez, SC-5, Áridos ligeros y especiales: D. Mariano Echevarría y SC-6, Métodos de Ensayo: D. Benjamín Calvo.

CONTENIDO: Introducción, Yacimientos, Investigaciones de campo, Extracción, Tratamiento, Clasificación, Ensayos, Áridos para hormigones, Áridos para morteros, Áridos sin ligantes, Áridos con ligantes bituminosos, Balasto ferroviario, Filtros, Legislación minera, reglamentación y normalización de áridos en España y la Unión Europea, Apéndice: Propiedades de los áridos.



Editado en versión española por
L. Suárez & M. Regueiro

Colegio Oficial
de Geólogos de España



Editado en versión española

Publicado por el Colegio

Oficial de Geólogos de España

L. Suárez & M. Regueiro

Av. de la Reina Victoria, n.º 8-4.º-B

28003 Madrid

EDITA

Ilustre Colegio Oficial de Geólogos

ADMINISTRACION Y REDACCION

Avda. de Reina Victoria, 8-4.º B
28003 MADRID
Teléfono 91-5532403

DIRECTOR

Manuel Rolandi Sánchez-Solís

SUBDIRECTOR

José Casas Ruiz

MARKETING

Enrique Pampliega Higuera

PUBLICIDAD

Xavier Martí Artoy
Fátima Camacho Serna

COORDINACION DE EDICION

José Casas Ruiz

COMITE EDITORIAL

José Casas Ruiz,
Juan José Durán Valsero,
Michael van der Meer,
Manuel Regueiro y González-Barros
Jesús Rey de la Rosa,
Jesús Rodríguez Jurado,
Manuel Rolandi Sánchez-Solís
Peter F. Wouters

COLABORADORES

J. Casas Ruiz
A. J. Rodríguez Láiz
K. Bradley
R. Meléndez Tercero
A. Arribas Herrera
O. Blasco Herguedas
A. Piñero Coronel
J. Escuer Solé
A. Jiménez Juan
C. J. Stanley
C. Martín Escorza
L. E. Suárez Ordóñez
J. G. Sánchez Cabañero

FOTOCOMPOSICION E IMPRESION

Gráficas Summa, S. A.

EN PORTADA

Amanecer en el Gran Cañón
Autor: Oscar Blasco Herguedas

ISSN: 1131-5016

Depósito legal: M. 10.137-1992

Editorial	5
-----------------	---

recursos mineros

«Criterios de valoración económica de minerales y rocas industriales y sectores de aplicación (Parte 1.ª)». José Casas Ruiz.....	7
«Situación actual del sector de la piedra natural y tendencias de futuro». Antonio J. Rodríguez Láiz	15
«Extracción de yeso en el Reino Unido». Keith Bradley	19

paleontología

«La deriva continental: en busca de argumentos paleobotánicos». Rogelio Meléndez Tercero	23
«Orce: el milagro del tiempo». Alfonso Arribas Herrera	31

itinerarios geológicos

«Apuntes para una visita al Gran Cañón del Colorado». Oscar Blasco Herguedas.....	41
---	----

filatelia

«Sellos y aniversarios». Antonio Piñero Coronel	48
---	----

riesgos geológicos

«Utilización de los perfiles de sísmica de reflexión profundos en la evaluación de la peligrosidad sísmica, un caso concreto ECORS-Pirineos». Joan Escuer Solé	50
--	----

ingeniería geológica

«Nuevos aspectos normativos sobre criterios sísmicos y geológicos en el emplazamiento de centrales nucleares». José G. Sánchez Cabañero y Antonio Jiménez Juan	56
--	----

mineralogía

«Investigación de minerales metalíferos en el Museo de Historia Natural». Chris J. Stanley	63
--	----

historia de la Geología

«El geólogo José Macpherson». Carlos Martín Escorza	66
---	----

legislación geológica

«Los deslindes jurídicos de las secciones en la Ley de Minas». Luis E. Suárez Ordóñez	71
---	----

Los trabajos publicados expresan sólo la opinión de los autores y la Revista no se hace responsable de su contenido.

NORMAS EDITORIALES PARA «TIERRA Y TECNOLOGÍA»

– La **temática de los artículos** deberá estar relacionada, en cuanto a contenido, con las Ciencias y Tecnologías de la Tierra, en el sentido amplio de la palabra; considerando incluibles campos como las Ciencias Medioambientales, la Ordenación del Territorio, la Informática aplicada, la Teledetección, etc. Así mismo, serían aceptables todas aquellas contribuciones de temática no específicamente geológica, pero que incorporen elementos propios de la Geología o cuyo desarrollo pueda aportar conocimientos de interés para ésta, tales como la Arqueología, la Ecología, la conservación del medio ambiente y del patrimonio natural, histórico y artístico, la Ingeniería Civil, etc. Igualmente, sería posible la incorporación de artículos de carácter histórico, geográfico, humanístico, etc., de aplicación no eminentemente práctica, pero que puedan suscitar interés entre el colectivo de geólogos y otros profesionales con los que mantenemos estrechas relaciones.

– La **extensión** no era superior, siempre que sea posible, a 8 hojas DIN A-4 mecanografiados a doble espacio por una sola cara (equivalente a unas 3.500 palabras) y enumeradas correlativamente. Debe incluirse un breve curriculum del autor o autores, indicando además: nombre y dos apellidos, titulación, empresa u organismo que representa (cuando no se haga a título particular) y cargo desempeñado.

– Se incluirá, con el artículo, un breve **resumen** del contenido del mismo en un máximo de 10 líneas en castellano e inglés, si es posible.

– Se seleccionarán unos **4 párrafos entresacados** del texto, que resaltarán los aspectos más significativos del artículo adjuntándolos en una hoja aparte y numerados por orden.

– Las **figuras** ilustrativas del contenido del artículo (fotografías, gráficos, esquemas, mapas, etc.) se entregarán preferiblemente en forma de diapositiva o como copia de papel lo más nítido posible, evitando una coloración en base a lápices de colores. Las ilustraciones irán numeradas por orden y con su correspondiente texto explicativo. Igualmente en el texto de éste se indicará la figura o gráfico que corresponda.

– El artículo deberá ser **inédito**, es decir, no haber sido publicado en España o en extranjero, excepto en aquellos casos que así se acuerde.

– Es conveniente que se facilite un índice previo del artículo a elaborar, con el fin de conocer el contenido y así poder evaluar el interés del mismo para su publicación. El trabajo definitivo deberá contar con la **aprobación del Comité Editorial** de la Revista, trámite imprescindible para su publicación.

– Los artículos se entregarán en **copia de papel** y, siempre que sea posible, en **diskette**.

GEÓLOGO

Anúnciate en el Boletín del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, sección agenda de profesionales, desde 5.000 ptas.

Para más información: **El Geólogo**
Secretaría del ICOG
Teléf. 553-24-03

EDITORIAL

Siguiendo con la costumbre ya iniciada en números anteriores, sobre la elaboración de números multitemáticos, en los que se abordan diferentes aspectos de la actualidad geológica, se ha confeccionado el presente número, séptimo de nuestra revista TIERRA Y TECNOLOGIA.

En esta ocasión, se exponen distintos artículos, entre los que cabría destacar un primer grupo dedicado a los recursos mineros, en un momento en el que, como ya se expuso en el número monográfico dedicado a la minería española (n.º 3 de TIERRA Y TECNOLOGIA), asistimos a una grave crisis en el sector.

Los tres artículos mencionados nos muestran la cara más favorable y con mayor perspectiva del futuro del sector minero, como es el campo de los minerales y rocas industriales, tan ligados al desarrollo económico y tecnológico del país.

En un segundo grupo se abordan temas relacionados con el siempre apasionante mundo de la paleontología (al que próximamente dedicaremos un número monográfico), desde los primeros asentamientos del hombre primigenio en la península hasta algunas de sus aplicaciones en investigaciones de deriva continental.

A continuación, y tras un espectacular itinerario geológico por el Gran Cañón del Colorado, se presentan otros temas referentes a nuevos campos de aplicación de la geología, como los riesgos y la ingeniería geológica, en los que cada vez trabajan un mayor número de geólogos.

Por último, el número finaliza con las investigaciones mineralógicas que se llevan a cabo en la actualidad en el Museo de Ciencias naturales de Londres, y con una biografía de un ilustre Geólogo Español del siglo XIX, José Mac Pherson, con la que pretendemos iniciar una nueva sección temática, dedicada a la historia de la geología y de sus personajes más relevantes.



José Casas Ruiz
(Vocal Junta de Gobierno del ICOG)

Colegiado n.º 279. 43 años. 14.ª Prom. Granada, 1974. Ha trabajado en Investigación de Recursos Mineros en CHEVRON EXP. CORP. En la actualidad es Jefe de Geología de la Empresa TOLSA, S. A. Durante varios años ha sido asiduo colaborador de la revista y posterior Boletín Informativo *El Geólogo*, siendo en la actualidad Subdirector de la Revista *Tierra y Tecnología*.

NOTA DE PRENSA

Constitución del Club del Agua Subterránea

Recientemente ha quedado constituido el Club del Agua Subterránea (CDAS), cuyos objetivos fundamentales son la cooperación en la gestión adecuada de este recurso natural, de gran valor económico y ambiental, y la preservación de agresiones externas que degraden su calidad.

El CDAS integra a profesionales de la hidrogeología, de distintas titulaciones relacionadas con las aguas subterráneas, que desarrollan su actividad en universidades, administraciones y empresas, y pretende asesorar y orientar a las administraciones, asociaciones no gubernamentales y opinión pública, en general, en todos los aspectos que ayuden a un aprovechamiento racional y sostenible de estas aguas, y a la protección de su entorno ambiental.

Entre sus actividades se encuentra el lanzamiento de un *Manifiesto por la Hidrogeología*, dirigido a las máximas autoridades con responsabilidad en la gestión del agua, que incluye una serie de propuestas concretas relativas a:

- Desarrollo de programas destinados al mejor conocimiento del recurso, a su uso racional y sostenible, a su protección y a su aprovechamiento coordinado con las aguas superficiales.
- Resolución de problemas de sobreexplotación y degradación de acuíferos.
- Creación de perímetros de protección de captaciones.
- Implantación de redes de control de cantidad y calidad.
- Incorporación de especialistas en aguas subterráneas a las administraciones públicas.
- Formación docente y permanente de los especialistas.
- Coordinación e impulso de las actividades de I + D en aguas subterráneas.
- Participación constructiva e independiente en los órganos consultivos que guarden relación con las aguas subterráneas.
- Participación en actividades internacionales en las que se elaboren directivas, acuerdos o recomendaciones relacionados con las aguas subterráneas.

El CDAS se plantea colaborar constructivamente, desde una responsabilidad ciudadana y profesional, con independencia de actitudes políticas o ideológicas particulares, y rechaza cualquier instrumentalización profesional o la presentación de una imagen distorsionada de las aguas subterráneas y del colectivo de hidrogeólogos frente a la sociedad.

El CDAS, cuya sede social ha quedado establecida en la Fundación Gómez Pardo (Alenza 1, 28003 Madrid), invita a los profesionales que se identifiquen con sus planteamientos, a su adhesión.

AB Asesores

10 años a su servicio

El Ilustre Colegio Oficial de Geólogos ha negociado con AB Asesores para sus ilustres miembros unas excepcionales condiciones para acceder a los servicios de la primera gestora independiente dentro del mercado de capitales español.

AB Asesores esta presente en el mercado de capitales desde hace 10 años.

AB Asesores gestiona 10 Fondos de Inversión.

El patrimonio gestionado por AB Asesores es superior a 170.000 MM de pesetas.

AB Asesores es especialista en mercados nacionales y extranjeros de Renta Fija y Renta Variable.

AB Asesores persiguiendo la obtención de la máxima rentabilidad financiero/fiscal aconseja diversificar las inversiones del patrimonio en Fondos de Inversión siguiendo un esquema piramidal que debe personalizarse en cada caso en función del perfil de riesgo que cada inversor esta dispuesto a asumir.

Llamenos al 900.200.106 y elaboraremos sin coste alguno para Usted la Piramide de la inversión personalizada.



Si desea recibir información trimestral de los mercados financieros envíenos el cupon adjunto a AB Asesores, Alfonso XI, 12, 28014 Madrid.

Deseo recibir el informe trimestral de AB Asesores y su publicación "¿Por que se invierte en Fondos de Inversión?".

Nombre.....

Dirección.....

Población..... Código Postal.....

Teléfono.....

CRITERIOS DE VALORACION ECONOMICA DE MINERALES Y ROCAS INDUSTRIALES Y SECTORES DE APLICACION (PARTE 1.^a)



José Casas Ruiz
(Vocal Junta de Gobierno del ICOG)

Colegiado n.º 279. 43 años. 14^a Prom. Granada, 1974. Ha trabajado en Investigación de Recursos Mineros en CHEVRON EXP. CORP. En la actualidad es Jefe de Geología de la Empresa TOLSA, S. A. Durante varios años ha sido asiduo colaborador de la revista y posterior Boletín Informativo *El Geólogo*, siendo en la actualidad Subdirector de la Revista *Tierra y Tecnología*.

En el presente artículo se exponen algunos criterios de valoración económica de yacimientos de minerales y rocas industriales y se analizan los principales sectores de aplicación.

At the present paper some criteria of economic evaluation of industrial mineral, and rock deposits are exposed and the main sectors of application are annalized.

1.-Introducción

En este artículo, primera parte de un total de dos, se analizan los principales sectores industriales que utilizan una amplia gama de minerales y rocas, como materia prima en sus procesos de fabricación, así como los criterios que utiliza la industria para su elección. Con esto se pretende ilustrar a cerca de las características que deben reunir los minerales y rocas industriales, en función del sector de aplicación correspondiente, lo que va a influir decisivamente en el valor económico de los mismos y por consiguiente, habrá que tener muy en cuenta a la hora de la evaluación de los yacimientos.

2.-Criterios para la valoración económica de yacimientos de minerales y rocas industriales

Es bastante complicado el definir concretamente qué son los minerales y rocas industriales, puesto que la mayor parte de los minerales y rocas son de hecho utilizados en actividades industriales. Convencionalmente, el término de minerales y rocas industriales se aplica a aquellas sustancias minerales de valor económico que no son empleadas para la obtención de metales o energía.

Hay minerales donde tanto el mineral mismo (p.e. Asbestos, Barita) como los óxidos o algunos componentes derivados de él, tienen una aplicación industrial.

Los límites de este grupo son difíciles de establecer, ya que casi la totalidad de los minerales industriales contienen elementos metálicos y algunos de ellos se utilizan tanto para la obtención de metales como para usos industriales. Así por ejemplo, la bauxita es la materia prima para la obtención del Aluminio, pero al mismo tiempo tiene varios e importantes usos en la industria química y de refractarios.

Este amplio campo de minerales y rocas cubren una gran variedad de productos, desde aquellos más comunes de bajo valor por tonelada y utilizados en grandes cantidades, hasta aquellos de alto valor y generalmente utilizados en pequeñas cantidades.

Es un sector en clara y rápida expansión, ya que continuamente se van encontrando nuevas aplicaciones para sustancias ya conocidas y para otras hasta el momento no utilizadas.

Estas materias primas son utilizadas en la industria en forma natural o modificadas mediante procesos que mejoran o acentúan alguna de las propiedades intrínsecas de las mismas.

En primer lugar hay que apuntar el hecho de la gran heterogeneidad de este grupo y que efectivamente, se presentan en yacimientos de una variada tipología y origen, distribuidos a lo largo de los diferentes períodos de la historia geológica. Sin embargo, a la hora de la evaluación sí que aparecen factores claramente diferenciables y en concreto en la valoración económica del mismo, directamente relacionada con las aplicaciones industriales del mineral o roca en cuestión.

Una vez conocida la morfología y dimensiones de un yacimiento determinado, para su valoración económica

hay que conocer el valor real del material en cuestión. Los minerales y rocas industriales son apreciados por alguna propiedad física o química característica de ellos y se rigen por precios propios que hacen referencia a su cualidad y calidad. En cambio, las materias primas dedicadas a la obtención de metales suelen valorarse por fórmulas en las que intervienen explícitamente el precio y la ley del metal contenido.

La ley de un depósito de minerales industriales no es siempre tan crítica como en el caso de los yacimientos de metales. Los criterios para su valoración incluyen sus propiedades químicas y físicas, y además muchos de ellos son explotados y usados en «masa» («todo uno»). Esto significa que la homogeneidad del depósito es importante; partes con diferentes propiedades necesitarán ser separadas o mezcladas convenientemente para la obtención de un producto uniforme.

Generalmente, a partir de un yacimiento dado se pueden fabricar un número de productos con diferentes propiedades, por tanto se requerirá llegar a varios mercados para alcanzar la mayor rentabilidad económica. A su vez cada uno de estos productos tienen varias utilidades finales y para cada una de ellas se requieren distintas propiedades, sirva como ejemplo el Caolín, que se utiliza en agricultura, pintura, plásticos, papel, cerámica, refractarios, aislantes, catálisis, caucho, fibra de vidrio, etc.

Cada materia prima ofrece un abanico de propiedades que le hace más o menos apta para llevar a cabo ciertas funciones (estructura, aspecto, conductividad, viscosidad, etc.). Por el contrario, para un producto industrial dado, una vez conocidas las funciones que deben cumplir los materiales que lo constituyen, el fabricante puede elegir el que mejor se adapte. Aquí aparece un factor muy influyente en el mercado: la competitividad de las diferentes materias primas.

Para poder valorar bien determinada materia prima hay que conocer los criterios que utiliza la industria para su elección:

A) Características intrínsecas de la materia prima:

- Composición Química y Mineralógica.
- Propiedades Físico-Químicas.

- Reactividad.
- Potencial Oxidación-Reducción.
- Acidez y basicidad.
- Cristalinidad.
- Capacidad de cambio.
- Tamaño y forma de partícula.
- Densidad.
- Propiedades ópticas (color, índice de refracción, brillo, luminiscencia).
- Propiedades reológicas (viscosidad, dispersabilidad).
- Propiedades magnéticas.
- Propiedades mecánicas (resistencia).
- Propiedades termodinámicas.
- Propiedades eléctricas.
- Dureza.
- Propiedades que dependen de la superficie (absorción, superficie específica, porosidad).

B) Criterios industriales:

- Integración de la materia prima en la cadena de producción.
- Cultura técnica de la empresa.

C) Precio:

Las fluctuaciones de precios y la disponibilidad de una materia prima determinada entran igualmente en el rango de parámetros económicos.

D) Criterios socioeconómicos:

- Seguridad de la utilización.
- Impacto sobre el entorno.
- Posibilidades de reciclaje.
- Hábitos de consumo.
- Factores psicológicos. (Por ejemplo el plástico conserva una imagen negativa).

A grandes rasgos, las materias primas utilizadas en la industria se pueden agrupar en dos grandes apartados:

- *Materiales estructurales.* Constituyen el «cuerpo» o estructura de todo producto. Es el mercado más importante tanto en cantidad de materia como en cifra de negocio. Dentro de este grupo estarían las arcillas utilizadas en la fabricación de ladrillos, por ejemplo.
- *Materiales funcionales.* Proporcionan al producto una determi-

nada propiedad. Son mercados menos voluminosos. (Por ejemplo: cargas, pigmentos, etc.).

A menudo se le pide a un material determinado, además de sus propiedades estructurales, una o varias funciones particulares. Igualmente, los productos buscan mejorar las propiedades mecánicas de los materiales funcionales para intentar ocupar un lugar dentro del mercado de los materiales estructurales.

Existe un proceso de mercado hacia minerales cada vez más especializados, lo que deriva en un contexto global de disminución cuantitativa de las necesidades y una competencia cada vez más acrecentada entre los mismos.

3.- Sectores industriales de aplicación de los minerales y rocas industriales

A continuación se analizan brevemente los distintos sectores industriales que utilizan masivamente una amplia gama de materias primas minerales. Estos análisis nos ilustran acerca de cuáles son las propiedades que deben reunir para una aplicación determinada.

También nos ponen de manifiesto que el valor de los minerales y rocas industriales están íntimamente ligados a la evolución económica del sector concreto de aplicación y en definitiva al crecimiento económico de un país, medido por el desarrollo tecnológico y de competitividad de su industria.

3.1.-Cargas y pigmentos

El número de materias primas que se utilizan en este sector es muy elevado:

- Asbestos.
- Attapulgita.
- Barita.
- Bentonita.
- Carbonato cálcico.
- Diatomita.
- Dolomita.
- Feldespatos.
- Yeso.
- Caolín.
- Mica.
- Perlita.
- Pumita.
- Pirofilita.
- Sepiolita.

- Sílice.
- Talco.
- Vermiculita.
- Wollastonita.
- Zeolitas.

En general, para su utilización como cargas, las características que se tienen en cuenta son:

* Distribución y tamaño de partícula.

* Forma de las partículas. (Las formas laminares dan tenacidad y dureza).

* Color. Un alto índice de blancura es esencial.

* Índice de refracción. Es de utilidad, por ejemplo, en pinturas.

* Dureza. Es importante por los efectos de abrasión que puedan producir durante el proceso en el que se utilice.

* Absorción.

* Actividad química. Por ejemplo, el caolín es químicamente inerte y puede ser utilizado en cualquier proceso, y sin embargo, el carbonato cálcico sólo podría utilizarse en procesos básicos.

El campo de aplicaciones es muy variado. Sólo analizaremos algunos de los sectores más importantes.

3.1.1.-Industria del papel

Como se puede observar en la Fig. 1, el consumo de minerales en la industria europea del papel puede alcanzar la cifra de 8 M.Tm. en 1994. Se exponen también los diferentes tipos de papel y las cantidades de minerales que se usan en su fabricación. Más del 90 % de los minerales se utilizan en papel de escritura e impresión y el resto es usado para papel prensa y cartones de alta calidad. En algunos tipos de papel de alta calidad, los minerales llegan a alcanzar el 45 % del peso total.

Los minerales son añadidos como cargas al inicio del proceso de fabricación y al final como «coating» (satinado).

Las principales materias primas usadas son el Caolín y el Carbonato cálcico. También se utiliza el Talco, Yeso, Arcillas calcinadas, etc.

Caolín

Está compuesto fundamentalmente de Caolinita, y cantidades mayores o menores de otros minerales caoliníferos como Halloysita, Nacrita y Dicki-

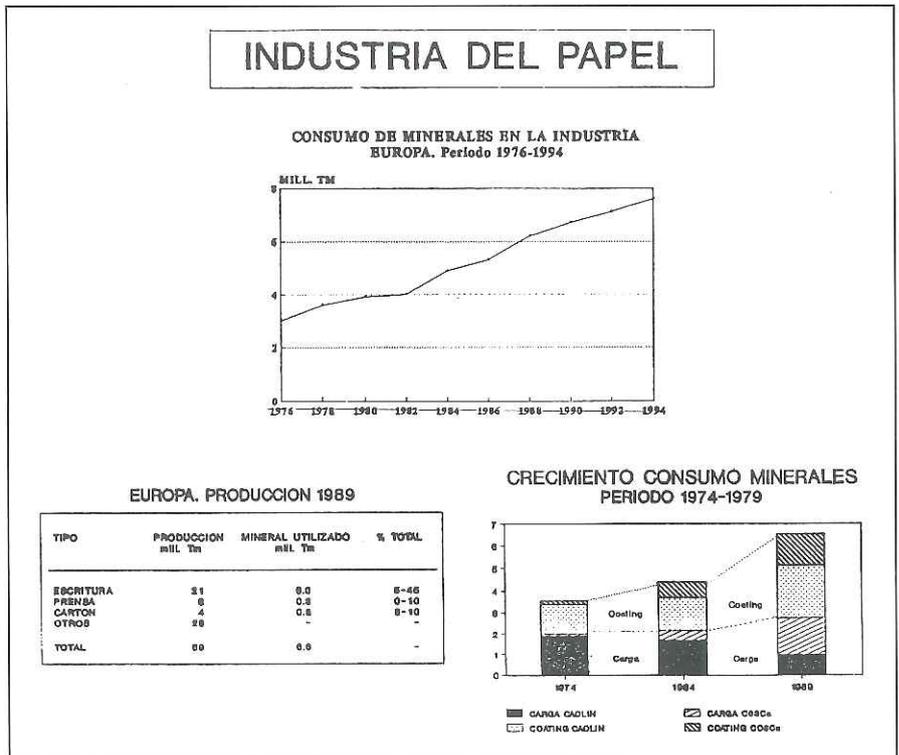


Fig. 1

ta. El Caolín varía, en muchos aspectos, de un yacimiento a otro, por ejemplo el grado de cristalinidad, el cual tiene influencia en el brillo, blancura, viscosidad, opacidad... etc.

Las propiedades del Caolín utilizado como carga y «coating», son las siguientes:

• *Grado carga:* Caolinita >90 %; bajo contenido en Fe₂O₃ y TiO₂ (<1 %); bajo contenido en cuarzo (1-2 %); índice de blancura superior al 80 %.

• *Grado «coating»:* Caolinita, 95-100 %; bajo contenido en Fe₂O₃ (0,5 %) y TiO₂ (0,4 %). ; índice de blancura superior a 85 %. Las propiedades reológicas son particularmente críticas, por ejemplo, la capacidad de ser dispersado en agua para producir con bajas viscosidades y un alto contenido en sólidos.

La distribución de tamaño de partículas para cada una de las calidades se puede observar en la Fig. 2.

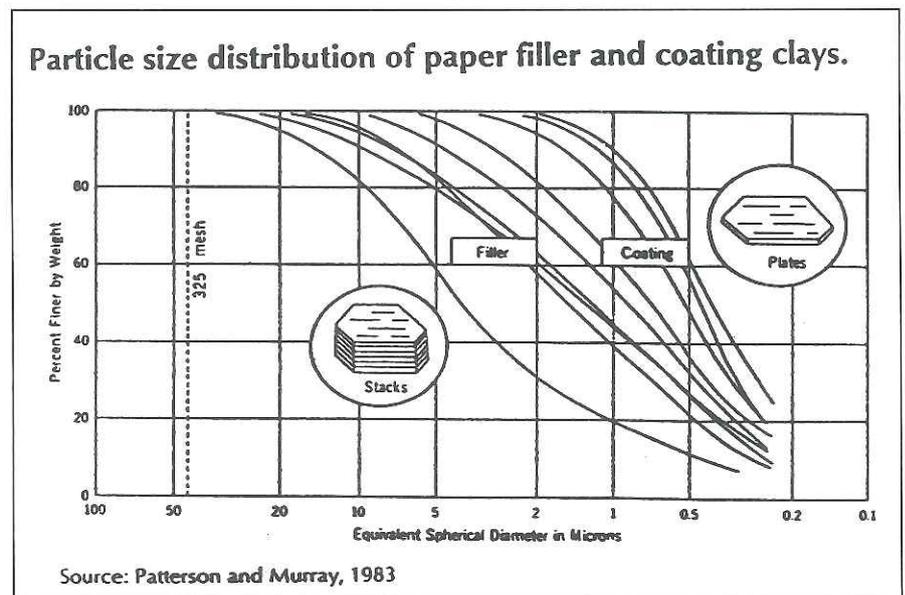


Fig. 2

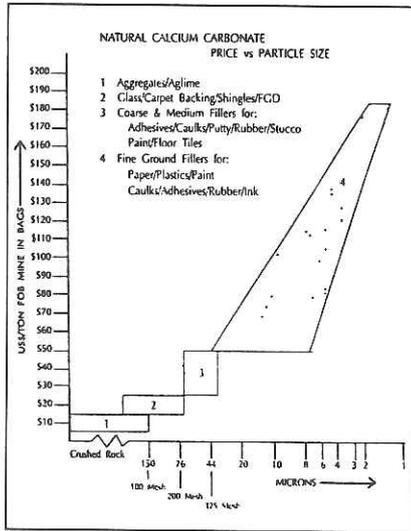


Fig. 3

Carbonato cálcico

Se usa igualmente como carga y «coating» y supone una tercera parte del total de los minerales usados. El contenido en CO_3Ca debe ser superior al 95 % y muy bajo el de $Fe_2O_3 < 0,1 \%$.

Las características que se requieren para este mineral son:

- *Grado carga:* Tamaño medio de partícula 3-10 micras (máximo 40 micras); índice de blancura, $>80 \%$; absorción de aceite, 18-21; superficie específica, $1,5-4 \text{ m}^2/\text{g}$; pH, 9-9,5.

- *Grado «coating»:* Tamaño medio de partícula, 0,7-2 micras (máximo 10 micras); índice de blancura, 96 %.

El precio del mineral, y en general el de todas las cargas, es mayor conforme disminuye el tamaño medio de partícula (Fig. 3).

3.1.2.-Industria de la pintura

Las pinturas están constituidas por tres componentes principales:

- Los pigmentos y extenders.
- El vehículo.
- El disolvente.

Los pigmentos y extenders se dispersan en el vehículo y los disolventes se añaden para controlar la consistencia, de forma que sea la adecuada para su aplicación.

La selección de los pigmentos y extenders depende de diferentes factores, entre los que se encuentran:

- Color y brillo.
- Textura.
- Opacidad.
- Absorción de aceite (Fig. 4).
- Dispersabilidad.
- Resistencia a la humedad, disolventes, calor, etc.
- Propiedades reológicas (viscosidad, dispersabilidad, etc.).

Algunas de estas características como el color, brillo u opacidad, dependen de la composición química del mineral y del tamaño y distribución de la partícula. La mayoría de los pigmentos tienen tamaños de partícula entre 0,1-1 micras, mientras que los extenders tienen tamaños medios de 50 micras.

Los minerales mayormente utilizados son:

Minerales de Titanio

Los minerales comerciales son:

- Rutilo (94-98 % TiO_2).
- Anatasa (90-95 % TiO_2).
- Ilmenita (45-65 % TiO_2).
- Leucóxeno (68 % TiO_2).

Oxidos de Fe

Los óxidos de hierro sintético han sustituido en gran medida a los productos naturales. Un pigmento natural de óxido de hierro, actualmente utilizado en recubrimientos protectores, es el oligisto micáceo.

Carbonato cálcico

Es el extender mineral más utilizado, superando las 700.000 Tm/año en Europa. Se utiliza con preferencia al caolín y al talco, no sólo por sus características técnicas, sino también por su menor precio.

Se comercializan grados con un tamaño medio de partícula desde 7 micras (máximo de 44 micras) hasta grados ultrafinos con un tamaño medio de 0,7 micras (máximo 2 micras). En general cuanto menor es el tamaño de partícula, mayor es el brillo de la pintura.

Caolín

Se utiliza como extender, tanto natural como calcinado, en pinturas decorativas y emulsiones para interior.

Una característica importante del Caolín es su capacidad de extender el dióxido de titanio.

Sílice

Se utilizan tanto sílices sintéticas como naturales. Las sílices naturales utilizadas incluyen cuarzo y diatomita.

La sílice aumenta la resistencia al desgaste y al lavado.

Barita

Tienen un buen poder cubriente y mejora la persistencia de la película.

Normal ranges of oil absorption values for paint extenders (suggested in British Standard BS1795)			
Extender	Oil absorption (g/100g)	Extender	Oil absorption (g/100g)
1. Barytes	8-15	10. Talc containing carbonate	39-42
2. Blanc Fixe	15-30	11. Mica a.	55-75
3. Whiting	12-22	b.	45-90
4. Calcium carbonate, crystalline	10-22	12. Silica (quartzite) type 1	14-25
5. Calcium carbonate, precipitated	30-80	13. Silica (quartzite) type 2	14-25
6. Dolomite	10-22	14. Kieselguhr, type 1	60-100
7. China clay	30-60	15. Kieselguhr, type 2	60-100
8. Talc, fibrous form	37-42	16. Calcium silicate, synthetic	70-250
9. Talc, lamellar form		17. Sodium aluminium silicate, synthetic	100-250
a.	35-43	18. Silica, synthetic	100-250
b.	35-72		
c.	35-72		

Fig. 4

uno de sus mercados más importantes es la industria del automóvil.

Mica

La moscovita es la más usada. La mica mejora la integridad de la película, su adhesión y resistencia a la abrasión.

Wollastonita

Su uso está limitado por su elevada abrasividad. Sin embargo, por su morfología es un buen agente mateante, aumenta la durabilidad de la película y mejora las propiedades reológicas de la pintura.

Grafito

El Grafito se utiliza en recubrimientos especiales; tiene buena opacidad, resistencia a la penetración de humedad y se adhiere bien a superficies metálicas. Por sus propiedades conductoras se usa en pinturas de protección eléctrica, por ejemplo en ordenadores y también en recubrimientos para suelos antiestáticos.

También se utilizan otros minerales como Talco y diferentes arcillas organofílicas (Bentonita y Hectorita), que controlan el comportamiento reológico de la pintura.

3.1.3.-Industria del plástico

Las cargas siempre han jugado un importante papel en la industria del plástico. El aumento de costes y la posible escasez de las resinas y derivados petrolíferos hizo acuciantes la generalización de las cargas en plásticos. Los sistemas compuestos (composites) hacen posible extender el volumen de resina al mismo tiempo que se mejoran muchas de sus propiedades. Estas mejoras en propiedades a menudo vienen acompañadas de ventajas económicas como por ejemplo menor coste de la materia prima, ciclos de moldeo más rápido como consecuencia de una mayor conductividad térmica y menores rechazos por deformaciones.

El consumo de cargas durante los años 70 se vio acelerado por el gran aumento del coste de los productos derivados del petróleo (resinas). Durante

Selected minerals used in plastics compounding

Mineral	Major resin	Function	Price \$ per tonne
Mica	Polypropylene	Flexural strength	580
Kaolin, surface-treated	Nylon	Dimensional stability	510
Wollastonite	Nylon	Reinforcement	400
Alumina hydrate	Polyester	Flame retardance	400
Calcium carbonate, precipitated	PVC	Impact strength	350
Kaolin, calcined	PVC	Electrical resistance	350
Talc	Polypropylene	Stiffness	150
Silica, ground	Epoxy	Dimensional stability	150
Calcium carbonate, ground	PVC	Cost reduction	130
Kaolin, air-floated	Polyester	Thixotropy	65

Fig. 5

los años 80 el coste del petróleo se estabilizó mientras que el coste de las cargas aumentó ligeramente. Actualmente, el principal motivo para el uso cada vez creciente de cargas no es su utilización como extender de la resina y disminución de costes, sino las mejores prestaciones que ofrecen los productos compuestos que les permite competir más favorablemente en un mayor número de mercados y en aplicaciones más sofisticadas.

Las cargas minerales se utilizan en más de 20 resinas diferentes, sin embargo el 90 % de las cargas se utilizan en sólo cuatro resinas (PVC, poliéster, polipropileno y nylon). (Fig. 5).

Los minerales proporcionan diferentes propiedades a los plásticos dependiendo de su forma y tamaño de partícula. (Fig. 6).

Las cargas redondeadas como el Carbonato cálcico y el Caolín se utilizan para extender la resina, proporcionar resistencia al impacto o mejorar la estabilidad térmica. Los minerales laminares como Talco y Mica mejoran la resistencia a la flexión y los productos fibrosos como la Wollastonita proporcionan una mayor resistencia mecánica.

Los minerales con forma particular como la Mica, Talco o Wollastonita son menos frecuentes e imparten propiedades especiales a los plásticos. En consecuencia se puede considerar a estas cargas como «specialties» y admiten mayores precios. Aunque el coste de las cargas es normalmente inferior al de las resinas, no debe pensarse

que las cargas se utilizan sólo para reducir costo, ya que muchas resinas cargadas son más caras que las resinas no cargadas si tenemos en cuenta el coste de la operación de mezclado; por ejemplo, un plástico muy usado, el polipropileno cargado con 30 % de mica es aproximadamente un 10 % más caro que el polipropileno no cargado.

El uso de tratamientos superficiales permite que los minerales pasen de ser una mera carga en plásticos para convertirlos en verdaderos aditivos funcionales que mejoren propiedades específicas del polímero, como la resistencia al impacto y a la tensión, o la deformación térmica.

Los minerales tratados químicamente constituyen los segmentos de mayor valor añadido de las cargas minerales, y encuentran cada vez más aplicaciones en la industria del plástico. (Fig. 7).

La modificación mejora la dispersión de la carga mineral en la matriz polimérica y permite un mejor procesado. La utilización de agentes de acoplamiento con Mica y Wollastonita mejora notablemente las propiedades mecánicas de los termoplásticos. El mayor porcentaje de los minerales tratados corresponde al caolín y carbonato cálcico molido. Estos minerales tratados se usan fundamentalmente en termoplásticos: PVC, nylon y poliolefinas. El Carbonato cálcico modificado se usa como carga en tuberías de PVC, mientras que en nylon y polipropileno se usa Wollastonita y Mica, para la industria del automóvil.

Key physical properties of selected mineral fillers

Mineral	Property				
	Average particle size, microns	Surface area (m ² /g)	Specific gravity (g/cm ³)	Aspect ratio	Mohs' hardness
Calcium carbonate					
Ground	5-15	1-5	2.7	Low	3-3.5
Precipitated	0.1-1	5-20	2.6	Low	5-3
Hollow Glass Beads	50-75	NA	0.1-0.7	Low	5-6
Hydrated Alumina	1-1.5	5	2.4	Low	2-3
Kaolin	0.2-1	10-20	2.6	Moderate	2-2.5
Mica	NA	30	2.8	High	2-2.5
Silica					
Ground	2-6	1-2	2.65	Low	7.5
Fumed	.04-.05	50-150	1.8-2.2	Low	NA
Talc	1-1.5	6-10	2.8	Moderate	1.5
Wollastonite	NA	1	2.9	High	4.5-5

Fig. 6

3.1.4.-Industria de adhesivos y selladores

En los últimos años esta industria ha experimentado un gran avance tecnológico. Aunque el componente principal son las resinas y polímeros, el fabricante requiere de cargas funcionales con el fin de obtener un producto adecuado, tanto en costes como en características técnicas.

Los minerales industriales se em-

plean como cargas, extender y pigmentos.

Los minerales utilizados, así como las propiedades que aportan al producto final, se pueden observar en la Fig. 8.

3.2.-Industria del vidrio

La industria del vidrio es probablemente una de las mayores consumidoras de materias primas. Es también

una de las más exigentes en la demanda de especificaciones ajustadas y de seguridad de demanda. Esencialmente apenas han habido cambios en los requerimientos de materias primas y especificaciones en los últimos años y los esfuerzos se han concentrado en la producción de vidrios de alta calidad a través de la reducción de contaminantes.

Las consideraciones más importantes, en lo que concierne a la selección de materia prima, son el costo y disponibilidad, la pureza, la homogeneidad de la composición química y el tamaño de grano.

La industria del vidrio se divide en varios sectores:

- Láminas de vidrio. La capacidad de producción mundial es superior a 12 M.Tm/año.
- Recipientes (Sólo en U.K. 1,7 M. Tms. funden para obtener 6 M. de recipientes al año).
- Fibras.
- Vidrios especiales (óptica, óptica científica).

Las materias primas utilizadas en esta industria son:

- Arena silíceo (SiO₂ >99,6 %; F₂O₃ <0,1 %).
- Caliza.
- Dolomita.
- Carbonato sódico.
- Alúmina.
- Caolín.
- Acido bórico.
- Colemanita.
- Fluorita.

En la Fig. 9 se exponen los porcentajes de cada una de estas materias

Principal applications and properties of major chemically-modified minerals

Product	Major applications	Function	\$/kg (a)
Alumina hydrate	Wire & cable, PVC, and EPDM	Flame retardance, processing properties	0.79
Calcium carbonate	PVC pipe	Higher loadings	0.24
Kaolin	Tyre products, EPDM, wire & cable	Pigment replacement, electrical properties	0.40
Wollastonite	Nylon	Physical properties, glass replacement	0.55
Microspheres	Nylon	Physical properties	0.84
Mica	Polyolefins	Physical properties	0.66
Fumed silica	Silicone rubber	Processing	8.25
Ground silica	Epoxy moulding compounds	Electrical properties	0.53
Talc	Industrial rubber	Physical properties	0.44
Organophilic clays	Coatings	Rheological properties	2.71

a: Average price paid for all end uses 1985, FOB supplier

Fig. 7

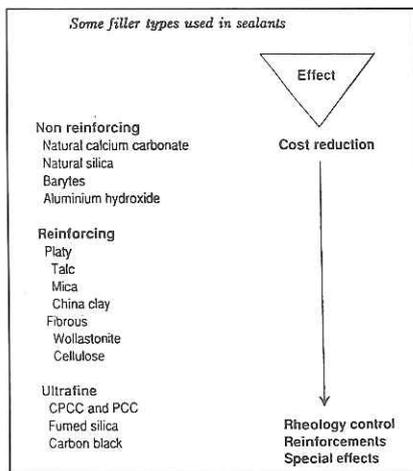


Fig. 8

primas utilizadas en la fabricación de los diferentes tipos de vidrios.

En cuanto al futuro de este sector, es claro que seguirá creciendo al ritmo de la economía. Sólo hay que mencionar los cambios que se pueden producir en el sector de recipientes y es que se prevé incrementar la cantidad de vidrio reciclado, desde un 20 % actual hasta el 50 % al final de esta década. Esto va a suponer una reducción del 37,5 % en los requerimientos de materia prima. El mercado de este sector no crecerá a un ratio suficiente para mantener el volumen actual de materias primas. Por el contrario hay una progresiva vuelta a los envases de vidrio sobre todo en la industria de la alimentación, que podrían paliar la baja previsible del consumo de materias primas.

3.3.-Alimentación animal

Se estima de que alrededor del 85 % del total de la dieta de vacas, po-

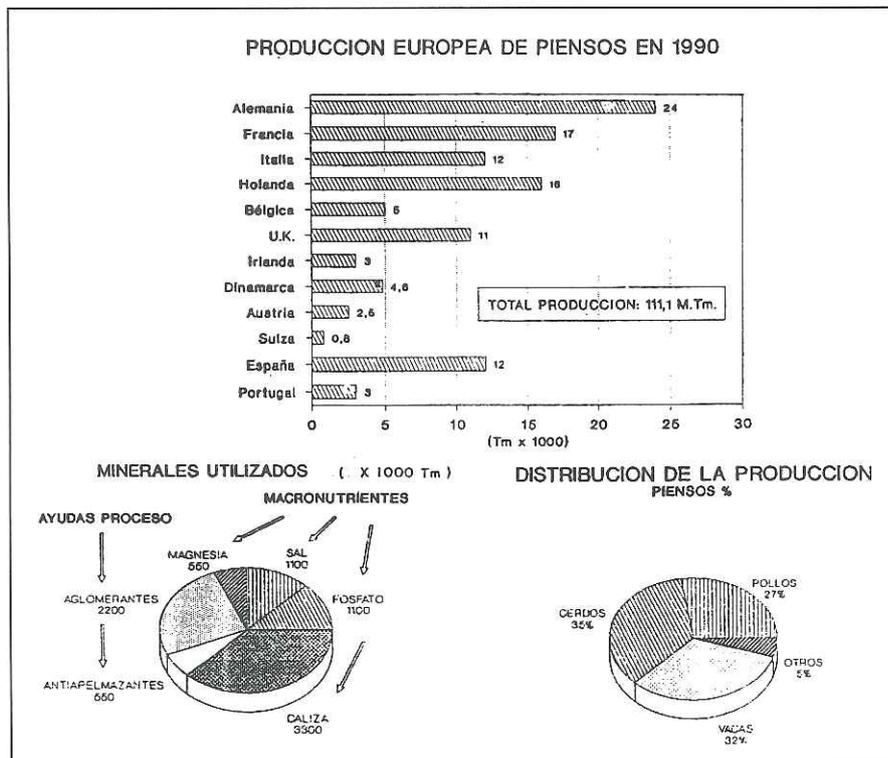


Fig. 10

llos y cerdos, consiste en alimentos manufacturados por la industria de alimentación animal.

Los minerales usados representan una proporción relativamente pequeña del total de componentes, pero su presencia es vital para la nutrición animal.

La utilización de minerales en esta industria se hace de la siguiente forma:

a) *Nutrientes*

- Macronutrientes:
 - Caliza (3 %). (En piensos para pollos llega al 9 %).

b) *Ayudas de proceso*

- Fosfatos (1 %).
- Sal (0,5 -1 %).
- Magnesia cáustica (0,5 %).
- Micronutrientes:
 - Fe (sulfato, carbonato, fosfato). (60 mg/Kg peso vivo).
 - Cu (sulfato).
 - Co (cloruro).
 - Zn (óxido).
 - Mo (óxido).
 - Se (selenuro sódico).
 - I (ioduro cálcico o potásico).
- Aglomerantes y diluyentes clásicos (2 %). Bentonitas, Ball Clay, Caolín...
- Antiapelmazante (0,5 %). Diatomita, Talco, Sílice.

c) *Nuevos minerales.* Actúan como promotores de crecimiento.

- Ceolita.
 - Sepiolita (2 %).
- La Sepiolita puede ser utilizada además como aglomerante.

La producción total de piensos en Europa es del orden de 110 M. de Tms el peso de los minerales utilizados supera los 10 M. de Tm. (Fig. 10). ■

INDUSTRIA DEL VIDRIO

COMPOSICION DE MATERIAS PRIMAS SEGUN TIPOS DE VIDRIO

	LAMINAS	RECIPIENTES	FIBRA
ARENA SILICEA	60%	59-60%	28-30%
CALIZA	4%	14-18%	-
DOLOMITA	15%	-	28-31%
CARBONATO SODICO	20%	19%	0-1%
ALUMINA	-	4-5%	-
CAOLIN	-	-	26-28%
ACIDO BORICO	-	-	8-11%
COLEMANITA	-	-	8-17%
FLUORITA	-	-	1-2%

Fig. 9

*Para dominar el inglés
escoge la libertad !*



Escoge WALL STREET

- * **LIBERTAD DE HORARIO** (A conveniencia del alumno).
- * **LIBERTAD DE RITMO** (Ritmo de estudio personalizado).
- * **LIBERTAD DE ASISTENCIA** (Las mismas clases se repiten cada semana).

Porque a más libertad, más perseverancia y más éxito,
GARANTIZAMOS LOS RESULTADOS POR ESCRITO

Descuento Colegiados: 15 % ó 10 % descuento + 1 mes gratis

Inglés WALL STREET: Cada día más cerca

ALCALA DE HENARES

Teléf.: 883 63 41/42

CUATRO CAMINOS

Teléf.: 553 65 67

LA MORALEJA

Teléf.: 650 76 02

SEVILLA

Teléf.: (95) 492 12 85

ALCOBENDAS

Teléf.: 652 84 22

CUZCO-AZCA

Teléf.: 571 82 22

LAS ROZAS

Teléf.: 636 02 48

JEREZ

Teléf.: (956) 33 23 53

ALONSO MARTINEZ

Teléf.: 319 08 98

CHAMARTIN

Teléf.: 519 47 92

VAGUADA

Teléf.: 323 38 20/47 87

VALENCIA

Teléf.: (96) 395 71 71

ARGÜELLES

Teléf.: 543 29 67

LEGANES

Teléf.: 686 03 33

VELAZQUEZ

Teléf.: 435 18 38

BILBAO

(Próxima apertura)

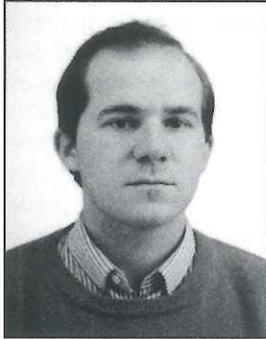


WALL STREET INSTITUTE

SCHOOL OF ENGLISH

MAS DE 100 CENTROS EN EUROPA

SITUACION ACTUAL DEL SECTOR DE LA PIEDRA NATURAL Y TENDENCIAS DE FUTURO



Antonio J. Rodríguez Láiz

Ha trabajado como consultor especializado en piedras naturales (rocas ornamentales) y ha sido, dentro de este campo, asesor de la Asociación Provincial de Empresarios del Mármol de Almería.

Gerente de la Federación Nacional de la Piedra Natural (FDP).

Director de I+D de la empresa GEMATEC.

En la actualidad es director de la empresa C.A.T., en Málaga, dedicada al medio ambiente y a las aplicaciones tecnológicas en las Ciencias de la Tierra.

El autor hace un exhaustivo repaso sobre la situación actual del sector de la piedra natural y su futuro.

The maker performs a complet review about the actual situation of natural stones industry and their evolution.

Las piedras naturales, también denominadas rocas ornamentales, pueden ser definidas como aquellas rocas que son extraídas en bloques y, tras un proceso de elaboración, son utilizadas en la construcción o decoración conservando íntegramente su composición, textura y características fisicoquímicas con respecto a aquellas que poseían en su emplazamiento geológico.

Dentro de las piedras naturales se incluye un amplio grupo de variedades geológicas entre las cuales las principales son las reseñadas en el cuadro siguiente:

Independientemente del tipo de roca, la actividad de este sector se basa en el grado de elaboración del producto, situándose a caballo entre una labor esencialmente minera y una labor exclusivamente industrial. Según esto, podemos diferenciar tres grandes grupos de producto:

- Producto en bruto (labor exclusivamente minera):
Bloques regulares e irregulares de roca extraídos de cantera.
- Producto semielaborado (labor minero-industrial):
Bloques encuadrados en cantera o tablas en fábrica.

Principales piedras naturales comercializadas

ROCAS IGNEAS	R. METAMORFICAS	R. SEDIMENTARIAS
Granito	Pizarra	Caliza
Gabro	Mármol	Dolomía
Diorita	Cuarcita	Travertino
Sienita	Gneis	Arenisca
Basalto	Serpentina	etc.
Diabasa	etc.	
etc.		

Un problema con el que nos encontramos es el de la denominación comercial de las piedras naturales ya que, lejos de un estricto rigor científico, el grupo dentro del cual se incluye a las diferentes variedades depende más de su aspecto que de su clasificación geológica. De esta manera, y a modo de ejemplo, se denomina a la serpentina como un mármol o al gneis como un granito haciendo muy compleja la correlación entre los intereses comerciales y la escrupulosidad científica.

- Producto elaborado (labor minero-industrial):
Adoquines y mampuestos en cantera y pavimentos, revestimientos, tejas y artesanía en fábrica.

Las empresas dedicadas en España a la piedra natural son más de 3.500. Dentro de ellas, el número de explotaciones mineras es de 740 (277 de granito, 338 de mármol y similares y 95 de pizarra) mientras que las industrias de elaboración son 2.835.

Un gran número de las empresas existentes en este sector son relativamente recientes (menos de diez años) y se han creado como consecuencia del gran auge experimentado por el sector de la Piedra Natural en la década de los ochenta. En las tablas que figuran a continuación se expresan cifras mundiales de producción y consumo de piedra natural así como la evolución de la producción de granitos (granito, gabbro, sienita, diabasa, etc.), mármoles (mármol, caliza, dolomía, travertino, arenisca, etc.) y pizarras en España.

Granitos: 20 mill. metros cúbicos en Pontevedra. 2 mill. metros cúbicos en Badajoz.

Todos los datos referidos anteriormente ponen de manifiesto la importancia adquirida por nuestro país en el contexto mundial de la minería de la piedra natural lo cual se contrapone con la imagen que tradicionalmente poseemos de las empresas de la piedra natural o roca ornamental, que no han pasado de ser un sector marginal dentro de la minería española.

En efecto, la industria de la piedra

Varias fueron, sin embargo, las causas que han dado lugar a un avance tan espectacular de la industria de la piedra:

Por un lado, la creciente demanda de piedra generada por el «boom» de la industria de la construcción que obliga a las empresas a modernizar sus canteras e industrias de transformación a fin de aumentar la producción.

En segundo lugar, la presión medioambiental que obliga al desarrollo de nuevas máquinas y nuevos sistemas de extracción que reduzcan el impacto generado por las explotaciones.

Por último, el momento favorable a la inversión auspiciado por la aparición de las Comunidades Autónomas que generan nuevos canales de ayuda a las empresas con un margen de riesgo mucho menor que hasta esa fecha.

«Teniendo en cuenta la evolución de la política económica e industrial a nivel europeo y mundial, cabe pensar en dificultades en los sectores mineros aunque en el caso concreto de la piedra natural parece probable una menor afección debido a todos los factores expuestos»

Todo ello ha dado lugar a un sector empresarial relativamente potente que mueve del orden de los 300.000 millones de pesetas anuales con un volumen de exportación cercano a los 40.000 millones de pesetas, con un producto de calidad, grandes reservas y una tecnología reciente.

Hay, sin embargo, una serie de características intrínsecas de este sector minero-industrial que van ligadas a la rapidez de su crecimiento y que van a marcar sin lugar a dudas su futuro:

En primer lugar existe una estructura empresarial deficiente derivada del pequeño tamaño de las empresas (cerca del 70 % tienen menos de diez trabajadores) lo cual se traduce inmediatamente en una menor capacidad de inversión, insuficiente nivel de forma-

Producción y consumo mundial de Piedra Natural

País	Producción	Importación	Exportación	Consumo
Italia	7.500	1.730	2.200	7.030
España	3.800	479	1.043	3.236
EE. UU.	1.950	480	80	2.350
Grecia	1.850	10	200	1.660
Francia	1.200	780	270	1.710
Brasil	1.200	0	450	750
China	1.200	0	550	650
Portugal	800	30	450	380
India	800	0	630	170
...				
TOTAL	33.600			

Valor: x 1.000 Toneladas

Evolución de la producción de Piedra en España

Año	Mármol	Granito	Pizarra
1982	311	301	228
1986	580	597	296
1987	632	653	348
1988	1.200	875	401
1989	1.672	962	411
1990	2.345	1.183	419
1991	2.250	1.150	410

Valor: x 1.000 Toneladas

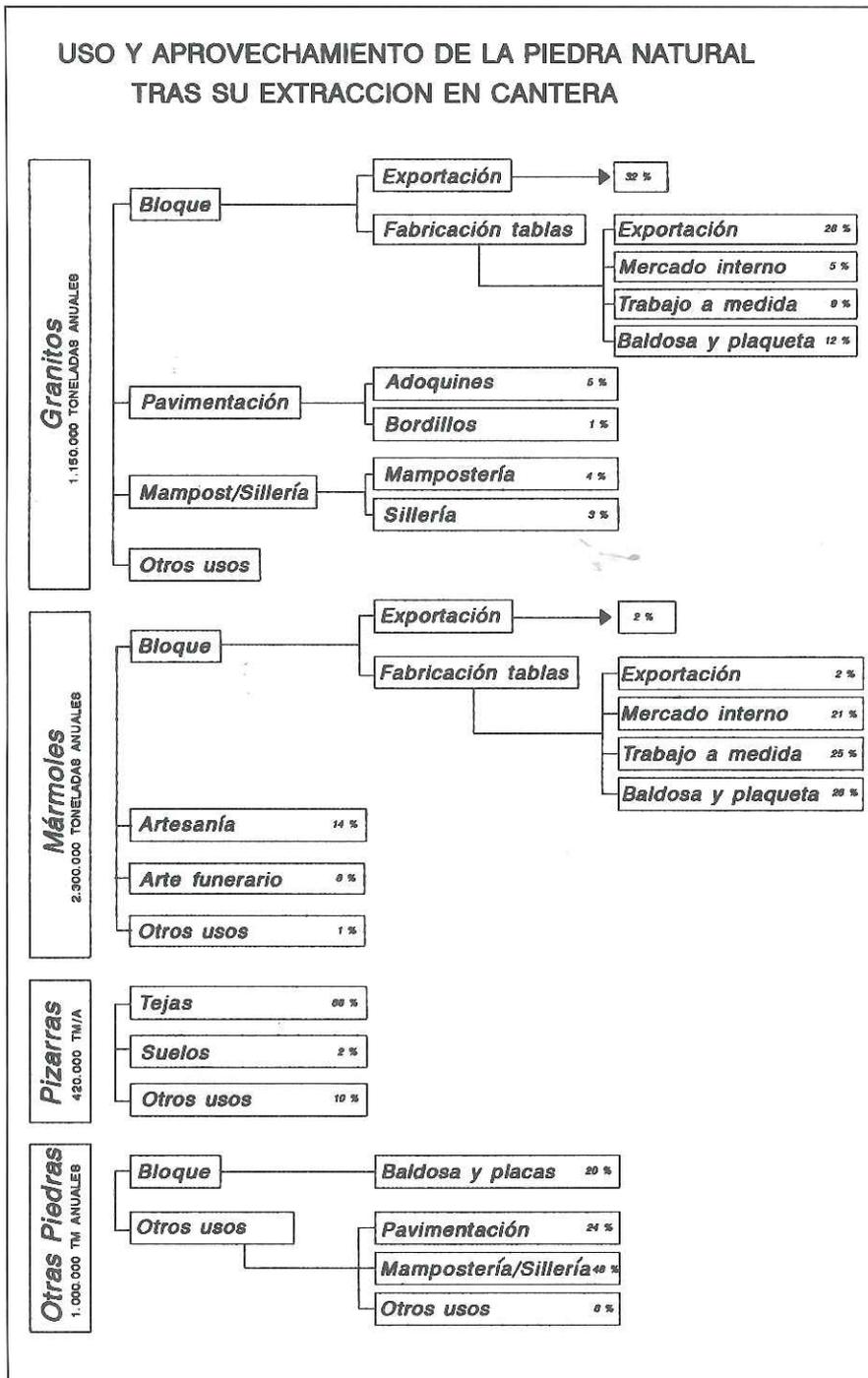
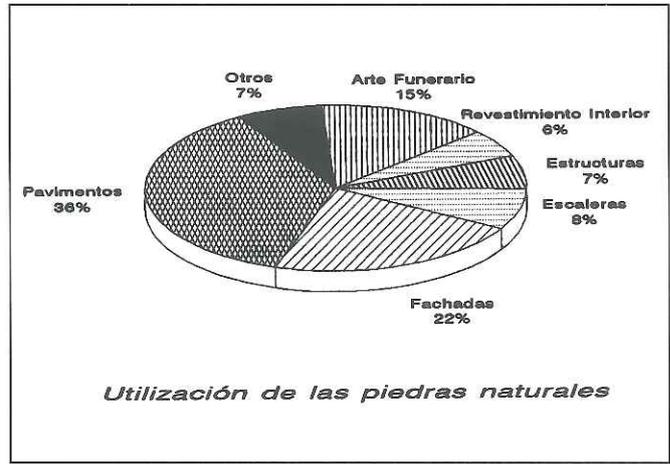
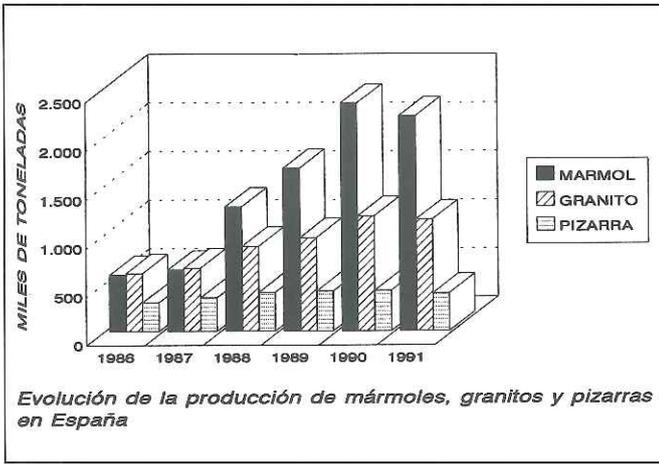
España, como se ha visto, es el segundo productor mundial de piedra natural que, a su vez, cuenta con una reserva de recursos estimada, según datos recientes, en los siguientes:

Mármol: 27 mill. metros cúbicos en Almería. 2 mil metros cúbicos en Huelva.

Calizas y calizas marmóreas: 27 mill. metros cúbicos en Alicante. 20 mill. metros cúbicos en Murcia. 2 mill. metros cúbicos en Granada.

Pizarras: 60 mill. metros cúbicos en Orense.

no evolucionó apenas desde los albores de la humanidad hasta mediados del presente siglo. Hasta hace unas decenas de años no se llevaba a cabo ningún tipo de investigación de los recursos ni se establecían estudios para aumentar el rendimiento de las explotaciones ni nada que se le parezca sino que se recurría, como en tantas otras cosas, a la tradición transmitida a lo largo de las generaciones que si bien es fruto de la experiencia es también poco propensa a admitir la «ingerencia» de las nuevas tecnologías.



ción profesional del personal del sector y, en general, en una capacidad menor de maniobra frente a la competencia.

Recientemente se ha comenzado a organizar el sector mediante la creación de diversas asociaciones que agrupan a las empresas de este sector minero-industrial y que subsanan, en cierta medida, las deficiencias aludidas.

En base a esta reorganización se han puesto en marcha diversos proyectos en toda España encaminados a la mejora del nivel empresarial mediante el fomento de la formación profesional, la inversión racionalizada en la mejora de maquinaria, la planificación adecuada de los sistemas de extracción, la reducción de costes mediante la unificación de servicios, proyectos de I + D, etc. Por otro lado, la presencia de profesionales de la geología y la minería es, aunque aún deficiente, muchísimo mayor que hace unos años lo cual evidencia un salto cualitativo en el desarrollo del sector de la piedra natural.

Teniendo en cuenta la evolución de la política económica e industrial a nivel europeo y mundial, cabe pensar en dificultades en los sectores mineros aunque en el caso concreto de la piedra natural parece probable una menor afección debido a todos los factores expuestos con anterioridad. En cualquier caso se producirá una profunda reestructuración que provocará la fusión de un gran número de empresas, la desaparición de otras y, sin duda, la entrada en el mercado de otras de fuera de nuestro país.

Todo ello convergerá en una mayor profesionalización de las empresas y una mayor racionalidad desde la investigación de los recursos hasta la comercialización de los mismos de manera que ya no será posible que la tradición sea la única consejera de la empresa minera de la piedra natural. ■



*** ESTUDIOS GEOTECTONICOS * IMPACTO AMBIENTAL Y RESTAURACION DEL MEDIO NATURAL * RIESGOS NATURALES * MEDIO AMBIENTE INDUSTRIAL * ORDENACION DEL TERRITORIO Y PLANES ESPECIALES**

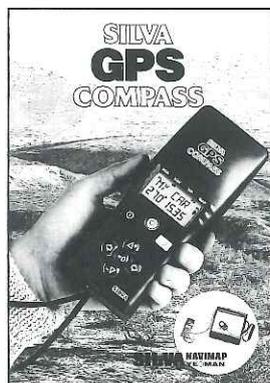
Otras áreas de actividad de BESEL, S. A.

- Estudios energéticos
- Ingeniería de servicios financieros

Ríos Rosas, 32, 2.º izqda. 28003 MADRID
Tels.: 91/4425833-44. Fax 91/4427075

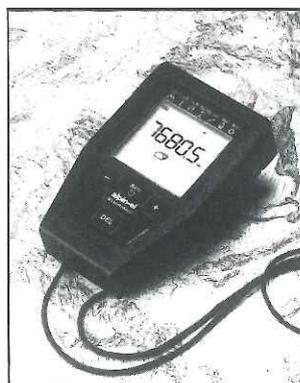
Espíritu Santo, 9, 1.º B. 47006 VALLADOLID
Tel. 983/355466. Fax 983/3559886

EQUIPO GPS SATELITE



- Con Plotter: una luz indica sobre su propio mapa topográfico o geológico, la posición que Vd. ocupa en cada momento.
- Indica en pantalla: coordenadas geográficas y UTM.
- Opera con 5 satélites simultáneos.
- Brújula digital interna.
- Salida RS 232 para ordenador.
- Precio: 145.000 + I.V.A.
(plotter: 79.500 + I.V.A.)

ALTIMETRO PRECISION



- Alta precisión: 50 centímetros (muy útil en hidrología, cuaternario, etc...).
- Rango: —500 a + 10.000 m.
- Indica: altura, alarmas sonoras programables en altura, presión absoluta y relativa, tendencia de tiempo, etc...
- Tamaño: 9 x 5 cm.
- Precio: 48.000 + I.V.A.

ANALIZADOR AGUAS PORTATIL



- Indica las ppm de cada elemento en el agua.
- Válido para: Al, Br, Cl, I, Cr, Cu, Fe, F, Mn, Mo, N, Nitratos, Nitritos, Ozono, Fosfatos, K, Sulfatos, Sulfuros, Zn, pH, Oxig. dis., etc...
- Salida RS232 para ordenador.
- Automático: no precisa cambiar de filtros.
- Portátil para campo.
- Precio: 199.500 + I.V.A.

HIDRONIVEL PARA POZOS



- Alarma sonora al tocar el agua.
- Fabricación alemana, con cable de acero reforzado.
- Opcional: sensor para fondo de pozo, botella tomamuestras de agua (1/2 litro) acoplable.
- Disponible en longitudes: 30, 100, 200, 300 y 500 metros.
- Precios:
30 m.: 48.800 + I.V.A.
100 m.: 83.300 »
200 m.: 127.975 »



GEONATURA

C/ García de Paredes, 20 - 28010 MADRID
Tels. (91) 593 06 34 - 593 03 71 - Fax 446 76 92

... y cientos de artículos para Geología e Ingeniería (martillos, brújulas, estereoscopios, etc...)

EXTRACCION DE YESO EN EL REINO UNIDO

El autor comenta lo abundantes que son los depósitos de yeso en el Reino Unido. Esta industria minera es la segunda después del carbón, en cuanto a explotación subterránea.

The author comments the abundance of gypsum deposits in the U.K. This mining industry is only second to the coal in underground operation.

Keith Bradley

Escritor especializado en Ciencia y Tecnología.

El yeso, sulfato cálcico hidratado, se encuentra formando grandes depósitos en muchas partes del mundo, y su utilidad para la construcción se conoce desde la antigüedad. Cuando se eliminan las tres cuartas partes de su agua de cristalización queda un polvo blanco que se pone tan duro como una roca al mezclarlo con agua, cualidad que ha dado al material una importancia permanente.

El yeso es el sulfato más común y una de las varias evaporitas, junto con cloruros, carbonatos, boratos y nitratos.

Además de en la construcción, el yeso tiene múltiples aplicaciones, por ejemplo en odontología, cirugía, cerámica, producción de alimentos, fermentación, elaboración de vino, agricultura y horticultura. También se utiliza en las industrias aeronáutica, del automóvil, de la fundición y de la extracción de carbón, y la investigación continúa ampliando sus aplicaciones en la vida cotidiana.

En su utilización más generalizada, la escayola de yeso, es indispensable para una buena construcción, por no contraerse y ser resistente a la humedad y al agrietamiento, y es el elemento básico de un buen sistema de aislamiento térmico y acústico. Estas y otras propiedades convierten el yeso en un mineral industrial con mercados abiertos y en expansión, y su extracción y tratamiento gozará de una importancia siempre creciente.

El Reino Unido cuenta con grandes depósitos de evaporita, que se formaron cuando los mares y los lagos se evaporaron en el período pérmico-triásico.

Los depósitos de yeso en gran escala se encuentran formando estratos de todas las épocas. Australia posee los

más antiguos, formados hace 3.400 millones de años. Estos depósitos son importantes en las prospecciones de petróleo, porque se considera que la materia orgánica que normalmente está relacionada con su formación es una fuente de hidrocarburos. El yeso encierra herméticamente numerosos depósitos de hidrocarburos, impidiendo que escapen.

Fuerza importante

El Reino Unido posee abundantes depósitos de yeso y es uno de los principales productores del mineral. Su presencia ha dado lugar a una importante industria minera que, en cuanto a explotación subterránea, es la segunda después del carbón. Se estima que el valor de la producción de yeso del Reino Unido en 1990 fue de cerca de 20 millones de libras.

British Gypsum Ltd es la empresa más importante en la industria nacional del yeso, en su doble calidad de única compañía extractora del mineral y fabricante y proveedora de una amplia gama de productos. Constituye una parte importante de BPB Industries plc, compañía británica clasificada entre las 200 primeras de Europa, con filiales y asociados en 15 países del mundo. Tiene una plantilla de 11.000 personas y su capital asciende a más de 500 millones de libras.

British Gypsum se creó en 1917 para comercializar un nuevo producto de cartón-yeso obtenido en los Estados Unidos. En 1991 la compañía extrajo unos 3,5 millones de toneladas de sus depósitos británicos, de las cuales las exportaciones fueron insignificantes. La compañía compitió favorablemente



Una máquina de extracción DOSCO Digger en funcionamiento en una de las minas subterráneas de yeso de British Gypsum.

en los mercados nacionales y extranjeros con una gran variedad de productos, aunque la reducción del ritmo de la construcción ha afectado negativamente a algunos sectores de esta actividad.

Las minas de British Gypsum están en varios lugares de Cumbria, región nordoccidental de Inglaterra, en Nottinghamshire, Derbyshire y Leicestershire, región central de Inglaterra, y en Sussex, región sudoriental de Inglaterra. La profundidad de los depósitos oscila entre 40 y 200 m.

Depósitos importantes

David Highley, del Instituto Británico de Estudios Geológicos (BGS),

incluye una descripción de los depósitos del país en su monografía «Recursos minerales industriales en el Reino Unido y su explotación», publicado en *Erzmetall* 43 (1990) Nr. 1 (Industriemineralie in Grossbritannien).

Según el instituto, las minas Tutbury Gypsum y Newark Gypsum, que están cerca del extremo superior del grupo de rocas sedimentarias del Triásico de Mudstone, en Nottinghamshire y Staffordshire, son los depósitos más importantes, con más del 50 % de la producción total. La Tutbury Gypsum se encuentra formando un estrato único de grosor variable, de 2,5 m como promedio, pero con un espesor de extracción de 2 m, y se explota en

Fauld, cerca de Tutbury, en Staffords-

hire, y en Gotham y East Leake, en Nottinghamshire. Al sur de esta importante zona minera la capa se extiende hacia Leicestershire, donde en Barrow-upon-Soar se está abriendo una mina. Allí la capa desciende suavemente en dirección sudoriental y adquiere un volumen considerable entre Burton-on-the-Wolds, Sileby, y Seagrave, con un espesor medio de unos 2,5 m y máximo de 3 m. Se han calculado unas reservas de 35 millones de toneladas. El contenido en yeso del estrato oscila entre el 77 % y el 90 %. La media supera el límite del 82 % que exige British Gypsum para la fabricación del cartón-yeso.

En cambio, señala David Highley, la Newark Gypsum, que se extiende en

dirección noreste al sur del río Trent, desde Cropwell Bishop hacia Newark y más adelante, comprende hasta 16 lechos de yeso nodular y lenticular, con un espesor que varía entre varios centímetros y unos dos metros. Se están trabajando a cielo abierto ocho capas, que proporcionan el yeso de mejor calidad del Reino Unido.

Sistema tradicional

British Gypsum tiene explotaciones mineras en otras partes, desde los depósitos de la época Zechstein (Pérmico Superior) en el Valle de Eden hasta los depósitos de la Purbeckense (Jurásico Superior) en la cresta anticlinal de Wealden, en Robertsbridge, Sussex oriental. En 1987, la compañía abandonó la mina de Sherburn-in-Elmet, Yorkshire septentrional, en la anhidrita del Pérmico Superior de Sherburn, a causa de inundaciones. British Gypsum extrae anhidrita (sulfato cálcico) a mayor profundidad que el yeso, aunque la producción es pequeña, entre 10.000 y 99.000 toneladas al año; la compañía no desea proporcionar una cifra precisa.

British Gypsum utiliza sistemas subterráneos tradicionales, principalmente de cámaras y pilares de poca profundidad, con los que extrae el 75 % del depósito del mineral, dejando el resto para reforzar la cámara e impedir el hundimiento de la superficie. El sistema de acceso a las galerías de explotación y de desagüe tiene también ventajas ecológicas, al evitar antiestéticos castilletes de extracción. El mineral se extrae mediante perforación, barrenos, carga frontal en trituradoras y transporte al exterior mediante cintas transportadoras.

En la mina que se está explotando en Barrow-on-Soar se utiliza una rozaadora continua, que acumula los trozos de roca para cargarlos y llevarlos a la superficie donde un sistema de cintas lo transporta hasta la planta de tratamiento.

Separación de medios densos

Los lechos de yeso relativamente delgados del Reino Unido requieren un equipo con costosas modificaciones, pero British Gypsum ha perfeccionado un método especial cuyo fun-

cionamiento es rentable en estas condiciones.

En otros países, los depósitos de yeso son generalmente mucho más grandes y adecuados para una explotación más económica mediante extracción de cantera más que de mina. En España y en otros países los depósitos pueden superar los 40 m de espesor.

La calidad de la mena generalmente es adecuada para escayola y cartón-yeso, sin necesidad de tratamiento ulterior. En Fauld, Staffordshire, y en Robertsbridge, Sussex, la mena carece de la suficiente pureza, por lo que se mejora su calidad mediante la separación en medio denso. Así se eliminan las impurezas, más densas y queda el yeso, más ligero, menos denso. En los

«British Gypsum tiene asegurado un contrato en exclusiva con la compañía National Power para disponer de toda su producción inicial de yeso sintético de Drax, calculada en 800.000 toneladas al año»

separadores de tambor de Robertsbridge se trata la mena para obtener un grosor de partícula de unos 150 mm.

Los fabricantes de cemento utilizan yeso en cantidades variables de hasta el 5 % para retardar el tiempo de fraguado. El grueso de la producción de yeso británica va a parar a la fabricación de escayola y de cemento.

La división de productos industriales de British Gypsum produce escayola de calidad muy elevada destinada a una gran variedad de industrias, entre ellas la de la cerámica, en la que se utiliza la escayola para el moldeo en barbotina.

Aunque las exportaciones británicas de yeso son escasas, British Gypsum tiene asociados en toda Europa y en otras partes del mundo. Su activo programa de investigación y proyectos está siempre a la búsqueda de nuevas aplicaciones para el mineral y de nuevos productos. La compañía ha conseguido a lo largo de los años numerosas

patentes que le han dado una posición internacional privilegiada en el mercado de sus productores. La patente de la calcinación del yeso para la fabricación de escayola es sólo un ejemplo.

Yeso sintético

La extracción de yeso en el Reino Unido podría variar considerablemente hacia el final de la década, porque la generación de electricidad probablemente rendirá cantidades crecientes de yeso desulfurado. Todas las centrales eléctricas van a generar este subproducto de la desulfuración de los gases de combustión a medida que estas industrias reduzcan sus emisiones de anhídrido sulfuroso a la atmósfera. Las centrales alimentadas con carbón se han comprometido a reducir sus emisiones un 40 % en 1998 y un 60 % para el año 2003.

El equipo, que se considera que reduce la eficacia de la central eléctrica un 5 %, se ha montado en la central de 4000-MW de Drax, Yorkshire septentrional, la más grande de Europa occidental. El proceso requiere una planta química que convierte caliza (carbonato cálcico) en yeso. A pleno rendimiento, la central de Drax transformará 660.000 toneladas anuales de caliza en 1,1 millones de toneladas de yeso desulfurado, con posibilidad de obtener una cantidad mayor a medida que se vaya montando el equipo en generadores alimentados por carbón.

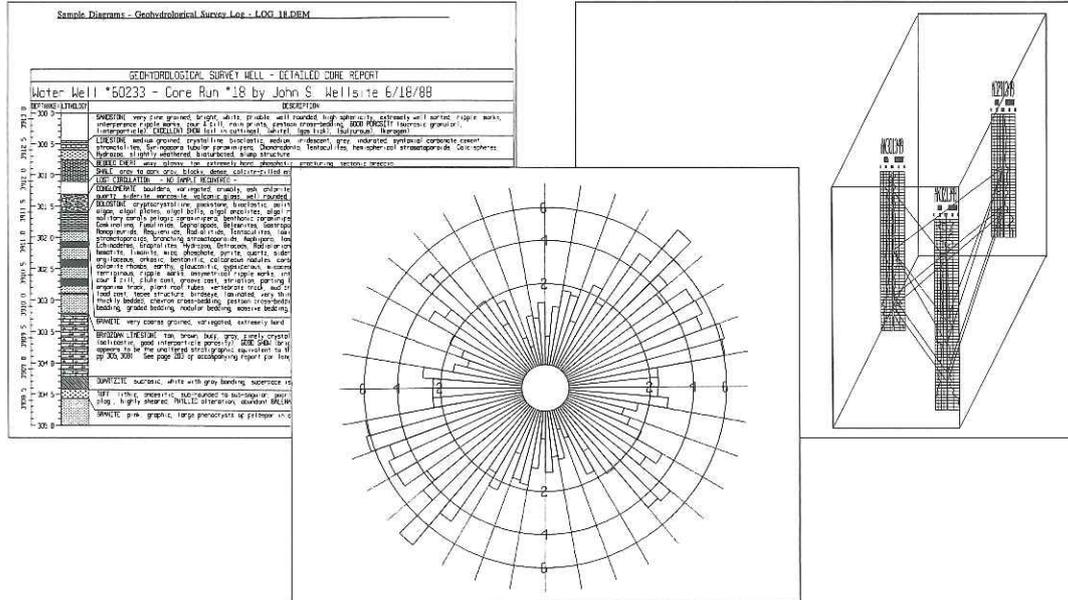
British Gypsum tiene asegurado un contrato en exclusiva con la compañía National Power para disponer de toda su producción inicial de yeso sintético de Drax, calculada en 800.000 toneladas al año. El costo de producción del yeso desulfatado es de 100 libras/tonelada. La extracción del mineral natural cuesta bastante menos a British Gypsum, que está comprando el yeso sintético a la compañía National Power a un precio muy inferior al costo de extracción en sus minas.

En la región meridional de Inglaterra se han establecido otras dos compañías dedicadas a la fabricación y comercialización de productos de yeso, principalmente cartón-yeso. A corto plazo importarán yeso, y éste, unido a las cantidades cada vez mayores de yeso desulfatado disponible, hará aumentar la incertidumbre que se cierne sobre la explotación minera de yeso del país. (4D892/RS). ■

CURSO

SOBRE EL PROGRAMA DE APLICACIONES GEOLOGICAS

ROCKWARE



14 al 25 de NOVIEMBRE
LUNES-VIERNES 16:00-20:00
SALON DE ACTOS DEL ICOG (MADRID)
Información: Telf. (91) 553-24-03

CARACTERISTICAS DEL CURSO

- **PRECIO:**
Colegiados en paro y alumnos de los últimos cursos: 35.000 PTAS.
Colegiados en activo: 45.000 PTAS.
No colegiados: 60.000 PTAS.
- **HORARIO:**
16:00-20:00 h. de lunes a viernes
- **DURACION:**
2 semanas
- **FECHAS:**
Del 14 al 25 de noviembre
- **PROFESORADO:**
Gumiel Martínez, Pablo
Dirección de Recursos Minerales (ITGE)
Hernández Manchado, José Román
S.I.G. Area de Geología (ITGE)

PROGRAMA

- INTRODUCCION AL ROCKWARE
- PRINCIPALES MODULOS DEL PROGRAMA
- **LOGGER:** REALIZACION DE COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS Y DE SONDEOS
- **STEREO:** INTRODUCCION Y ANALISIS DE DATOS CON PROYECCION ESTEREOGRAFICA
- **ROCKSTAT:** MODULO ESTADISTICO
- **DIGITIZE:** INTRODUCCION DE DATOS MEDIANTE TABLETA DIGITALIZADORA
- **MISC Y PLOT:** MODULOS COMUNES Y SALIDAS GRAFICAS

En el curso se desarrollará un ejemplo real que haga uso de los distintos módulos del programa

LA DERIVA CONTINENTAL: EN BUSCA DE ARGUMENTOS PALEOBOTANICOS



Rogelio Meléndez Tercero

Licenciado en CC. Geológicas por la Universidad Complutense de Madrid (1979). Desde hace más de 10 años está trabajando en la minería del carbón en El Bierzo (León), dentro del ámbito de la empresa privada (Campomanes Hermanos. MILE).

En el presente trabajo se exponen una serie de datos e ideas que podrían ser interesantes para buscar argumentos sobre la teoría de la Deriva Continental.

Tales argumentos toman como base el análisis de troncos de árboles fósiles y precisan la colaboración de varias disciplinas científicas (geología, astronomía, botánica...)

This work contains some information that could be interesting to look for some arguments about The Continental Drift Theory.

These arguments are based on the analysis of trunks of fossilized trees; they need the collaboration of some scientific disciplines such as geology, astronomy, botany, et caetera.

La cuenca carbonífera del Bierzo (León)

Si salimos a pasear por el campo por un lugar elegido al azar, no es muy normal que a los pocos minutos nos encontremos con restos vegetales fósiles. Esto es sin embargo lo que ocurre en la Cuenca Carbonífera del Bierzo. (Edad Estefaniense).

Al decir esto no se me pasa por alto el hecho de que muchas de las características de esta cuenca son compartidas por otros terrenos análogos, no sólo de España, sino del Mundo en general. No obstante, es la que mejor conozco y por ello me servirá de ejemplo para el desarrollo de este trabajo.

La reconstrucción paleogeográfica de esta cuenca del Oeste de León, revela que cuando el carbón se formó el relieve topográfico era extremadamente llano y que en el mismo la abundancia de agua era una de las notas predominantes.

Asimismo, fácilmente llegamos a la conclusión de que el tipo de clima que mejor se ajusta a esta reconstrucción paleogeográfica es uno similar al que actualmente conocemos como tropical húmedo. Ciertamente sería interesante exponer los motivos que nos llevan a opinar así, pero no es el objetivo de este trabajo.

¿Cómo explicar la presencia de huellas de un clima tropical en sedimentos que hoy se hallan a una latitud de 42° ó incluso más?

La Deriva Continental ofrece una respuesta sencilla: España (o mejor aún, gran parte de las rocas de España),

se hallaba en el Carbonífero a latitudes próximas al Ecuador. Los sedimentos carboníferos (hoy pizarras y areniscas) cuando se estaban generando y no eran más que limos y arenas arrastradas por los ríos, se hallaban en posición muy diferente a la actual sobre la superficie del planeta.

Tales sedimentos tras un período de 286 millones de años, se han desplazado hasta su latitud actual y lógicamente en este tiempo han podido consolidarse, plegarse e incluso ser erosionados en parte.

A este respecto es preciso indicar que en efecto existen mapas con la representación de los continentes en el Carbonífero, que coinciden con esta idea.

Los restos vegetales fosilizados son abundantes en esta cuenca Estefaniense y entre estos figuran troncos de árboles en "posición de vida", esto es, perpendiculares a los planos de estratificación y con sus raíces cruzándolos. Estos casos no son desde luego muy frecuentes, pero sí existen.

El análisis de la flora fósil puede proporcionarnos datos sobre el tipo de clima en el que vivió, pero la pregunta es ahora más concreta: ¿existen señales en los troncos fósiles que nos permitan saber a qué latitud geográfica vivieron?

Dado que la cuenca que nos sirve de ejemplo está levemente plegada es muy sencillo colocar el árbol (en posición de vida) en su postura antigua. En este caso, ¿podremos saber dónde se situaban los puntos cardinales cuando el fósil era un ser vivo?

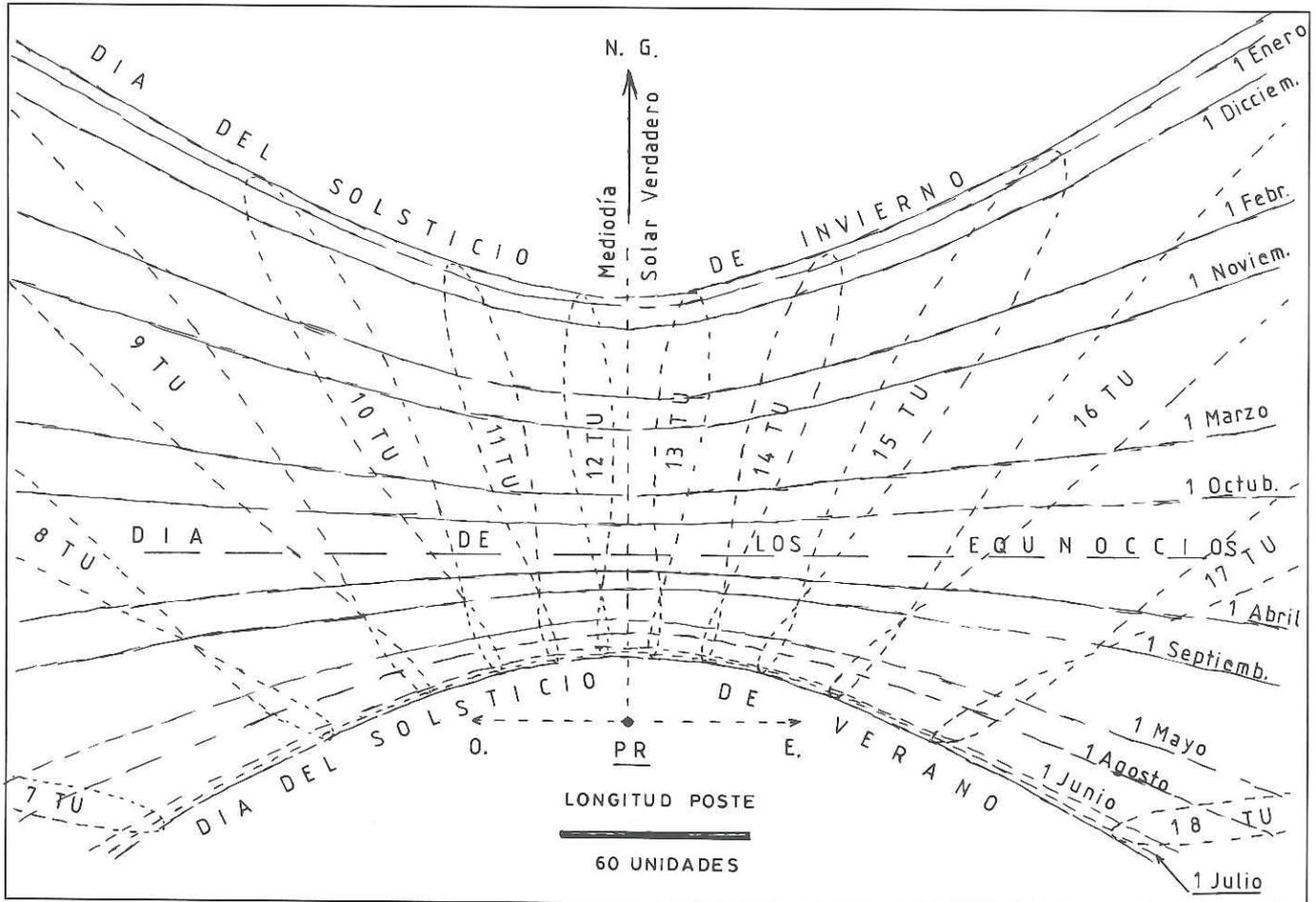


Figura 1.—Trayectoria (muy esquematizada) del Sol (o de la sombra) en las latitudes medias. En este caso concreto a los 42° 34'. Se ha insertado también en el gráfico una clase de tiempo, el Tiempo Universal. Obsérvese como el acimut varía, en una hora por ejemplo, según la época del año y según el momento del día.

Para dar respuesta a estas preguntas hemos de acudir al auxilio de la Astronomía de la Botánica.

Distribución de la radiación solar

Consideremos un punto cualquiera de la superficie del Globo, (PR o punto de referencia), que lógicamente estará determinado por sus coordenadas geográficas (latitud y longitud). Consideremos asimismo que la zona en la que se halla PR es totalmente llana y horizontal, existiendo en la misma (en posición vertical) un poste de altura A emplazado justamente en PR.

La longitud de la sombra del poste será, A/tgh; (siendo h la altura del Sol sobre el horizonte) y ésta sombra formará un ángulo Z con el meridiano que pasa por PR.

La trigonometría esférica nos enseña que tanto h, como Z pueden relacionarse matemáticamente con L (declina-

ción de los rayos solares), T(latitud de PR) y H(ángulo horario del Sol).

De este modo podemos determinar en todo momento la posición del Sol en el firmamento o si se quiere las características (longitud y orientación) de la sombra precipitada. Si denominamos X e Y a las coordenadas rectangulares de la sombra del extremo superior del poste tenemos que:

$$(1) \quad X = x' + \frac{A}{\text{tg}[\text{sen}^{-1} \{(\text{sen}T \cdot \text{sen}L) + (\text{cos}T \cdot \text{cos}L \cdot \text{cos}H)\}]} \times \text{sen} \left\{ \text{tg}^{-1} \left[\frac{\text{sen}H}{(\text{sen}T \cdot \text{cos}H) - (\text{tg}L \cdot \text{cos}T)} \right] \right\}$$

$$(2) \quad Y = y' + \frac{A}{\text{tg}[\text{sen}^{-1} \{(\text{sen}T \cdot \text{sen}L) + (\text{cos}T \cdot \text{cos}L \cdot \text{cos}H)\}]} \times \text{sen} \left\{ \text{tg}^{-1} \left[\frac{\text{sen}H}{(\text{sen}T \cdot \text{cos}H) - (\text{tg}L \cdot \text{cos}T)} \right] \right\}$$

En las fórmulas precedentes x' e y' son las coordenadas de la base del poste (PR), que en este caso podemos considerar iguales a 0.

La fig.1 representa de modo bastante esquemático la aplicación de las fórmulas 1 y 2 a un caso real. Se trata del punto cuyas coordenadas geográficas son 42° 34' 49,03" N. y 6° 28'

5,08" O. (datum Europeo) y que se halla emplazado en el pueblo de Castro-podame (León). Al parámetro A se le asignó un valor de 60 unidades.

En este caso concreto se utilizaron los cálculos con referencia a una clase de tiempo concreto (el tiempo universal) y por ello fue preciso emplear el valor de la longitud geográfica G para determinar H.

$$(3) \quad H = [t_0 - \{M + \frac{(G_c - G_M)}{15}\}] \times 15$$

- t₀ = Instante concreto de un día
- M = Hora paso Sol por meridiano de referencia
- G_c = Longitud geográfica de PR
- G_M = Longitud geográfica del meridiano de referencia

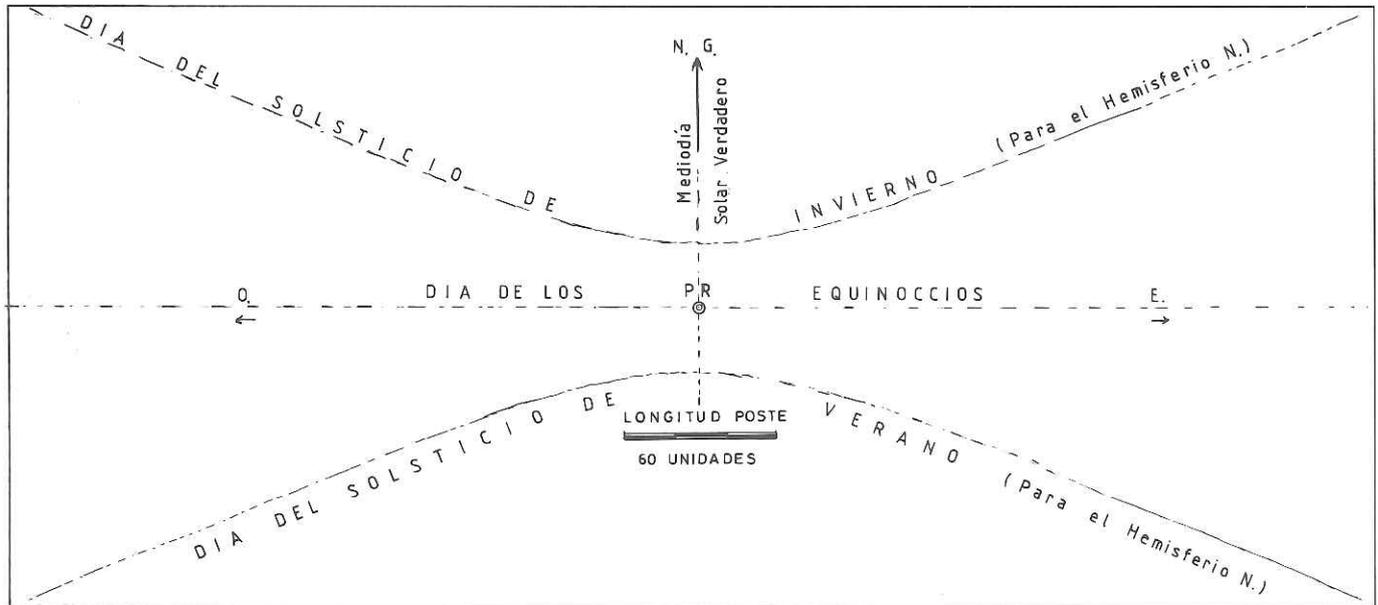


Figura 2.—Trayectoria del Sol en un punto cualquiera del Ecuador. No se ha insertado clase alguna de tiempo, pero si se hubiera hecho se observaría que en las horas centrales del día la velocidad angular del Sol es considerablemente más alta que en el resto y que este fenómeno es más acusado aún que en las latitudes medias.

En el análisis que ahora nos ocupa no tiene sentido alguno hacer referencia a un tipo de tiempo concreto y por ello podemos olvidarnos del valor de G. Solamente consideraremos, eso sí, que en las horas centrales del día la variación del azimut de los rayos solares es más acusada que en el resto.

En la fig.2 no se han hecho los cálculos con referencia a una clase de tiempo concreto. Esta nos muestra cuál sería el resultado si Castropodame se hallase en un punto cualquiera del Ecuador.

No insistiré más sobre este punto por razones de espacio; indico no obs-

tante que existe un trabajo detallado y publicado en lenguaje asequible a gran número de personas, sobre el tema. (Semanao «Bierzo 7». Ponferrada, septiembre, 1993). Remito por ello a los interesados a la reseña bibliográfica que se inserta al final de este artículo.

Hemos considerado hasta ahora el caso de una superficie «llana y horizontal»; pero sobre ésta es evidente que la radiación solar se distribuirá de modo uniforme sea cual sea la posición de PR.

Sin embargo, si consideramos la superficie de un cilindro cuyo eje lon-

gitudinal tenga una posición idéntica a la de nuestro poste las cosas cambian.

Este es el caso de un tronco de un árbol y en el mismo la distribución de tal radiación no es uniforme, siendo tal variación función de la latitud y la orientación del árbol. Aquí está la clave.

En este análisis no nos interesa conocer la cantidad total de radiación que a lo largo del tiempo incide en la corteza del árbol, sino la distribución de ésta, pues está condicionada en gran medida por los parámetros indicados (latitud y orientación).

Lo hasta aquí expuesto e incluso simplemente unos conocimientos bási-

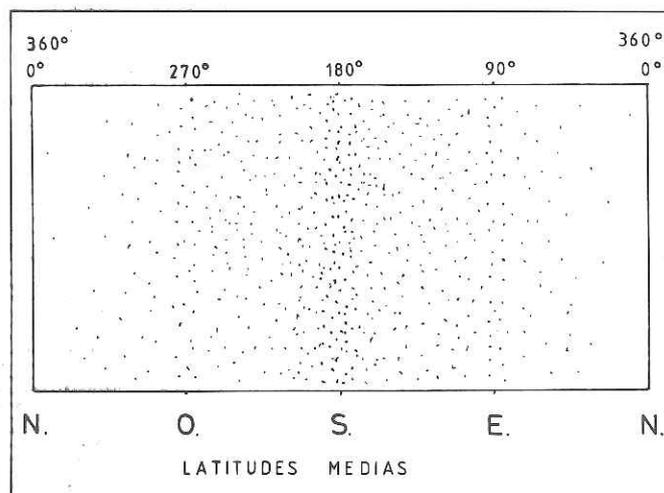


Figura 3.—Distribución de la radiación solar en la corteza de un árbol en latitudes medias. Obsérvese su distribución respecto a los puntos cardinales, con claro predominio hacia el Sur y por el contrario escaso al Norte.

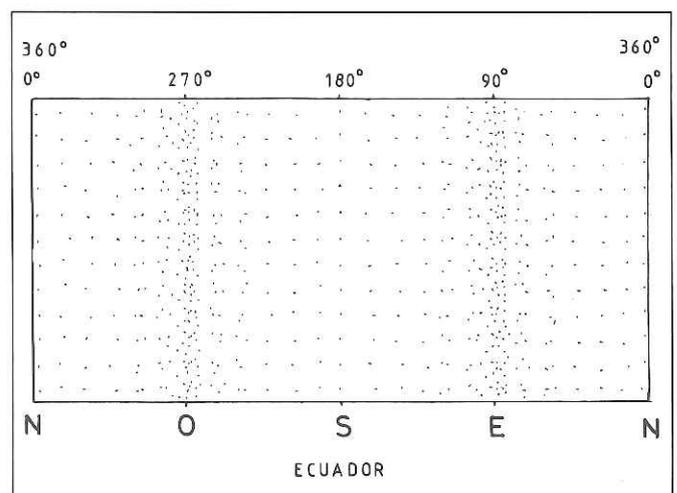


Figura 4.—Distribución de la radiación solar en zonas ecuatoriales. El predominio es al Este y al Oeste. El hecho de que el Sol se halle al Oeste por las tardes (como en latitudes medias), quizá haya que ponderarlo, ya que entonces la temperatura ambiental es más alta.

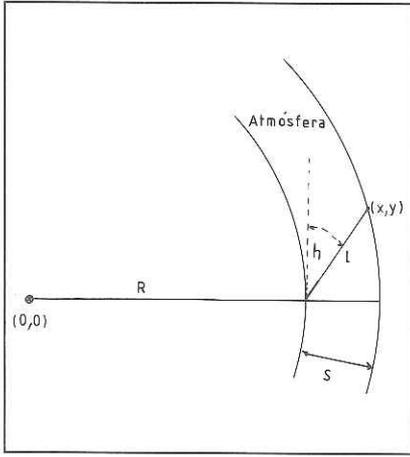


Figura 5.-La longitud de atmósfera atravesada varía en función de la altura del Sol. Esta a su vez está relacionada con la época del año, la hora del día, los puntos cardinales y la altitud.

cos de astronomía muestran que tal distribución se hará como se indica en los gráficos 3 y 4.

Tales figuras representan la corteza del árbol extendida y la densidad de puntos en las diferentes partes de la misma, es directamente proporcional a la radiación solar recibida en un período de uno o más años.

La diferencia entre las latitudes medias y el Ecuador estriba no sólo en la distribución sino también en la posición de ésta con respecto a los puntos cardinales. El tema aún podría analizarse con más precisión empleando un desarrollo matemático.

Los rayos solares que inciden en la corteza de un árbol han de atravesar una longitud de atmósfera (l), que será inversamente proporcional a la cantidad de radiación que finalmente llega al suelo.

$$(4) R_f = (R_i / l) \times C.$$

- R_f = Radiación que llega al suelo.
- R_i = Radiación que entra en la atmósfera.
- C = Parámetro que depende de otros varios factores (nubes, climatología,....).

Ahora bien la longitud de atmósfera atravesada, podemos expresarla en función de h (altura del Sol). Como sabemos este parámetro podemos determinarlo para cualquier instante así como el valor de Z (acimut).

La fig.5 explica esta situación. R es el radio de la Tierra y S el espesor de la atmósfera, cantidades ambas constantes.

En esta figura el origen de coordenadas se sitúa en el centro de La Tierra y el punto donde los rayos solares comienzan a penetrar en la atmósfera se determina por (x,y). Tenemos pues que:

$$(5) l = \frac{(x - R)}{\cos(90-h)}$$

Por otro lado el valor de la abscisa x lo podemos expresar en función de h, (intersección de una circunferencia con una recta).

El desarrollo es un tanto complejo y por ello llamaremos K al valor $(R+S)^2$ y T al valor $\text{tg}^2(90-h)$. El resultado final es una ecuación de segundo grado que ofrece por tanto dos teóricas soluciones, de las cuales en este caso sólo una es válida.

$$(6) x = \frac{2TR + \sqrt{(2TR)^2 - 4[(1+T) \cdot (R^2T - K)]}}{2(1+T)}$$

Aunque la fórmula final es un tanto compleja conseguimos nuestro objetivo de relacionar las dos variables l y h.

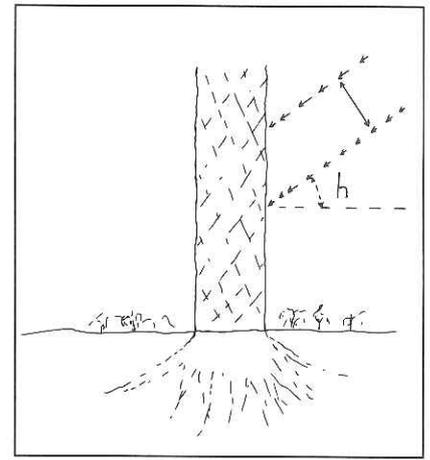


Figura 6.-La radiación solar una vez atravesada la atmósfera se distribuye en la corteza del árbol en función del ángulo de incidencia.

Es preciso tener también en cuenta que la radiación que incide en la superficie del árbol guarda estrecha relación con el ángulo de incidencia o lo que es lo mismo con h una vez más (Fig.6). En este caso tenemos que la

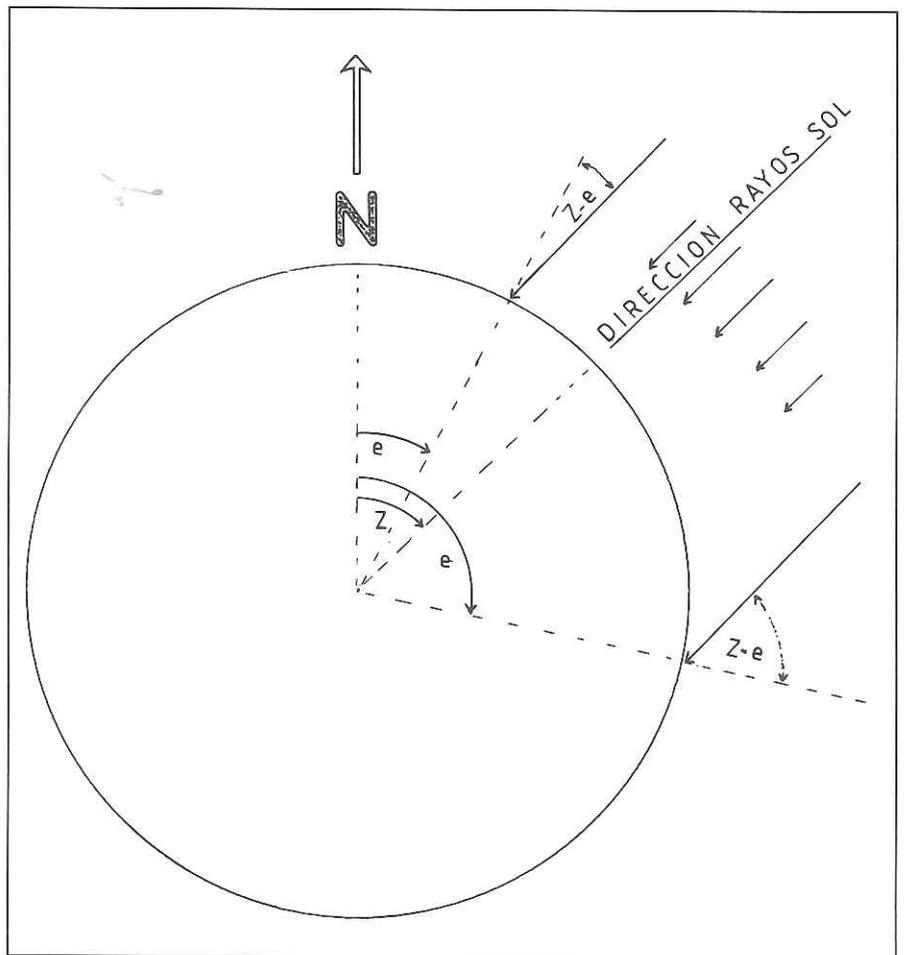


Figura 7.-El ángulo de incidencia de la radiación solar hay que tenerlo en cuenta también en secciones transversales del tronco.

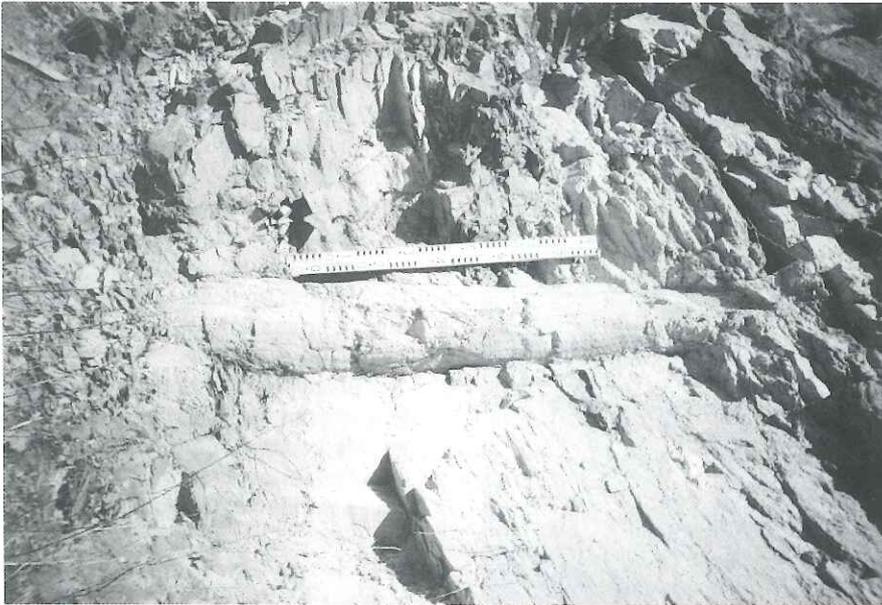


Foto 1.-Tronco fósil de unos 35-40 cm. de diámetro. No está totalmente perpendicular a la estratificación, pero es casi seguro que está en posición de vida. Carretera de Bemibre a Noceda, latitud 42° 40'.

radiación que logra atravesar la atmósfera R_p , sufre una nueva modificación.

$$(7) \quad R_a = R_t \times \cos.h$$

R_a = Radiación por unidad de superficie en la corteza del árbol.

R_t = Radiación que logra atravesar la atmósfera.

El ángulo de incidencia no sólo hay que tenerlo presente en secciones longitudinales del árbol (fig.6). En planta (fig.7), también tiene su importancia. En este caso la fórmula (7) se transforma en

$$(8) \quad R_a = R_t \times \cos(Z-e)$$

El único parámetro nuevo (e) es el acimut de un punto cualquiera de la corteza del árbol. Considero oportuno indicar que es preciso estar alerta ante el signo que en cada caso ha de presentar el acimut, tanto si es del Sol como del árbol. Debemos recordar (fórmulas 1 y 2) que el acimut de los rayos solares lo conocemos en todo momento.

Combinando por tanto las fórmulas 1,2,3,4,5,6,7 y 8 podemos obtener un verdadero plano de la superficie del árbol que refleje fielmente la distribución buscada. Esto es desde luego una tarea compleja, pero no imposible y menos dado el actual nivel de la informática.

De todos modos de nada serviría todo lo expuesto si no encontramos en

el árbol algo que delate tal distribución. El problema se traslada así al terreno de la biología.

Botánica

La influencia de la luz solar en el desarrollo de los vegetales es fundamental. La temperatura (consecuencia en gran medida de la luz) también lo es.

Esta influencia se hace notar a muchas escalas (valles orientados a los di-

ferentes puntos cardinales por ejemplo); pero en nuestro caso y dado que partimos de la condición de un relieve prácticamente llano sólo nos interesa lo que ocurre sobre la corteza del árbol (al menos en principio).

Las diversas escalas nos sirven en todo caso para confirmar no sólo la influencia aludida, sino el sentido en que ésta se ejerce, ya que, por ejemplo, tanto en un valle como en un tronco arbóreo podemos distinguir zonas de solana y zonas de humbría.

En las latitudes medias los árboles suelen mostrar mayor crecimiento en la parte orientada al Sur, lo que se traduce en un mayor espaciado de los anillos de crecimiento anual. La cara orientada al Norte suele, por el contrario, ser el refugio de ciertos epífitos (musgos, líquenes,...).

En las zonas tropicales existen las llamadas «plantas brújula», que en un intento por evitar en las horas centrales del día la incidencia de la radiación solar de modo muy perpendicular; orientan sus hojas en la dirección de los rayos.

Por otra parte el hecho de que los árboles crezcan perpendicularmente a la superficie terrestre, puede interpretarse como un intento de éstos por repartir en su superficie la luz de modo uniforme. Cuando el Sol está próximo al orto o al ocaso la tenue luz que llega lo hace casi perpendicularmente, pero el ángulo de incidencia varía radicalmente en las horas en que la luz es potente.



Foto 2.-Tronco fósil de más de 50 cm. de diámetro situado a escasos metros del de la foto 1 y en posición similar.

A partir de estos datos cabría esperar que en el Ecuador los árboles mostrasen una sección elipsoidal, con el eje mayor orientado según la línea E-O, y el menor perpendicularmente; aunque sin anillos de crecimiento (o en todo caso muy tenues); debido a la relativa uniformidad del clima tropical.

Si esto es así o no y también si en caso de serlo, es correcta la explicación, es algo que los especialistas en el tema deben determinar. También es tarea de botánicos averiguar si existen otras características en los árboles intertropicales que delaten su ubicación en el Globo y su orientación.

Por mi parte quiero señalar que en efecto en la Cuenca Carbonífera del Bierzo, son corrientes (aunque no únicos) los troncos fósiles con sección elipsoidal. Es asimismo cierto que en ningún caso he observado anillos de crecimiento, pero estos datos no son suficientes para afirmar que estos fósiles vivieron a la altura del Ecuador. La forma puede deberse a causas tectónicas y la ausencia de anillos a una deficiente fosilización.

En el ámbito de la geología existen numerosos trabajos sobre la deformación que los sedimentos sufren tras su depósito. Uno de los más conocidos es quizá el voluminoso libro «Plegamiento y fracturación de rocas» de J. Ramsey.

Cuidadosos análisis pueden determinar si la forma de tales troncos es original o debida a esfuerzos tectónicos.

Por otra parte, parece claro que las equivalentes actuales de los fósiles del Carbonífero del Bierzo son plantas que viven en latitudes intertropicales (suelen ser monocotiledoneas) con todo lo que ello implica.

Ahora bien, todo esto no debe ha-



Foto 3.-Tronco fósil hallado en las proximidades del pueblo de Igüeña (42° 44'). Su sección es claramente elipsoidal (85 x 55 cm.) característica ésta que no se aprecia de modo claro en los ejemplares de las fotos 1 y 2.

cernos olvidar que el objetivo final de este trabajo no es la determinación del paleoclima; sino de la paleolatitud y del modo más preciso posible. Actualmente las latitudes comprendidas entre los 23° N y 23° S son sinónimo de clima intertropical, pero ¿fue así siempre?

El Actualismo y el Carbonífero

«Las mismas causas producen siempre los mismos efectos».

Ahora bien, ¿eran en el Carbonífero las «causas» idénticas a las actuales?

Ciertamente hay razones para sos-

pechar que entonces la velocidad de rotación terrestre era sensiblemente inferior a la actual, con lo cual los días durarían tan sólo unas 22 horas.

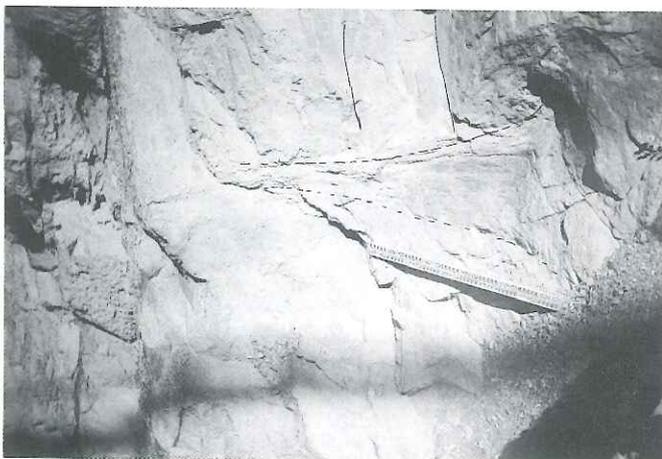
En estas condiciones y en latitudes próximas al Ecuador tendríamos días y noches que a lo largo de todo el año se sucederían con intervalos regulares de 11 horas. La velocidad de traslación por el contrario debía ser al parecer similar a la actual por lo que un año contendría unos 390 días.

El ángulo de oblicuidad de la elíptica es actualmente de unos 23° 27' y guarda como sabemos estrecha relación con las estaciones del año. ¿Cual era su valor en el Carbonífero?

La actual posición es intermedia entre los valores máximo y mínimo posibles (0° y 90°); que de verificarse en algún tiempo provocarían drásticas variaciones climáticas en el conjunto del Planeta. En efecto si el valor fuese de 0° estaríamos en una continua primavera (u otoño); pero en el extremo opuesto tanto el invierno como el verano serían muchísimo más acusados que actualmente.

Los polos pasarían por largos períodos sin noche y con un sol abrasador (rayos muy perpendiculares al suelo), seguidos por otros justamente opuestos y pasando por períodos intermedios. El Ecuador por su parte conocería dos épocas en el año similares a las de los actuales polos y en definitiva más casos podríamos citar, todos los cuales indican que a valores extremos de la oblicuidad corresponden condiciones climáticas globales mucho más extremas que las actuales.

Si miramos a nuestro Sistema Solar (no conocemos otro), veremos que los valores extremos referidos son bas-



Fotos 4 y 5.-Fósiles situados en la plaza de la mina MILE (42° 43'). Su diámetro en la base es de unos 40 cm. y están en posición de vida. Aunque en las fotos no se aprecia, el examen «in situ», muestra claramente su estructura interna aunque en sección longitudinal.

tante frecuentes (casos de Mercurio, Venus, Júpiter y Urano).

Sobre esta cuestión algo podrán decir los astrónomos y también los biólogos ya que si en el pasado geológico hubo condiciones climáticas drásticamente diferentes de las actuales (siempre considerando el conjunto del Planeta), ello debería haber dejado huella en el registro fosilífero.

Por mi parte y como geólogo debo indicar que en el estudio de medios sedimentarios antiguos nunca he visto nada que considere la existencia de las condiciones extremas aludidas. Hay un trabajo de J.W. Wells (citado por Don L. Eicher) que parece sugerir unos valores de la oblicuidad similares a los actuales al menos desde el comienzo del Paleozoico. En todo caso considere oportuno citar el asunto. ¿Influirán en el ángulo de oblicuidad las variaciones de la rotación? Casi apostaría que sí, pero....

Por el contrario lo dicho al principio respecto a la rotación y traslación terrestres sí parece ser de unánime aceptación por lo que hemos de ponderar seriamente esta cuestión al referirnos a otras épocas geológicas.

El cálculo de cual ha de ser la posición del Sol en el firmamento se hace en base y gracias a los datos que los astrónomos aportan (Anuario del Observ. Astron. de Madrid por ejemplo) y pienso que a éstos no les supondría gran dificultad el efectuar estos cálculos pero extrapolados a las condiciones del Carbonífero aún suponiendo nuevos valores de la oblicuidad.

Método a seguir. Conclusiones

El análisis estadístico es fundamental por lo que se precisaría el hallazgo de numerosos ejemplares y lo mejor conservados posible.

Si tales ejemplares se hallan en posición de vida podrían facilitarnos datos no solamente sobre la paleolatitud, sino también sobre su orientación cuando eran seres vivos. (La Península Ibérica no sólo parece haberse trasladado sino rotado además).

La reconstrucción paleogeográfica detallada es asimismo importantísima. (Un árbol en medio de un bosque no sería un ejemplar útil). Sobre este punto concreto existen trabajos muy interesantes como los citados por L. Sánchez de la Torre.

Al decir «detallada», me refiero al máximo posible y en los estudios citados se nos muestran casos de cuencas carboníferas en las que se han reconstruido verdaderos «paleomapas», en los que podemos apreciar el trazado de los antiguos canales, las zonas pantanosas, los denominados «crevasse splay» o zonas de desbordamiento del canal, etc, etc,.... El problema es que supongo que tales reconstrucciones precisan una larga y sobre todo costosa investigación.

Si el análisis estadístico refleja datos acordes con el gráfico 4 entonces podríamos comenzar a aceptar el éxito de la investigación.

«... el objetivo final de este trabajo no es la determinación del paleoclima; sino de la paleolatitud...»

La restitución del fósil a su posición original, no ofrece dificultad alguna (si está en posición de vida), en cuencas poco plegadas como la del Bierzo. En otros casos la cuestión puede ser más compleja (Cuenca Central Asturiana), pero en todo caso los problemas serios surgirían al determinar la rotación sufrida respecto a los puntos cardinales; aunque si se logra demostrar de modo convincente que tales fósiles vivieron a latitudes diferentes a donde hoy se hallan ya sería un éxito si bien parcial.

En este análisis se ha hablado siempre de latitudes medias y del Ecuador; (y del Carbonífero y la actualidad), pero es obvio que el estudio puede aplicarse al conjunto del Planeta. También es evidente que la validez del método se extiende (si tiene éxito) a otras cuencas distintas a la del Bierzo y, lo que es más interesante, a sedimentos de otras épocas geológicas.

Recordemos que sólo en nuestro país hay carbones cuya edad de formación varía desde el Carbonífero al Cuaternario (Autuniense, Jurásico, Cretácico Inferior, «Garumense», Oligoceno, Mioceno,....).

Si la Península Ibérica ha estado desplazándose a lo largo de la Historia Geológica (como pensamos) podemos albergar la esperanza de que las variaciones de la latitud (y de orientación)

hayan ido dejando huella en el registro de flora fósil.

Un amplio estudio referido a sedimentos repartidos actualmente por diversos puntos del Globo y de diversas edades es por otra parte imprescindible, dada la naturaleza de la Teoría estudiada (D. Continental) y habida cuenta la diversidad de factores que pueden haber intervenido en el proceso de formación de las muestras rocosas que podemos examinar.

Agradecimiento

Deseo expresar mi gratitud a Manuel Cerdeira Crespo por sus interesantes sugerencias en el apartado referente a la Botánica. Asimismo gracias a la Empresa Campomanes Hermanos y a su oficina administrativa por las facilidades dadas para la informatización del presente trabajo. ■

Bibliografía

- AGUEDA VILLAR, J. A. (1981): «Modelos deltaicos en exploración de carbón». 6º curso de geología práctica. Teruel 1981. (Relac. bibliog. Boletín ITGE. 1982).
- BARRY R. G. y CHORLEY, R. J. (1972): «Atmósfera tiempo y clima». Ed. Omega. Barcelona.
- DON L. EICHER (1973): «El tiempo geológico». Ed. Omega. Barcelona.
- FERNANDEZ FERNANDEZ, L. (1989): «Topografía Minera». Univ. de León. Dip. Prov. de León. León.
- FONT QUER, P. (1974): «Botánica pintoresca». Ed. Sopena. Barcelona.
- ITGE. (Mº. de Ind. y Energ.): «Carbonífero y Pérmico de España». X Congreso Internacional de estratigrafía y geología del Carbonífero. Madrid. 1983.
- ITGE. (Mº de Ind. y Energ.): «Actualización del Inventario de reservas nacionales de carbón. Madrid. 1985.
- LEE McALESTER, A. (1973): «La historia de la vida». Ed. Omega. Barcelona.
- MECALFE, C. F.: «Anatomy of the monocotyledones». (4 tomos). Oxford and Clarendon of Press.
- MELLENDEZ TERCERO R. y CERDEIRA CRESPO, R. (1993): «El Reloj-Calendarario solar»-Semanaario «Bierzo-7». Ponferrada. (León).
- MOPT (IGN): «Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid».
- PARICIO CARDONA, J. (1990): «Hallazgo y recuperación de un tallo de helecho gigante en el Carbonífero de la Cuenca Ciñera-Matallana. (León). Geogaceta, n.º 7. Relac. notas bibliog. del Boletín ITGE de 1990.
- PHILLIPS, F. C. (1975): «Aplicación de la proyección estereográfica en Geología Estructural». H. Blume. Ed. Madrid.
- RAMSAY, J. G. (1977): «Plegamiento y fracturación de rocas». H. Blume. Ed. Madrid.
- SANCHEZ DE LA TORRE, L. (1982): «Ambientes sedimentarios del carbón». 6º curso de Geología Práctica. Teruel. Relac. notas bibliog del Boletín ITGE 1982.
- SELLEY R.C. (1976): «Medios Sedimentarios Antiguos» H. Blume Ed. Madrid.

NOTICIAS DE LA FEG

El pasado mes de junio, la **Federación Europea de Geólogos** hizo entrega oficial de los primeros nueve títulos de **Geólogos Europeos** en la sede central de la Geological Society, Burlington House, Londres.

En la reunión del Consejo de la FEG que tuvo lugar a continuación, se aprobaron las solicitudes de otras 20 candidaturas. A la fecha de la publicación de esta nota hay 40 solicitudes en espera de su aprobación en el próximo Consejo de la FEG que tendrá lugar en Atenas la primera semana de noviembre.

La FEG espera que, al ritmo actual, sean más de 500 Geólogos Europeos los que se inscriban en el Registro de Geólogos Europeos a finales del año 1996.

Próximamente aparecerá el **1^{er} Directorio de Geólogos Europeos**, al que se pretende dar la máxima difusión entre los Organismos de la UE e Instituciones y Empresas de los países miembros de la FEG.

La puesta en marcha del **Comité de Geólogos Europeos**, con sede en el Servicio Geológico Belga, en Bruselas, pretende servir que los profesionales de la geología dispongan de un cauce permanente para sus reivindicaciones y propuestas ante las instituciones comunitarias.

El título de Geólogo Europeo es una garantía de calidad de servicio respaldado por la Federación Europeo de Geólogos. El poseedor es automáticamente reconocido como geólogo nacional de cualquier país miembros de la FEG, hasta los límites legales y competenciales que cada Asociación Nacio-

nal tenga en su país. Adicionalmente existe un acuerdo de servicios que permite a cualquier Geólogo Europeo utilizar las instalaciones y servicios de cualquier Asociación Nacional en sus desplazamientos por Europa.

La solicitud del título puede hacerse en el ICOG, donde se pueden solicitar los correspondientes impresos. Las cuotas para su obtención son de 180 ECU por los tres primeros años.



Acto de entrega de los primeros 9 títulos de Geólogo Europeo. The Geological Society. Londres.

«**LA TIENDA VERDE**»

C/. MAUDES, N.º 38 - 28003 MADRID

TELS.: 533 07 91 - 533 64 54

FAX: 533 64 54

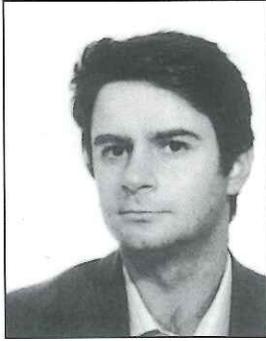
«**LIBRERIA ESPECIALIZADA EN CARTOGRAFIA, VIAJES Y NATURALEZA**»

- MAPAS TOPOGRAFICOS: S. G. E. I. G. N.
- MAPAS GEOLOGICOS.
- MAPAS DE CULTIVOS Y APROV.
- MAPAS AGROLOGICOS.
- MAPAS DE ROCAS INDUSTRIALES.
- MAPAS GEOTECTONICOS.
- MAPAS METALOGENETICOS.
- MAPAS TEMATICOS.
- PLANOS DE CIUDADES.
- MAPAS DE CARRETERAS.
- MAPAS MUNDIS.
- MAPAS RURALES.
- MAPAS MONTADOS EN BASTIDORES.
- FOTOGRAFIAS AEREAS.
- CARTAS NAUTICAS.
- GUIAS EXCURSIONISTAS.
- GUIAS TURISTICAS.
- MAPAS MONTAÑEROS.

«**VENTA DIRECTA Y POR CORRESPONDENCIA**»

«**SOLICITE CATALOGO**»

ORCE: EL MILAGRO DEL TIEMPO



Alfonso Arribas Herrera

Licenciado en Ciencias Geológicas (Especialidad de Paleontología) por la Universidad Complutense de Madrid. Desde 1989 colabora en diversos Proyectos de Investigación sobre Paleontología y Paleoantropología de yacimientos continentales cuaternarios. En 1992 se incorpora al Dpto. de Paleobiología del Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC) de Madrid, donde realiza su Tesis Doctoral sobre Taponomía y Paleoecología del Plio-Pleistoceno continental peninsular. Es Director del Proyecto de Investigación (Paleontología y Paleoantropología) de la Cueva de los Torrejones (Complejo Kárstico de Tamajón, Guadalajara), subvencionado por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.

En este trabajo se exponen diversos datos sobre la geología y la paleontología del inicio del Cuaternario en el SE de la Península Ibérica. Los yacimientos del límite Plio-Pleistoceno de la región de Orce (Venta Micena, Granada) y de Cueva Victoria (Murcia), han aportado fósiles humanos asociados a un conjunto realmente significativo de taxones poco usuales en España. Se discute la existencia de una migración de fauna africana, acontecida entre -1,8 y -1,6 millones de años. Esta migración de formas africanas, incluyendo al género Homo como una especie más, pudo estar determinada por cambios ambientales globales, que afectaron a las mastocenosis de un periodo de tiempo mal conocido en Europa occidental.

In this paper, a series of data regarding the geology and paleontology of the first stages of the Quaternary in the SE of the Península Ibérica are explained. The Plio-Pleistocene limit deposits in the region of Orce (Venta Micena, Granada) and Cueva Victoria (Murcia) have provided us with human fossils associated to a very significant set of taxa, quite unusual in Spain. The occurrence of a migration of african fauna between -1,8 and -1,6 millions of years is discussed. The migration, which included the genus Homo among other species, could have been due to global environmental changes affecting the mammal association of a period of time quite unknown in West Europe.

Orce es un pequeño pueblo granadino situado en el sector oriental de la Cuenca de Guadix-Baza; se trata de un enclave rural localizado en una comarca semidesértica, jalonada por cañones y barrancos que ponen al descubierto secuencias continentales cuaternarias (Figura 1). Esta comarca (Orce-Venta Micena) es un paraje de ensueño que posee un valor añadido de extraordinaria importancia: la paleontología.

Más del 70% de los yacimientos paleontológicos cuaternarios peninsulares se encuentran en cavidades kársticas o en pequeños afloramientos fluviales. En la región de Orce (más de 20 Km² de extensión) afloran potentes y extensas series palustres y lacustres, sedimentadas durante el límite Plio-Pleistoceno y el inicio del Pleistoceno inferior (1,8-1,6 Ma). Dichas series contienen numerosos estratos de arcillas y de calizas, que guardan en su interior decenas de miles de fósiles. Esta sucesión, en la vertical y en la horizontal, de capas fosilíferas cuaternarias es un caso único en Eurasia. Tenemos que acudir al Rift africano para encontrar algo parecido a lo que contiene el subsuelo granadino: estratos, restos de

organismos y piedras de un intervalo de tiempo en la historia de la vida del que poseemos muy poca información, yacimientos del periodo en el que el hombre abandonó por primera vez Africa.

Para realizar una aproximación correcta al contenido pétreo del sector Orce-Venta Micena debemos eliminar de nuestras mentes ideas preconcebidas, heredadas de la paleontología tradicional del cuaternario europeo (yacimientos en terrazas y en cuevas) y adoptar una actitud renovadora en lo que se refiere al análisis de la información que suministran estos estratos. Es decir, entender cuál es la dinámica sedimentaria de un sistema lacustre, cuáles son las interrelaciones que existen entre los lagos (oscilaciones del nivel de las aguas) y las mastocenosis, y por último, qué ocurrió con las poblaciones de mamíferos en Europa hace 1,8-1,6 Ma. Para responder estas y otras preguntas hemos de acudir a los yacimientos de la región de Orce y al yacimiento kárstico del Pleistoceno inferior de Cueva Victoria (Murcia), localidad que ha aportado interesantes datos sobre los temas que aquí vamos a tratar.

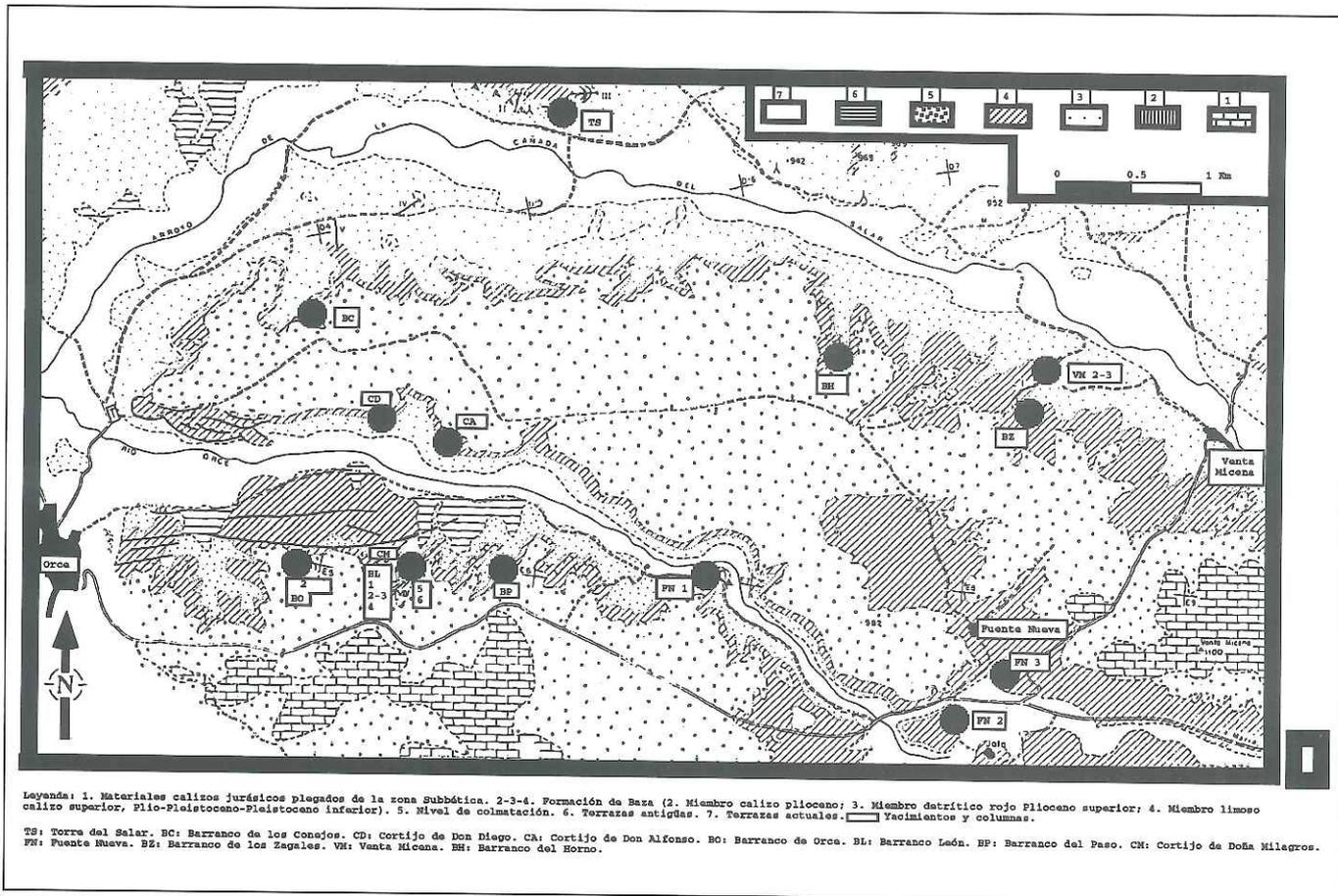


Figura 1.-Situación de los yacimientos paleontológicos y arqueológicos más importantes de la región de Orce.

Antecedentes

El nombre del pueblo de Orce se dió a conocer hace ya varios años. El descubrimiento de un fragmento craneal (con parte de las suturas sagital y lambdaidea conservadas), atribuido al género *Homo*, marcó el comienzo de un periodo de intensas investigaciones, que durante los últimos seis años han revelado importantes datos paleontológicos y arqueológicos, de forma que cada vez son más numerosos los yacimientos del SE peninsular que contienen fósiles de mamíferos de estas edades y elementos líticos aportados (algunos de ellos manufacturados) por homínidos primitivos.

El descubrimiento de un fósil humano en el Pleistoceno inferior de Africa no era apenas noticia hace diez años, ni lo es ahora, ya que está constatada históricamente la presencia humana en esas edades. Pero el descubrimiento de un fósil humano en el Pleistoceno inferior de Eurasia (Venta Micena y Cueva Victoria) produjo reacciones encontradas. Esto fue así, en mi opinión, porque el paradigma oficial de la colonización humana de Eu-

«Tenemos que acudir al Rift africano para encontrar algo parecido a lo que contiene el subsuelo granadino: estratos, restos de organismos y piedras de un intervalo de tiempo en la historia de la vida del que poseemos muy poca información, yacimientos del periodo en el que el hombre abandonó por primera vez Africa»

ropa postulaba que los primeros representantes del género *Homo* llegaron hace alrededor de 600.000 años, junto con una asociación homogénea de mamíferos de procedencia asiática (nos

encontraríamos en el Cromeriense o inicio del Pleistoceno medio, -0.69 Ma). Los restos de la región de Orce eran un millón de años más antiguos que el siguiente registro humano euroasiático, es decir, estos hallazgos rebajaban en 1 millón de años la colonización de Europa. El descubrimiento reciente de una mandíbula humana en el yacimiento de Damnisi (Pleistoceno inferior, Georgia) confirma este cambio en las cifras de la colonización de Eurasia.

¿Qué hacían en Europa, hace más de 1 millón y medio de años, grupos de homínidos que habitaban exclusivamente en Africa? Iremos respondiendo esta pregunta a lo largo del artículo. Avanzaremos que en el límite Plio-Pleistoceno del SE peninsular, además de fósiles de este primate africano, encontramos fósiles de otros mamíferos (cercopitécidos, carnívoros, artiodáctilos y perisodáctilos) originarios de Africa. Este conjunto de taxones procedentes del continente negro colonizó Eurasia por la Península Ibérica, en el inicio del Cuaternario.

En la actualidad los primeros fósiles humanos hallados en Venta Mi-

cena (fragmento de cráneo) y en Cueva Victoria (falange segunda del quinto dedo de la mano) se encuentran acompañados por otros elementos anatómicos atribuidos al género *Homo*, así como por numerosas industrias líticas y *manuportes* descubiertos en distintos yacimientos de la región de Orce. Los fósiles atribuidos

«La tafonomía nos muestra que estas acumulaciones fueron realizadas por hiénidos y alteradas parcialmente por homínidos, sin que la estructura original de la asociación esté modificada por otros agentes y/o procesos tafonómicos»

al género humano han sido sometidos a diversas técnicas de análisis (anatomía comparada, morfometría, pruebas bioquímicas tales como detección de proteínas fósiles, y estudios de la dimensión fractal, los valores matemáticos más íntimos de una estructura anatómica), y por todas estas vías de investigación se ha llegado a la misma conclusión: pertenecen a representantes de la familia Hominidae. Así pues, no son necesarias, sino demasiadas todas las pruebas objetivas que afirman una determinación, la humana, y que anulan el resto de posibilidades.

El Pleistoceno Inferior: Mamíferos, lagos y cuevas

El Cuaternario es un Sistema geológico que abarca desde hace -1.6 Ma hasta la actualidad (IUGS, 1989). La datación del límite temporal inferior está basada en la detección de un evento paleomagnético normal, subcrón Olduvai, que abarca desde -1,8 hasta -1,6 Ma aproximadamente. Este even-

to paleomagnético se ha detectado, fundamentalmente, en unidades del Mar Mediterráneo y en secuencias continentales de África oriental.

En el inicio del Pleistoceno de Europa occidental se observa una importante ruptura faunística, dentro del grupo de los mamíferos, con respecto al Plioceno. Tenemos en Europa nuevas formas de mamíferos (hiénidos, cánidos, félidos, artiodáctilos, perisodáctilos, primates y roedores) y algunas especies relictas, de estos y otros grupos, que ya llegaron a nuestras latitudes durante el final del Plioceno (Villafranchiense medio).

En la región de Orce se han localizado durante los últimos años distintos estratos fosilíferos que se sitúan en una secuencia sedimentaria carbonatada constituida por un Primer Subtramo carbonatado, un "Estrato Negro" (fosilífero) y un Segundo Subtramo carbonatado en el que se ha detectado el subcrón Olduvai y que contiene numerosos estratos fosilíferos, entre los que destaca el «Estrato Venta Micena». Dos de estos estratos son especialmente significativos, por sus características y por ser niveles guía (Figura 2):

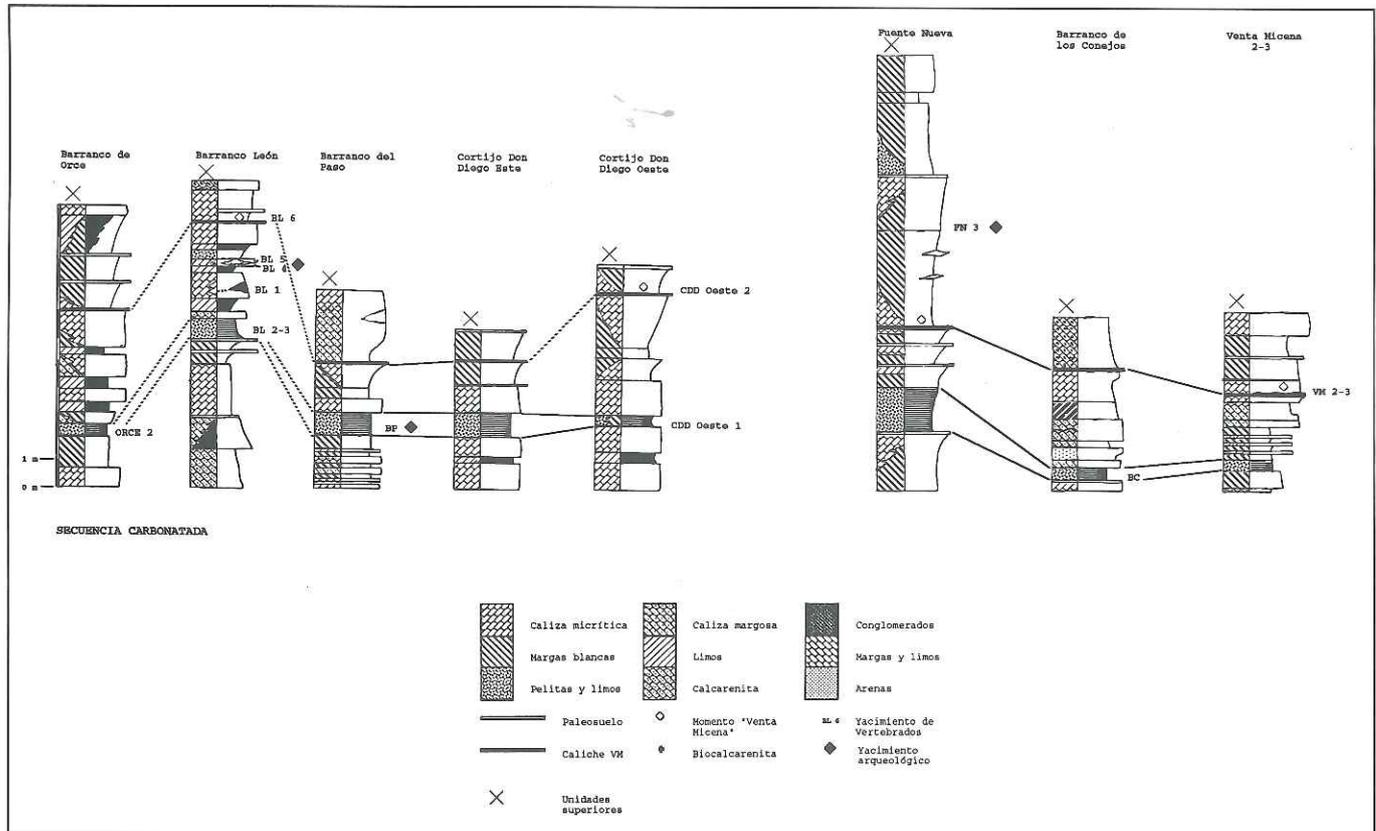


Figura 2.-Columnas simplificadas de las localidades más significativas del sector Orce-Venta Micena. Se marca la posición estratigráfica de los yacimientos paleontológicos y arqueológicos. En el paleosuelo del Estrato Venta Micena de la columna de Fuente Nueva se ha detectado el evento paleomagnético Olduvai.

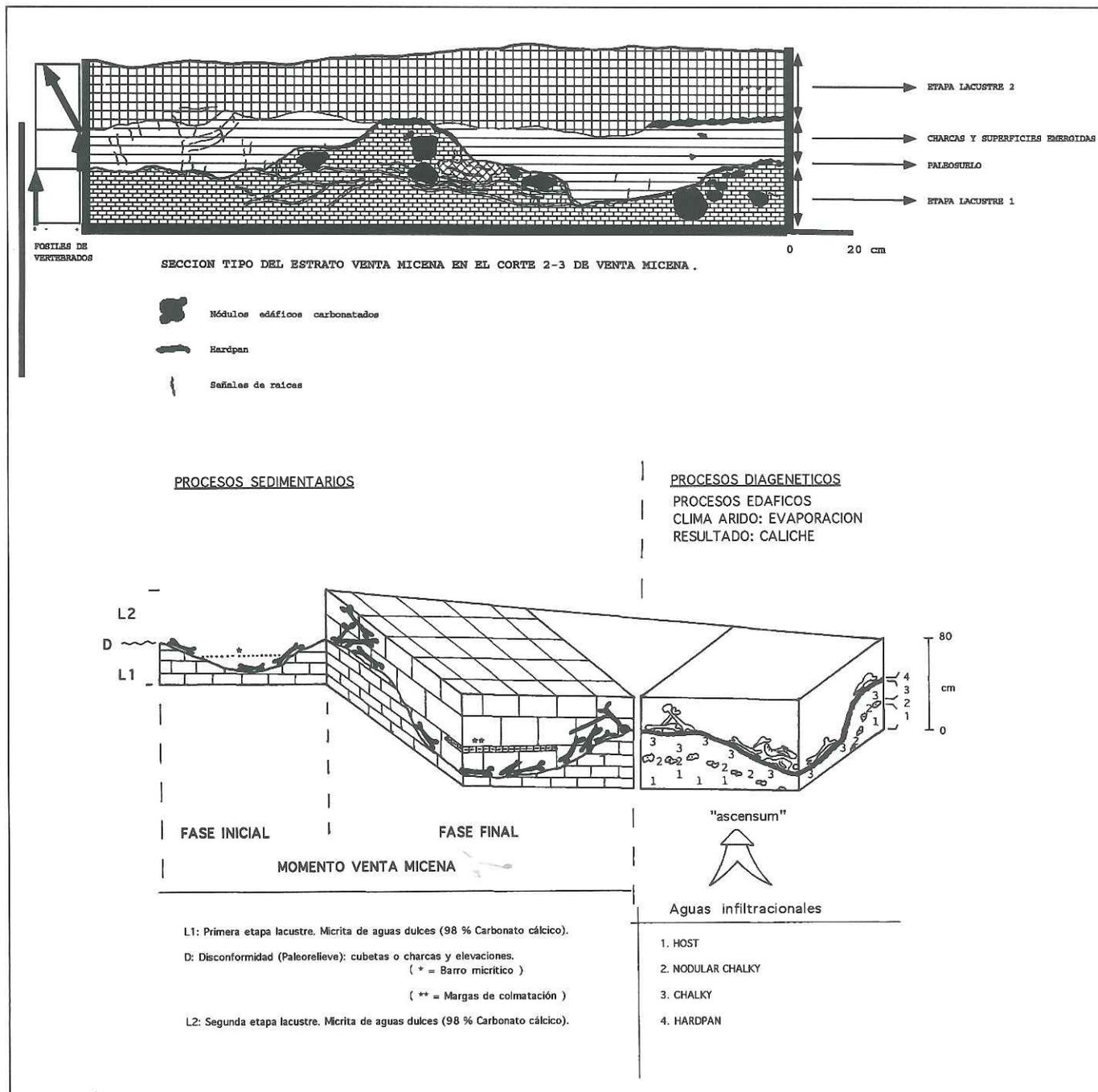


Figura 3.-Sección tipo del Estrato Venta Micena (Venta Micena 2-3) y modelo genético del yacimiento.

-El «Estrato Negro», constituido por pelitas y limos, tiene una extensión mínima de 8 Km² y contiene numerosos fósiles de mamíferos y *manuportes*. El cuerpo de roca representa a un ambiente marginal palustre, localizado en la franja Sur del sector (en contacto con los altos paleogeográficos Mesozoicos). En este estrato se encuentran diversos yacimientos paleontológicos (Orce-1, Orce-2, Orce-3, Barranco de los Conejos, Barranco León 2-3, Cortijo de Don Diego Oeste 1 y Barranco del Paso).

-El «Estrato Venta Micena», for-

mado por caliza micrítica, tiene una extensión mínima de 16 Km². Posee un paleorelieve interno sobre el que se sitúa la asociación paleontológica registrada, y contiene miles de fósiles de mamíferos (Venta Micena 2-3). Dicho estrato representa una breve etapa de desecación de un paleolago, durante la que se desarrolló una extensa sabana de herbáceas, con numerosas charcas sobrepuestas a la topografía previa en las que se encuentran las mayores concentraciones de fósiles (Figura 3). La tafonomía nos muestra que estas acumulaciones fueron realizadas por

hiénidos y alteradas parcialmente por homínidos, sin que la estructura original de la asociación esté modificada por otros agentes y/o procesos tafonómicos. En distintos afloramientos de este estrato se han localizado importantes concentraciones de fósiles de mamíferos (Venta Micena 2-3 -con más de 10.000 fósiles recuperados-, Barranco de los Zagales, Cortijo de Don Diego Oeste 2, Barranco León 6 y Cortijo de Don Alfonso). La riqueza faunística de Venta Micena (Tabla 1) es realmente impresionante, siendo excepcional esta diversidad taxonómica

- Insectívoros:** *Desmana* sp. (Desmán).
- Roedores:** *Allophaiomys pliocaenicus* (Topillo), *Castillomys crusafonti* ssp. (Ratón), *Apodemus* aff. *mystacinus* (Ratón de campo), *Eliomys intermedius* (Lirón) y *Hystrix major* (Puercoespín).
- Lagomorfos:** *Oryctolagus* cf. *lacosti*, *Prolagus calpensis* (Liebre y Conejo).
- Carnívoros:**
- Ursidos: *Ursus etruscus* (Oso).
 - Cánidos: *Canis etruscus* (Lobo), *Canis (Xenocyon) falconeri* (cánido de gran talla) y *Vulpes praeglacialis* (Zorro de muy pequeño tamaño).
 - Félidos: *Homotherium latidens* (tigre de dientes de sable -talla grande-), *Megantereon* sp. (tigre de dientes de sable del tamaño de una pantera) y *Lynx* aff. *issiodorensis* (Lince).
 - Hiénidos: *Pachycrocuta brevirostris* (Hiena grande en exceso).
- Proboscídeos:** *Mammuthus meridionalis* (Elefante).
- Perisodáctilos:**
- Equidos: *Equus* cf. *numidicus* (Caballo).
 - Rinocerótidos: *Stephanorhinus etruscus* (Rinoceronte).
- Artiodáctilos:**
- Hipopotámidos: *Hippopotamus amphibius antiquus* (Hipopótamo).
 - Cérvidos: *Megaloceros (Megaceroides) solilhacus* (cérvido gigante), Cervidae indet. (cérvido de talla pequeña).
 - Bóvidos: *Bubalus* sp. (Búfalo acuático), *Soergelia minor* (bóvido primitivo), *Praeovibos* sp. (bóvido primitivo), *Capra alba* (Cabra).
- Primates:**
- Homínidos: *Homo* sp. (Hombre).
- Reptiles:** Testudinidae indet. (Tortuga), *Lacerta* sp. (Lagarto/Lagartija) y Colubridae indet. (ofidio indeterminado).

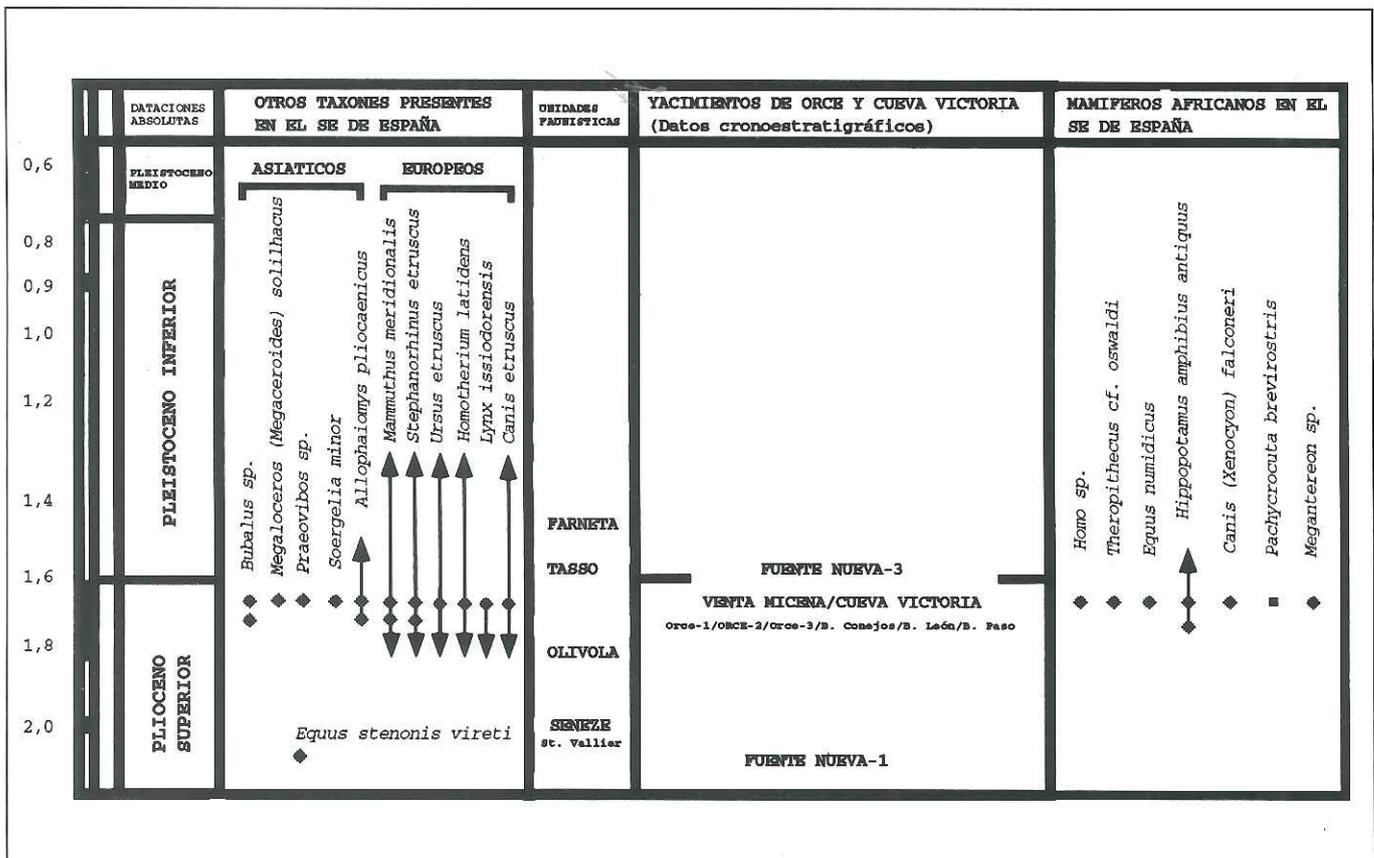
en un yacimiento del inicio del Pleistoceno inferior.

Por otra parte tenemos que desplazarnos a Murcia, a la comarca de La Unión y del Mar Menor, para encontrarnos en el yacimiento de Cueva Victoria. En este enclave se ha localizado un conjunto faunístico interesante, que incluye fósiles de dos primates. Aunque algunos autores han citado la presencia de industrias líticas en el yacimiento, en mi opinión esos objetos (cuarzos filonianos) no poseen características especialmente distintas de las que presenta cualquier clasto de un depósito de ladera, además de haber sido encontrados en un cuerpo de roca (del exterior de la cueva) que no tiene correlación cronológica posible con la unidad fosilífera.

Los restos fósiles de Cueva Victoria se localizan esencialmente en el techo de las inmensas salas de la caverna, puesto que la actividad minera desarrollada en el interior del kárst durante el siglo XX ha producido numerosos hundimientos de galerías, desaparición de sedimento fosilífero y un aumento artificial del tamaño de las cavidades.

Cueva Victoria, como otros mu-

Tabla 1.-Taxones presentes en el yacimiento de Venta Micena.



Cuadro 1.-Posición cronoestratigráfica de los yacimientos y distribución biocronológica de los taxones en la Península Ibérica.

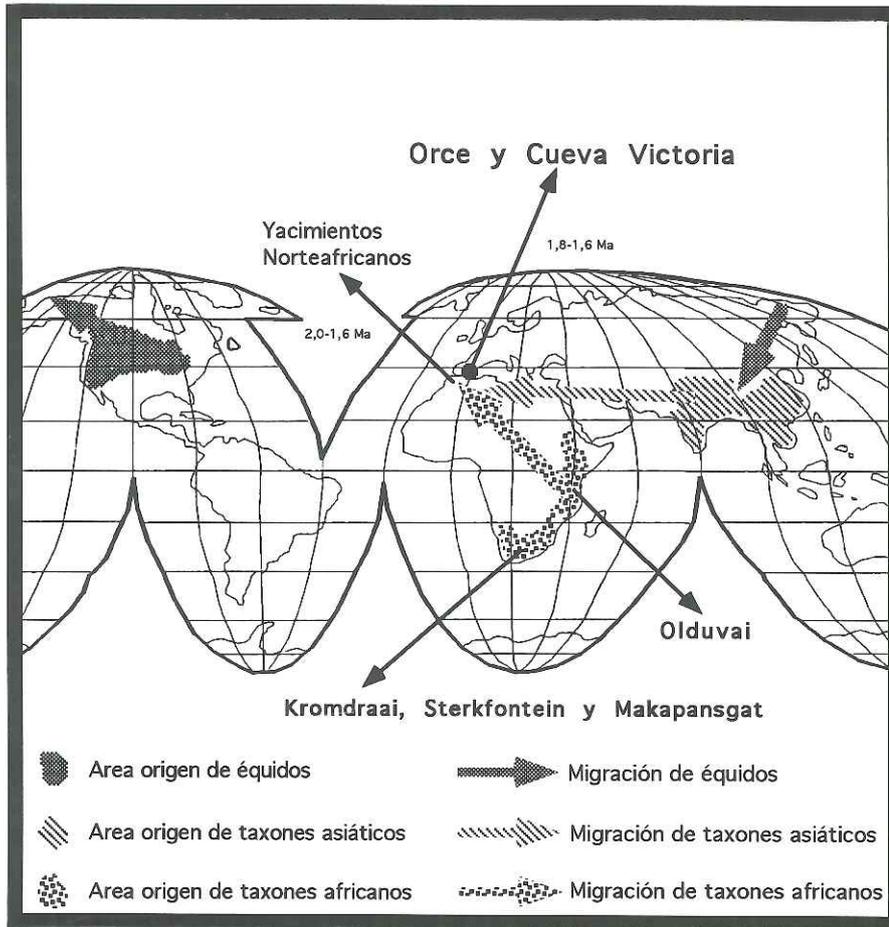


Figura 4.-Mapa en el que se muestra la ruta más viable de la migración. Se indican las áreas de procedencia de las faunas y las vías coherentes con la cronología de los yacimientos euroasiáticos y africanos y con las barreras migratorias (esencialmente orográficas).

chos yacimientos kársticos, ha sido interpretado como un cubil de hiénidos. Estos organismos utilizaron las cavidades como lugar de protección, alimentación y cría, acumulando ingentes cantidades de elementos anatómicos de los animales que les sirvieron de alimento (bien cazados o bien carroñeados). Entre el conjunto de taxones identificados en el yacimiento destacan los siguientes, siendo algunos de ellos poco usuales en el registro del Cuaternario: *Allophaiomys chalinei*, *Prolagus calpensis*, *Oryctolagus cf. lacosti*, *Pachycrocuta brevirostris*, *Canis etruscus*, *Canis (Xenocyon) cf. falconeri*, *Homotherium sp.*, *Megantereon sp.*, *Lynx cf. issiodorensis*, *Equus stenonis*, *Equus cf. numidicus*, *Stephanorhinus etruscus*, *Mammuthus meridionalis*, *Megaloceros sp.*, Cervidae indet (talla pequeña) y distintos bóvidos primitivos, entre otros. Dentro de las especies poco usuales destaca un cetáceo indeterminado (que bien pudiera ser un delfín), el antecesor de la Foca Fraile del

Mediterráneo (*Monachus sp.*), el hombre y un cercopiteco africano gigante (*Theropithecus cf. oswaldi*).

Migraciones y medio ambiente en el Pleistoceno Inferior del SE de la Península Ibérica

Como bien dicen diversos autores, son escasos y poco significativos los fósiles de micromamíferos en los yacimientos de macromamíferos y viceversa. Esto ha traído consigo problemas a la hora de correlacionar las escalas biocronológicas basadas en micromamíferos con las escalas basadas en macromamíferos. Junto a ello, surge el problema de detectar y situar en el tiempo las distintas migraciones faunísticas acontecidas durante el límite Plio-Pleistoceno y/o el Pleistoceno inferior.

Los yacimientos de Cueva Victoria (Sistema kárstico, Murcia) y Venta Mi-

cena (Sistema limnico, Granada), son localidades de macromamíferos que poseen una extraordinaria riqueza, tanto en número de restos como en número de taxones de micromamíferos. En estas localidades peninsulares encontramos una serie de taxones, originarios de África y de Asia, que sugieren la llegada de una migración faunística. Esta migración, constituida esencialmente por formas africanas, llegaría a Europa occidental (SE de la Península Ibérica) entre -1,8 y -1,6 Ma.

«Dicha migración tendría su origen en el Norte de África, donde habrían convergido especies asiáticas y elementos autóctonos africanos, que posteriormente atraviesan el Estrecho de Gibraltar»

Taxones originarios de África:

El hombre y el cercopiteco gigante son animales que en estas edades aparecen exclusivamente en el continente africano, siendo las únicas citas fuera de África las de la Península Ibérica. El cánido *Canis (Xenocyon) falconeri* llega a Europa central (Italia) en el límite Plio-Pleistoceno (-1,6 Ma), a todas luces procedente de África (está presente en los yacimientos africanos de Olduvai Bed I, Kromdraai A y Olduvai Bed II; -1,9, -1,5 y -1,4 Ma respectivamente). El hiénido *P. brevirostris* no aparece en Europa antes de -1,8 Ma, perdurando hasta el inicio del Pleistoceno medio de Europa central. Caso excepcional es el de la Península Ibérica, en la que sólo aparece este taxón en yacimientos del límite Plio-Pleistoceno (Cueva Victoria, Venta Micena e Incarcál (Gerona)). La distribución cronológica de este hiénido en África abarca desde los -3,0 Ma (Makapansgat 3, Sudáfrica) hasta el millón y medio de años (Kromdraai A y Sterkfontein 4 y 5, Sudáfrica). El pequeño tigre de dientes de sable (*Megantereon sp.*) del Pleistoceno inferior de Venta Micena tiene un origen africano, ya que



Figura 5.—Vista del Barranco León (Sector Orce-Venta Micena, Granada) y de otros barrancos y llanuras de la región. En la izquierda de la fotografía los resaltes muestran los dos subtramos carbonatados separados por una cornisa desarrollada sobre el Estrato Negro. La columna del Barranco León es la más completa del sector, y contiene un mínimo de seis niveles fosilíferos (macro y micromamíferos) y un nivel con industrias líticas. En esta serie se podrá definir el paraestratotipo del límite Plio-Pleistoceno en medio continental de Eurasia.

«Así pues, la presencia en la Península Ibérica de una especie de origen africano como la humana no es un hecho aislado, sino que aparece asociada a un conjunto faunístico con un origen común en el hemisferio austral»

se han recalado las similitudes entre los ejemplares del yacimiento con los homólogos sudafricanos y las diferencias con los homólogos europeos. El hipopótamo de Venta Micena ha sido descrito como una variedad europea del hipopótamo africano, y es Africa el único punto de referencia conocido de este grupo de artiodáctilos. Por último, destacar la presencia en ambos yacimientos de un équido que ha recibido últimamente una nueva determinación. Se trata de *Equus* cf. *numidicus*, perisodáctilo de origen Norte Americano y procedencia asiática, localizado hasta la actualidad en yacimientos del Norte de Africa en torno a -1,6 Ma.

Taxones originarios de Asia: En Venta Micena se han caracterizado distintos taxones de origen asiático, como el búfalo de agua *Bubalus* sp. (con más de 726 elementos fósiles identificados) género presente en yacimientos Norte-africanos del final del Plioceno, Cervidae indet. (talla pequeña), cérvidos gigantes del subgénero *Megaceroides* (= *Praemegaceros*), y la presencia de dos

ovibovinos: *Soergelia minor*, variedad propia del SE peninsular, y *Praeovibos* sp., bóvido que llega a Europa occidental en el inicio de la Unidad Tasso (Cuadro 1). Además de estos macromamíferos y asociados con ellos, se encuentran dos arvicolídeos: *Allophaiomys chalinei* en Cueva Victoria y *Allophaiomys pliocaenicus* en Venta Micena, que es para algunos autores un inmigrante de origen centro europeo.

Junto con estos macromamíferos, encontramos en la asociación del SE peninsular diversos taxones de evolución autóctona en Europa durante el Villafranchiense superior, como son: *Mammuthus meridionalis*, *Stephanorhinus etruscus*, *Ursus etruscus*, *Homotherium latidens*, *Lynx issiodorensis*, *Prolagus calpensis*, *Oryctolagus* cf. *lacosti*, etc.

Así pues, en el Pleistoceno inferior del SE de la Península Ibérica se detecta una importante ruptura faunística. Se mantienen taxones típicos del Villafranchiense europeo, mientras se constata la llegada de inmigrantes originarios de Africa (*Theropithecus* cf. *oswaldi*, *Homo* sp., *Canis* (*Xenocyon*) *falconeri*, *Pachycrocuta brevirostris*, *Megantereon* sp., *Hippopotamus amphibius antiquus* y *Equus numidicus*), y un conjunto de artiodáctilos y un arvicolídeo de origen asiático (*Bubalus* sp., *Praeovibos* sp., *Soergelia minor*, *Megaloceros* (*Megaceroides*) *solihacis*, *Allophaiomys pliocaenicus* y posiblemente Cervidae indet. de Cueva Victo-

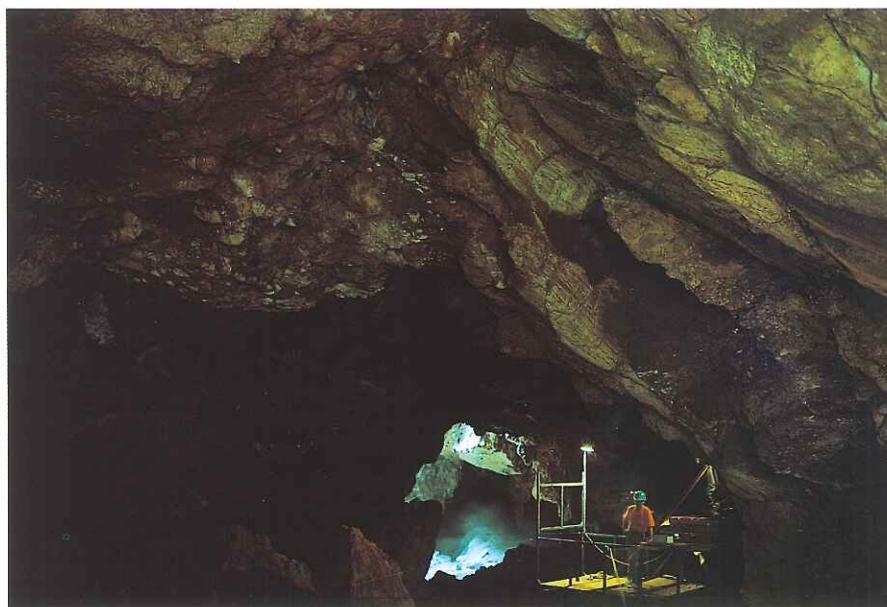


Figura 6.—Fotografía de la Sala Unión de Cueva Victoria (Murcia). El sedimento fosilífero se encuentra en el techo de la cavidad por lo que es necesaria la instalación de un complejo andamio que permite el acceso a la unidad fosilífera.

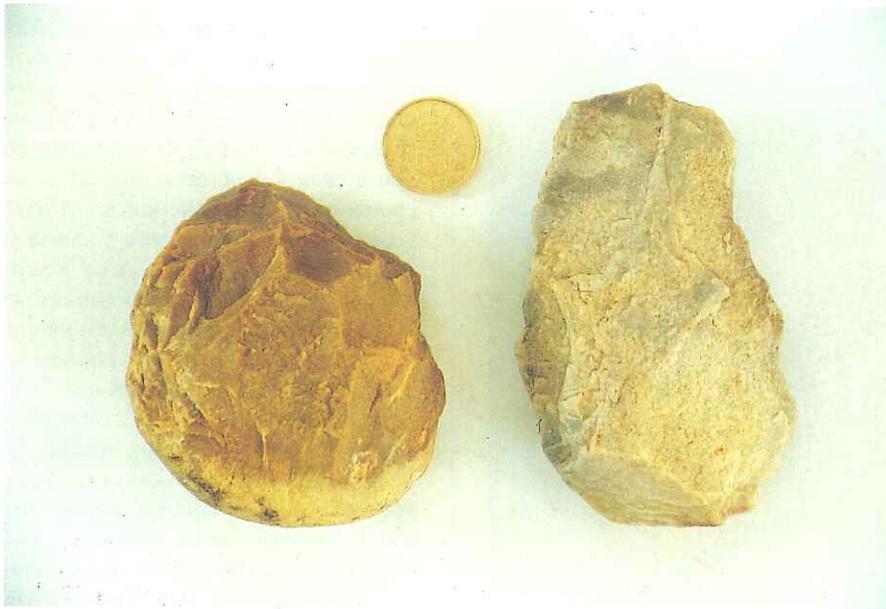


Figura 7. Dos ejemplos de las industrias líticas preachelenses encontradas en distintos estratos del sector Orce-Venta Micena. Las que aquí se muestran son industrias talladas sobre cuarcitas, aunque también se han encontrado industrias sobre diferentes tipos de sílex y manuportes o cantos transportados por el hombre.

ria y de Venta Micena). Las asociaciones faunísticas registradas en los yacimientos de Venta Micena y de Cueva Victoria se pueden situar entre las Unidades Faunísticas de Olivola y Tasso (Cuadro 1). Los datos expuestos anteriormente avalan la hipótesis de una ruptura faunística en la Península Ibé-

rica entre estas dos unidades, caracterizada por la llegada de dos asociaciones de mamíferos (una africana y otra asiática) al SE peninsular durante el inicio del Cuaternario. Dicha migración tendría su origen en el Norte de Africa, donde habrían convergido especies asiáticas y elementos autóctonos



Figura 8. Cuadrícula en el yacimiento de Venta Micena. Este bloque contiene una excepcional concentración de elementos fósiles (metápodos, humeros y falanges) de herbívoros (cérvidos, bóvidos y équidos) generada por la actividad de los hiénidos. Estos carnívoros dejan señales de sus dientes y patrones de rotura característicos en los huesos sobre los que actúan. Concentraciones así son habituales en el yacimiento de Venta Micena, donde existen cuadrículas con más de 120 huesos fósiles completos por metro cuadrado.

africanos, que posteriormente atraviesan el Estrecho de Gibraltar (Figura 4). Algunos autores consideran que el Estrecho no existía todavía en estas edades, de forma que no había comunicación entre el Mar Mediterráneo y el Océano Atlántico, mientras un corredor de tierra unía Africa y Eurasia. Esta migración pudo ser debida a los cambios climáticos que se detectan en Africa poco antes del límite Plio-Pleistoceno, alrededor de -2,0 Ma, momento en el que se pasó de un ambiente húmedo con un paisaje boscoso a otro más seco, formado por una sabana herbácea. Por otro lado, en el hemisferio Norte se inicia en torno a 1,5-1,2 Ma la primera gran glaciación, por lo que cabe suponer que un poco antes de que esto ocurriera se produjeran migraciones faunísticas. Entre estos dos eventos climáticos globales se sitúan cronológicamente los dos yacimientos del SE peninsular.

De la estratigrafía y la paleogeografía del Sector Orce-Venta Micena, y en particular del «Estrato Venta Micena» (más de 16 Km² de superficie cartográfica), se deduce una extensa sabana de herbáceas, con un paleosuelo calcimorfo incipiente y numerosas charcas efímeras, desarrollada sobre la superficie de un paleolago desecado (periodo árido regional) casi en su totalidad. Por otra parte se ha deducido un clima mediterráneo para la asociación presente en el yacimiento. Si a todo ello unimos la ausencia real de especies relacionadas con un clima frío, y la presencia en Venta Micena de taxones con exigencias ecológicas basadas en clima cálido/húmedo (*Castillomys crusafonti*, *Hystrix major*, *Hippopotamus amphibius antiquus*, *Bubalus* sp. y *Megaloceros (Megaceroides) solilhacus*, subgénero que se asocia a periodos cálidos y que desaparece durante los periodos glaciales) y ambiente de sabana, podemos suponer que las condiciones ambientales presentes en estas edades en el SE de la Península Ibérica fueron las idóneas para el asentamiento de la paleomastocenos procedente de Africa. Estos datos paleoambientales (estratigráficos y paleoecológicos) están a su vez complementados por estudios isotópicos (¹⁸O/¹⁶O) que detectan en el yacimiento de Venta Micena el periodo más cálido de toda la Cuenca de Guadix-Baza durante el intervalo temporal comprendido entre el Villafranquiense medio (Plioceno) y el Galerienense superior (Pleistoceno medio).



Figura 9. Cuadrícula de los cráneos de Venta Micena (expuesta en el Museo de Orce). Esta cuadrícula es una de las más significativas del yacimiento y contiene, en tan sólo 1 m², numerosos restos craneales: dos cráneos de équido, un cráneo de tigre de dientes de sable de talla grande, un cráneo de un individuo infantil de elefante, un cráneo de rinoceronte, un cráneo de puercoespín y numerosas mandíbulas de équidos y bóvidos.

Los primates (cercopitécidos y homínidos) del Pleistoceno inferior africano, ante la presión ecológica que se deriva del cambio climático, pudieron optar por emigrar en compañía otros mamíferos y alcanzar la Península Ibérica en el inicio del Pleistoceno inferior. Así pues, la presencia en la Península Ibérica de una especie de origen africano como la humana no es un hecho aislado, sino que aparece asociada a un conjunto faunístico con un origen común en el hemisferio austral.

A lo largo de este trabajo hemos visto cómo dos regiones del SE de España, sus contenidos geológico y paleontológico, están suministrando importantes datos sobre las faunas, el hombre y el medio ambiente en el inicio del Cuaternario. Así pues, parece ser que en la Península Ibérica encontramos dos de los puntos de referencia que permitirán explicar los cambios faunísticos y ambientales acontecidos en Europa hace más de millón y medio de años.

Las investigaciones continúan gracias al infatigable Dr. J. Gibert (Director



Figura 10. Fósiles de carnívoros de Venta Micena (expuestos en el Museo de Orce). A la izquierda hemimandíbulas del cánido *Canis (Xenocyon) falconeri* y a la derecha hemimandíbula del hiénido *Pachycrocuta brevirostris*.

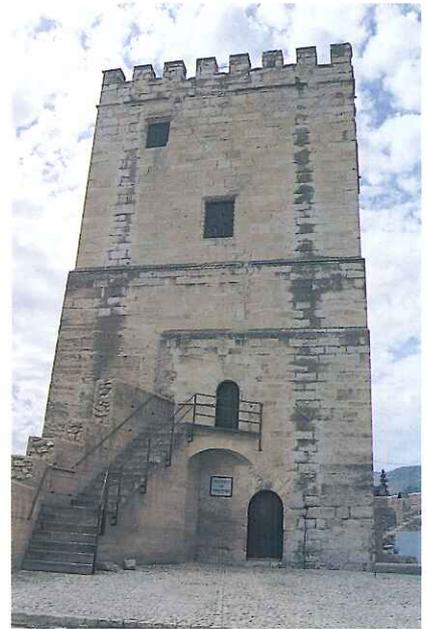


Figura 11. Museo de Prehistoria de Orce: Torre del Homenaje de la Alcazaba de las Siete Torres.

de los Proyectos de Orce y Cueva Victoria) y al pueblo de Orce, municipio que siempre se ha volcado con el proyecto y con quienes allí vivimos durante las campañas de excavación. La importancia paleontológica de la región de Orce ha sido entendida por la población y por las instituciones locales y regionales. Esto ha traído consigo que esta riqueza cultural, el patrimonio paleontológico y arqueológico, sea valorado y protegido, además de haberse generado una importante infraestructura local empleada en las investigaciones que en la comarca se realizan. Existe una Escuela Taller de Museología y un Palacio del siglo XVII («El Palacio de los Segura»), recién restaurado, que será el centro neurálgico de las investigaciones. También se ha creado un Museo de Paleontología y Prehistoria, situado en la «Alcazaba de las Siete Torres», donde se conserva y expone durante todo el año el material procedente de las excavaciones efectuadas en la comarca.

En estas páginas se han expuesto parte de los resultados científicos y culturales generados por el Proyecto Orce-Cueva Victoria. La singularidad de estos yacimientos ha hecho necesario el desarrollo de nuevas líneas de investigación, hasta ahora nunca aplicadas en el estudio de yacimientos europeos, que poco a poco están aportando datos únicos sobre la geología y la paleontología del límite Plio-Pleistoceno, resultados que despiertan el máximo interés entre la comunidad científica internacional. ■



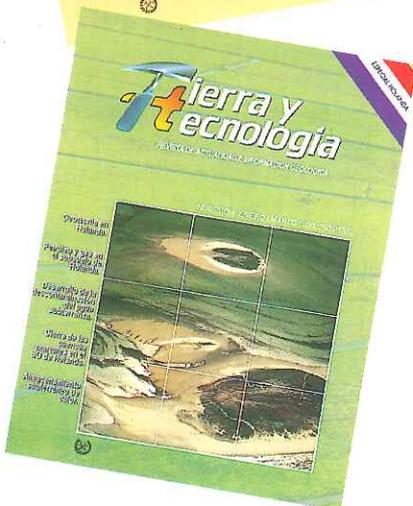
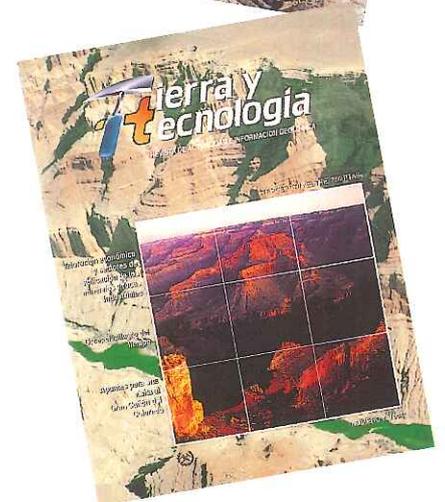
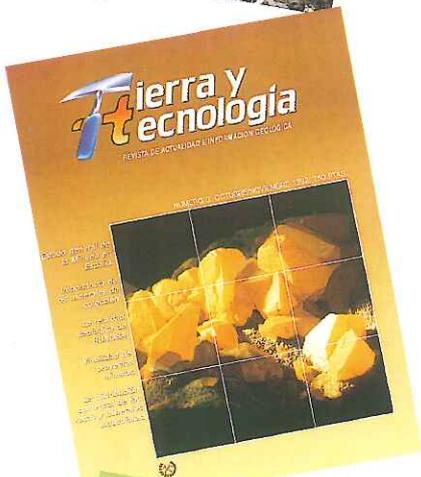
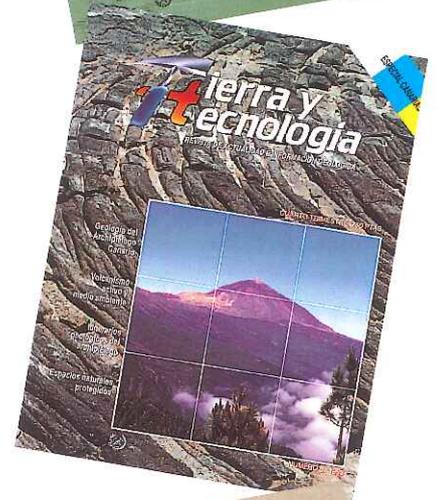
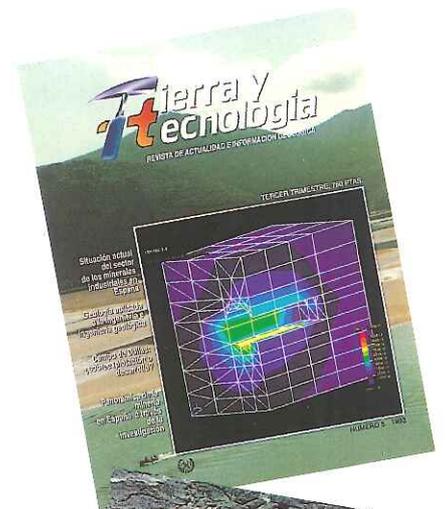
TIERRA Y TECNOLOGIA

3.000

Ejemplares que se distribuyen a
entidades Públicas y Privadas de
los siguientes sectores:

Medio Ambiente
Ingeniería Geológica
Teledetección y SIG
Exploración Minera
Recursos Minerales
Hidrogeología
Hidrocarburos
Geofísica
Mineralogía

Construcción y auxiliar
Energía eléctrica, agua y gas
así como a otros sectores
relacionados con las Ciencias de la
Tierra y el Medio Ambiente



**Pero...,
¿no sabe como
anunciarse?
no lo piense más**

contacte con:
Dpto. Publicidad
Telf.: (91) 553-24-03 (3) líneas

APUNTES PARA UNA VISITA AL GRAN CAÑÓN DEL COLORADO



Oscar Blasco Herguedas

Licenciado en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense de Madrid en 1987. Actualmente trabaja en el departamento de Hidrogeología de la empresa Estudios y Proyectos Técnicos Industriales, S.A. (EPTISA).

En el presente artículo se realiza una somera descripción, eminentemente geológica, del Gran Cañón del Colorado, aportándose una serie de datos útiles con vistas a una posible visita.

This paper takes a brief, mainly geological description of Grand Canyon, giving some useful notes for a possible visit.

Introducción

El Gran Cañón del Colorado se localiza en el suroeste de los Estados Unidos, concretamente en el estado de Arizona, y no en el de Colorado, como de manera equivocada suele suponerse. Debe su nombre al río Colorado, que es el responsable de la creación de uno de los paisajes naturales más espectaculares que pueden observarse sobre la Tierra.

El honor de haber sido el primer «visitante» europeo del Gran Cañón corresponde a nuestro compatriota el capitán García López de Cárdenas, que lo hizo en el año 1540 merced a la expedición dirigida por D. Francisco Vázquez de Coronado en busca de las Siete Ciudades de Cibola.

El Gran Cañón fue declarado Par-

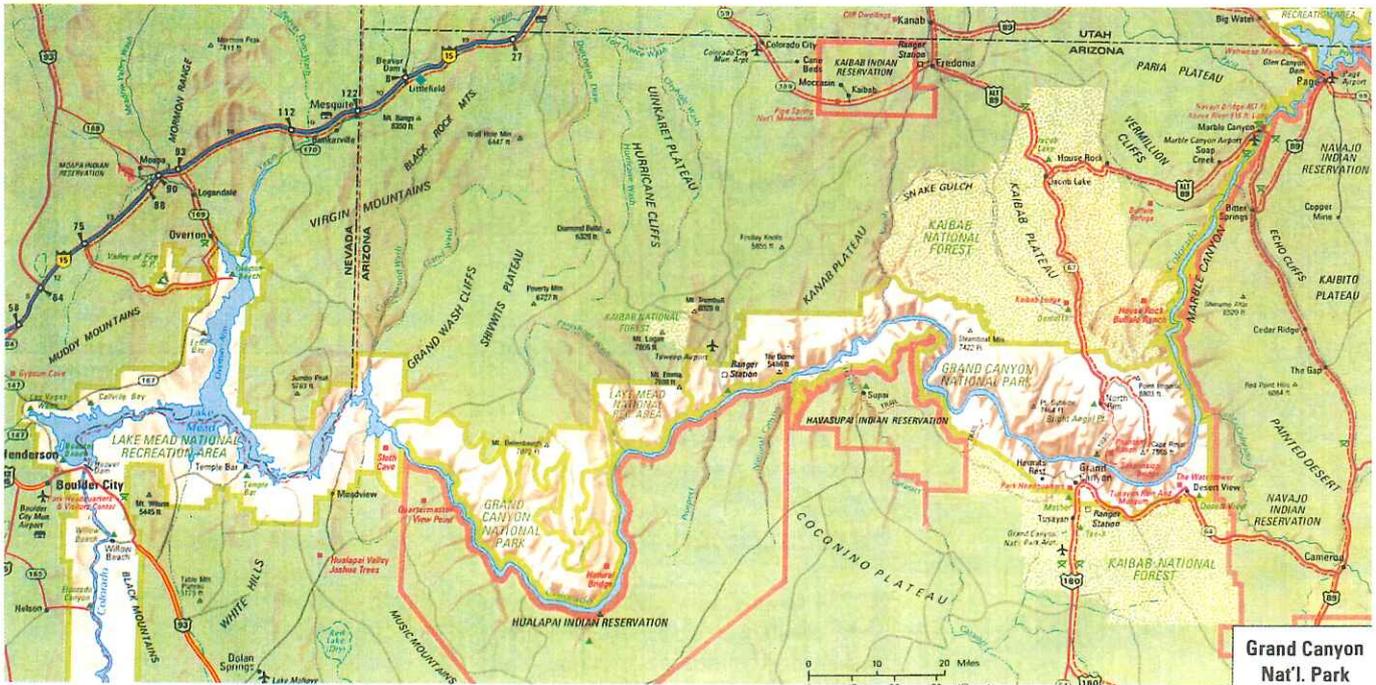
que Nacional, la máxima figura en los Estados Unidos en cuanto a preservación de la naturaleza, en el año 1919. Ocupa una extensión de 4.900 km², muchos de los cuales no son visitados habitualmente, en la mayor parte de los casos por su inaccesibilidad.

Dimensiones

Si hubiese que definir con una única palabra el Gran Cañón, esta sería, como su propio nombre indica, grande; esta grandeza no es apreciable en las imágenes que del mismo pueden observarse en libros, revistas, documentales o películas, ni siquiera es posible juzgarla totalmente de un vistazo ante el propio Cañón. Sólo caminando un buen trecho dentro del mismo se em-



Situación del Gran Cañón del Colorado.



Plano de detalle del Parque Nacional del Gran Cañón.

pieza a tomar conciencia de los términos de su enormidad. Y aun cuando se abarca su profundidad y su anchura, persiste todavía el hecho de que el Cañón se extiende por una longitud superior a los 400 km.

Las dimensiones del Gran Cañón varían enormemente a lo largo de su trazado; en su zona central, que es la comúnmente visitada, tiene 1.600 metros de profundidad y una anchura de 16 kilómetros. Aún así, no es el cañón más profundo del mundo: el cañón del río Snake (en Idaho) y el cañón del Cobre (N de México) lo superan. Sin embargo no hay otro cañón en el mundo que produzca, ni de lejos, la extraordinaria sensación del primer vistazo sobre el Gran Cañón.

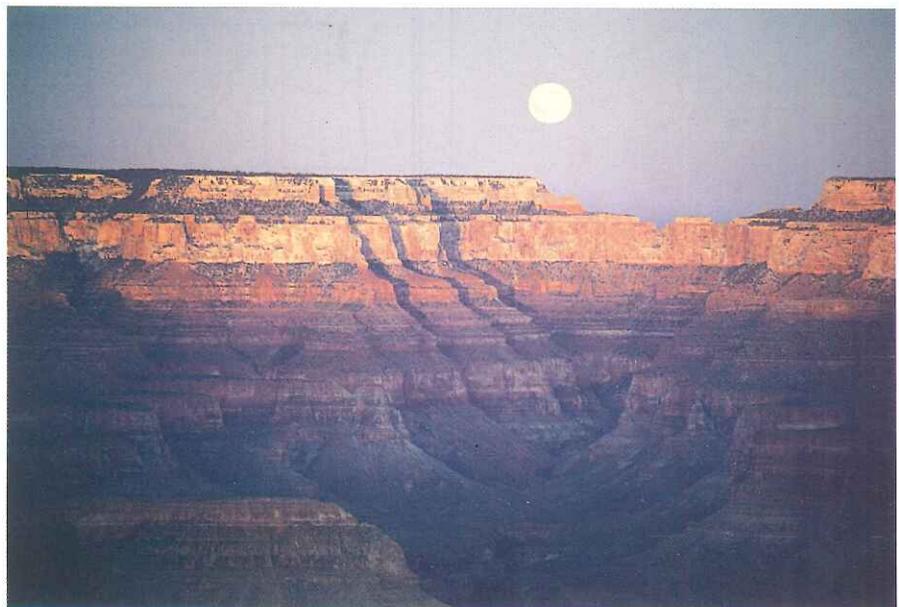
El río Colorado

El río Colorado, bautizado así por los conquistadores españoles a causa del color rojo de sus aguas, no se encuentra entre los 25 ríos más caudalosos de Estados Unidos (de hecho su caudal equivale al 1% del río Mississippi). Desde su nacimiento en las Montañas Rocosas del estado de Colorado hasta su desembocadura en el Golfo de California discurre a lo largo de 2.300 km por el SO de Norteamérica.

El poder erosivo del Colorado, capaz de modelar no solo el Gran Ca-

«El Gran Cañón fue declarado Parque Nacional, la máxima figura en los Estados Unidos en cuanto a preservación de la naturaleza, en el año 1919»

ñón, sino además un buen número de cañones menores aguas arriba y abajo del mismo, se encuentra en la actualidad regulado por una serie de importantes presas y embalses emplazados en su cauce. Previamente a su control, el caudal del río Colorado variaba normalmente entre 80 y 270 m³/s, alcanzándose puntas de 8.000 m³/s. Se ha estimado que en aquellos tiempos el río Colorado a su paso por el Gran Cañón transportaba una media de 500.000 toneladas de sedimentos al día.



Luna llena sobre el borde norte.



El Gran Cañón a la luz de la luna. En el centro, las luces del *Phantom Ranch*, y al fondo las del borde norte.

La geología

Desde el punto de vista de las grandes provincias tectónicas norteamericanas, el Gran Cañón se ubica en su totalidad en el *plateau* del Colorado. Esta región, que incluye porciones de los estados de Utah, Colorado, Nuevo México y Arizona, consiste en una meseta caracterizada por poseer una extensa secuencia de rocas sedimentarias que se encuentra elevada algunos miles de metros sobre el nivel del mar.

En el clima semiárido que predomina en la región, las rocas afloran sin obstáculos, mostrando ejemplos *de libro* de estructuras tectónicas, sedimentarias y geomorfológicas. Además, a pesar de su compleja historia geológica, estas rocas permanecen básicamente concordantes y relativamente poco tectonizadas. La orogenia responsable de su plegamiento y fallado se ha producido a lo largo de un período de millones de años, y ha tenido lugar de tal forma que el registro geológico ha permanecido en gran medida intacto.

Esto es especialmente evidente en el Gran Cañón, donde a partir de los distintos afloramientos expuestos a lo largo de su extensión puede levantarse una sección estratigráfica con 6.500 m de potencia acumulada que abarca un período de 2.000 millones de años.

Las rocas más antiguas del Gran Cañón son los materiales ígneos y metamórficos (granitos y esquistos) del Precámbrico antiguo aflorantes en el

fondo del mismo. La edad de las rocas se han datado en 2.000 millones de años, mientras que el metamorfismo se produjo hace 1.700 millones de años.

Sobre estas rocas se disponen, a través de una disconformidad, materiales del Precámbrico reciente (1.000 millones de años) que también se encuentran metamorfizados, aunque con una intensidad mucho menor que los anteriores. Conservan la estratificación y en ellos aparecen los fósiles más antiguos de la región (estromatolitos).

En la mayor parte del cañón, la gruesa secuencia de rocas sedimentarias más recientes descansa directa-

«Las dimensiones del Gran Cañón varían enormemente a lo largo de su trazado; en su zona central, que es la comúnmente visitada, tiene 1.600 metros de profundidad y una anchura de 16 kilómetros»

mente sobre el techo de las rocas precámbricas más antiguas. Los estratos horizontales son de edad Paleozoica: unos pocos cientos de millones de años de edad. Las rocas precámbricas están separadas de las paleozoicas suprayacentes por una interrupción en el registro geológico conocida localmente por el nombre de la Gran Discordancia.

Las rocas de edades comprendidas entre el Cámbrico (550 millones de años) y el Pérmico (250 millones de años) forman el grueso de las paredes del cañón, y consisten fundamentalmente en areniscas, pizarras y calizas, originadas en un amplio espectro de ambientes sedimentarios, tanto marinos como continentales.

Las rocas mesozoicas se encuentran en la actualidad casi enteramente ausentes del Gran Cañón. Esto no



La Gran Discordancia (materiales paleozoicos sobre precámbricos).

quiere decir que no existieran en su momento. Se sabe que varios cientos de metros de estos materiales cubrieron grandes extensiones de esta zona, pero la mayor parte han desaparecido. Millones de años de erosión los hicieron desaparecer mucho tiempo antes de que existiera el Gran Cañón.

La erosión

Para todos los investigadores de la geología del Gran Cañón una cosa es obvia: el Gran Cañón es una forma erosiva. El agua es el principal agente de la erosión, y en ese proceso el río Colorado juega un papel importante, arrastrando aguas abajo todo el material que cae a su cauce. Sin el río Colorado no existiría el Gran Cañón, pero de similar importancia es el poder erosivo del agua que afluye al río procedente de numerosos cañones laterales y pequeños tributarios, de las lluvias que tienen lugar violentamente en verano y del deshielo de la nieve que se acumula en el invierno. La enorme anchura del cañón se atribuye a éstas y a otras formas de meteorización más sutiles. Por supuesto, los procesos gravitacionales también juegan un importante papel en el modelado del relieve.

La formación del Gran Cañón

Frente a las primeras teorías que intentaban explicar la formación del



Vista aérea de la confluencia de los ríos Colorado (azul oscuro) y Pequeño Colorado (azul claro).

Gran Cañón mediante un simple mecanismo de antecedencia, es decir, que una vez establecido el curso del río fue la elevación del *plateau* lo que inicio la incisión del cañón, se ha ido abriendo paso una nueva explicación que tiene en cuenta una serie de factores más complejos, dado que la mayor parte de la elevación del *plateau* tuvo lugar antes de la existencia del cañón.

Según los estudios más recientes, previamente a la existencia del río Colorado tal como lo conocemos actualmente existieron dos sistemas de drenaje completamente separados. La integración de estos dos sistemas en un

único río pudo haber tenido lugar como resultado de una serie de eventos: la apertura del Golfo de California, la erosión remontante del proto-Colorado inferior y la captura de una cuenca endorreica superior.

Esta explicación da respuesta a la pregunta de por qué el río Colorado fluye a través del *plateau* elevado en vez de rodearlo e indica que el Gran Cañón no puede tener una edad muy superior a los 6 millones de años, que es la edad calculada para la apertura del Golfo de California. La extraordinaria erosión que ha dado al cañón su profundidad y forma actuales tuvo lugar, por tanto, en una época relativamente reciente.

Los elementos básicos responsables de la formación del Gran Cañón son bien comprendidos: se trata de una

The Best Section

"the Grand Canyon of the Colorado will give the best geological section on the continent."
John Wesley Powell, 1868

The "geological section" described by John Wesley Powell is a vertical cross section of exposed Grand Canyon rock layers. That section, visible here at Pima Point in the scene to your right, has inspired and motivated geologists since Powell's time. Nowhere on earth is the world's geologic past laid open better than here.

Grand Canyon geology was one of several factors that drove Major Powell to lead his daring boat run of the Colorado River in 1869. He described his feelings as he explored the Canyon's rocks:

"I climb up the granite to its summit, and go away over rust colored sandstones and greenish yellow shales. . . . I climb so high that the men and boats are lost in the black depths below, and the dashing river is a rippling brook; and still there is more canyon above than below. All about me are interesting geological records. The book is open, and I can read as I run."
August 18, 1869

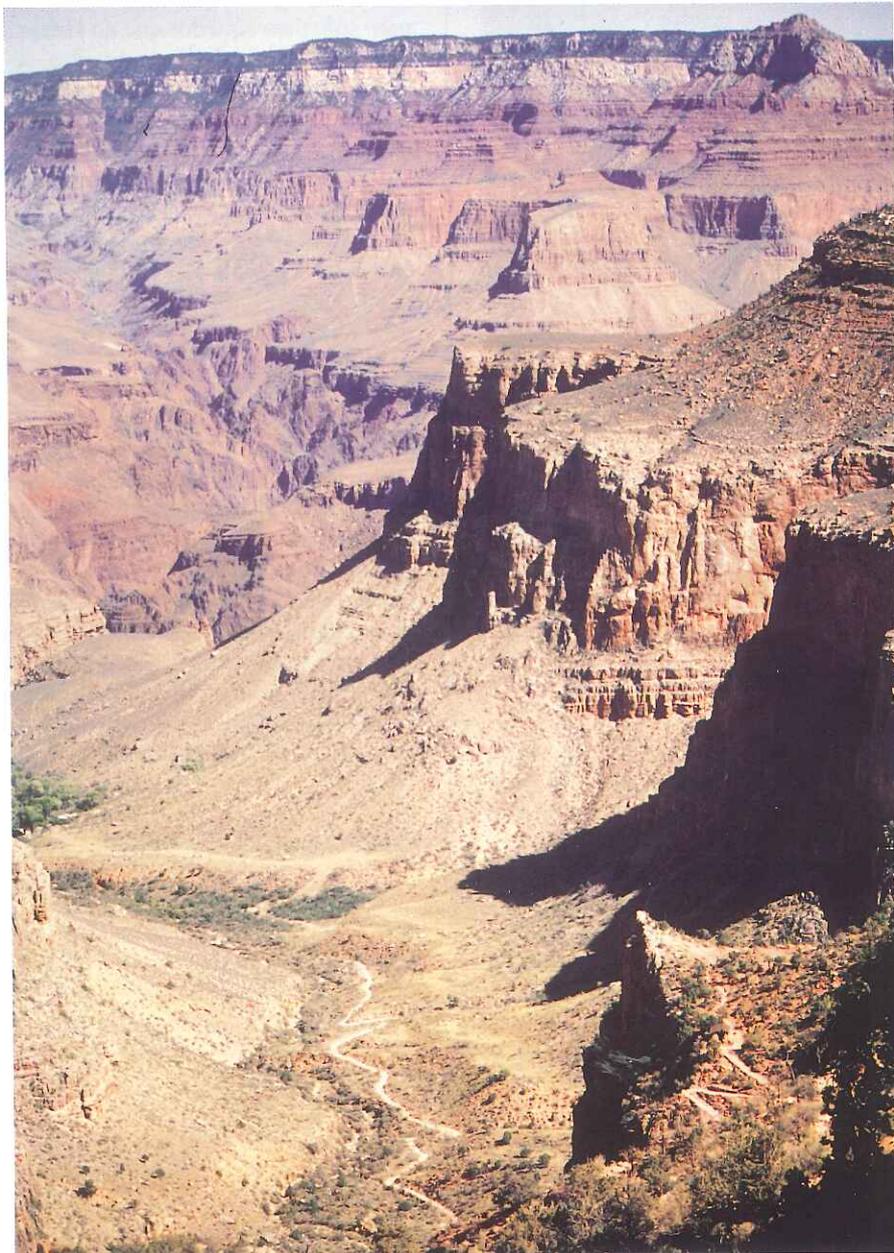
Along Grand Canyon's entire 277-mile length, scenes like this at Pima Point remain an open book.

Formation when the layer formed	Fossil found in this layer
1. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
2. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
3. Coconino Sandstone (225 million years old)	None
4. Shinarump Sandstone (225 million years old)	None
5. Supai Group (225 million years old)	None
6. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms, small shells
7. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
8. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
9. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
10. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
11. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
12. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
13. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
14. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
15. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
16. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
17. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
18. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
19. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
20. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
21. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
22. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
23. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
24. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
25. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
26. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
27. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
28. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
29. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
30. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
31. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
32. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
33. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
34. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
35. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
36. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
37. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
38. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
39. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
40. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
41. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
42. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
43. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
44. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
45. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
46. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
47. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
48. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
49. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
50. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
51. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
52. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
53. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
54. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
55. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
56. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
57. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
58. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
59. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
60. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
61. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
62. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
63. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
64. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
65. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
66. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
67. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
68. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
69. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
70. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
71. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
72. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
73. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
74. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
75. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
76. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
77. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
78. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
79. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
80. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
81. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
82. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
83. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
84. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
85. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
86. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
87. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
88. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
89. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
90. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
91. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
92. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
93. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
94. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
95. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
96. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
97. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
98. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms
99. Kaibab Limestone (225 million years old)	Shells, small corals
100. Hermit Shale (225 million years old)	Small worms

The Great Unconformity - Notice this great line-gap between Tapeats Sandstone and Vishnu Schist, the result of more than a billion years of erosion - more time than it took to deposit all layers above it.

Cartel explicativo de la columna estratigráfica del Gran Cañón.

«A partir de los distintos afloramientos expuestos a lo largo de su extensión puede levantarse una sección estratigráfica con 6.500 m de potencia acumulada que abarca un período de 2.000 millones de años»



El descenso del *Bright Angel Trail* hacia el río Colorado. A la derecha, los manantiales de los *Indian Gardens*.

forma erosiva con una historia compleja que desafía las explicaciones fáciles. Ahora bien, ¿por qué no hay docenas de cañones de apariencia similar?

De hecho existen muchos cañones de escala comparable al del Colorado, algunos de los cuales son incluso más profundos y anchos, pero ninguno de ellos tiene el aspecto del que nos ocupa. Esto es debido no sólo a su compleja historia, sino también a otros factores: la predominancia de estratos horizontales sobre los que el río ha incidido, los minerales que dan a las rocas sus variados y vivos colores, y el clima semiárido que controla las formas de erosión que vemos hoy en día.

Datos útiles para una visita

Situación

El Parque Nacional del Gran Cañón se encuentra en el extremo noroccidental del estado de Arizona. La ciudad importante más cercana al mismo es Flagstaff (1 hora y 45 minutos de viaje en automóvil). También se encuentran próximas Phoenix (4 horas) y Las Vegas (5 horas).

El parque dispone de dos zonas de visita sin comunicación directa entre ellas: el borde norte y el borde sur. El borde sur es el escogido por la mayor parte de los 4 millones de visitantes anuales y el que ofrece las mayores fa-

cilidades para la estancia en el cañón (centro de información, museos, moteles, restaurantes, aeropuerto ...).

En el caso de que se piense permanecer en el parque varios días, o bien se vaya a visitar otros parques nacionales, es recomendable adquirir en la entrada del mismo el *Golden Eagle Pass*, que cuesta 25 \$ por automóvil y permite el acceso a todos los Parques Nacionales de Estados Unidos durante un período de un año.

Es conveniente evitar la visita al parque en los meses de verano, dado que es la época del año en que se produce mayor afluencia de turistas y se presentan problemas para encontrar alojamiento, restringiéndose asimismo

«La extraordinaria erosión que ha dado al cañón su profundidad y forma actuales tuvo lugar en una época relativamente reciente»

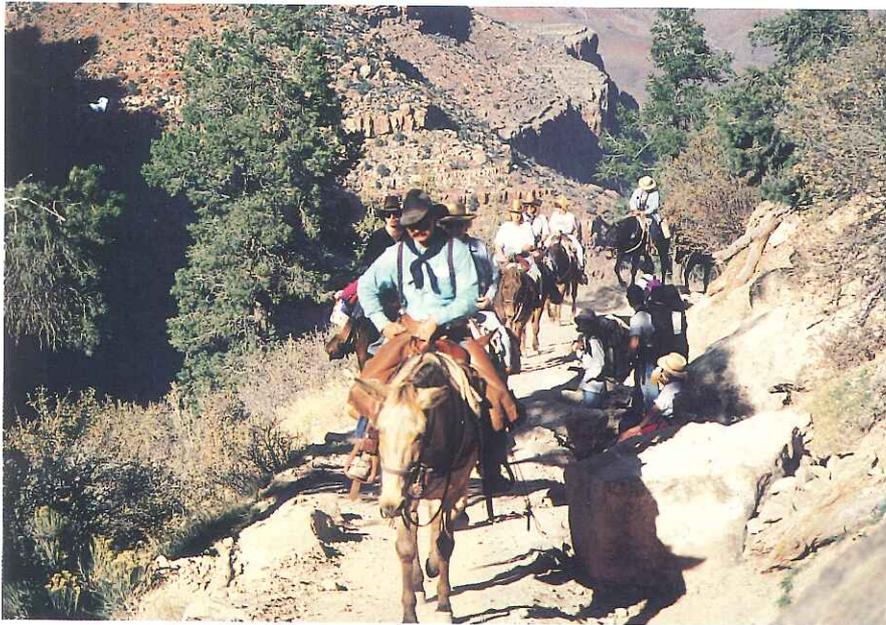
el movimiento de automóviles particulares por el interior del parque. En la medida de lo posible, es recomendable hacer coincidir la visita con la fase de luna llena.

Estancia

La estancia mínima necesaria para visitar el parque es de dos días. Es posible realizar el alojamiento en moteles u hoteles tanto en el interior del parque como en el pueblo de Tusayan, que se localiza a la entrada del mismo por el borde sur. En ambos casos es imprescindible la realización de la reserva con una antelación que varía entre una semana fuera de temporada alta y varios meses en el caso de las vacaciones de verano.

Otra posibilidad es la acampada en el interior del parque, e incluso pasar la noche en el *Phantom Ranch* situado en el fondo del cañón, pero en ambos casos es necesario la realización de reserva previa con varios meses de anticipación.

También existen facilidades para la estancia en autocaravanas.



Excursión con mulas.

Actividades

En el Centro de Visitantes del parque se obtiene información sobre las actividades que pueden realizarse durante la visita al Gran Cañón. Entre estas actividades destacan:

- Observación de los diferentes sectores del Gran Cañón desde los numerosos miradores que se encuentran en la carretera que recorre el parque.
- Excursiones a pie, acompañados de guías o no, por alguno de los senderos que descienden hacia el fon-

do del cañón. Es prácticamente imposible, en un sólo día, alcanzar el río y regresar al borde. El sendero más recomendable es el *Bright Angel Trail*, que dispone de paradas intermedias con agua potable (excepto en los meses de verano). El descenso puede realizarse también en mula, realizando la reserva con mucha antelación o apuntándose en una lista de espera.

- Proyección de documentales y diapositivas explicando los más variados aspectos del Gran Cañón.

- Sobrevuelo del cañón en avioneta o en helicóptero (imprescindible,

pero sólo para aquellos que no teman a unas condiciones de vuelo difíciles, debidas a las turbulencias térmicas creadas por el calentamiento diferencial del aire en el interior del cañón).

- Descenso del río Colorado en balsa (su realización lleva como mínimo una semana, siendo necesario realizar la reserva con mucha antelación).

Fotografía

Normalmente, las fotografías o diapositivas serán el mejor recuerdo gráfico de la visita al Gran Cañón. Las mejores horas para fotografiarlo son las dos anteriores y posteriores a la salida y puesta del sol, sin olvidar las fotos nocturnas a la luz de la luna con exposiciones de varios minutos. Es imprescindible disponer de un trípode y cable disparador, y muy recomendable montar un filtro polarizador.

Parques nacionales cercanos

El Gran Cañón se encuentra situado en un área en el que se localizan un gran número de otros Parques Nacionales, entre los que merece la pena destacar el de Zion, el Cañón Bryce, el Cañón de Chelly, y el Capitol Reef. ■

Direcciones

Información sobre el Parque Nacional del Gran Cañón

Superintendent

Grand Canyon National Park

P.O. Box 129 Grand Canyon, Arizona 86023

Tel (602) 638-7888

Alojamiento recomendado (en Tusayan)

Grand Canyon Squire Inn

P.O. Box 130 Grand Canyon, Arizona 86023-0130

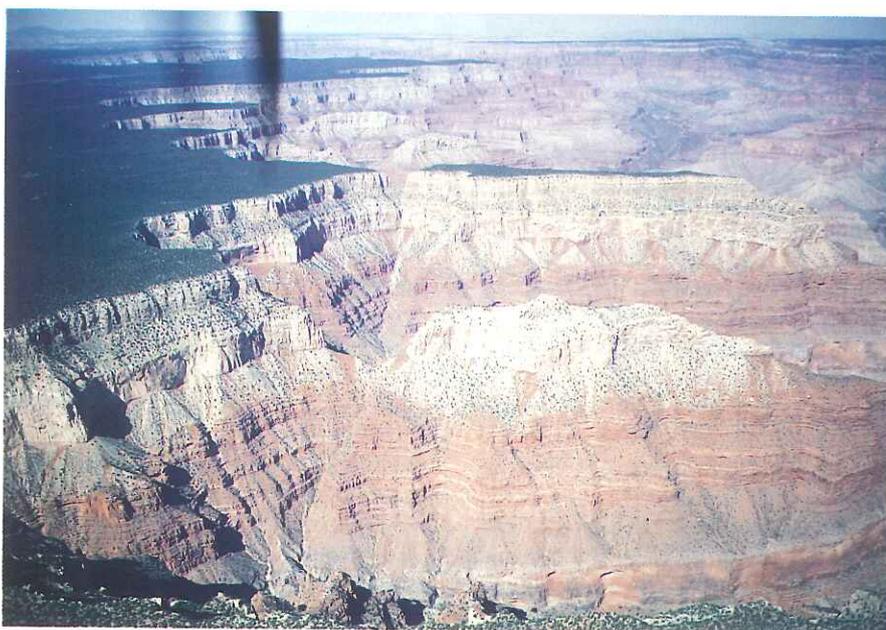
Tel (602) 638-2681 Fax (602) 638-2782

Vuelo sobre el cañón recomendado (50 \$, 55 minutos)

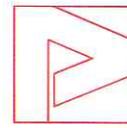
Grand Canyon Air Tours (Aeropuerto de Tusayan)

Bibliografía

GREER PRICE, L. (1991): «Grand Canyon. The story behind the scenery.» Las Vegas, Nevada: KC Publications, Inc.



El borde sur desde el aire.



**BANCO
POPULAR
ESPAÑOL**

¡Solicite su tarjeta!



LLENAS DE VENTAJAS

- *Identificativa del colectivo de geólogos.**
- *Seguros especiales de hasta 100 millones de Ptas.**
- *Descuentos en cadenas hoteleras y de alquiler de coches.**
- *Responsabilidad limitada por uso indebido.**
- *Rápida reposición en caso de pérdida o robo.**
- *Sin cobro de emisión durante el primer año.**



BANCO DE ANDALUCÍA



BANCO DE CASTILLA



BANCO DE CREDITO BALEAR



BANCO DE GALICIA



BANCO DE VASCONIA

SOLICITELAS EN LAS SUCURSALES DEL GRUPO BANCO POPULAR

Recorte y envíe este cupón para solicitar la VISA GEOLOGO, (para Vd. o para su cónyuge), o para solicitar información de la "CUENTA GEOLOGO" a la DIRECCION COMERCIAL DEL GRUPO BANCO POPULAR. Apartado de Correos 53 F.D. 28080 MADRID. Si lo prefiere envíe copia por fax al 91-576 36 64.



Nombre Primer apellido Segundo apellido

Fecha de nacimiento Estado civil C S V D/S N.º hijos D.N.I. N.º Colegiado

Domicilio particular (calle o plaza) N.º C.P. Localidad

Lugar de trabajo (empresa, consultoría, universidad, etc.)

Domicilio del lugar de trabajo (calle o plaza) N.º C.P. Localidad

Teléfono de contacto Horas de llamada: Mañana. De a h. Tarde. De a h.

¿Cliente del Grupo SI BANCO SUCURSAL N.º CUENTA

Banco Popular Español? NO

Deseo información de la cuenta GEOLOGO Deseo información de la VISA GEOLOGO Deseo información del PLAN DE PENSIONES DEL COLEGIO DE GEOLOGOS

SELLOS Y ANIVERSARIOS

Con motivo de la conmemoración del primer centenario de la publicación del Mapa Geológico de España a escala 1:400.000, se celebró, durante los días 21-24 de noviembre de 1989, una exposición en la sede Central del Instituto Tecnológico *Geominero* de España, en la que se recopiló la evolución de la cartografía geológica en España a lo largo de este período de tiempo.

La edición del Mapa Geológico, cumplió su primer centenario en el año 1989 y, por tanto, se publicó en el año 1889, cuarenta años después, de la creación, por Real Decreto de 12 de julio de 1849 promulgado en el feliz reinado de Su Majestad la Reina Isabel II, de la Comisión de la Carta Geológica de Madrid y General del Reino.

El Mapa Geológico cuyo centena-

rio nos ocupa, se confeccionó integrando los mapas geológicos provinciales, realizados con anterioridad, y que le sirvieron de base cartográfica.

Para celebrar esta jubilosa fecha centenaria, se editaron dos tarjetas postales y un matasellos especial, que representa el perfil del Mapa de España con la inscripción sobreimpresionada, Exposición: «PRIMER CENTENARIO DEL MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA».-Madrid 21-24 Nov.-1989.

La primera tarjeta postal corresponde a la representación a escala reducida del Mapa Geológico de España, editado en 1889 y franqueada con sello postal de valor 14 pesetas de forma rómbica, de la serie Nacional emitida en 1983, que tiene como motivo el Escudo Constitucional de España.

La segunda tarjeta postal, tiene co-

mo motivo la representación del retrato pintado al óleo de S. M. la Reina Dña. Isabel II, como primera fundadora de la Comisión de la Carta-Geológica, y que, desde su creación, preside el despacho del Ilmo. Sr. Director General del I.T.G.E.

El sello postal que lleva incorporado esta tarjeta para su franqueo, de valor de 16 pesetas de forma rectangular, emitido el año 1983, conmemora el «Bicentenario del DESCUBRIMIENTO del mineral de Wolframio», por los hermanos Elhuyar, Ingenieros de Minas.

El mayor de los hermanos, Fausto, eminente mineralogista y químico, fue profesor de la Escuela de Minas de Vergara y se especializó durante varios años en las Universidades de Freiberg y Upsala de (EE. UU.).





Filossa

Desde Estados Unidos pasó a México, donde desempeñó el cargo de Director General de Minas, y posteriormente, a su vuelta a España, fue designado para este mismo cargo.

Los hermanos Elhuyar, publicaron

varias obras de carácter científico e investigador, destacando, entre todas ellas, la «Teoría de Amalgamación» para la obtención de oro de cuarzos auríferos difusos de baja ley, por medio de su emulsión en mercurio. ■

Dimensiones de los sellos:

Serie Escudo N.-33 mm. lado.

Serie Hnos. Elhuyar.-41 x 29 mm.

Antonio Piñero Coronel

Gestión e Ingeniería de Agua y Medioambiente

DHV España SL
Avenida de los Madroños, 55
28043 Madrid

tel (91) 300 38 78
fax (91) 388 08 01

UTILIZACION DE LOS PERFILES DE SISMICA DE REFLEXION PROFUNDOS EN LA EVALUACION DE LA PELIGROSIDAD SISMICA, UN CASO CONCRETO ECORS PIRINEOS



Joan Escuer Solé

Licenciado en Ciencias geológicas por la Universidad de Barcelona. Consultor independiente. Desde 1986 colabora con el Servei Geològic de Catalunya en proyectos de cartografía geológica y geomorfológica, neotectónica y riesgo sísmico. Ha participado, asimismo, en los proyectos ERA y AFA de ENRESA en el ámbito de la empresa privada, así como en estudios de evaluación de impacto ambiental, infraestructuras lineales y cartografías temáticas.

Una de las herramientas que puede aportar información de gran valor en las evaluaciones de riesgo sísmico son los perfiles de sísmica de reflexión profundos en combinación con datos sismológicos existentes. El perfil ECORS-Pirineos aporta información sobre la deformación de la corteza así como restricciones para la confección de modelos de tectónica activa en el Pirineo Central.

Deep seismic reflection profiles can be a reliable tool in seismic hazard evaluations if they are correlated with available seismological data. The ECORS-Pyrenees cross section adduce data about crustal deformation and restrict the active tectonics model in Central Pyrenees.

Riesgo sísmico. Prevención versus predicción

Si bien España no figura en la lista de los países más expuestos a los sismos destructores, una breve mirada al pasado nos advierte que ciertas zonas de la península han sido afectadas por terremotos importantes (1427-28 Pirineo Oriental, 1504 Sevilla, 1680 Málaga, 1755 Lisboa, 1829 Torrevieja, 1884 Granada) habiendo ocasionado la pérdida de numerosas vidas humanas y pérdidas económicas considerables.

El crecimiento de la población, así como la implantación de industrias o infraestructuras particularmente sensibles al riesgo sísmico (industrias químicas y nucleares, presas, vertederos industriales, etc.), han incrementado el riesgo soportado por la población en caso de un terremoto de gran magnitud.

Las dos tendencias existentes para aumentar la protección frente al riesgo sísmico tratan de determinar la probabilidad de ocurrencia de terremotos intensos con el objetivo de prevenir los daños, mediante los mecanismos adecuados, o predecir la ocurrencia del sismo permitiendo así la evacuación de la población.

En su estado actual la predicción exacta de un sismo destructor presenta inconvenientes claros. En primer lugar, hoy por hoy, no es completamente fiable. Asimismo la simple predicción no reduciría las pérdidas económicas aun-

que sí las vidas humanas, al menos en teoría. La predicción lleva consigo problemas logísticos importantes. En el caso de una hipotética evacuación deben existir planes perfectamente diseñados para que ésta se desarrolle armónicamente. La posibilidad de falsas predicciones puede ocasionar problemas subsidiarios como alarma de la población o pérdidas económicas derivadas de la propia evacuación. En este sentido y sin dejar a un lado los estudios encaminados a la predicción parece lógica la necesidad de reducir el factor de vulnerabilidad mediante una buena prevención. Esta debe basarse en una correcta evaluación de la peligrosidad sísmica y en la adaptación de las normas de construcción a dicha peligrosidad. Dicha evaluación ha de permitir el conocimiento de la potencialidad sísmica de la región, los efectos posibles de los terremotos, sus causas, la propagación de la energía sísmica y debe contemplar escalas tanto globales como locales. Subsidiariamente deben tomarse medidas (normas sismoresistentes) para que infraestructuras y construcciones puedan resistir los efectos evaluados.

El estudio sismotectónico en zonas de sismicidad moderada

Uno de los problemas básicos para la evaluación del riesgo sísmico en

una zona es el de definir los lugares de ocurrencia posible y las características de los terremotos que puedan ocurrir.

Hasta hace pocos años se daba una importancia preponderante a la historia sísmica en las evaluaciones de riesgo. Esta aproximación es válida si los datos históricos de una región son representativos de su actividad sísmica y si se admite que donde se han producido terremotos destructores volverán a repetirse (aproximación determinista). Esto puede ser verificado si las relaciones sismotectónicas están bien establecidas como el caso de los límites de placas bien localizados (zonas de subducción, sistemas transformantes) y donde las tasas de deformación son elevadas. En estas áreas las zonas de ocurrencia están generalmente bien establecidas así como sus recurrencias al ser éstas lo suficientemente cortas como para haber sido registradas a escala histórica. Por contra en las zonas de deformación difusa y relativamente moderada, el período histórico (algunas centenas de años) no representa un lapsus de tiempo suficiente para observar un patrón de sismicidad representativa de la actividad tectónica actual. El registro de terremotos destructores de los últimos 15 años (el Asnam 1980 ARGELIA, Spitak 1988 ARMENIA, El Cairo 1992 EGIPTO) muestra que, a la luz de la historia sísmica conocida, es extraordinariamente difícil prever la magnitud y localización de los terremotos.

En las regiones donde la sismicidad es moderada, como es el caso de la península Ibérica, los datos geológicos y sismológicos no son generalmente suficientes ni detallados para conocer con precisión la actividad sísmica de fallas individuales. Actualmente los ejemplos de fracturas donde la actividad sísmica reciente o histórica puede ser probada (alineamientos de epicentros, rupturas tectónicas en terrenos geológicamente recientes, etc.) son raros. Así pues la metodología seguida en dichas regiones no podrá ser la misma que la utilizada en aquellas zonas donde las relaciones falla activa-terremoto están bien establecidas (California por citar un ejemplo).

La aproximación práctica más realista consiste en extender la noción de actividad de una falla individual a la de actividad sísmica de un dominio más amplio en el cual identificar características geológicas que permitan la identificación de dicha actividad. En otras

palabras deben identificarse aquellos parámetros que definan el estado de las estructuras de la corteza, el contexto geodinámico y las fuerzas que actualmente actúan sobre la misma. En este sentido la combinación de disciplinas como la geología estructural, neotectónica, sismología, gravimetría, geodesia y otras son empleadas con éxito para la caracterización sismotectónica de una región Combes y otros (1988), Philip y otros (1992).

Una de las herramientas que puede aportar información de gran valor son los perfiles de sísmica de reflexión profundos. Este tipo de perfiles ha sido usado en los últimos años para mejorar el conocimiento de la estructura de determinadas zonas de la corteza terrestre. La elevada inversión que supone la

«Uno de los problemas básicos para la evaluación del riesgo sísmico en una zona es el de definir los lugares de ocurrencia posible y las características de los terremotos que puedan ocurrir»

realización de estos perfiles hace prohibitivo en uso exclusivo para fines muy específicos. No obstante, su ejecución, permite de forma colateral obtener información válida para múltiples estudios aparentemente sin relación con el objetivo principal del perfil. Un ejemplo de ello puede ser la caracterización sismotectónica a lo largo de la traza del perfil. La profundidad alcanzada en este tipo de perfiles los hace idóneos para correlacionar datos sismológicos con estructuras corticales.

Metodología y restricciones

Los perfiles de sísmica de reflexión profundos no pueden ser utilizados por sí solos en los estudios sismotectónicos, necesitan haber sido integrados con otros datos para que el conjunto sea coherente y válido. El método se basa en la integración en un perfil de los datos aportados por el re-

gistro sísmico. Para ello es preciso disponer de un número suficiente de determinaciones hipocentrales de buena calidad y que su posición sea suficientemente cercana a la traza del perfil para evitar extrapolaciones exageradas. Respecto al propio perfil, éste debe ser representativo de la zona a estudiar y haber sido tratado e integrado con la información geológica de superficie para la obtención de un corte geológico válido. Dicho corte debe haber sido construido de tal manera que esté compensado y ser al menos geométricamente correcto.

No es una novedad la proyección de la información sísmica sobre cortes geológicos (ver Seeber y otros 1981), sin embargo la calidad y alcance de los cortes empleados de una parte y la fiabilidad de las determinaciones hipocentrales de otra condicionan el resultado final. Generalmente los cortes geológicos clásicos no alcanzan la profundidad suficiente para poder ser confrontados con los datos aportados por la sismología, quedándose en un nivel excesivamente superficial. Asimismo suelen incorporar una buena dosis de interpretación o no están elaborados con las restricciones de los cortes compensados. Estos problemas pueden minimizarse si el corte geológico es construido sobre la traza de un perfil de sísmica de reflexión profunda, aprovechando la información proporcionada por éste y si además el corte resultante es compensado. El resultado de la integración dependerá asimismo del número y calidad de las determinaciones hipocentrales existentes. Una densidad apropiada de estaciones receptoras (sismógrafos) y una distribución homogénea de las mismas permite disponer de determinaciones aceptables. Si estas condiciones se cumplen y el número de terremotos registrados es suficiente la integración de los datos reflejará la distribución vertical de la sismicidad y su relación con las estructuras tectónicas principales permitiendo por tanto el análisis sismotectónico en el plano vertical. La situación ideal sería aquella en la que pudiera disponerse de un número suficiente de perfiles a escala cortical y las correspondientes determinaciones hipocentrales.

Recientemente se han realizado varios perfiles de sísmica de reflexión profunda en el estado español. Uno de ellos atraviesa el Pirineo Central en su totalidad (ECORS-Pirineos) y sobre

éste se ha ensayado la metodología anteriormente expuesta.

El perfil ECORS

El perfil ECORS de sismica de reflexión profunda se generó durante los años 1985 y 1986, fruto de la colaboración entre instituciones francesas y españolas (Repsol Exploración, Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, Instituto Tecnológico Geomínero de España, Instituto Geográfico Nacional, Institut Français du Pétrole, Institut National des Sciences de l'Univers, Société Nationale Elf Aquitaine, Esso). La adquisición del perfil ECORS-Pirineos fue realizado por la Compagnie Général de Géophysique y un equipo del Institut Français du Pétrole. El corte tiene una longitud de 250 Km y atraviesa de N a S toda la cordillera pirenaica.

El extremo meridional del corte se sitúa cerca de la población de Arbeca en la cuenca de antepaís del Ebro, atraviesa las estructuras pirenaicas más meridionales (cabalgamiento frontal surpirenaico, Mantos de las sierras marginales, Manto del Montsec), cuen-

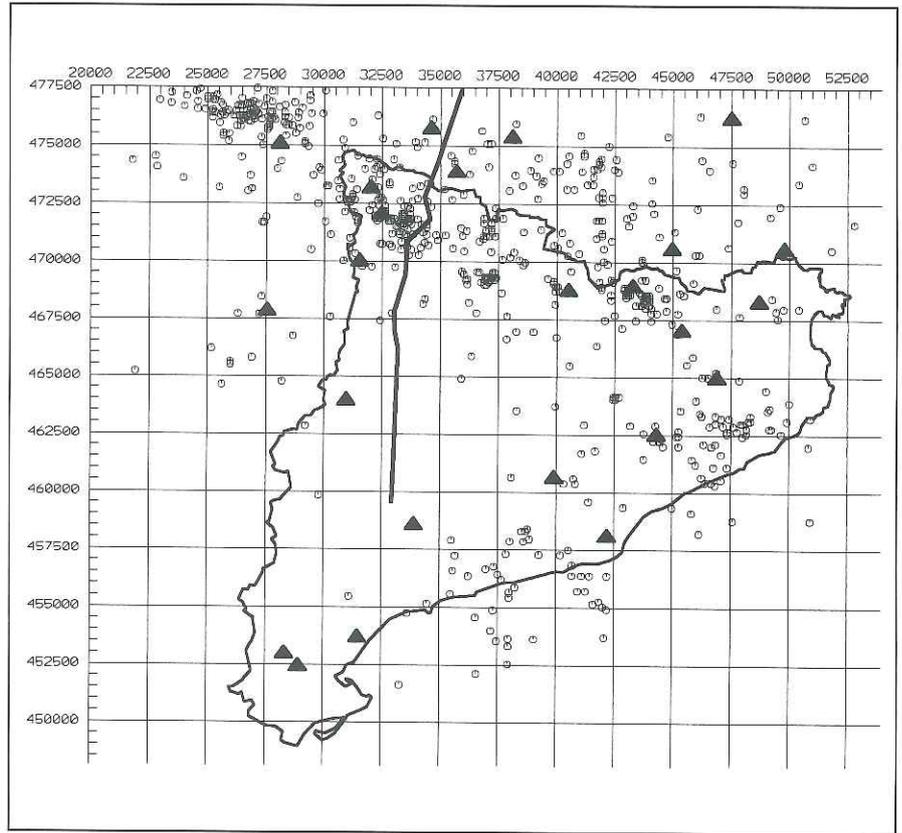


Fig. 2.—Determinaciones epicentrales del período instrumental 1986-91 en el NE peninsular sin especificación de magnitudes. Los triángulos indican las estaciones receptoras (sismógrafos). En negro la traza ECORS.

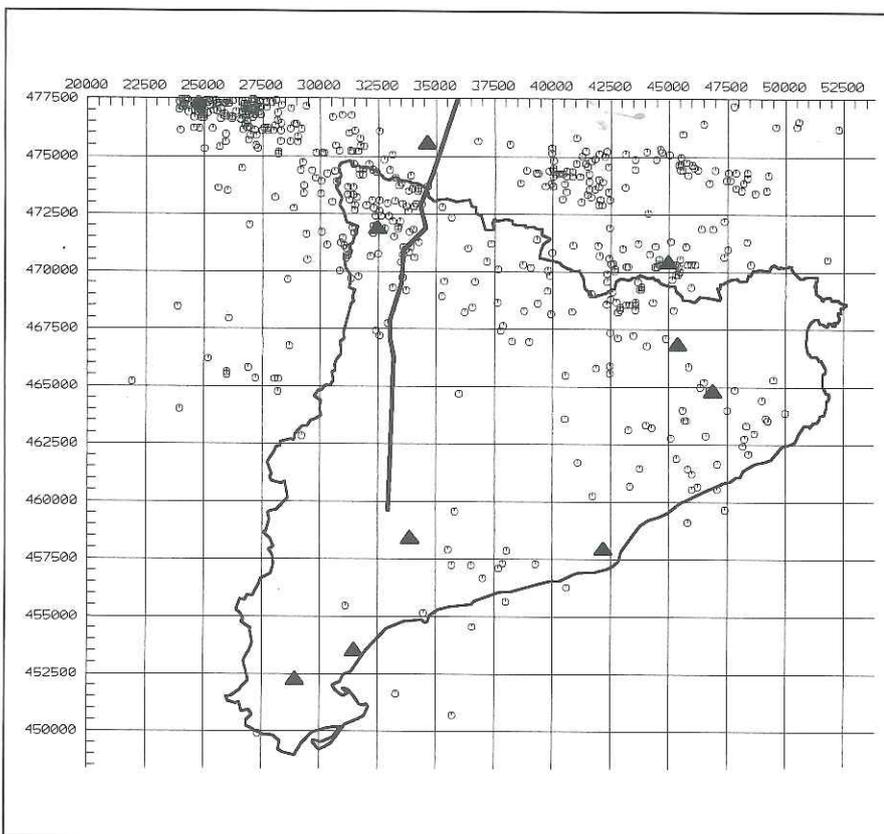


Fig. 1.—Determinaciones epicentrales del período instrumental 1977-85 en el NE peninsular sin especificación de magnitudes. Los triángulos indican las estaciones receptoras (sismógrafos). En negro la traza ECORS.

cas intramontañas (cuenca de Tremp), la zona Axial (cabalgamiento de Llavorsí, Manto de Gavarnie, falla de Couflens) cruzando, ya en territorio francés, la falla Norpirenaica. Más adelante atraviesa las estructuras pirenaicas más septentrionales (cabalgamiento frontal Norpirenaico).

Además del perfil de sismica profunda, se realizaron estudios geofísicos complementarios de gravimetría, sismica de refracción y anomalías magnéticas a lo largo del corte. La integración de todos estos datos geofísicos con los datos geológicos de superficie permitió un mejor conocimiento de la estructura cortical de la cordillera, así como de la evolución del orógeno. Fruto de ello fue la obtención de un corte geológico compensado a escala cortical por Muñoz (1992) y Berástegui y otros (1993).

Las primeras conclusiones que se extraen del análisis del perfil sísmico y del corte geológico es que el conjunto de la corteza inferior de la placa Ibérica buza hacia el norte y se sitúa por debajo de la corteza de la placa europea (subducción continental). Asimismo se constata que la falla norpirenaica, considerada durante mucho tiempo como

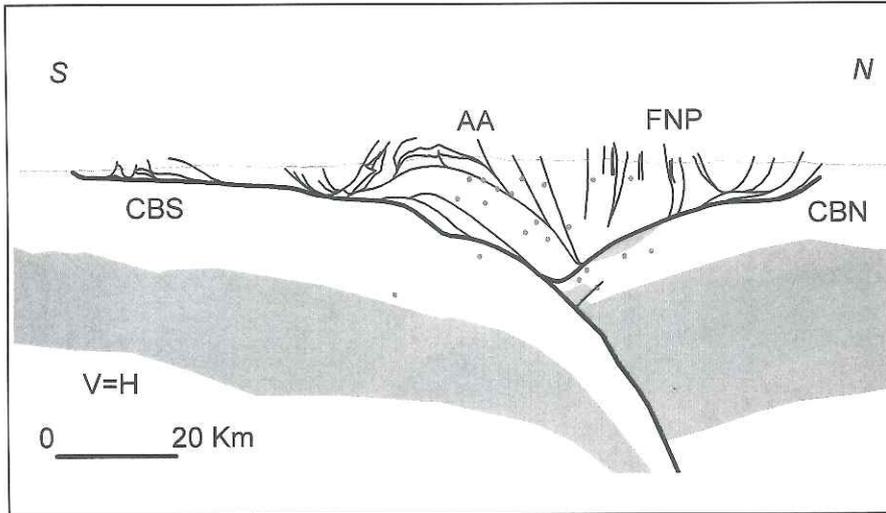


Fig. 3.—Determinaciones hipocentrales del período instrumental 1977-85 a lo largo de la trama ECORS (ala estrecha 5 Km). CBS Cabalgamiento basal surpirenaico, AA Apilamiento antiformal de la zona axial, FNP Falla norpirenaica, CBN Cabalgamiento basal norpirenaico. En azul corteza inferior.

el límite actual de las dos placas implicadas en la colisión, sólo representa los restos de un accidente antiguo cortado por el cabalgamiento basal norpirenaico.

Sismicidad

El rango cronológico de tiempo aportado por el registro de la sismicidad es mucho menor que el aportado por el registro geológico. Sin embargo los datos aportados son imprescindibles para los estudios de riesgo sísmico. De los tres diferentes registros de datos de que se dispone, histórico, macrosísmico e instrumental, sólo este último es utilizable para su correlación con el perfil ECORS ya que es el único que aporta datos sobre la posición en profundidad (determinación hipocentral) de los terremotos aunque no en todos los casos.

Hoy en día se empieza a disponer de datos hipocentrales bien definidos del Pirineo Central procedentes de las redes sísmicas de varias agencias: LDG (Laboratoire de Detection et de Geophysique), OMPT (Observatoire Midi-Pyrénées de Toulouse), IPGP (Institut de Physique du Globe de Paris) y especialmente la del SGC (Servei Geològic de Catalunya). Los numerosos y bien localizados hipocentros obtenidos a partir de estas redes proveen un mayor detalle de la distribución de la sismicidad en el plano vertical.

El conjunto de epicentros instrumentales registrados por estas redes debe dividirse en dos grandes grupos atendiendo a la precisión de los mismos.

«Los perfiles de sismica de reflexión profundos no pueden ser utilizados por sí solos en los estudios sismotectónicos, necesitan haber sido integrados con otros datos para que el conjunto sea coherente y válido»

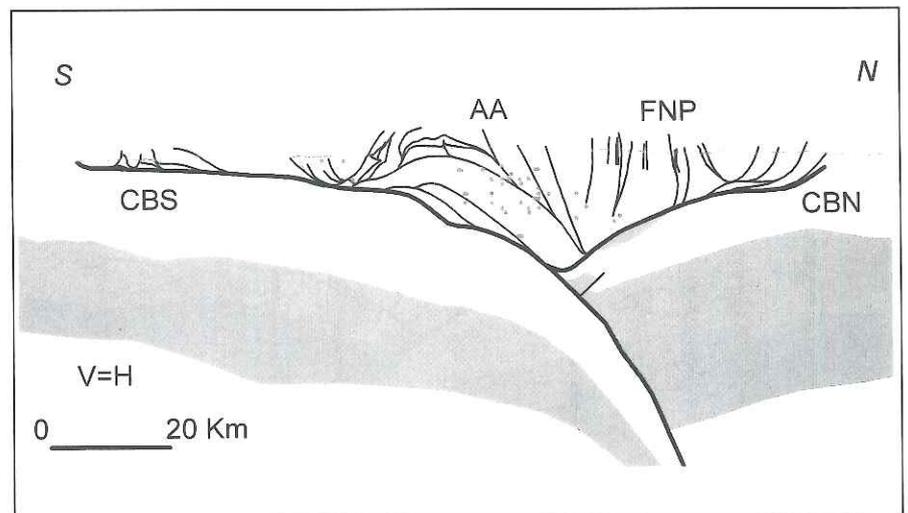


Fig. 4.—Determinaciones hipocentrales del período instrumental 1986-91 a lo largo de la trama ECORS (ala estrecha 5 Km). CBS Cabalgamiento basal surpirenaico, AA Apilamiento antiformal de la zona axial, FNP Falla norpirenaica, CBN Cabalgamiento basal norpirenaico.

Esta se encuentra en relación con el número de estaciones operativas en cada grupo. Se distinguen dos épocas, un primer grupo de epicentros fueron registrados durante los años 1977-1985 (7 estaciones cercanas, figura 1) y un segundo grupo a partir de 1985 hasta la actualidad (23 estaciones cercanas, figura 2).

Integración de la sismicidad en el perfil ECORS. Resultados

A partir del conocimiento exacto de la traza del perfil ECORS, así como las determinaciones hipocentrales más cercanas a la traza del mismo, se ha procedido a proyectar en el corte geológico la información suministrada por el registro instrumental. El resultado puede observarse en las figuras adjuntas 3 y 4.

El rango o ala de proyección escogido ha sido de 5 Km a ambos lados de la traza ECORS con el objetivo de minimizar errores y extrapolaciones exageradas. El método es análogo al utilizado cuando se proyecta la información procedente de un pozo sobre un corte geológico.

Del análisis de las figuras 3 y 4 se desprenden las siguientes observaciones:

- La sismicidad actual (1977-1992) se concentra en los primeros 30 Km de la corteza mostrando una distribución muy característica. La mayor parte de los hipocentros coinciden con

la situación del apilamiento antiformal de la Zona Axial sugiriendo una relación con láminas cabalgantes que afectan a la corteza superior. Asimismo la sismicidad más meridional representada en el perfil (1985-1992) parece relacionarse con láminas cabalgantes (cabalgamiento de Boixols).

– Salvo en el caso de los hipocentros del primer período instrumental (1977-1985), todas las ocurrencias hipocentrales se suceden por encima del nivel cabalgante más profundo, tanto en el caso de las unidades meridionales (cabalgamiento basal surpirenaico) como septentrionales de la Cordillera (cabalgamiento basal norpirenaico). Las discrepancias en el caso del primer período instrumental podrían ser debidas a determinaciones hipocentrales incorrectas.

– A la medida que nos alejamos del apilamiento antiformal de la zona axial la sismicidad es más superficial.

– No se observa sismicidad asociada a la falla Norpirenaica en ninguno de los casos apareciendo la totalidad de las ocurrencias al sur de la misma.

Abarcando un ala mayor (10 Km) a ambos lados de la traza ECORS se incrementa el número de determinaciones hipocentrales a riesgo de una mayor imprecisión en la proyección. Las figuras 5 y 6 muestran el resultado. En ellas se ha incluido la versión completa del corte ECORS en profundidad.

En la figura 5 se han utilizado las determinaciones hipocentrales de la segunda época (1985-91) confirmándose las observaciones anteriores referentes a la distribución y profundidad de los

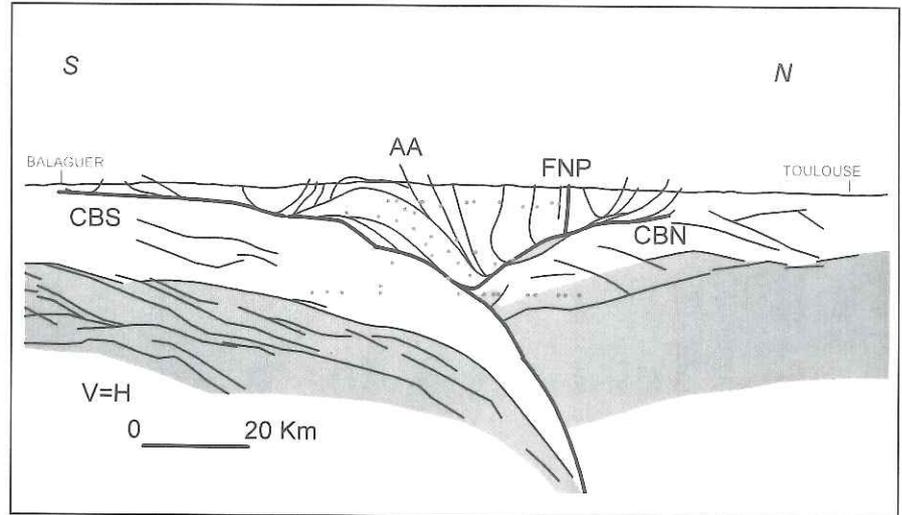


Fig. 5.—Determinaciones hipocentrales del período instrumental 1986-92 a lo largo de la traza ECORS. Corte completo ala ancha (10 Km).

«Los resultados de la correlación avalarían la hipótesis de una actividad sísmica ligada a láminas cabalgantes en los Pirineos Centrales si bien ésta sería de carácter más débil y somera en las zonas exteriores de la Cordillera»

hipocentros. En este caso la correspondencia de los hipocentros con las estructuras geológicas no es tan precisa debido a que las proyecciones de los hipocentros son más lejanas al ser el ala de proyección mayor.

La figura 6, que comprende los hipocentros del primer período instrumental (1977-1985), muestra unos rasgos característicos. Obsérvese la disposición lineal de multitud de hipocentros a la profundidad de 26 Km aparentemente desligados de cualquier estructura. Este patrón «artificial» reflejaría una falta de precisión debida al bajo número de estaciones funcionales durante este período.

En resumen se observa una buena correlación entre la información proporcionada por el perfil ECORS con la proporcionada por la sismicidad instrumental en particular para el segundo período (1986-91). Sin embargo estos datos, si bien pueden ser extrapolados a otras zonas de la cordillera, son sólo objetivamente válidos para el corte ECORS.

Los resultados de la correlación avalarían la hipótesis de una actividad sísmica ligada a láminas cabalgantes en los Pirineos centrales si bien ésta sería de carácter más débil y somera en las zonas exteriores de la Cordillera. La zona más activa estaría relacionada con el apilamiento antiformal de la zona axial. Utilizando la información del registro sísmico en transversales paralelas al corte ECORS y confrontándola con la geología de superficie se confirma una mayor frecuencia, así como una mayor profundidad de los sismos con la situación del apilamiento citado. Estos resultados puede interpretarse en

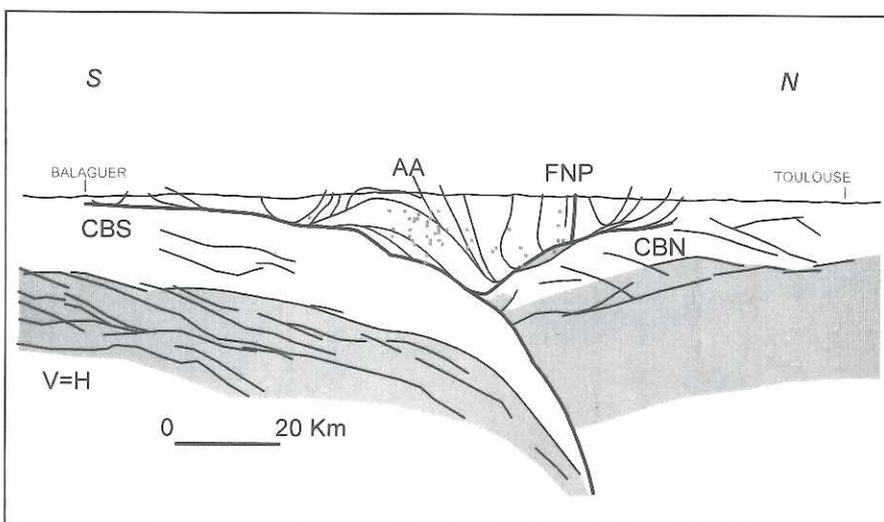


Fig. 6.—Determinaciones hipocentrales del período instrumental 1986-92 a lo largo de la traza ECORS. Corte completo ala ancha (10 Km).

sentidos diferentes, puede que los cabalgamientos sean todavía activos que estén siendo reutilizados por fuerzas de ajuste isostático producto del desmantelamiento por erosión del apilamiento antiforme de la zona axial. Incluso cabe pensar en una combinación de ambas posibilidades. Sea cual sea la interpretación que se dé a los resultados ésta debe contemplar los datos objetivos de la correlación.

Como se ha podido comprobar el uso del perfil de sismica de reflexión profunda ECORS-Pirineos aporta datos sobre la deformación de la corteza, así como restricciones para la confección de modelos de tectónica activa en este área.

A falta, por el momento, del suficiente número de cortes profundos para efectuar correlaciones como la anterior, los resultados son provisionales y muy restringidos a un solo perfil, por lo que la extrapolación de los mismos a otras zonas de la cordillera entra de lleno en el campo de las hipótesis. Asimismo, no puede caracterizarse la actividad reciente solo en base a este tipo de estudio debiendo incorporarse y analizarse la información proporcionada por otras disciplinas. No obstante la integración de la información proporcionada por los perfiles profundos demuestra ser útil. En un futuro un mayor número de determinaciones hipocentrales así como la posibilidad de dispo-

«Todas las ocurrencias hipocentrales se suceden por encima del nivel cabalgante más profundo tanto en el caso de las unidades meridionales (cabalgamiento basal surpirenaico) como septentrionales de la Cordillera (cabalgamiento basal norpirenaico)»

ner de nuevos perfiles permitirá prestar una mayor importancia a estos estudios en las determinaciones de peligrosidad sísmica. ■

ner de nuevos perfiles permitirá prestar una mayor importancia a estos estudios en las determinaciones de peligrosidad sísmica. ■

Bibliografía

- BERASTEGUI, X.; LOSANTOS, M.; MUÑOZ, J. A. y PUIGDEFABREGAS, C. (1993): «Tall geològic del Pirineu Central 1:200.000». Servei Geològic de Catalunya. (Ed.) Institut Cartogràfic de Catalunya. Positer. 1.ª edició.
- COMBES, P.; PHILIP, H.; CHABELARD, J. G. y GRANIER, T. (1968): «Zonage tectonique de la France et des regions limitrophes: Schéma directeur pour un zonage sismotectonique». Rapport SABC 88/57.
- MUÑOZ, J. A. (1992): «Evolution of a continental collision belt: ECORS Pyrenees crustal balanced cross section». En: Thrust tectonics. (ed.) K. R. McClay Chapman & Hall. Londres, pp. 235-247.
- PHILIP, H.; GRELLET, B. y COMBES, P. (1992): «Metodology of seismotectonic zoning in the intraplate low seismicity domain: example of France and surrounding areas». En: Recent advances in earthquake engineering and structural dynamics, V. Davidovici (ed.), Ouest editions, Nantes, France: pp. 153-168.
- SEEBER, L.; ARMBRUSTER, J. G. y QUITTMEYER, C. (1981): «Seismicity and continental subduction in the himalayan arc». En: Zagros-Hindu Kush-Himalaya geodynamic evolution. American Geophysical union Geodynamics series, v. 3, pp. 213-242.



GEOPRIN, S.A.

CONSULTORIA EN MEDIO AMBIENTE,
GEOLOGIA E INGENIERIA GEOLOGICA

GEOPRIN, empresa con más de veinte años de experiencia en proyectos del medio físico, dispone de un equipo humano especializado y de gran reconocimiento profesional, para acometer proyectos técnicos de gran calidad.

Ha realizado proyectos en todo el territorio nacional y países sudamericanos.

- AUDITORIAS MEDIOAMBIENTALES
- ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL
- CARTOGRAFIA GEOLOGICA
- ESTUDIOS GEOLOGICOS Y MINEROS
- CATASTROS
- GEOTECNIA
- MECANICA DE ROCAS Y SUELOS
- RIESGOS GEOLOGICOS
- CONTROL DE CALIDAD

DIRECCION COMERCIAL

C/. Alonso Cano, 85, 1.º D, 28003-MADRID. TFNO: (91) 5537815, 5546148. FAX: (91) 5538224

NUEVOS ASPECTOS NORMATIVOS SOBRE CRITERIOS SISMICOS Y GEOLOGICOS EN EL EMPLAZAMIENTO DE CENTRALES NUCLEARES¹



José G. Sánchez Cabañero

Licenciado en Ciencias Geológicas por la Universidad de Granada. Diecisiete años de experiencia en estudios de emplazamiento de instalaciones nucleares/radiactivas, obras civiles convencionales y elaboración de normativa nuclear. Actividad profesional ejercida en INITEC y en el Consejo de Seguridad Nuclear, donde es responsable actualmente de Sismología.



Antonio Jiménez Juan²

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la U.P.M. Doce años de experiencia en diseño y cálculo de estructural de instalaciones nucleares, estudios de emplazamiento para centrales nucleares e instalaciones de almacenamiento de residuos radiactivos, y elaboración de normativa nuclear. Actividad profesional desempeñada en Empresarios Agrupados y en el Consejo de Seguridad Nuclear, donde actualmente es responsable del grupo de Ingeniería del Terreno.

En octubre de 1992, y para información pública durante un período de noventa días, la USNRC publicó un borrador que revisa el 10 CFR 100 «Reactor Site Criteria». Este artículo presenta lo esencial de los nuevos criterios sísmicos y geológicos propuestos los cuales están recogidos en nuevos apéndices del 10 CFR 50 y 100 y en nuevas guías reguladoras. Los objetivos básicos que persigue la nueva normativa son: actualizar y clarificar los requisitos sísmicos y geológicos que figuran en el Apéndice A del 10 CFR 100, fijar nuevos criterios de emplazamiento de CC NN basados en la experiencia adquirida y en la importancia del riesgo sísmico, y flexibilizar la normativa para permitir su adaptación permanente al estado del arte. El conocimiento actual ha evidenciado que la consideración de estos objetivos es clave para proteger la salud pública y la seguridad nuclear. Como la normativa de la USNRC es referencia obligada en las CCNN españolas, es necesario analizar la conveniencia de aplicar en España los nuevos criterios. El marco de los APS sería el más apropiado para considerar algunos de los nuevos criterios.

A revision proposal to 10 CFR Part 100, «Reactor Site Criteria», were published by USNRC for public comment in October 1992. General criteria relating to siting aspects have been changed. This paper summarizes the most relevant from new seismic and geological criteria, which are included in new appendixes to Parts 100 and 50 and new guides. The three major objectives from proposed changes are following: to update and clarify the existing seismic and geological requirements in Appendix A to 10 CFR Part 100; to revise reactor siting criteria to reflect current understanding and advancements in the earth sciences and earthquake engineering; and to provide a flexible structure to permit easy consideration of new technical understandings. The current experience has shown these proposed criteria as key to protecting public health and safety. Because the USNRC regulations are usually applied to NPP Spanish licensing process, it is necessary to implement the proposed siting criteria in the nuclear sites Spanish evaluation plan, what could be done using PRA program currently under way.

1.-Introducción

Desde el día 13.12.73, fecha de su aplicación efectiva, el Apéndice A [Seismic and Geologic Siting Criteria for Nuclear Power Plants] de la Parte 100 del 10 Code Federal Register [Reactor Site Criteria] de la Comisión de Normativa Nuclear de Estados Unidos de Norteamérica [USNRC], ha sido una referencia de cumplimiento obligado en lo relativo al emplazamiento de los reactores nucleares de la industria civil en USA. Después de dos décadas de vigencia, la experiencia alcanzada con su práctica, las dificultades encontradas en su aplicación y el rápido avance en el estado del arte de las geociencias y de la ingeniería sísmica, han determinado que la USNRC proponga una nueva normativa aplicable a las futuras centrales nucleares de USA.

2.-Nueva normativa y sus implicaciones

Desde el punto de vista sísmico y geológico, las bases de licenciamiento de las centrales nucleares existentes en USA siguen permaneciendo en el Apéndice A del 10 CFR 100. La nueva normativa aplicable a futuras instalaciones residirá en los siguientes documentos de nueva creación:

* **Apéndice B, «Criteria for the Seismic and Geologic Siting of Nuclear Power Plants»** del 10 CFR 100 «Reactor Site Criteria». Recoge los re-

¹ Presentado en la XIX Reunión Anual de la Sociedad Nuclear Española; Cáceres, octubre 1993.

² Las opiniones recogidas en el artículo pertenecen a los autores y no reflejan necesariamente la posición del Consejo de Seguridad Nuclear.

**NUEVA NORMATIVA Y PROCEDIMIENTOS
PROPUESTOS POR LA USNRC (OCTUBRE 92)**

- * APENDICE B
10 CFR 100 "REACTOR SITE CRITERIA"
- * APENDICE S
10 CFR 50 "EARTHQUAKE ENGINEERING CRITERIA FOR
NUCLEAR POWER PLANTS"
- * STANDARD REVIEW PLAN (SRP), SECTION 2.5.2
"VIBRATORY GROUND MOTION", REV. 3

quisitos exigidos por la USNRC para la selección del emplazamiento y la definición del Safe Shutdown Earthquake Ground Motion [SSE].

* **Apéndice S, «Earthquake Engineering Criteria for Nuclear Power Plants»** del 10 CFR 50, «Domestic Licensing of Production and Utilization Facilities». Recoge los requisitos exigidos por la USNRC en relación con la Ingeniería Sísmica.

A continuación se describen de forma resumida los cambios más significativos que introducen el Apéndice S del 10 CFR 50 y el Apéndice B del 10 CFR 100 en relación con los criterios geológicos y sísmicos de la normativa actual, que figuran en el Apéndice A del 10 CFR 100:

* **Separación de los Criterios de Emplazamiento de los de Diseño**

Los criterios sísmicos que no están asociados con la geología del emplazamiento o la definición del movimiento del terreno debido al SSE, se han trasladado al Apéndice S del 10 CFR 50. Los criterios sísmicos y geológicos propiamente dichos del emplazamiento figurarán en el Apéndice B del 10 CFR 100.

* **Supresión de procedimientos aceptables recogidos en la Normativa Actual**

El Apéndice A del 10 CFR 100 recoge requisitos básicos de aceptación y también procedimientos detallados para satisfacer dichos requisitos.

En la nueva normativa sólo se identifican y establecen requisitos básicos, trasladándose a guías reguladoras y al SRP [Standard Review Plan] los procedimientos aceptables para cumplir tales requisitos, dado que estos últimos documentos pueden modificarse más fá-

«Después de dos décadas ..., la experiencia alcanzada con la práctica ... y el rápido avance en el estado del arte de las geociencias y de la ingeniería sísmica, han determinado que la USNRC proponga una nueva normativa...»

cilmente para reflejar los futuros avances que se produzcan en el campo de las geociencias y de la ingeniería sísmica.

Por ejemplo, en el nuevo Apéndice B se han eliminado los procedimientos para definir el SSE, trasladándolos al borrador de la guía D.G. - 1015.

* **Clarificación del texto y de interpretaciones de la Normativa Actual**

En la nueva normativa se introducen modificaciones para clarificar el texto y resolver aspectos de interpretación de las disposiciones establecidas en el Apéndice A del 10 CFR 100.

Por ejemplo, se eliminan o modifican definiciones que eran más apropiadas para el Oeste de USA; o se clarifica en el texto que al usar el SSE como base del diseño no se trata necesariamente de un único terremoto, sino que puede ser una composición de varios terremotos esperados.

* **Obligación de realizar estu-**

dios de tipo Determinista y Probabilista para definir el SSE

El conocimiento acerca de los terremotos es limitado [especialmente en el Este de USA] y la experiencia obtenida al aplicar el Apéndice A del 10 CFR 100 ha puesto de manifiesto diferencias significativas tanto en los datos de partida como en los modelos sísmicos considerados por los diferentes expertos.

La nueva normativa también requiere definir el SSE de forma determinista, para asegurar que el diseño sea conservador frente a un escenario basado en la sismicidad histórica y la actividad geológica reciente; pero como esta metodología no considera explícitamente la incertidumbre asociada a la definición de los parámetros sísmicos del emplazamiento, la nueva normativa requiere también realizar una evaluación de tipo probabilista que cuantifique dicha incertidumbre y, lógicamente, comparar el resultado de ambas evaluaciones. Así mismo, y para asegurar que los niveles de diseño sean comparables con los de otros emplazamientos existentes (en particular con los de licenciamiento más reciente), se requiere que la probabilidad mediana de excedencia del SSE definido debe ser similar a la calculada para la población actual de centrales en operación.

Los procedimientos aceptados por la USNRC para realizar dichos análisis determinista y probabilista, al igual que los necesarios para llevar a cabo una evaluación comparativa entre ambos estudios tendente a la definición del SSE, se recogen en el borrador de la guía D.G. - 1015.

* **Punto de control para la aplicación del SSE**

La normativa actual requiere que en la base de cimentación de las estructuras la aceleración pico máxima del SSE sea al menos de 0.1 g; en el pasado, dicho punto de aplicación del SSE ha dado lugar a controversia en relación con las prácticas de diseño. Algunas de esas prácticas y nuevos procedimientos de revisión de la USNRC fueron incorporados en la Rev. 2 del SRP [agosto 1989], que estuvo relacionada con el cierre del USI A-40 [Unresolved Safety Issue].

En concordancia con lo anterior, la nueva normativa traslada el punto de aplicación del SSE a la superficie libre del terreno o al techo del substrato rocoso infrayacente, según el caso, y requiere además que la componente

horizontal del SSE al nivel de cimentación de las estructuras sea la de un apropiado espectro de respuesta escalado, como mínimo, con una aceleración pico de 0.1 g.

*** Definición del movimiento del terreno debido al OBE y análisis asociados**

La normativa actual asocia la definición del OBE [Operating Basis Earthquake] con una probabilidad de ocurrencia y establece que el movimiento del terreno debido al OBE sea la mitad del SSE.

Esta normativa, como ya ha demostrado la experiencia, hace posible que el OBE pueda tener más significación en el diseño de la planta que el propio SSE, ya que requiere análisis dinámicos específicos o ensayos de cualificación para asegurar que la central resiste estructuralmente los efectos del OBE y que mantiene la funcionalidad requerida después de su ocurrencia [todas las estructuras, sistemas y componentes necesarios para continuar operando sin riesgo indebido para la salud y la seguridad del público, deben permanecer funcionales y dentro de los límites de deformación y esfuerzo aplicables a las cargas del OBE combinadas con las cargas de la operación normal; Apénd. A, Sec. VI (a) (2)].

En la revisión actual de la norma alemana KTA Safety Standard 2201, junio de 1975, se requiere definir un terremoto base de diseño equivalente al SSE [el Bemessungserdbeben] y se establece un nivel sísmico de inspección, que es 0.4 veces el de diseño, con el fin de parar la central si se sobrepasa.

En la nueva normativa de la USNRC se modifica únicamente la de-

finición del nivel sísmico del OBE, conservando los aspectos funcionales de la definición actual y el requerimiento de parar la central de una forma ordenada si se sobrepasa el nivel sísmico del OBE.

Para dicho nivel, la nueva normativa permite optar entre un OBE que sea 1/3 del SSE [o menor], o bien un valor superior a 1/3 del SSE. En el primer caso el OBE sería un nivel sísmico de inspección y sólo se requiere hacer algunos chequeos mínimos del diseño [sumidero final de calor, tuberías y estructuras aisladas sísmicamente], pero debe asumirse que la probabilidad de ocurrencia puede ser demasiado alta. Si se adopta un OBE superior a 1/3 del SSE, debe realizarse un análisis que tenga en cuenta los efectos de la interacción suelo/estructura y la duración de la excitación sísmica, con el fin de demostrar que se satisfacen los requerimientos de funcionalidad asociados con el OBE.

*** Parada de la central por causa de un terremoto**

En la normativa actual se requiere, como condición limitante de la operación [10 CFR 50.36], llevar a parada a la central si se sobrepasa el OBE y, en consecuencia, el desarrollo de este requerimiento debe figurar en especificaciones técnicas. Pero, de hecho, los titulares generalmente no han desarrollado las especificaciones correspondientes.

La nueva normativa requiere parar la central si se excede el nivel sísmico del OBE o si se produce un daño significativo en la central, y considera que dicho requerimiento debe ser una condición de la licencia de operación [10

CFR 50.54 (ee)]. En el borrador de la guía D.G. - 1016 se recoge la instrumentación sísmica requerida por la USNRC. Los procedimientos aceptados por la USNRC para identificar cuándo se ha sobrepasado el OBE están recogidos en el borrador de la guía D.G. - 1017.

3.-Descripción de las nuevas guías y procedimientos

*** D.G. - 1015, «Identification and Characterization of Seismic Sources, Deterministic Source Earthquakes, and Ground Motion»**

Recoge procedimientos aceptables para definir el movimiento vibratorio del terreno asociado con el SSE. Para ello, en la guía se considera necesario realizar los siguientes estudios y análisis:

Estudio Determinista.—Para realizar este tipo de análisis, se establecen las siguientes etapas más significativas:

- *Identificación y Caracterización de Fuentes Sísmicas.* Una Fuente Sísmica se define como una porción de la Tierra que se considera con sismicidad uniforme [igual tamaño y frecuencia de ocurrencia del Deterministic Source Earthquake -DSE-].

La guía diferencia las situaciones que pueden darse entre áreas de USA situadas al Este de las Montañas Rocosas y otras situadas al Oeste [en el Apéndice D de la guía se describen procedimientos de investigación que pueden usarse].

- *Determinación de los DSE.* Es el máximo terremoto que cabe esperar razonablemente en cada fuente sísmica bajo el régimen tectónico actual.

Para definir los DSE se diferencia entre las situaciones que pueden darse en áreas de USA situadas al Este y al Oeste de las Montañas Rocosas.

- *Determinación de los Terremotos de Control [CE].* Son los DSE que tienen los mayores efectos sobre el emplazamiento estudiado.

Para definir el movimiento vibratorio del terreno asociado a los diferentes CE se ha de seguir el procedimiento descrito en la Sección 2.5.2 del SRP, Rev. 3.

Estudio Probabilista.—Para realizar este estudio, la guía indica la necesidad de considerar lo siguiente:

- Debe hacerse un *Análisis Pro-*

CUADRO II

CAMBIOS MAS SIGNIFICATIVOS EN LA NUEVA NORMATIVA

- * CRITERIOS DE DISEÑO Y DE EMPLAZAMIENTO SEPARADOS
- * SOLO CRITERIOS BASICOS. SE ELIMINAN PROCEDIMIENTOS
- * CLARIFICACION DEL TEXTO
- * ESTUDIOS DETERMINISTA Y PROBABILISTA
- * PUNTO DE APLICACION DEL SSE
- * DEFINICION DEL OBE
- * PARADA POR SISMO

**CAMBIOS INTRODUCIDOS EN LA NUEVA
REV.3 DEL SRP. SECC.2.5.2**

- * DEFINICION DEL SSE:ESPECTROS (HORIZONTAL Y VERTICAL) DEL MAXIMO MOVIMIENTO DEL TERRENO EN CAMPO LIBRE O EN EL TECHO DEL SUSTRATO ROCOSO. LOS ESPECTROS DEL SSE DEBEN SER MAYORES QUE LOS TERREMOTOS DE CONTROL (CE) DETERMINISTAS PARA EL PERCENTIL DEL 84%.
- * OBTENCION DE LOS ESPECTROS DE LOS TERREMOTOS DE CONTROL DETERMINISTAS: HAY TRES ALTERNATIVAS CON EL SIGUIENTE ORDEN DE PREFERENCIA:
 - 1.- A PARTIR DE ACELEROGRAMAS REALES REGISTRADOS EN CONDICIONES SIMILARES.
 - 2.- DEFINIR LA ACELERACION, VELOCIDAD Y DESPLAZAMIENTO MAXIMOS DEL TERRENO CON CORRELACIONES ADECUADAS Y APLICAR FACTORES DE AMPLIFICACION PARA CADA RANGO DE FRECUENCIAS.
 - 3.- DEFINIR LA ACELERACION MAXIMA DEL TERRENO CON CORRELACIONES ADECUADAS Y APLICAR UN ESPECTRO ESTANDARIZADO.
- * NECESIDAD DE COMPARAR LOS ESPECTROS DE LOS TERREMOTOS DE CONTROL DETERMINISTAS Y PROBABILISTAS PARA LLEGAR A DEFINIR EL SSE.
- * LA PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA DE LOS ESPECTROS DEL SSE DEBE SER MENOR QUE LA PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA DEL SSE DE LAS CENTRALES DE USA EN OPERACION.

babilista de la Peligrosidad Sísmica [PSHA] que utilice modelos multivariables y cuantifique la incertidumbre asociada a los diferentes parámetros sísmicos [fuentes sísmicas, máximos terremotos, atenuación, etc.].

Para emplazamientos de USA situados al Este de las Montañas Rocosas pueden utilizarse los estudios realizados por el Lawrence Livermore National Laboratory [LLNL], [USNRC/NUREG/CR - 5250], o por el Electric Power Research Institute [EPRI], [NP - 6395 - D], con algunas limitaciones en el caso de regiones con tasa de actividad sísmica alta. En el caso de otros emplazamientos situados en el Oeste de USA debe realizarse un PSHA específico.

- *Determinación de los Terremotos de Control [CE].* En el Apéndice C de la guía se describe el siguiente procedimiento que puede usarse para el Centro y Este de USA y para regiones del Oeste con actividad tectónica de menor entidad:

- A partir de los *Espectros de Respuesta Uniforme [UHRs]* obtenidos con el PSHA para diferentes probabilidades de excedencia y distintos niveles de confianza, se seleccionan los correspondientes a la predicción mediana de peligrosidad. Con estos espectros medianos se determina, para cada probabilidad de excedencia, el valor medio de las velocidades espectrales asociadas a las frecuencias de 5 y 10 Hz. Así resulta una *curva que representa la probabilidad mediana de excedencia [P_e] de la velocidad espectral media [S_{v,5-10}]*, asociada a niveles de excitación más propios de terremotos de campo próximo

- En la curva obtenida se determina la *velocidad espectral tipo*, que corresponde a una *P_e tipo* de 10⁻⁴ si se ha partido del estudio del LLNL, o de 3 x 10⁻⁵ si se ha partido del estudio del EPRI. Se adoptan estos valores porque, según el estudio de partida, la *P_e* del SSE del 50% de las centrales en operación del Centro y Este de USA está por debajo de dichos valores, siempre referidos a la probabilidad mediana de excedencia de la velocidad espectral media de 5 y 10 Hz [Apéndice B de la guía].

- Se determina la *matriz H_{md}* que representa la *contribución relativa de los terremotos a la peligrosidad tipo*, considerando agrupaciones de los mismos según su magnitud y distancia y entendiendo asociada la peligro-

sidad tipo a la velocidad espectral tipo anterior.

- Se calcula la *magnitud y la distancia del CE* para una predicción mediana usando.

$$\bar{M} = \frac{\sum_m \sum_d m H_{md}}{\sum_m \sum_d H_{md}} \quad \bar{D} = \frac{\sum_m \sum_d m H_{md}}{\sum_m \sum_d H_{md}}$$

Donde m y d son, respectivamente, la magnitud central y el centroide del área anular de cada uno de los grupos de terremotos considerados.

- Se repite el proceso anterior de forma similar, usando el mismo valor tipo de *P_e*, con el fin de definir dos CE adicionales. Uno de ellos es el relativo a la predicción mediana de la respuesta espectral para frecuencias de 1 y 2,5 Hz, asociada a niveles de excitación más propios de terremotos de campo lejano. El otro se refiere a la estimación mediana de la aceleración pico del terreno, que corresponde a la respuesta espectral de período cero. En conclusión, como resultado del Estudio Probabilista se obtienen, pues, tres Terremotos de Control diferentes.

En las regiones del Oeste de USA con tectónica activa los CE se pueden definir generalmente de forma determinista, dado que el nivel de incertidumbre en la determinación de la peligrosidad suele ser comparativamente menor.

Comparación de los CE Deterministas y Probabilistas.—El movimiento del terreno debido a cada uno de los CE derivados de los análisis Determinista y Probabilista se utiliza pa-

ra definir el SSE, o bien para comparar los distintos CE con un SSE previamente definido. Los diferentes CE se comparan entre sí para determinar si son fácilmente identificables los terremotos dominantes y también para reconocer su nivel de similitud. Caben dos opciones:

- Si se puede identificar el (o los) CE que inducen el movimiento del terreno dominante, la estimación del movimiento del terreno asociado al SSE se realiza sólo a partir de ese (o esos) CE.

- Si los CE obtenidos no son similares, se estima el movimiento del terreno para cada uno de ellos y se comparan entre sí para deducir una estimación final del movimiento del terreno que será la utilizada en la estimación del SSE.

Comparación Favorable del SSE.—En el Apéndice B de esta guía se recoge un procedimiento que puede usarse para cumplir lo requerido en el Apéndice B del 10CFR100, relativo a que la probabilidad de excedencia del SSE ya definido (Sec. 2.5.2, SRP, Rev. 3) compare favorablemente con la de las centrales actualmente en operación.

Para emplazamientos de USA situados al Este de las Montañas Rocosas se ha de proceder como se indica más adelante, y pueden emplearse los estudios realizados por el LLNL o por EPRI. Si el análisis se realiza con otra metodología distinta, debe definirse la probabilidad de excedencia del SSE para todas las centrales en operación con el fin de poder realizar una comparación apropiada. En el caso de otros emplazamientos situados en el Oeste

de USA debe realizarse un PSHA específico.

- Tomar los UHRS del PSHA realizado que correspondan a la predicción mediana para diferentes períodos de retorno. Los UHRS deben definirse en el mismo punto de control que el SSE [campo libre o substrato rocoso, según el caso].

- Calcular la probabilidad anual compuesta de excedencia del SSE y compararla con las estimaciones medianas de la peligrosidad correspondientes al resto de centrales en operación, para ello:

- Se usan los UHRS [obtenidos en el estudio del LLNL o EPRI] para estimar la probabilidad anual de excedencia de las respuestas espectrales del SSE a las frecuencias de 5 y 10 Hz y amortiguamiento del 5 %.

- Se calcula una probabilidad anual compuesta para el SSE [$CP = p_{5Hz}/2 + p_{10Hz}/2$, donde p_{5Hz} y p_{10Hz} son las probabilidades anuales de excedencia de las velocidades espectrales del SSE a 5 y 10 Hz]

- Se considera que la probabilidad de excedencia del SSE compara favorablemente con la del resto de centrales en operación si la probabilidad calculada [CP] es menor que el valor de 10^{-4} , si se usó la vía de estudio LLNL, o el valor de 3×10^{-5} , si se utilizó la vía del EPRI.

* D.G. - 1016, **Second Proposed Revision 2 to Regulatory Guide 1.12, «Nuclear Power Plant Instrumentation for Earthquakes»**

Con el fin de poder determinar inmediatamente si un movimiento sísmico registrado ha excedido el nivel definido para el OBE, se considera necesario que el sistema de instrumentación sísmica esté operable y calibrado en todo momento.

La localización concreta de los aparatos del sistema de instrumentación sísmica debe seleccionarse de forma que:

- La información registrada permita una comparación y análisis de las bases de diseño de la central.

- En lo que atañe a la exposición a la radiación debida a las actividades de instalación y mantenimiento de la instrumentación, se contemple el criterio ALARA, en concordancia con la USNRC R.G. 8.8.

Como parte de dicho sistema, ha de instalarse en campo libre un acelerógrafo triaxial con tecnología digital avanzada y con un «software» adecua-

do que permita realizar el procesado de los datos en la sala de control de la central dentro de las cuatro horas siguientes al terremoto.

Para cuantificar diferencias entre la respuesta en campo libre y al nivel de cimentación de los edificios, la guía considera que también deben instalarse acelerógrafos en la cimentación de la estructura de contención y en la de

«La nueva normativa requiere definir el SSE de forma determinista, ... pero como esta metodología no considera explícitamente la incertidumbre asociada a la definición de los parámetros sísmicos del emplazamiento, se requiere también realizar una evaluación de tipo probabilista con modelos multivariantes que cuantifique dicha incertidumbre y ... comparar el resultado de ambas evaluaciones. ... La probabilidad mediana de excedencia del SSE definido debe ser similar a la calculada para la población actual de centrales en operación»

otras dos estructuras de Categoría I que sean estructuralmente independientes y tengan diferente respuesta sísmica [en caso de que la cimentación esté sísmicamente aislada debe situarse un acelerógrafo a cada lado del aislamiento].

También se considera la necesidad de instalar acelerógrafos triaxiales digitales en dos puntos de la estructura interna de la contención situados a dis-

tinto nivel, y también en otro punto elevado de las otras dos estructuras de Categoría I con cimentación instrumentada.

Así mismo, no se considera adecuado localizar instrumentación sísmica sobre equipos, tuberías o soportes, ya que la experiencia ha demostrado que los datos obtenidos en estos puntos están influidos por la operación de la central.

En el caso de centrales con varias unidades se considera suficiente instrumentar sólo una unidad siempre que el análisis sísmico del diseño demuestre que la respuesta de las diferentes unidades es esencialmente la misma; pero si tienen salas de control separadas, el sistema de instrumentación sísmica debe estar conectado a cada una de ellas.

* D.G. - 1017, **«Pre-Earthquake Planning and Immediate Nuclear Power Plant Operator Post-Earthquake Actions»**

Si las perturbaciones operacionales provocadas por un terremoto no conllevan la parada automática de la central, ésta debe pararse manualmente de forma ordenada dentro de las ocho horas posteriores al terremoto si:

- Se ha excedido el OBE. O bien,
- Se descubren daños durante la inspección post-evento de la central.

El requisito de parada es obligatorio según el Apéndice S del 10CFR50; pero si el titular no cree prudente hacerla, puede solicitar una exención de dicho requerimiento de acuerdo con lo indicado en la Sección 50.12 del 10 CFR 50. La determinación de la excedencia del OBE debe realizarse incluso si hay parada automática de la central.

Excedencia del OBE.—Para evaluar la excedencia del OBE se deben usar los registros de las tres componentes de campo libre, corregidos o sin corregir, y demostrar que el sistema de instrumentación ha funcionado adecuadamente. Para ello el titular debe utilizar un registro adecuado proporcionado por el fabricante de la instrumentación y hacer una calibración post-evento.

En centrales con instrumentación operativa y calibrada, se considera que se ha excedido el OBE cuando el espectro del 5 % de amortiguamiento de una de las tres componentes registradas en el acelerógrafo de campo libre supera unos valores espectrales de referencia, que más adelante se indican, y además, cuando la Velocidad Absoluta Acumulada [CAV] Estandarizada

de la misma componente supera 0.16g-s [el documento EPRI, NP-5930 «A Criterion for Determining Exceedance of the Operating Basis Earthquake», julio 1988, recoge procedimientos a seguir para identificar rápidamente la significación de un terremoto].

Se considera que uno de los espectros de respuesta de campo libre excede el nivel sísmico del OBE cuando:

- En el intervalo de 2 a 10 Hz se excede la aceleración espectral del OBE [o, en su caso, la del espectro de 1/3 SSE], o una aceleración de 0.2g. O bien, cuando

- En el intervalo de 1 a 2 Hz se excede la velocidad espectral del OBE [o, en su caso, la del espectro de 1/3 SSE], o una velocidad de 15.24 cm/s.

Para determinar si la CAV estandarizada de uno de los acelerogramas de campo libre excede el valor de 0.16 g-s, debe dividirse el registro en intervalos de un segundo para integrar en el tiempo aquellos en los que se supere el valor de 0.025 g, y sumar todos los valores integrados [EPRI/TR-100082 «Standardization of Cumulative Absolute Velocity», diciembre 1991].

En centrales cuyo sistema de instrumentación de campo libre no ha funcionado o la calibración demuestra que no lo ha hecho de forma adecuada, se pueden usar los siguientes criterios para determinar si se ha excedido el OBE:

- Si existen registros instrumentales a nivel de cimentación, el criterio de superar un CAV de 0.16 g-s no es

aplicable. El OBE se habrá excedido si en cualquier cimentación de la central se sobrepasa el espectro de respuesta correspondiente, con los mismos criterios indicados más arriba

- Si no hay registros instrumentales, se considerará excedido el OBE en cualquiera de los siguientes casos:

A ≤ 5 km del emplazamiento el terremoto se ha sentido con una intensidad de grado $\geq VI$ (MM = MSK).

El terremoto se ha sentido en la central y tiene una magnitud ≥ 6 .

El terremoto tiene una magnitud ≥ 5 y se ha localizado a ≤ 200 km de la central.

La USNRC recomienda que los criterios de excedencia del OBE recogidos en esta guía sean adoptados voluntariamente en los reactores existentes actualmente en USA. En caso contrario, se mantendrá el criterio actual que considera excedido el nivel sísmico del OBE en cada uno de los siguientes casos:

- A una frecuencia ≤ 10 Hz se excede el espectro de respuesta del OBE

- El terremoto se ha sentido a ≥ 5 km del emplazamiento con una intensidad de grado $\leq VII$ [MM = MSK]

- El terremoto es de magnitud ≥ 5.25 y se ha localizado a ≤ 25 km de la central.

Inspección post-evento.—La USNRC considera aceptables la selección de equipos y estructuras, y los procedimientos de «inspección post-evento» que se recogen en el EPRI/NP-6695 [«Guidelines for Nu-

clear Plant Response to an Earthquake», diciembre 1989].

* D.G. - 1018, «Restart of a Nuclear Power Plant Shut Down by a Seismic Event»

Proporciona líneas de actuación aceptables para la USNRC en relación con las inspecciones y análisis que han de realizarse antes de poner en marcha una central que ha sido parada debido a un terremoto.

En el EPRI/NP-6695 ya citado hay procedimientos que pueden ser aceptables para identificar y determinar rápidamente los efectos de un terremoto sobre una central nuclear [inspecciones y análisis a realizar, criterios de inspección, personal de inspección, documentación y evaluaciones a largo plazo].

* Standard Review Plan [SRP], Sección 2.5.2, Proposed Revision 3, «Vibratory Ground Motion»

Describe los procedimientos de revisión de la USNRC para aceptar la vibración potencial del terreno en un emplazamiento debido al o a los CE, y los criterios seguidos para definir el SSE.

El SSE queda definido por los espectros de respuesta de campo libre en el emplazamiento de la central. Está descrito por un espectro de respuesta horizontal y otro vertical correspondientes al máximo movimiento del terreno esperado en la superficie libre [campo libre] o en un hipotético substrato rocoso.

Para definir el SSE deben obtenerse los CE mediante el análisis de tipo determinista descrito en la D.G. 1015. El movimiento del terreno debido a estos CE debe referirse al campo libre como punto de control; sin embargo, en función de las características del terreno y de la disponibilidad de registros acelerométricos, pueden identificarse dos casos:

- Si hay registros disponibles o el emplazamiento tiene un substrato relativamente homogéneo de roca o suelo, el punto de control debe especificarse en la superficie libre del terreno.

- Si en el emplazamiento hay una o varias capas poco potentes de suelo sobre un material competente, o en el caso de que los registros disponibles sean estadísticamente insuficientes, el punto de control debe especificarse en el techo del substrato competente.

Para evaluar la aceptabilidad del movimiento del terreno asociado a los diferentes CE deterministas se procede como sigue:

CUADRO IV

GUIAS PROPUESTAS POR LA USNRC	
GUIAS	CONTENIDO
* DRAFT GUIDE - 1015 "Identification and Characterization of Seismic Sources, Deterministic Source Earthquakes, and Ground Motion"	1. ESTUDIO DETERMINISTA 2. ESTUDIO PROBABILISTA 3. COMPARACION DE LOS TERREMOTOS DE CONTROL (CE) DETERMINISTAS Y PROBABILISTAS 4. COMPARACION FAVORABLE DEL SSE RESPECTO A LOS DE LAS CENTRALES U.S.A. EN OPERACION
* DRAFT GUIDE - 1016 "Nuclear Power Plant Instrumentation for Earthquakes", Second Rev. 2 to R.G. 1.12	1. SISTEMA DE INSTRUMENTACION OPERABLE Y CALIBRADO 2. CRITERIOS DE LOCALIZACION DE INSTRUMENTOS 3. ACELEROGRAFO TRIAXIAL DIGITAL
* DRAFT GUIDE - 1017 "Pre-Earthquake Planning and Immediate Nuclear Power Plant Operator Post-Earthquake Actions"	1. CRITERIOS DE EXCEDENCIA DEL OBE
* DRAFT GUIDE - 1018 "Restart of a Nuclear Power Plant Shut Down by a Seismic Event"	1. LINEAS DE ACTUACION ACEPTABLES SOBRE INSPECCIONES Y ANALISIS A REALIZAR ANTES DE ARRANCAR UNA CENTRAL PARADA POR SISMO

- Los espectros de respuesta específicos del emplazamiento deben obtenerse estadísticamente a partir de acelerogramas registrados con condiciones similares de la fuente [magnitud ó intensidad, tipo de falla y entorno tectónico], de la propagación [distancia, profundidad y atenuación] y características del emplazamiento [perfil de velocidades de corte y otros]. Si los acelerogramas seleccionados no se registraron en condiciones geológicas similares a las del emplazamiento, deberán realizarse las correcciones necesarias debido al efecto del terreno.

- Si los registros disponibles no son estadísticamente suficientes, puede obtenerse un espectro de respuesta aproximado escalando un conjunto de registros que representen la mejor estima en las condiciones de la fuente, de la propagación y del emplazamiento. Deberán realizarse estudios de sensibilidad para analizar el efecto del escalado.

- Si no hay registros disponibles, deben determinarse el pico de la aceleración, la velocidad y el desplazamiento específicos del emplazamiento a partir de los valores adecuados de magnitud, distancia y condiciones de cimentación.

- Cuando sólo se dispone de una estimación de la aceleración pico del terreno, es aceptable utilizarla para escalar un espectro de respuesta estandarizado como el de la R.G. 1.60, junto con los apropiados factores de amplificación.

Si hay varios CE deterministas que inducen la máxima respuesta en el emplazamiento, pero en diferentes bandas de frecuencia, el movimiento vibratorio definido para el SSE debe ser conservador para todas las frecuencias. Los valores espectrales del SSE deben ser iguales o mayores que los correspondientes al percentil del 84% de los espectros de los CE obtenidos, con arreglo al procedimiento anterior.

Para evaluar la aceptabilidad del SSE resultante del proceso determinista, se deben comparar entre sí los espectros de respuesta de los CE obtenidos con los análisis de tipo determinista y probabilista, como se indica en la D.G. 1015. Así mismo, debe compararse la probabilidad de excedencia del SSE que se está evaluando con la del SSE de las centrales en operación, tal y como recoge el Apéndice B del 10 CFR 100.

La duración y el número de ciclos

del movimiento del terreno debido al SSE debe ser compatible con el modelo de SSE aceptado, y pueden determinarse a partir de un análisis estadístico de registros obtenidos en condiciones similares.

4.-Aplicación al caso español

La práctica habitual en España ha sido aplicar sistemáticamente la normativa de la USNRC porque casi todas las centrales nucleares son de prototipo norteamericano. Como consecuencia de ello, los procesos de licenciamiento y las condiciones de explotación de las centrales españolas se han visto afectados, en la debida proporción, por las mismas dificultades de interpretación y aplicación de la normativa que en el caso norteameri-

«... ha de instalarse en campo libre un acelerógrafo triaxial que permita el procesado de los datos ... dentro de las cuatro horas siguientes al terremoto»

cano. Estas mismas razones aconsejan que los cambios propuestos por la USNRC en lo referente a criterios sísmicos y geológicos en el emplazamiento de centrales nucleares, deban ser asimilados e incorporados a la práctica española de licenciamiento, puesto que son fruto de la experiencia y del avance del conocimiento y se consideran clave para proteger la salud pública y la seguridad nuclear.

Actualmente en España se está desarrollando un programa integrado de realización y utilización de los Análisis Probabilistas de Seguridad [APS] de centrales nucleares, que fue aprobado por el CSN en 1986. Dentro de estos APS se contempla la ocurrencia de accidentes externos [terremotos, inundaciones, etc.] y sus consecuencias para la central. Dada la naturaleza y finalidad de este tipo de estudios, parece lo más conveniente considerar dentro de

su desarrollo la aplicación de los nuevos criterios sísmicos de emplazamiento propuestos, al igual que ha ocurrido en el caso del programa IPEEE [Individual Plant Examination of External Events] norteamericano.

5.-Conclusiones

- * Después de dos décadas de experiencia en la aplicación del Apéndice A del 10CFR100, la USNRC ha decidido proponer una nueva normativa referente a los parámetros sísmicos del emplazamiento, aplicable a las futuras centrales norteamericanas. La necesidad de este cambio surge de la propia experiencia adquirida y del rápido avance durante este tiempo en el estado del arte de las geociencias y de la ingeniería sísmica.

- * La finalidad básica de la nueva normativa propuesta para los criterios sísmicos y geológicos, es acotar las incertidumbres de cálculo con arreglo al estado de conocimientos actual, y reducir así los posibles riesgos sobre la salud y la seguridad pública derivados de la explotación comercial de las futuras instalaciones nucleares.

- * Dado que en el licenciamiento de las centrales nucleares españolas se utiliza como referencia obligada la normativa de la USNRC, las razones que amparan a dicho organismo regulador para proponer esta nueva normativa son extrapolables al caso español, con la debida adaptación a nuestro entorno geológico.

- * La importancia dada a los estudios probabilistas en la nueva normativa propuesta, y su adecuada integración e interpretación dentro de los estudios de emplazamiento, tienen su marco ideal de aplicación aconsejable en los actuales análisis probabilistas de seguridad que se llevan a cabo en las centrales nucleares españolas dentro de un programa integrado a nivel nacional.

- * Los nuevos criterios de excedencia del OBE se basan en estudios de terremotos reales y, en comparación con los criterios actuales, suponen consideración de forma más objetiva las excitaciones sísmicas que pudieran dañar a la central. Sin embargo, para poder ser adoptados, es necesario actualizar la instrumentación sísmica de campo libre y el «software» asociado en los emplazamientos que corresponda. ■

INVESTIGACION DE MINERALES METALIFEROS EN EL MUSEO DE HISTORIA NATURAL

Chris J. Stanley, nos presenta una síntesis de la investigación de minerales metalíferos en el Museo de Historia Natural (Londres).

Chris J. Stanley, presents a abstract about the metal bearing minerals investigation in the Natural History Museum. (London).

Chris J. Stanley

Ldo. en Ciencias. Especialista en mineralogía de menas, geología económica y medio ambiente. Museo Británico (Historia Natural). Londres.

Los yacimientos de minerales son acumulaciones y concentraciones de minerales y compuestos hidrocarbonados que se presentan en entornos naturales diversos de todo el mundo. En un determinado momento pueden ser económicamente viables o no, dependiendo en último término del precio de mercado del metal u otro producto básico.

Normalmente los yacimientos minerales se clasifican en tres tipos: minerales metalíferos, minerales industriales e hidrocarburos, como el carbón, el petróleo y el gas.

Los yacimientos de minerales metalíferos se consideran estrictamente menas sólo si el producto se puede extraer con beneficios, y en este caso dependerá no sólo del precio de mercado del metal refinado, sino también de factores locales, como el costo de la mano de obra, la distancia de los mercados, la facilidad de acceso, etc., y de factores geológicos, como la naturaleza de la mena (que sea fácilmente extraíble o no), la calidad (contenido de metal) y la cantidad disponible para la extracción.

Los yacimientos de minerales industriales, como el yeso, la sal, el caolín, el talco, la arena y los agregados de grava se suelen explotar para utilizar directamente el producto natural, muchas veces con un refinado o un tratamiento complejo mínimos. Por otra parte, en los yacimientos de minerales metalíferos primero hay que realizar la extracción en minas subterráneas o a cielo abierto; luego los procesos de trituración y molido, a los que sigue la separación, normalmente en forma de concentrado sólido o en solución, y por último la fusión y/o el refinado para obtener el metal.

Importante patrimonio

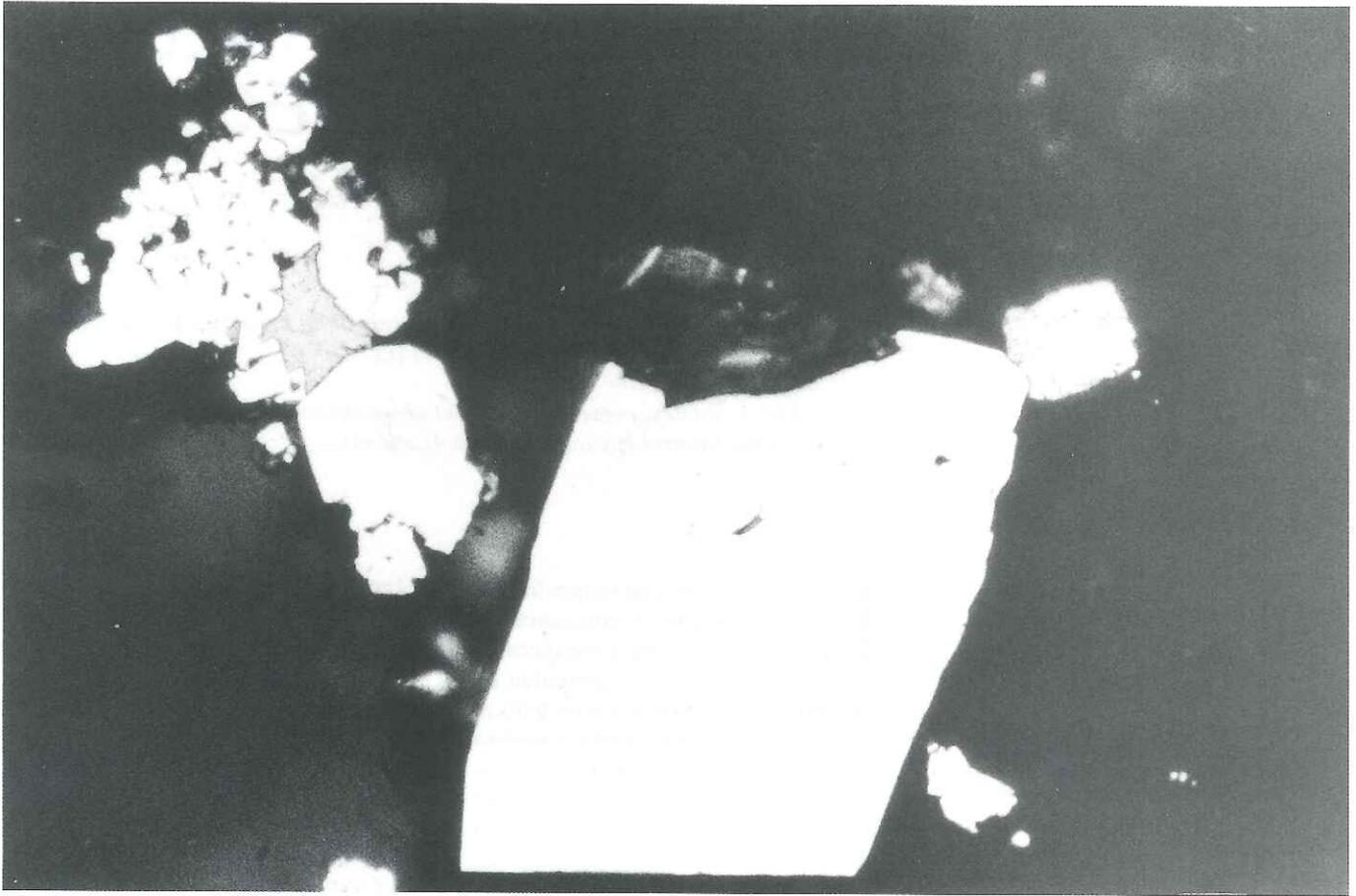
Pero, ¿por qué se realizan en un museo estudios sobre yacimientos de minerales metalíferos?

Históricamente, las colecciones de minerales de los museos se deben a los conservadores que compraban todas las especies minerales que encontraban o que se podían coleccionar entonces. Así, por ejemplo, en el siglo pasado, el museo de Historia Natural tuvo la posibilidad de adquirir algunos ejemplares magníficos de minerales de las minas de estaño de Cornualles, región sudoccidental de Inglaterra, entonces en su apogeo; de las minas de plomo y de zinc de la región septentrional de Inglaterra y de la región de los lagos, y de otros yacimientos minerales, principalmente de Europa continental.

Además de este importante patrimonio, el museo de Historia Natural adquirió en 1985 las colecciones del museo de Geología. Estas se habían creado a lo largo de muchos años, aumentando considerablemente con los ejemplares procedentes de distintos puntos del imperio y de otras partes del mundo, que recogía el Overseas Geological Surveys, el instituto británico para estudios geológicos en el extranjero.

En los últimos años, los científicos del museo han ampliado estas colecciones con material acumulado en expediciones a lugares como el Yukón y los territorios nordoccidentales del Canadá y procedente de algunas de las minas, actualmente agotadas e inaccesibles, de Europa oriental, como la mina de Zinnwald, en Checoslovaquia.

Los investigadores del museo o sus colaboradores de otras instituciones y universidades de todo el mundo



Fotomicrografía reflejada de grano de oro unido al borde de un trozo de pirita (sulfuro de hierro) de la mina Kundana en Kalgoorlie, Australia Occidental. Se considera que la germinación del oro sobre superficies de pirita se debe a sus propiedades semiconductoras.

estudian los ejemplares para aumentar el valor científico de las colecciones de minerales, en contraposición a su valor puramente estético. En realidad, cualquier investigador serio puede disponer, previa solicitud, de parte de los ejemplares para estudiarlos.

Diferencia principal

Son pocas las universidades que disponen de colecciones de minerales bien conservadas, ni siquiera pequeñas, y ninguna colección contiene una variedad tan amplia de especies minerales como la del museo de Historia Natural. En esto radica la principal diferencia entre la investigación que se lleva a cabo en las universidades y la que se realiza en los museos.

Respecto al equipo, el departamento de mineralogía del museo de Historia Natural está bien dotado para la investigación de yacimientos minerales. Cuenta con microscopios ópticos de gran calidad, microsondas electrónicas y microscopios electróni-

«Son pocas las universidades que disponen de colecciones de minerales bien conservadas, ni siquiera pequeñas, y ninguna colección contiene una variedad tan amplia de especies minerales como la del Museo de Historia Natural»

cos de barrido, equipo de difracción de rayos X y un laboratorio de química con un servicio de espectroscopia de emisión de plasma con acoplamiento inductivo que le permiten realizar investigaciones básicas para co-

nocer la composición química, la estructura y otras características físicas. Cuando falta algún instrumento, generalmente se puede pedir prestado a institutos de investigación o universidades con los que el departamento mantiene contactos.

Actualmente, la investigación de yacimientos de minerales metalíferos en el museo de Historia Natural abarca varios temas, que se pueden dividir en dos amplios sectores de proyectos: uno específico, asociaciones de minerales de oro y sus procesos de formación y depósito, y otro más general, mineralización metalífera.

Este último comprende una amplia variedad de menas metálicas —con la excepción de los metales de las tierras raras, que se incluyen en un programa de investigación diferente— y permite un cambio rápido de trabajo a sectores con más probabilidad de conseguir financiación de organizaciones industriales en función de lo que dicten los usos novedosos y las variaciones de las condiciones del mercado de los metales.

Yacimientos de sulfuros masivos

En la actualidad, los yacimientos de metales básicos (es decir, cobre, plomo, y zinc, con la plata y otros minerales como subproductos) son una fuente de interés para las compañías mineras, puesto que históricamente han sido muy rentables, incluso cuando los precios de los materiales eran bajos. En general, se trata de yacimientos muy abundantes, de calidad media, algunos de los cuales se describen como yacimientos de «sulfuros masivos», ya que la mayor parte de la mena está formada por minerales sulfurosos.

En el Reino Unido se encuentra un yacimiento de este tipo en el monte Parys, de la isla de Anglesey. De él se solía extraer cobre en el siglo XVIII, cuando el Reino Unido era el productor de cobre más importante del mundo. No obstante, una compañía minera ha descubierto recientemente nuevas reservas de mena a cierta profundidad y durante los últimos años se ha explorado y evaluado el criadero de mineral, principalmente mediante sondeos con trépano de diamante.

El trabajo actual y el previsto de los científicos del museo se centra en varios aspectos de estos yacimientos: la naturaleza de su mineralogía, las relaciones de textura entre el sulfuro y otros minerales que componen la mena, las características comunes de estos yacimientos y de las rocas que los contienen y los procesos que originaron la formación del yacimiento.

La mayor parte de los yacimientos de «sulfuros masivos» que se hallan en la superficie de la Tierra probablemente ya han sido descubiertos, de manera que la exploración de las compañías mineras actualmente está orientada a los yacimientos subterráneos, como el que acaba de descubrir el Instituto francés de Estudios Geológicos en Neves Corvo, Portugal, mediante magnetómetro aerotransportado y estudios gravimétricos, y que ahora controla la compañía multinacional británica RTZ.

Popularidad del oro

Todos los yacimientos minerales importantes probablemente se caracterizan por cambios en la química de las rocas que se extienden a varios kiló-

metros de distancia del punto en sí de mineralización metálica. Utilizando datos de publicaciones y de los archivos de las compañías mineras se podría elaborar una base de datos de información, de manera que se puedan utilizar estos «modelos de alteración litogeoquímica» junto con otras técnicas geoquímicas y geofísicas para localizar criaderos de minerales escondidos del tipo de los yacimientos de «sulfuros masivos». El museo está colaborando con la Real Escuela de Minas, del Imperial College de Londres, en este aspecto de la investigación.

El oro fue también popular entre las compañías mineras en la década de 1980. Los precios alcanzaron al comienzo de ésta valores sin precedentes, fomentando un aumento espectacular de las actividades de exploración que ha llevado a una producción excesiva y, en parte, al estancamiento de los precios en los tres o cuatro últimos años.

«Los científicos del museo han recibido invitaciones de diversas partes del mundo para evaluar y recoger muestras de yacimientos auríferos»

Los científicos del museo han recibido invitaciones de diversas partes del mundo para evaluar y recoger muestras de yacimientos auríferos. La naturaleza de estas invitaciones varía entre las puramente contractuales —como fue el caso de un estudio de viabilidad de una mina que se llevó a cabo cerca de Kalgoorlie, Australia Occidental— y las expediciones de recogida, como la organizada por unos científicos de la universidad estatal de Moscú a los yacimientos auríferos de la cordillera de Tien Shan, en el Uzbekistán, que antes de la Glasnost era una zona prohibida para los extranjeros.

Con las modernas técnicas de tratamiento con cianuro se consigue extraer hasta el 95 %-98 % de las menas con una concentración de oro de unos 4 g/T o 4 ppm, siempre que el oro del yacimiento se encuentre en estado libre, es decir, como metal nativo (nor-

malmente con un pequeño contenido de plata), y no se presente como inclusiones de granulado muy fino en sulfuros minerales, o como minerales complejos del tipo de oro-plata-teluros.

Formación de yacimientos de oro

Sin embargo, el oro no siempre se puede explotar de una forma tan sencilla, y cuando la cantidad extraída es inferior a la óptima hay que llamar a un especialista en mineralogía de menas para que examine la mena, determine el problema y proponga, siempre que sea posible, métodos alternativos de tratamiento.

Otro campo de interés en la mineralogía del oro es la naturaleza de los mecanismos de concentración de fluidos y los controles de la precipitación que se producen durante la formación de los yacimientos auríferos naturales. En las zonas profundas de la corteza terrestre, el oro se puede desplazar en solución como ión complejo $[(SH)_2 Au]$. Si este ión entra en contacto con un semiconductor natural, como la pirita (sulfuro de hierro), entonces se puede producir una precipitación inicial debida a la adsorción física de los metales acuosos cargados, generalmente en un lugar del grano de pirita con una elevada densidad de carga (un borde o una esquina).

Después se produce la reducción química y la adsorción, a la que sigue un proceso de aglutinación y crecimiento, cuyo resultado es el fenómeno normalmente observado del oro nativo en la pirita y otras superficies de sulfuros. Esta es una investigación todavía en curso, en colaboración con científicos de las universidades de Southampton, Oxford y Manchester.

Otros yacimientos auríferos tienen una textura de la mena que parece poner de manifiesto la posible importancia de la formación de coloides en el proceso de formación del yacimiento mineral. Para la investigación de este fenómeno en el museo de Historia Natural se tiene la ventaja de disponer de una vasta colección de ejemplares muy bien conservados, a la que se hacen continuas referencias y en la que se pueden comprobar los modelos teóricos propuestos para la formación de minerales por comparación con características y asociaciones minerales naturales. (15D592/RS). ■

EL GEOLOGO JOSE MACPHERSON



Carlos Martín Escorza

Geólogo. Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC. Está interesado en las cuestiones sobre la estructuración de los elementos geológicos.

El autor realiza un breve repaso sobre la vida y las aportaciones más relevantes del genial geólogo José Macpherson a las Ciencias de la Tierra.

The maker performs a little review about José Macpherson's life and their interesting contributions at the land knowlegde.

Datos de Identidad

José Macpherson nace en Cádiz el 15 de julio de 1839. Su padre, Daniel MacPherson, era natural de Gubernesan (Escocia); su madre, Josefa Hemas, de Cádiz. Fue un niño con salud muy delicada, hasta el punto que le prohibieron estudiar, y no aprendió a leer hasta los nueve años. Sus estudios primarios los hizo en Cádiz continuándolos después en Gibraltar.

En su juventud estudió Matemáticas, Física y Química, pero de manera que siempre gozó de libertad y posibilidades económicas para elegir dónde y con quién hacerlo, sin buscar en ello conseguir título académico alguno, que nunca tuvo. Así, por ejemplo, la química la fue a estudiar a París y la Mineralogía con Pisani.

Bosquejo descriptivo de su Obra

El número total de trabajos según consta en el listado más amplio, pero no completo, que hasta ahora se dispone de su obra (Alastrué, 1968), es de 38 publicaciones, a las que hay que añadir al menos una de 1902. De ellas cinco parece que fueron editadas a cargo del propio autor. La mayoría, 26 exactamente, lo fueron en los Anales de la Sociedad Española de Historia Natural, de la que fue entusiasta colaborador y de la que fue Presidente en 1880. Dos trabajos los envió a publicar al Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España; en el Journal das Sciencias, de Portugal, publicó un trabajo; dos en el Bulletin de la Societé

Géologique de France; uno en el Bulletin de la Societé Belgique de Geologie.

Una peculiaridad constante en sus trabajos es que los publicó como único autor. La mayoría de ellos (exactamente 34) fueron escritos y publicados en castellano, alguno tiene anexa la traducción literal en francés; 3 lo fueron en francés; uno en portugués; y uno en inglés. Esta distribución de idiomas responde tanto a las características de la época, como a la de su entera voluntad, pues Macpherson debía de dominar, además del castellano, el inglés y francés, al menos.

En un intento de sistematizar por temas el conjunto de su obra (**Figura 2**), podemos sacar de él algunas conclusiones. Se observa que tras unos primeros años donde la mineralogía y los estudios regionales son los únicos, le sigue un período de unos 12 años en los que además de variedad temática se produjo una buena parte del total de sus trabajos; siguiéndole una etapa más calmada, quizás de observación y reflexión, tras la cual publica las que serían sus últimas páginas. Se refleja en dicha **figura 1** la temática que más continuamente desarrolló, la Petrología de rocas ígneas, granitos, rocas volcánicas, de los que se ocupó largamente en sus trabajos. Es evidente la relación entre estas inquietudes petrológicas y los ensayos tectónicos en los que conjugaba las observaciones de detalle en el terreno con las interpretaciones de escala más regional.

La distribución de la obra de Macpherson puede hacerse también por regiones. Un intento de ello se ofrece en la **figura 3**, para cuya interpretación más completa hay que ad-

vertir que, lógicamente, en los trabajos referidos al conjunto de la Península Ibérica se hace mención a diversas regiones de la misma. A pesar de esta y otras dificultades para una buena sistematización en este tipo de análisis, se puede decir que hay definidas tres etapas: hasta 1878, en la que publica cosas preferentemente en Andalucía, concretamente de Cádiz y Sevilla; una segunda época donde hay publicaciones de varias regiones a diferentes escalas y que engloba de los años 1879 a 1887; y una última y tercera época, en la que prácticamente está dedicado al conjunto peninsular y Cordillera Central.

Primera Epoca

A su regreso a Cádiz, después de sus estudios superiores en el extranjero, escribió (1870) su *Método para determinar minerales*, libro que según parece fue entonces útil para los químicos y mineralogistas. Volvió de nuevo a París, desde donde realizó excursiones geológicas con los profesores Daubée y Meunier. Después partió para Suiza en la que recorrió detenidamente los Alpes. Ya para entonces entabló amistad con los paleontólogos:

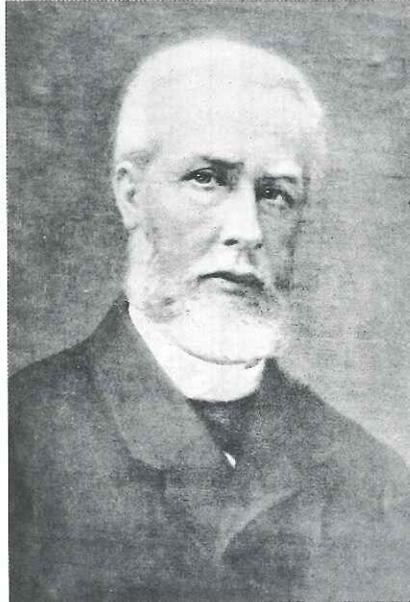


Figura 1.—Pintura de José Macpherson que se encuentra en el Ateneo de Madrid.

Herbert, Bayan, Etheridge, y con los geólogos: Delanoue, Collomb y Warrington Smith. Con todas esas enseñanzas y con lo que ya debía de conocer del sur de Andalucía publica el *Bosquejo Geológico de la provincia de Cádiz* en 1872, su primera obra geológica regional.

Sus biógrafos dicen que en 1874 decide establecerse en Madrid y construye por ello una casa al final del Paseo de la Castellana, que en realidad es una casa-estudio, pues en ella monta laboratorios de petrografía, fotografía, astronomía y meteorología, y desde luego una moderna y nutrida biblioteca. En mi opinión mientras se hacían estas obras él debió estar entre Madrid y Cádiz, y en 1874 publica en esta última ciudad su libro *Memoria sobre la estructura de la Serranía de Ronda*, en el que profundiza sus observaciones de este complejo macizo en el que el «agente principal» de la formación de su actual relieve dice ser la «potente masa de serpentina» que forma su núcleo según «una gran masa central de forma elipsoidal, cuyo eje máximo está orientado al E 39° N».

Su rigurosidad en el planteamiento metodológico se apoya en cortes estructurales y un bosquejo geológico, que le permiten hacer una amplia descripción de los «principales trastornos que han dado su relieve a la Serranía de Ronda». En el estudio de estas regiones rondeñas debieron acompañarle en ocasiones el Ingeniero de Minas Domingo de Orueta y su hijo; este último, más tarde, escribiría un gran tra-

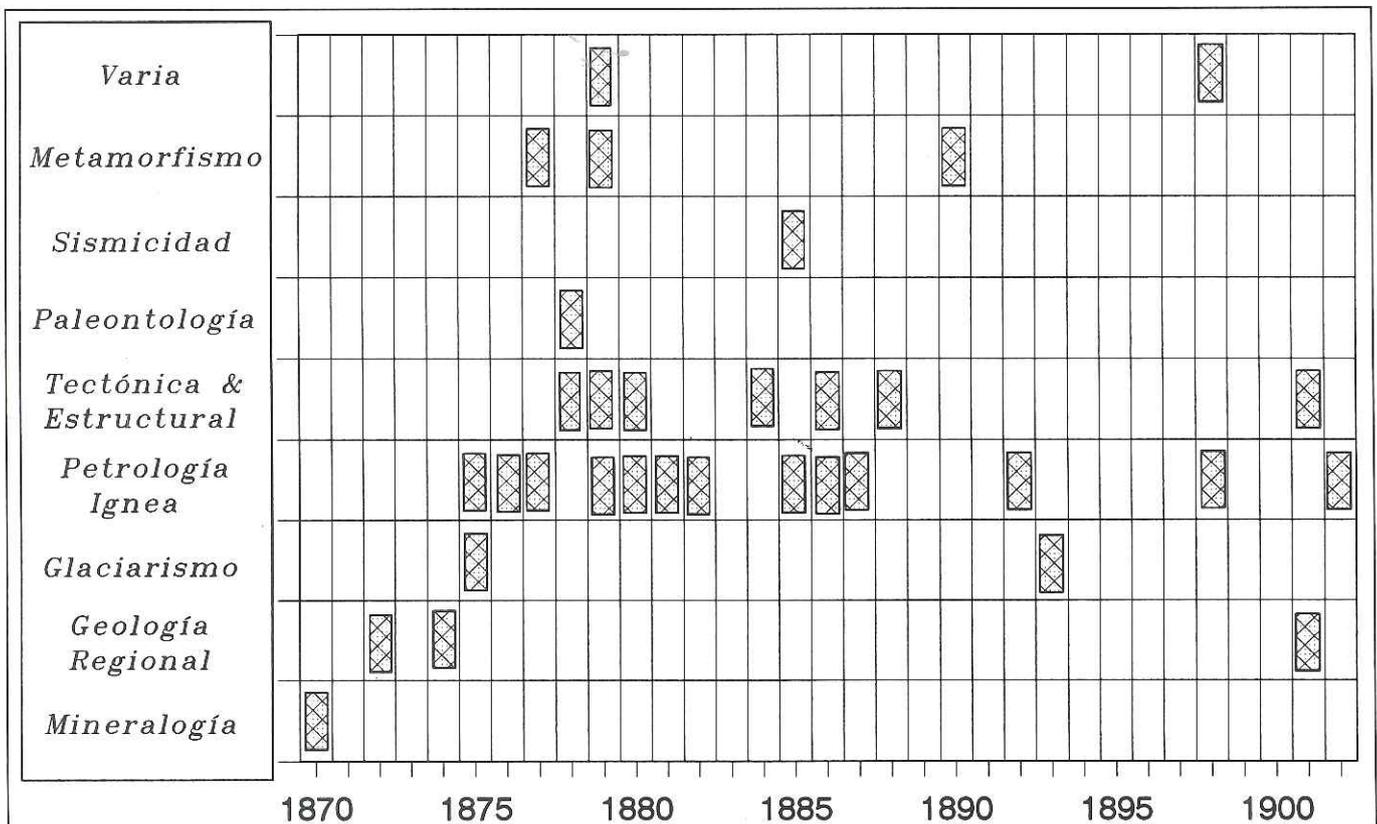


Figura 2.—Distribución de la obra de Macpherson, según diferentes temas, a lo largo de 1870 a 1902.

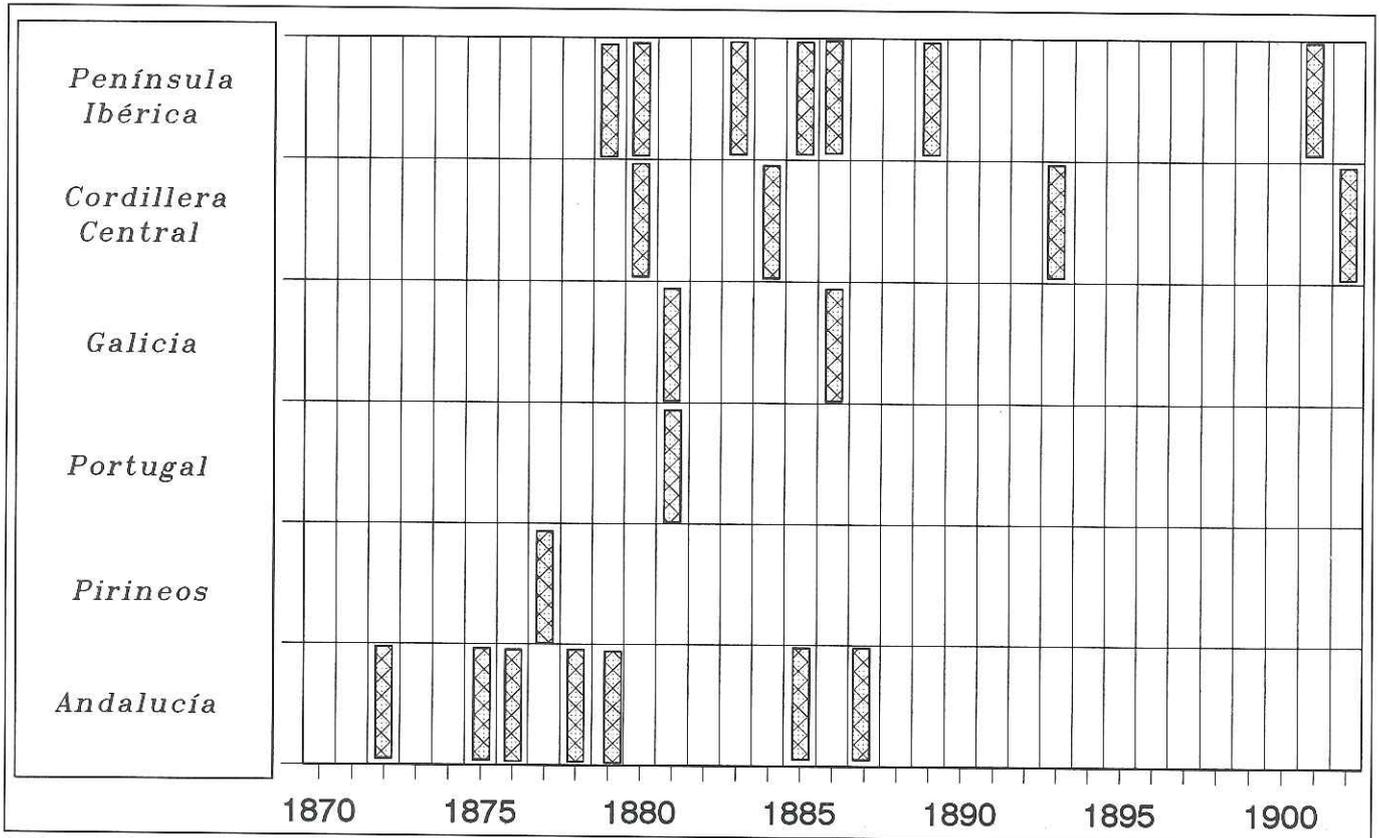


Figura 3.—Distribución de la Obra de Macpherson, según las diferentes regiones que estudió, desde 1870 a 1902.

tado sobre esta zona impulsado por sus recuerdos tanto de la compañía de su padre como de su «amigo e inolvidable maestro don José Mac-Pherson».

Es en Cádiz, en 1875, cuando conoce a Francisco Giner de los Ríos. Este había sido desterrado allí por la discusión y enfrentamiento que algunos profesores hicieron sobre las reformas que coaccionaban la «libertad de cátedra». El encuentro entre Macpherson y Giner de los Ríos fue decisivo para ambos y para el desarrollo de la Geología en la Institución Libre de Enseñanza.

Un poco más tarde debió estar ya instalado definitivamente en su casa-estudio y laboratorio de Madrid, el del final de la Castellana. Había adquirido material necesario para preparar las láminas delgadas y los microscopios e instrumentos para su estudio petrográfico. Materiales de investigación que entonces se carecía en nuestros centros oficiales. En su utilización llegó a ser un experto tanto de la preparación de láminas delgadas (de las que sólo de la zona de Sevilla realizó él mismo más de 400) como de la identificación y observación a través del microscopio. Todo este equipo y material científico parece que fue destruido prácticamente en su totalidad durante la Guerra Ci-

vil, según datos recogidos por Solé Sabarís (1966). Hoy sólo su microscopio se conserva (¡gracias J. M. Ontañón!) con orgullo y máximo interés, como objeto macphersoniano digno del mayor cuidado en el Laboratorio de Geología de la Fundación Giner de los Ríos, en Madrid.

La oportunidad y talentos de Macpherson no quedaron encerrados en su soledad, todo lo contrario, en su casa aprendieron a utilizar estas técnicas: Francisco Quiroga, Eduardo Hernández-Pacheco (que fue allí donde pudo hacer todos los análisis relativos a su Tesis Doctoral sobre la Sierra de Montánchez), Salvador Calderón, y otros que mostraron asimismo interés, y él les enseñaba y les dio la oportunidad para hacer posibles los materiales necesarios para su estudio. «Su casa fue siempre un laboratorio y una cátedra a disposición del que quisiera aprender» y él fue un hombre «dotado de una bondad sin límites, cuanto tenía estaba a disposición de todos» (Calderón, 1902).

Macpherson ya para entonces conocía petrológica y estructuralmente muy diversas regiones de la península y de Europa. Macizos como los Alpes, los Pirineos, las Béticas, Galicia, Sierra Morena (donde descubrió el primer fó-

sil de Arqueociático cámbrico encontrado en España), Sierra del Guadarrama, etc. Todos ellos los veía desde el punto de vista del «transformista» que siempre fue, y bajo cuyo prisma desarrolló todas las conclusiones de sus trabajos. Esa visión evolucionista en los procesos de la naturaleza le llevó a que en sus agradables charlas con sus amigos diera expresión tal a esas sus concepciones que influyó notablemente en muchos, sino en todos, los trabajos escritos por esos autores desde entonces. Y aún, transcurridos ya bastantes años, esas influencias transmitidas por las generaciones de profesores se han arraigado, más de lo que alguno pueda pensar, entre muchos de los profesores e investigadores actuales.

Durante la década de los 1870, cuando Macpherson visitaba con asiduidad los terrenos de Andalucía, los cigarrillos venían envueltos de fábrica con un papel que no era del gusto de nadie. Así que los campesinos andaluces quitaban ese papel lo tiraban y lo sustituían por otro. Con ello el campo andaluz llegó a estar lleno de tales papeletos de fumar, y así despreciado llegó a ser sin embargo aprovechado por los pájaros, que con ellos construían sus nidos, y en todos ellos se encontraban trozos de esos papeles. Esta obser-



Figura 4.—Autofotografía?, de José Macpherson en su casa (estudio) del Paseo de la Castellana, en Madrid.

vación que hizo Macpherson la debía de contar frecuentemente en sus tertulias, y así es recogida por alguno de sus biógrafos. Pero, al contarla aquí, viene el caso porque parece reflejo del método y la personalidad de él mismo: noble y sencilla, de la que todos nos hablan con palabras indiscutibles, y también entrañable, reflejando que en todo quehacer todavía lo más aparentemente elemental puede ser aprovechado por alguien, cuando la mayoría lo desprecia.

Segunda Epoca

Su establecimiento definitivo en Madrid coincide con lo que podemos

llamar su Segunda Epoca, en su actividad científica. No es un cambio brusco, pero en sus trabajos se va observando una gradual tendencia hacia los temas tectónicos, no sólo de estudios locales o regionales, sino buscando poco a poco el alcance peninsular.

Ya en 1879 analiza estas cuestiones tratando de aplicar el modelo estructural general propuesto por Suess (gran amigo suyo), según el cual Europa parecía mostrar una tendencia general a inclinar sus estructuras hacia el sur (tanto en las capas como en las fallas que les afectan, la mayoría de tipo inverso). Macpherson observa cómo en la Meseta española esta disposición podría ser matizada. La propuesta de

Macpherson, que denomina como de «Estructura Uniclinal», es que si bien los estratos podrían inclinarse predominantemente hacia el sur, las fallas principales que les afectan lo harían con planos inclinados hacia el norte, observando además que lo serían en su mayoría de tipo normal, no de inverso.

Desde 1879 a 1883 Macpherson parece encontrar en la Cordillera Central una «clara y evidente» solución para las incógnitas estratigráficas que se venían arrastrando de otras regiones. Considera a esta unidad geológica como la que encierra la sucesión «más completa» del Arcaico, presente también en otras regiones de la península. Para sustentar estas cuestiones se basaba en sus anteriores observaciones de la Cordillera, ahora ya ampliadas con las de las zonas de El Escorial-Robledo de Chavela, Valle del Lozoya, Patones, Avila, Segovia y Guadalajara. En base a todo ello y siguiendo con su continua línea transformista, emite su segunda gran Hipótesis: hay en este núcleo de la península una sucesión estratigráfica desde el Arcaico hasta el Silúrico, que se inicia con granitos y gneises, gneises glandulares (con espesor «colosal»), conjunto heterogéneo de anfibolitas y serie de micacitas superiores ya estas últimas de edad Silúrica. Esta segunda Hipótesis es importante desde muchos puntos de vista y habría de marcar una pauta importante (de fuerte impacto) que se ha mantenido en la investigación española, en este y otros sectores de la cadena hercínica.

Tercera Epoca

En su monografía publicada en 1888, *Relación entre la forma de las depresiones oceánicas y las dislocaciones geológicas* se nos sugiere un prometedor título, detrás del cual parece haber un intento de síntesis global esperanzador. Y en efecto, en su primera página expone una cuestión que mantiene esa alta esperanza: «¿no es un tanto curiosa la manera como parece reflejarse en el Atlántico la disposición de las depresiones que lo surcan en las formas de las opuestas costas del antiguo y el moderno continente?». Pregunta sin embargo que no encuentra respuesta en el texto que le sigue. Macpherson se enreda entre las observaciones puntuales y las idas y venidas de tales y cuales casos sin que el fuer-

te impulso que el título y esas primeras palabras tengan después continuación. Ese ya mencionado estilo en su redacción, poco afortunado, quizás haya influido en que a pesar de exponer en ese texto algunas ideas, fugaces, sobre la coincidencia de las formas de las costas entre ambos lados del Atlántico, no aprovechase en su desarrollo gráfico y textual lo que ya parecía tener entre las manos, y que más de veinte años después haría A. Wegner.

De todas maneras en esa monografía deja expresada tácitamente su postura contraccionista, que junto con las fuerzas motivadas por la rotación de la Tierra, serían según él, las causas principales de la disposición que toman las cadenas orogénicas, de las cuales finalmente dice: «¿cómo puede explicarse, por ejemplo, el que todas las grandes cordilleras se desarrollen en grandes curvas y que su convexidad mire constantemente hacia Levante, sino por el influjo del movimiento de rotación de la tierra que ha robustecido la componente horizontal en ese sentido?». Pregunta que si bien no plantea con los conocimientos actuales toda la situación conforme a la realidad, tiene sin duda muchos estímulos para seguir investigando.

El dibujo final que Macpherson nos ofrece en este trabajo supone una visión general de estructuras de la Península Ibérica que supusieron un adelanto a su tiempo y que como tal no pudo ser valorada ni contrastada entonces debidamente, y podemos decir que quizás aún hoy debemos estudiar para aprovechar lo que de original pueda tener todavía.

Pocos investigadores tienen la oportunidad, y el coraje, de poder dejar un epílogo que resuma todo su pensamiento acerca de lo que tanto tiempo ha ocupado su inquietud. Este privilegio lo tuvo Macpherson que, ya enfermo del corazón publica, en 1901, su *Ensayo evolutivo de la península*, en las páginas del que fue siempre su principal vehículo de comunicación, la Sociedad Española de Historia Natural. Seguramente ese esfuerzo lo hizo apoyado por los constantes alientos recibidos para ello por el que siempre fue su gran amigo Giner de los Ríos. En este último trabajo se encuentran expuestas todas sus reflexiones con esa base tan firme que le daban todas sus observaciones, su constante experimentación en las hipótesis y en la constatación de las mismas.

En este trabajo arranca desde su segunda Hipótesis, pero ya matizada por la consideración de que los tramos superiores de la sucesión estratigráfica general que años atrás (más de veinte) había definido, podrían encontrarse materiales del Cámbrico y hallarse dispuestos en discordancia sobre los gnéisicos heterogéneos y micacíticos inferiores. Desde el punto de vista geotectónico esta reconsideración es muy importante puesto que, como él mismo ya expresa, esa discordancia refleja entre otras cosas la posibilidad de que hubiera habido núcleos ya «cristalinos», quizás emergidos, alrededor de los cuales y por cuya erosión, se fueron depositando los sedimentos cámbricos y restantes paleozoicos que les rodean. Uno de dichos núcleos, según Macpherson, sería, por supuesto, el Sistema Central.

De entre los cambios de opinión que Macpherson manifiesta en este su último trabajo sobre las rocas que constituyen el Sistema Central, quizás el más sobresaliente sea el que se refiere a la edad de las penetraciones graníticas, de las cuales dice que son posteriores a las estructuras gnéisicas y las fija desarrolladas durante la Orogenia Hercínica.

Es pena que, como la mayoría de sus trabajos anteriores, en este final también su redacción farragosa y poco clara (de la que se lamentan igualmente sus biógrafos), hubiera impedido sacar una verdadera postura doctrinal a la escala de la importancia que su aportación se merecía.

En su casa de Madrid Macpherson y su hermana Elvira pasaban los inviernos, y los veranos iban a su casa de San Ildefonso de la Granja, en plena Sierra del Guadarrama. Su casa, según recalcan los que le conocieron, fue un verdadero cobijo y forja de investigadores. Sus hipótesis fueron impulsoras de líneas de investigación para los geólogos que le siguieron entonces, a los que influyó de forma clara y notable, y hasta quizás muchos reconocerán en los esbozos antes señalados algunas discusiones entre investigadores más recientes, lo cual no es más que un indicio de que el campo de la ciencia en el que vivió sigue vital y en continuo avance, como él desde luego hubiera deseado.

Las primeras investigaciones que sobre petrografía se hicieron en España, fueron realizadas en su casa, tanto por él mismo como por los que, como

ya se ha dicho, realizaron trabajos allí. Respecto a la Tectónica podemos decir que, como opina Solé Sabarís (1966), Macpherson fue el «primer tectonicista español», y añadiremos que además dejando una fuerte impronta que sólo los métodos más actuales han hecho oscurecer. Y también que estuvo a punto de ofrecernos una gran exposición de ideas avanzadas que, quizás por ser aún prematuras para su tiempo, no cuajaron plenamente entonces, pero que esbozaban ya lo que años después sería motivo de gran impulso en las Ciencias de la Tierra, y que luego, avanzados muchos más años, constituiría el modelo más impactante de estas ciencias: la tectónica de placas.

A todas sus dotes y cualidades él, según nos cuentan vehementemente todos sus biógrafos que le conocieron, nunca supo ni quiso darles más valor que las del ennoblecimiento de su carácter, cabe añadir las de una generosidad de la que las mejores palabras que se pueden decir ya están expresadas: «ha pasado su vida haciendo el bien en la más grande acepción que a esta sublime palabra pueda darse» (Rodríguez, 1902).

Este amigo entrañable, este sabio, maestro y genial geólogo murió en su casa de San Ildefonso el 11 de octubre de 1902, en plena Sierra del Guadarrama, a la que dedicó sin duda los mejores esfuerzos de su vida. ■

Bibliografía

- ALASTRUE, E. (1968): «La personalidad y la obra de Macpherson (1839-1902). *Publicaciones Universidad de Sevilla. Discursos*, 44 págs. Sevilla.
- CALDERON, S. (1902): Don José Macpherson. Estudio biográfico crítico ilustrado con reproducciones de fotografías científicas de Macpherson. *Nuestro Tiempo*, 23, 8 pp. Madrid.
- GONZALEZ BLASCO, P.; JIMENEZ BLANCO, J. y LOPEZ PIÑERO, J. M. (1979): *Historia y sociología de la ciencia en España*. Alianza Universidad. 195 págs. Madrid.
- HERNANDEZ-PACHECO, E. (1927): «El geólogo gaditano D. José Macpherson y su influjo en la Ciencia española». *Alianza Española para el Progreso de las Ciencias. Congreso de Cádiz*. Sección 4, 75-92. Madrid.
- MARTIN ESCORZA, C. (1986): «Vida, obra y cátedra del español José Macpherson. *El Geólogo*, 20, 14-15. Madrid.
- RODRIGUEZ MOURELO, J. (1902): «Don José Macpherson. Noticia necrológica. *Boletín de la Sociedad Española de Historia Natural*, T. II, 312-356. Madrid.
- SOLE SABARIS, L. (1966): «Sobre el concepto de Meseta española y su descubrimiento». En: *Volumen Homenaje a Amando Melón*, 15-45. Zaragoza.

LOS DESLINDES JURIDICOS DE LAS SECCIONES EN LA LEY DE MINAS



Luis E. Suárez Ordóñez

Licenciado en Ciencias Geológicas por la Universidad de Oviedo en 1978. Geólogo por el ICOG. Diplomado en Ingeniería Geológica por la U.C.M. en 1984. Licenciado en Derecho por la UNED en 1986. Master en Ingeniería Geológica por la UCM en 1993. Ha desarrollado su trabajo profesional en el área de ingeniería geológica, áridos y medio ambiente. Actualmente desempeña el cargo de Jefe de Geotecnia de la Dirección Técnica de Infraestructuras de RENFE. Presidente del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España y vocal de la Asociación Española de la Geología Aplicada a la Ingeniería (AEGAIN).

En este trabajo se realiza un encaje jurídico de los diferentes recursos minerales en las Secciones tipificadas en la Ley de Minas de 1973.

Por la existencia de lagunas legales en la Ley de Minas, se hace un detallado estudio de las posibilidades de ubicar un recurso mineral concreto en una Sección dada, de acuerdo con los intereses del geólogo prospector.

The paper refers the different mineral resources to the sections desined in the Mining Law of 1973.

Due to several legal voids existing in the Mining Law, a debuled Shady is carried out on the possibilities to allocate a certain mineral resource to a particular section, according to the prospector geologist interesets.

Los geólogos hemos estudiado y aplicado en nuestra carrera profesional una sistemática de trabajo basada en la conceptualización teórica de modelos geológicos, que hemos ido aquilatando y perfeccionando con nuestro bagaje profesional adquirido día a día. En el plano personal, viene a mi memoria algún excitante viaje de fin de semana en Talgo a Orense, a ejercer de geólogo-bombero para tranquilizar al Director de Zona de Renfe de turno. Bien pertrechado del «Magna» del punto kilométrico donde estaba interceptada la vía por espacio de más de dos días, iba uno pergeñando en el viaje, de acuerdo con las características geológicas del lugar interceptado, uno o dos modelos de deslizamientos de ladera con sus posibles variantes, para después de unos circunspectos paseos, ladera arriba, ladera abajo, dictaminar ante los ejecutivos ansiosos que aquella montaña «no se iba abajo» y que con concretas recomendaciones geotécnicas podíamos dar vía en pocas horas. Que duda cabe que había múltiples técnicos de amplia experiencia, pero la ventaja del geólogo era que acudía al lugar del accidente con un modelo de funcionamiento flexible, basado en los «magnas», cuya utilidad no pasaré de remarcar en estas líneas.

Análogamente de la útil herramienta de los modelos geológicos técnicos y experimentales, en el ámbito minero resulta eficaz para el profesional, ubicar cada recurso mineral en su correspondiente modelo, en su corres-

pondiente Sección legal, dado que su naturaleza jurídica y sus efectos para el profesional de la geología son de capital importancia para optimizar la investigación y la potencial explotación de un recurso mineral.

Dado el carácter de regulación administrativa de los recursos minerales, como consecuencia de las declaración de bienes de dominio público efectuado por la Ley de Minas de 1973, y de la posibilidad, en la práctica muy extendida, de ceder a los administrados, el aprovechamiento y explotación de las minas, resulta de capital importancia para el profesional de la geología conocer la «ubicación» jurídica de cada recurso minero, a fin de conseguir un eficaz aprovechamiento económico, basado en un adecuado conocimiento de los comportamientos jurídicos, las secciones mineras, teniendo en cuenta que estas secciones, no son comportamientos estancos, sino que un mismo recurso minero puede «ir» a una sección u otra, dependiendo de la interpretación jurídica y geológica de las «lagunas» jurídicas de la Ley de Minas. Que duda cabe que el margen de maniobra es estrecho, pero vamos a estudiar esos «linderos» jurídicos de las secciones mineras que, con una adecuada interpretación jurídica y geológica podrían permitir ubicar un recurso en una Sección u otra de acuerdo con las circunstancias del caso concreto.

De acuerdo con la Ley de Minas de 1973, los yacimientos minerales se clasifican en tres grandes grupos: las secciones A, B y C, con una regulación



Explotación minera de Minas de Thasis. Sección C de la Ley de Minas.

jurídica distintas y unos efectos jurídicos y económicos dispares. Se ha optado por establecer una clasificación más radical y simplista que integran las dos tradicionales secciones A y B, suprimiéndose las subdenominaciones de «rocas» y «minerales», utilizadas por la anterior Ley de Minas de 1944, que científica y técnicamente eran incorrectas para gran número de las sustancias incluidas en una y otra sección.

En orden a la claridad expositiva, comenzaremos por la Sección B que viene a ser, en realidad un cajón de sastre en el que se incluyen sustancias que no tienen encaje perfecto en la A o C.

Así se incluyen:

- Las aguas minerales, ya sean minero-medicinales o minero-industriales.

- Las aguas termales, es decir, aquellas cuya temperatura de surgencia, sea superior en 4 °C a la media anual del lugar donde alumbren.

- Las estructuras subterráneas, que son depósitos geológicos naturales o artificiales, cuyas características permitan retener naturalmente y en profundidad, cualquier producto o residuos, que en él se vierta o inyecte.

- Y los yacimientos formados por acumulaciones de residuos de actividades reguladas por la propia ley que resulten útiles para el aprovechamiento de los minerales en general.

En consecuencia, la Sección B es una Sección cerrada, con una clara enumeración casuística, que la hace escasamente favorable a cualquier interpretación interesada de la ley. Cada una de las cuatro subsecciones tiene su especialidad jurídica, siendo importante reseñar que en lo tocante al dominio del agua, la Ley de Minas remite al Código Civil y a la Ley de Aguas, regulando aquella ley, su aprovechamiento.

El problema se presenta cuando se trata de deslindar claramente las secciones A y C. El sistema que acoge la Ley de Minas no es como en 1944, el de enumeración casuística. Por el contrario, un Decreto acordado en Consejo de Ministros fija los criterios de valoración (art. 3) y, posteriormente, el Ministerio de Industria y Energía, realizará la clasificación de los yacimientos, bien en general, bien para cada caso particular. En caso de cambio de criterio, se respetarán los derechos adquiridos conforme a la clasificación

primitiva (art. 4). Hasta la fecha, el Ministerio de Industria y Energía no ha realizado ninguna clasificación de yacimientos, por lo que actualmente los criterios de valoración para configurar la Sección A) de la Ley de Minas están fijados por el Real Decreto 1747/1975 de 17 de julio, modificado por el Real Decreto 4019/1982, de 15 de diciembre. De acuerdo con estos decretos, «quedan comprendidos en la Sección A) del artículo tercero de la Ley de Minas, los yacimientos minerales y recursos geológicos en los que concurren cualquiera de las circunstancias que se indican en cada uno de los apartados siguientes:

a) Las que reúnan conjuntamente las siguientes condiciones: Que el valor anual en venta de sus productos no alcance una cantidad superior a veinticinco millones de pesetas; que el número de obreros empleados en la explotación no exceda de diez y que su comercialización directa no exceda de sesenta kilómetros a los límites del término municipal donde se sitúe la explotación. No obstante, la separación entre formas de explotación por Sección A y C no es pacífica, toda vez que

como recurso de la Sección A) el aprovechamiento se otorga mediante Autorización de Explotación y corresponde al dueño de los terrenos o las personas físicas o jurídicas a quienes ceda sus derechos, mientras que como recurso de la Sección C) se otorga mediante Concesión de Explotación, que confiere al titular el derecho de expropiación forzosa u ocupación temporal de los terrenos necesarios. Por ello, en determinadas cosas los órganos administrativos competentes establecen instrucciones complementarias. Así por ejemplo, la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid, alegando que las reservas de caliza son limitadas y la demanda existente alta, ha regulado por circular, las instrucciones para la presentación de los planes de labores correspondientes a las concesiones de explotación de caliza. Esta instrucción en su parte dispositiva, regula que resulta conveniente, por lo tanto, que la Dirección General de Industria, Energía y Minas, que ostenta las competencias administrativas en la materia, controle y verifique que los titulares de Concesiones de Explotación de caliza lleven a cabo realmente su aprovechamiento como recurso de la Sección C). Para ello en los Planes de Labores anuales deberán adjuntarse, como Anexo 3 fotocopias compulsadas de las facturas de venta del recurso a fabricantes u otra documentación acreditativa de su aprovechamiento como recurso de la Sección C).

Consecuencia de lo anterior, de la interpretación sistemática de la Ley, y de la práctica administrativa un mismo recurso mineral puede explotarse como Sección A o como Sección C, con sus anejas consecuencias jurídicas y económicas, dependiendo del proceso de legalización minera de la cantera, previo a su explotación. Así, en la práctica muchas canteras de áridos están legalizadas como Sección C, cumpliendo la circunstancia a) del Decreto regulador de la Sección A), no estableciéndose los controles, por otra parte excepcionales que requiere como Sección C).

En principio, un mismo recurso mineral puede explotarse como Sección A o como Sección C, con sus anejas consecuencias jurídicas y económicas, dependiendo del proceso de legalización minera de la cantera, previo a su explotación.

De acuerdo con el artículo tercero de la Ley de Minas, la Sección C com-



Explotación de Aridos para balasto en Gotigen (Alemania).

«Los geólogos hemos estudiado y aplicado en nuestra carrera profesional una sistemática de trabajo basada en la conceptualización teórica de modelos geológicos»

prende cuantos yacimientos minerales y recursos geológicos que no estén incluidos en las Secciones A y B y que sean objeto de aprovechamiento conforme a la Ley de Minas.

Además de estas 3 secciones, en 1980 se creó la Sección D, que fue desgajada de la Sección C, pero que sigue teniendo un mismo régimen jurídico, sin perjuicio de las salvedades que para esta nueva Sección establece la Ley de 5 de noviembre de 1980.

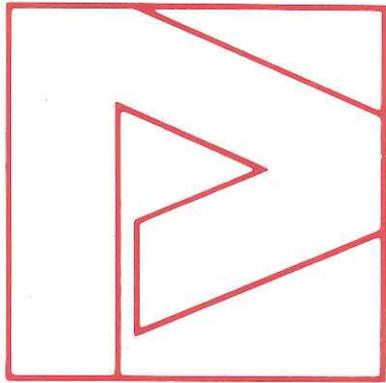
Esta Sección comprende los minerales energéticos, a saber, carbones, minerales radiactivos, recursos geotérmicos, rocas bituminosas y cualquier otro yacimiento mineral o recurso geológico de interés energético que el Gobierno acuerde incluir en esta Sección D, a propuesta del Ministerio de Industria y Energía, previo informe del Instituto Tecnológico Geominero de España, es más: si lo exigen las necesidades de la economía o la defensa nacional, el Consejo de Ministros pue-

de incluir en esta Sección «otros yacimientos minerales y recursos geológicos», es decir, aunque no tuviesen interés energético.

Por último, los hidrocarburos líquidos o gaseosos cuentan con su legislación propia (la Ley de investigación y explotación de Hidrocarburos, de 26 de junio de 1974) y puede por ello, y con razón, considerarse que integran una sección aparte, una especie de Sección E.

Por otra parte, es importante tener en cuenta que queda fuera del ámbito de la Ley de Minas, la extracción ocasional y escasa de recursos minerales que se lleve a cabo por el propietario del terreno, para su uso exclusivo y no exija la aplicación de técnica minera, es decir, labores subterráneas, uso de explosivos, formación de cortas o tajos de más de tres metros de altura, empleo de maquinaria para la investigación, extracción, etc., y cuantos trabajos se realicen en relación con aguas minerales o termales, recursos geotérmicos, y salinas marinas o lacustres.

En conclusión, a la hora de solicitar una autorización o concesión de explotación de un recurso minero es importante, por sus consecuencias jurídicas y económicas, tener muy presente la enumeración casuística de la Sección B, los linderos jurídicos indeterminados entre las Secciones A y C que el profesional de la geología debe tener muy presente, la posibilidad del Consejo de Ministros de ubicar cualquier recurso en la Sección D y la especialidad de la Sección E de los hidrocarburos. ■



BANCO
POPULAR
ESPAÑOL

SERVICIOS ESPECIALES PARA GEOLOGOS EN EL GRUPO BANCO POPULAR

TARJETA VISA COLEGIO DE GEOLOGOS

- Gratuita el primer año y con posibilidad de domiciliar los pagos en su banco habitual.

CUENTA GEOLOGO

- Con alta remuneración, siempre superior a la que ofrece el mercado.

CREDITOS Y LEASING

- En condiciones preferentes

PLAN DE PENSIONES DEL COLEGIO DE GEOLOGOS Y OTROS PRODUCTOS DE PREVISION

- Con excelente rentabilidad y ventajas fiscales.

**ATENCION
PERSONALIZADA**

En el BANCO POPULAR ESPAÑOL o en cualquiera de sus Bancos Filiales: BANCO DE ANDALUCIA, BANCO DE CASTILLA, BANCO DE CREDITO BALEAR, BANCO DE GALICIA, O BANCO DE VASCONIA le darán solución a sus necesidades bancarias o financieras, y le ampliarán información sobre las ventajas que se contemplan para los GEOLOGOS.



BANCO
POPULAR
ESPAÑOL



BANCO DE
CREDITO BALEAR



BANCO DE
ANDALUCIA



BANCO DE
GALICIA



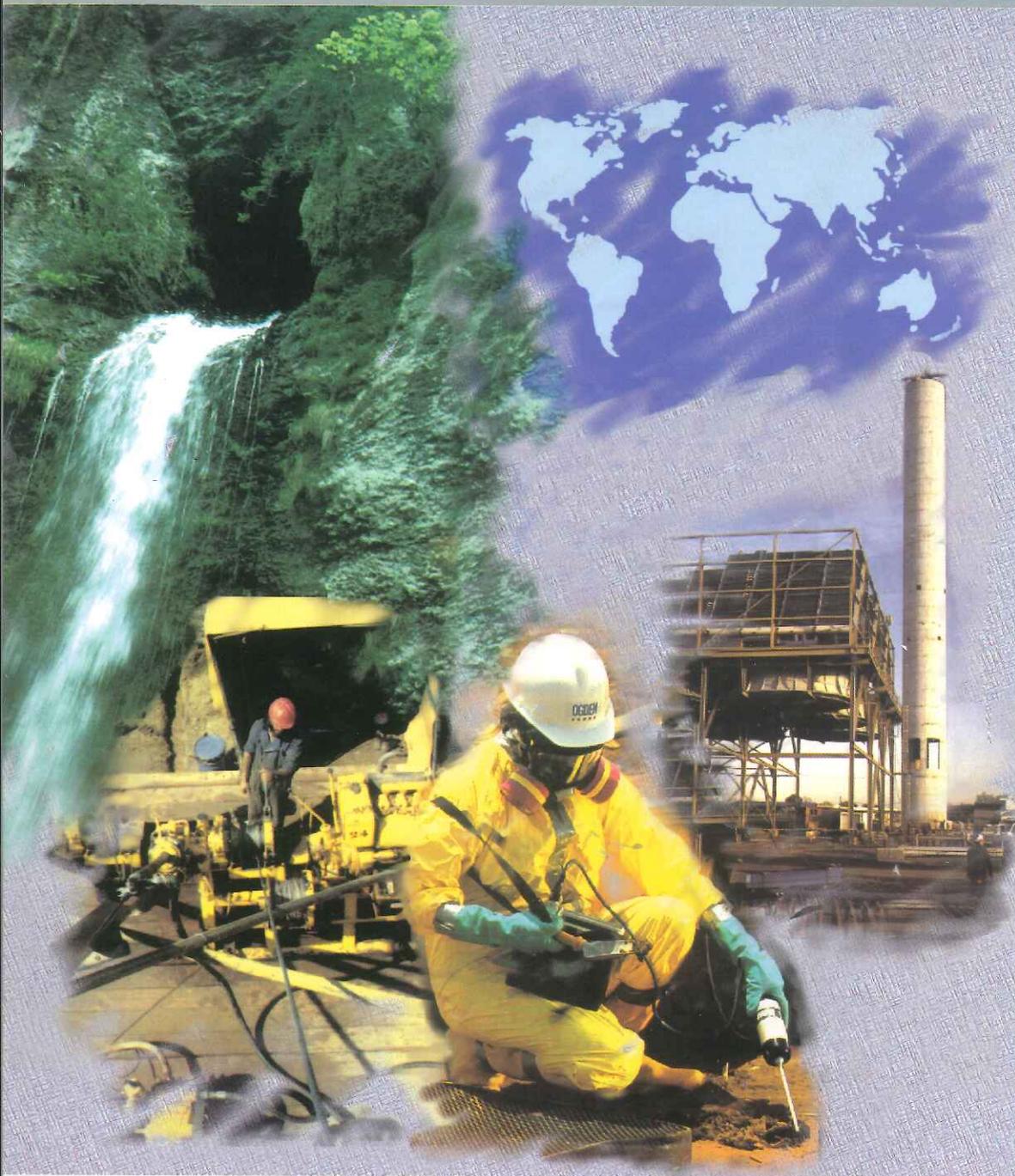
BANCO DE
CASTILLA



BANCO DE
VASCONIA

CGS

OGDEN ENVIRONMENTAL AND ENERGY SERVICES



ACTIVIDADES

- Consultoría
- Ingeniería
- Perforaciones
- Laboratorios
- Gestión

aplicadas a:

RECURSOS NATURALES Y ENERGIA

- Hidráulicos
- Minerales
- Rocas
- Aprovechamiento energético de residuos

MEDIO AMBIENTE

- Aire, agua, suelo y subsuelo
- Auditorías
- Ordenación del Territorio
- Impacto ambiental
- Contaminación
- Medidas correctoras
- Plantas de tratamiento
- Vertederos
- Almacenes subterráneos
- Rehabilitación del suelo y subsuelo
- Gestión de residuos
- Legislación

INFRAESTRUCTURA

- Geología
- Geotecnia
- Inventarios

OGDEN es una corporación de servicios con 45.000 empleados de los que 1.500 se dedican al aprovechamiento de los recursos naturales y a la protección del medio ambiente. CGS, su filial española con 27 años de actividad, le ofrece estos servicios con un planteamiento de permanente renovación tecnológica y calidad total.

Para CGS, comprender las necesidades de sus clientes y disponer de los recursos necesarios para hacerles frente, constituye el principal objetivo.

MAS DE 30 OFICINAS EN USA, EUROPA Y JAPON

OGDEN ENVIRONMENTAL AND ENERGY SERVICES (O.E.E.S.)

3211 Jermantown Road
P.O. Box 10130
Fairfax, Virginia 22030
Telf: 07-1 703 2460500 - Fax: 07-1 703 2460598

COMPañIA GENERAL DE SONDEOS, CGS, S.A.

Corazón de María, 15
28002 Madrid
Telf: (91) 416 85 50 - Fax (91) 519 32 37