

En este número:

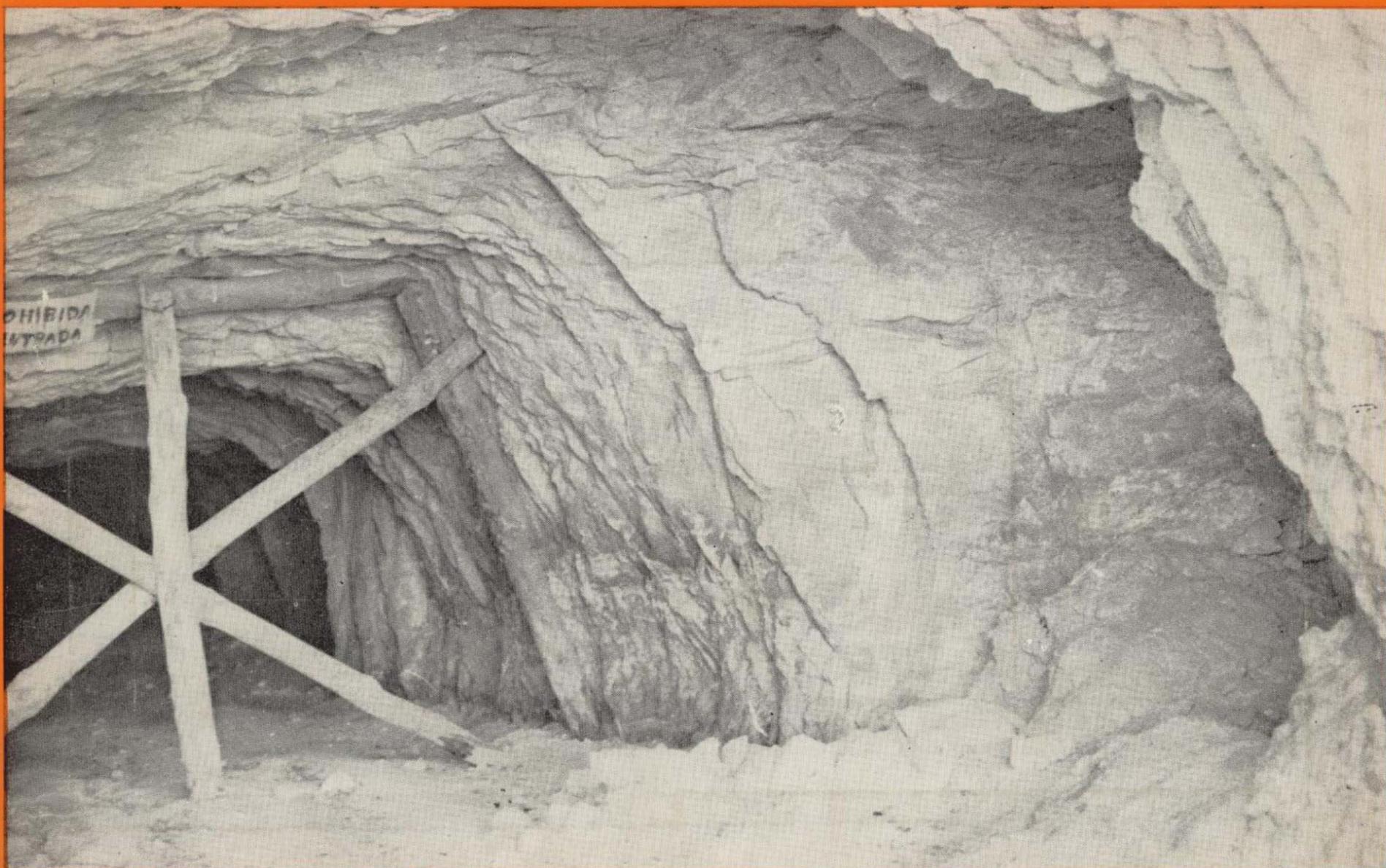
- Nuevas aportaciones a la ictiofauna y a la flora del Neocomiense del Montsech de Rubies (Lérida).
- Las discordancias progresivas de la cobertera carbonífera de Ocejo de la Peña: Testigos de la reactivación de un pliegue del basamento por «Flexural-Slip» (Cordillera Cantábrica).
- Estudio mineralógico de las magnetitas de La Berrona (Badajoz) con vistas a su posible concentración.
- El yacimiento de magnesita de Valderrodero (Asturias, España).
- Estudio mineralógico y geoquímico del gossan de los depósitos de Fe, Pb, Zn de la Unión (Sierra de Cartagena).
- Pulimento de áridos carbonatados en capas de rodadura.—Parte I: Parámetros petrográficos.

REVISTA BIMESTRAL DEL IGME FUNDADA EN 1874

T. XCIII, Tercer Fascículo. Mayo-Junio 1982

# boletín geológico y minero

geología • minería • aguas subterráneas • estudios de minerales • mineralurgia





**Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S. A.**

**EXPLORACION,  
INVESTIGACION E  
INGENIERIA DE  
DESARROLLO DE  
RECURSOS DEL  
SUBSUELO**

- Geológicos.
- Minerales.
- Hidrogeológicos.
- Geotérmicos.
- Geotécnicos.

**PROTECCION  
DEL MEDIO**

- Tratamiento de residuos sólidos urbanos e industriales.
- Ordenación geológica de la infraestructura para el desarrollo regional.

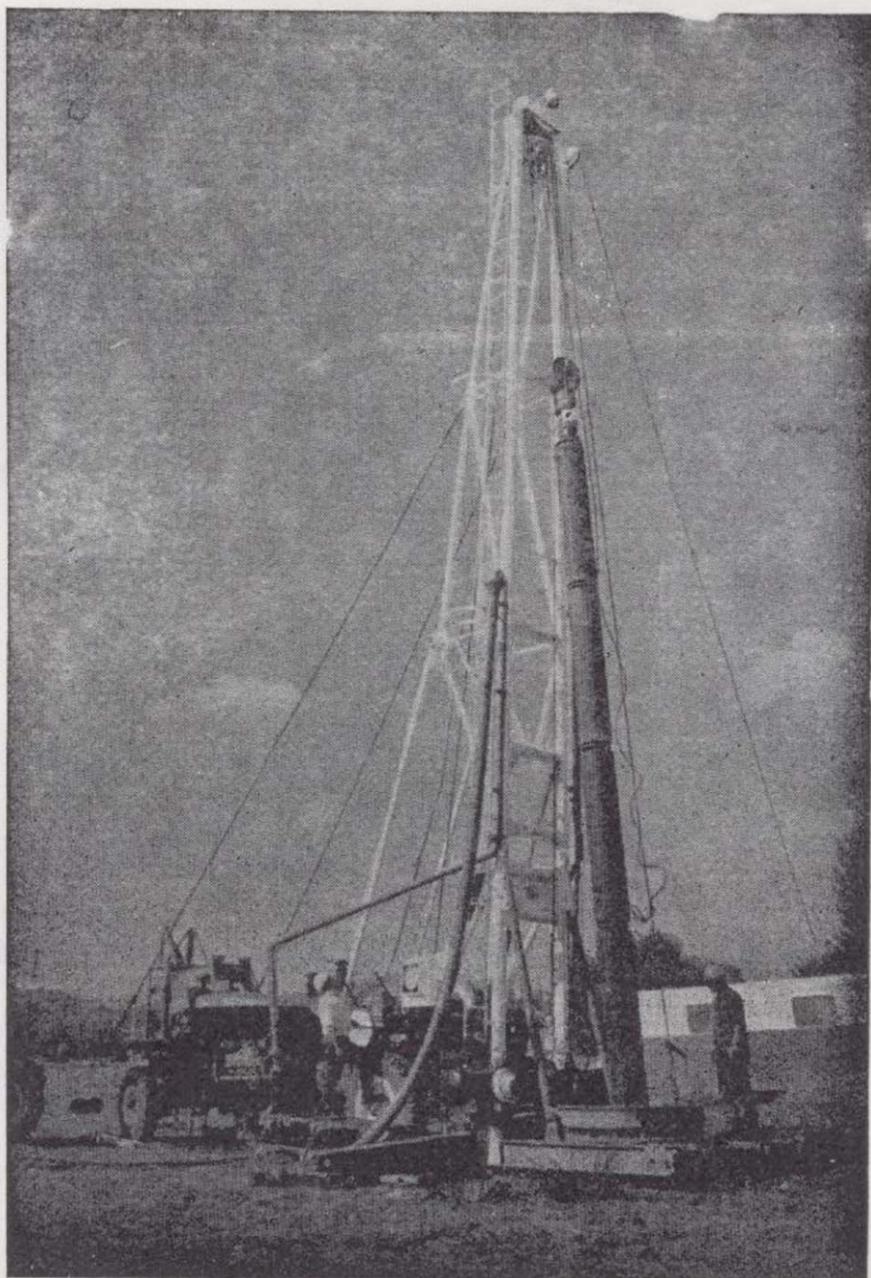
**FINANCIACION  
DE INVERSIONES**

- Planificación.
- Investigación. (interior y exterior).
- Revalorización de los recursos naturales.

**SERVICIOS  
ESPECIALIZADOS EN:**

- Geología.
- Geofísica.
- Geoquímica.
- Geotécnica y Geomecánica.
- Mineralogía y Metalquímica.
- Mineralurgia.
- Hidrogeología.
- Geomatématica.
- Planta piloto de residuos sólidos urbanos.
- Planta piloto de concentración de minerales.
- Documentación.
- Economía mineral.
- Sondeos.

DOMICILIO SOCIAL : Serrano, 116 - Telf. 262 41 10 - MADRID-6  
CENTRO DE INVESTIGACION "JUAN GAVALA": Ctra. de Andalucía, Km. 12 - Telf. 797 34 00  
Télex 42083 - geo-e - GETAFE (MADRID).



## **ALUMBRAMIENTO DE AGUAS SUBTERRANEAS**

Sondeos hasta 1.500 mm. de diámetro y profundidades de 500 m.

Sondas de circulación directa e inversa.

Filtros especiales que garantizan el agua limpia de arena.

Instalación de piezómetros.

Instalaciones completas de pozos y bombas sumergibles.

Equipos propios de aforo y limpieza.

Reacondicionamiento de pozos arenados.

Testificación eléctrica (PS y Resistividad) y radiactiva (Rayos gamma).

Acidificaciones.

# **AGUA Y SUELO, S. A.**

**Dr. Fleming, 3 - 5.º piso**

**Teléfonos: 457 42 58-62-66, 457 02 30 y 250 27 72**

**MADRID - 16**

## **SONDEOS DE RECONOCIMIENTO**

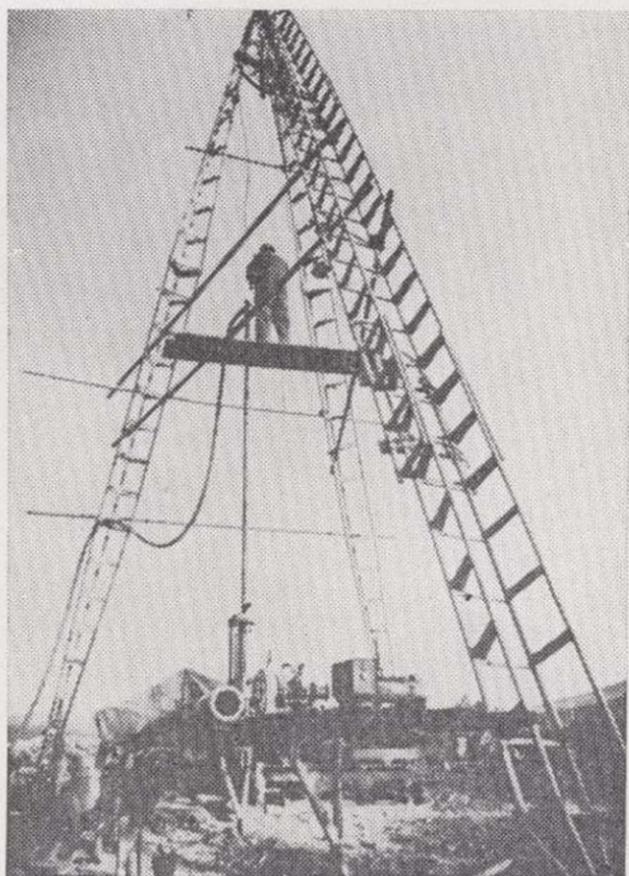
Sondas LONGYEAR y CRAELIUS con equipos de perforación «Wire-Line System».

Testiguo continuo en diámetros de 36 mm. a 143 mm. Sacamuestras especiales a percusión.

Medidores de inclinación y acimut, tipos Single Shot y Multi Shot.

# IBÉRICA DE SONDEOS, S. A.

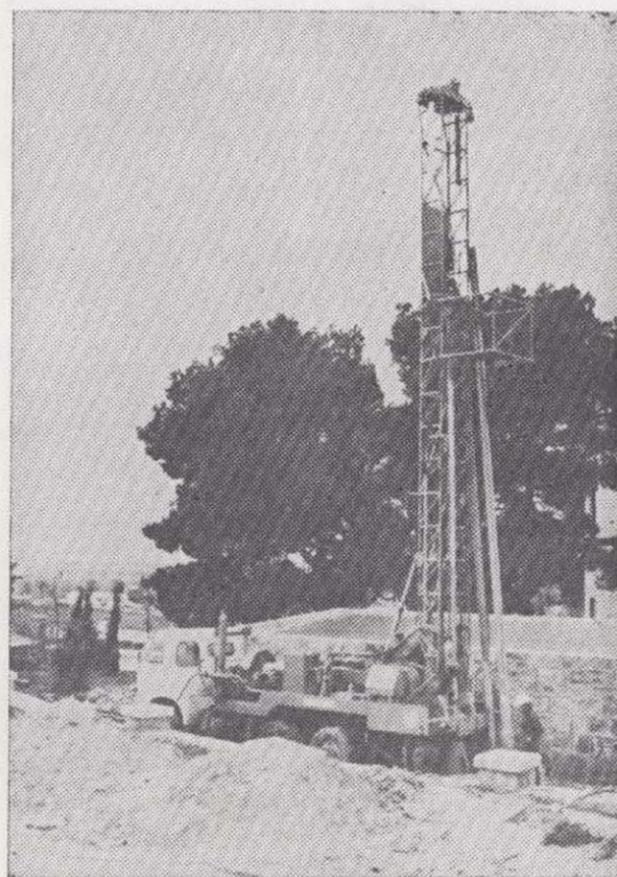
Al servicio de la Perforación desde 1954



Le resuelve cualquier  
problema de perforación.

**MINERIA.  
ALUMBRAMIENTO DE AGUA.  
ESTRATIGRAFICOS.  
EVACUACION DE AGUAS RESIDUALES.  
ESPECIALES, ETC.**

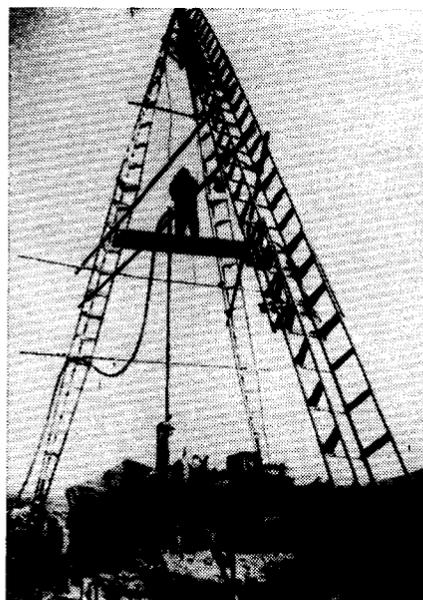
- Personal altamente experimentado.
- Profundidades hasta 2.500 m.
- Sondeos de gran diámetro.
- Wireline y sistemas especiales para recuperación de testigo.
- Medición de inclinación orientada.
- Rotopercusión a alta presión.
- Lodos especiales.
- Acidificaciones.
- Cementaciones.
- Desarrollo de acuíferos.
- Filtros adecuados a cada sondeo.
- Sondeos de investigación de 0° a 360°.
- Perforación con aire comprimido.
- Técnicas especiales, etc., etc.



**LOPEZ DE HOYOS, 13, 1.º  
TELF. 261 08 07-MADRID-6**

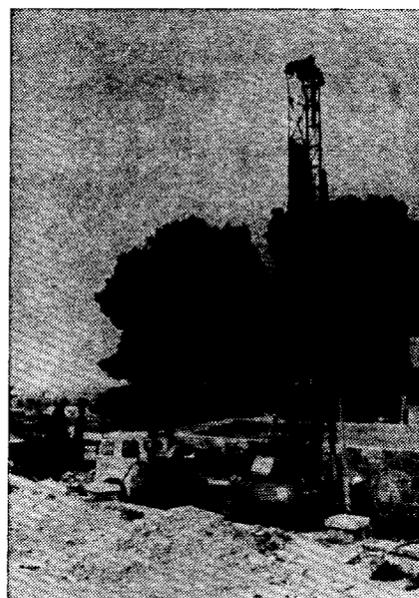
# IBÉRICA DE SONDEOS, S. A.

Al servicio de la Perforación desde 1954



Le resuelve cualquier  
problema de perforación

**MINERIA.  
ALUMBRAMIENTO DE AGUA.  
ESTRATIGRAFICOS.  
EVACUACION DE AGUAS RESIDUALES.  
ESPECIALES, ETC.**



- Personal altamente experimentado.
- Profundidades hasta 2.500 m.
- Sondeos de gran diámetro.
- Wireline y sistemas especiales para recuperación de testigo.
- Medición de inclinación orientada.
- Rotopercusión a alta presión.
- Lodos especiales.
- Acidificaciones.
- Cementaciones.
- Desarrollo de acuíferos.
- Filtros adecuados a cada sondeo.
- Sondeos de investigación de 0° a 360°.
- Perforación con aire comprimido.
- Técnicas especiales, etc., etc.

LOPEZ DE HOYOS, 13, 1.º  
TELF. 261 08 07 - MADRID-6

# GEOTEHIC, S. A.

INGENIEROS CONSULTORES

ESTUDIOS DE:

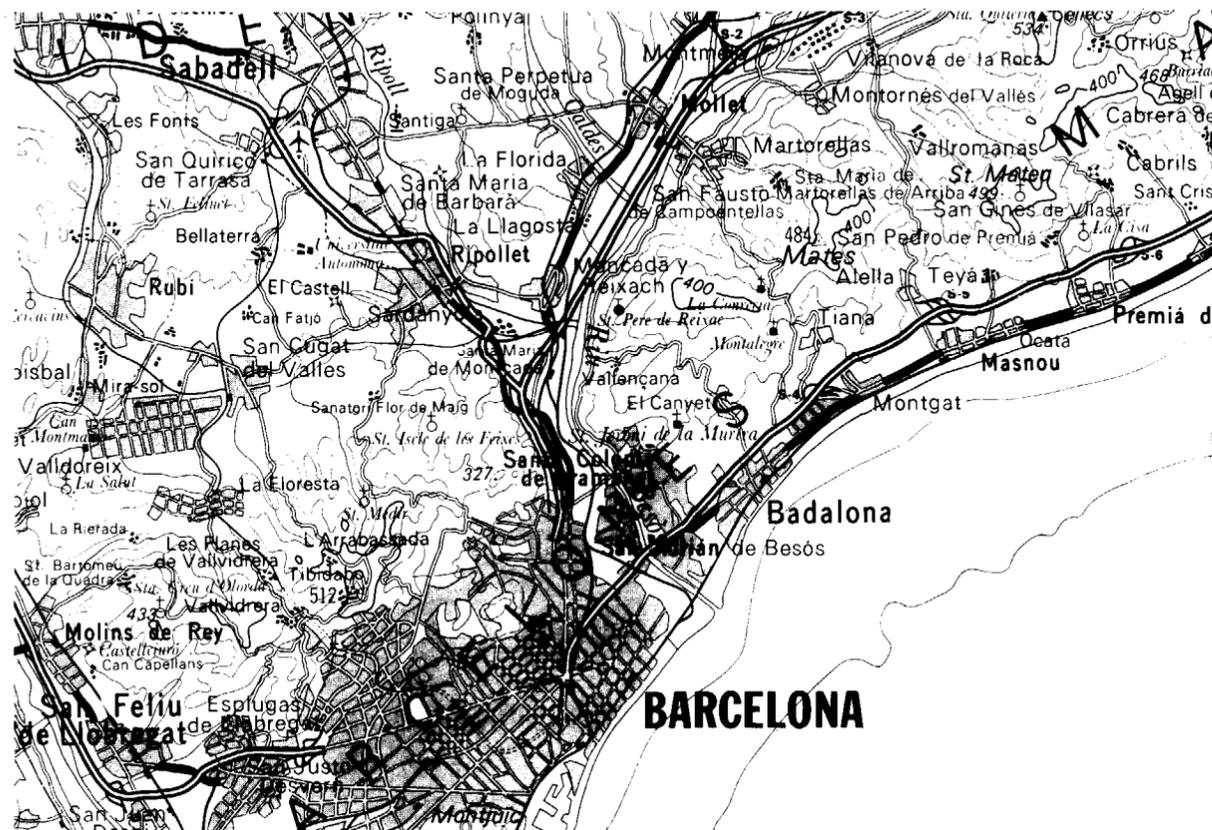
- GEOLOGIA.
- GEOFISICA.
- GEOTECNIA.
- HIDROLOGIA.
- INGENIERIA CIVIL.
- CALCULO ELECTRONICO.
- PETROGRAFIA-METALOGENIA.
- PROYECTOS MINEROS.
- CONTROL DE COSTOS.

General Mola, 210, 1.º D — Teléfonos 250 18 03 - 45 — MADRID-2

# Cibesa

CARTOGRAFICA IBERICA, S.A.

- ESGRAFIADO
- FOTOCOMPOSICION
- FOTOMECANICA
- IMPRESION OFFSET
- ENCUADERNACION



Fragmento del Mapa de CATALUÑA. Escala 1:200.000

## ESPECIALIDAD

- MAPAS CONVENCIONALES
- MAPAS TEMATICOS

Conde de la Cibera, 4 - L. 6 MADRID - 3  
TELFs. 234 81 86 - 234 79 72

**RONS SONDOS S.A.**  
ESPECIALISTAS EN AGUAS SUBTERRANEAS

VILLENA  
(Alicante)

Avda. de la Constitución 21 entlo. Tel. 800983



# Vegarada profundiza en su problema de agua y lo soluciona.

Dondequiera que esté en la geografía española, cualquiera que sea su problema de agua, recurra al asesoramiento de Vegarada. Poseemos la técnica y experiencia necesarias para proporcionarle toda el agua que necesite. Desde los trabajos de proyección y alumbramiento, hasta la realización de obras de conducción, puesta en riego o depósito, abastecimiento y distribución de caudales. Solicite información sin compromiso.



**Vegarada**

Guzmán el Bueno, 133  
Tels. 233 71 00-253 42 00 MADRID-3



Pb-10

Tomo 93

Fascículo III

Mayo - Junio 1982

# Boletín Geológico y Minero

revista bimestral de geología económica, industrias extractivas y de su beneficio - fundada en 1874 - 4.ª serie

## SUMARIO

### Geología

J. E. GÓMEZ PALLEROLA: Nuevas aportaciones a la ictiofauna y a la flora del Neocomiense del Montsech de Rubies (Lérida) ... .. 1

J. L. ALONSO: Las discordancias progresivas de la cobertera carbonífera de Ocejo de la Peña: Testigos de la reactivación de un pliegue del basamento por «Flexural-Slip» (Cordillera Cantábrica) ... .. 16

### Minería

F. GARCÍA, J. RUIZ, P. ADEVA y M.ª A. PALACIOS: Estudio mineralógico de las magnetitas de La Berrona (Badajoz) con vistas a su posible concentración ... .. 28

M. GUTIÉRREZ CLAVEROL y J. GARCÍA IGLESIAS: El yacimiento de magnesita de Valderrodero (Asturias, España) ... .. 35

R. LUNAR, J. I. MANTECA, P. RODRÍGUEZ y J. L. AMORÓS: Estudio mineralógico y geoquímico del gossan de los depósitos de Fe, Pb, Zn de la Unión (Sierra de Cartagena) ... .. 46

### Geotecnia

J. ALONSO y M. MONTOTO: Pulimento de áridos carbonatados en capas de rodadura.—Parte I: Parámetros petrográficos. 56

### Información

Las aguas minerales de España. Su industrialización (J. M. LÓPEZ DE AZCONA).—Noticias.—Notas bibliográficas ... .. 63

### DIRECCION Y REDACCION

Ríos Rosas, n.º 23 - Madrid-3

Teléfono 441 70 67

### ADMINISTRACION

Doctor Fleming, 7 - Madrid-16

Teléfono 250 02 03

**IGME**

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA



SERVICIO DE PUBLICACIONES — MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

**El Instituto Geológico y Minero de España  
hace presente que las opiniones y hechos  
consignados en sus publicaciones son de la  
exclusiva responsabilidad de los autores  
de los trabajos.**

---

---

Los derechos de propiedad de los trabajos  
publicados en esta obra fueron cedidos por  
los autores al Instituto Geológico y Minero de  
España.  
Queda hecho el depósito que marca la Ley.

---

---

#### EXPLICACION DE LA PORTADA

NE de El Vellón

Explotaciones subterráneas antiguas de arenas silíceas  
de El Vellón del Cretácico Superior.

Foto: Sección de Rocas Industriales, IGME.

ISSN 0366 - 0176

Depósito legal: M. 3.279 - 1958

Imprenta IDEAL - Chile. 27 - Telef. 259 57 55 - Madrid-16



# Nuevas aportaciones a la ictiofauna y a la flora del Neocomiense del Montsech de Rubies (Lérida)

26 JUN 1982

Por J. E. GOMEZ PALLEROLA

## RESUMEN

Este trabajo tiene, como principal objetivo, la contribución para un mejor conocimiento de la fauna ictiológica y la flora del Cretácico Inferior del yacimiento de calizas litográficas de Santa María de Meyá, en la Sierra del Montsech (Lérida).

Se inserta un total de once ejemplares de peces distintos, y se establecen comparaciones con los holotipos respectivos.

En cuanto a la flora, entre varios tipos conocidos, se incluyen algunos inéditos en nuestro país.

## ABSTRACT

The main objective of this work, is to contribute to a better knowledge of the ichthyologic fauna and the Lower Cretaceous flora of the lithographic limestones bed of «Santa María de Meyá» in the «Sierra del Montsech» (Lérida).

There are eleven types of different fish and comparisons with the respective holotypes are established.

There are some known kinds of plants in the flora, but some of the inserted in this work are completely unknown in our country.

Hace cinco años, realicé un trabajo que el Instituto Geológico y Minero de España tuvo a bien publicarme, acerca de algunas especies nuevas halladas en el célebre yacimiento de Santa María de Meyá, en la sierra del Montsech (aproximadamente en la parte central de la provincia de Lérida). Varios han sido los acontecimientos acaecidos en este lapso de tiempo.

Señalemos, en primer lugar, las campañas de prospección llevadas a cabo durante los meses de septiembre de los años 1979, 1980 y 1981. Así, en el primero de los años citados, se realizó la primera en el yacimiento de Santa María de Meyá, patrocinada por el Instituto de Estudios Ilerdenses de la Diputación provincial, y organizada por el gabinete de Ciencias Naturales del mencionado Instituto. A dicha campaña, asistió el Dr. GEORGES BARALE del Departamento de Paleobotánica de la Universidad de Lyon. La segunda de ellas (con la asistencia igualmente del Dr. BARALE), pensaba llevarse a término en aquel yacimiento, contando en esta ocasión con un compre-

sor para la extracción de lajas de caliza litográfica. Como quiera que la pista que conduce a la antigua cantera estaba en pésimas condiciones, se optó por montar el campamento en un paraje distante unos 6 ó 7 km. del yacimiento, y en donde afloraban unos bancos de caliza litográfica. Aparecieron en este lugar, denominado «La Cabrúa», algunos *Leptolepis*, vegetales, y un *Artitocoblatta*, es decir, el mismo tipo de fauna y flora característicos del yacimiento de Santa María de Meyá, por lo que aquél no es sino una continuidad estratigráfica de éste. Cabe reseñar que este lugar ya era conocido de antiguo; así, hace unos siete años, mi amigo RAMÓN ALIÓ halló allí una planta muy abundante en el yacimiento de Santa María de Meyá, el *Montsechites ferreri*. Finalmente, en 1981, se ha llevado a cabo la última de estas campañas, en la que participaron SYLVIE WENZ, especialista en ictiología, del Museo Nacional de Historia Natural de París, y el Dr. BARALE. En esta última expedición, se contó con la colaboración del ejército y se emplearon 50 kg.

de Goma-2 para la obtención de nuevas lajas. Las explosiones se llevaron a cabo en «La Cabrúa» y en Santa María de Meyá. El resultado de estas campañas no ha sido todo lo positivas en cuanto a la aparición de nuevos ejemplares fósiles se refiere. Parece ser que los niveles más fosilíferos fueron explotados en los tiempos que la cantera funcionaba comercialmente; no obstante, en años venideros se piensa realizar nuevas expediciones. Actualmente, se ha solicitado la colaboración de ICONA, para salvaguardar el yacimiento.

Como ya mencioné en mi anterior trabajo, el yacimiento de Santa María de Meyá se considera en la actualidad como Neocomiense, probablemente Valanginiense (Cretácico Inferior).

Varios han sido los sedimentólogos extranjeros que se han ocupado en los últimos años del yacimiento; así, en 1970, G. SCHAIRER y V. JANICKE, publican un trabajo sobre la sedimentología del Montsech. En 1974, BRENNER, GELDMACHER y SCHORROEDER, dan noticia del hallazgo de ostrácodos en el yacimiento: Cypridea, Dalmonella, etc., que corresponden a los tramos Berriasiense-Valanginiense del Infracretácico.

Nada se sabe aún hoy día sobre la posible comunicación del yacimiento con el mar, por lo que de momento continuamos considerando éste como dulceacuícola.

Los peces y vegetales objeto de la presente nota, proceden del yacimiento de Santa María de Meyá, y como ya señalé en mi anterior trabajo, son fruto de las búsquedas personales efectuadas en el mismo, salvo las excepciones que se indican.

Paso a continuación a resumir la lista de géneros y especies hallados hasta la fecha:

HYBODONTIDAE: *Hybodus woodwardi* VIDAL.

COELACANTHIDAE: *Holophagus leridae* SAUVAGE.

SEMIONOTIDAE: *Lepidotes ilergetis* SAUV., *L. aff. itieri* THIOLLIÈRE.

FURIDAE: *Caturus tarraconensis* SAUV.

AMIIDAE: *Urocles woodwardi* SAUV., *Urocles sauvagei* VIDAL?, *Vidalamia catalaunica* SAUV., *Amiopsis sp.*

MACROSEMIIDAE: *Ophiopsis montsechensis* WENZ, *Notagogus ferreri* WENZ, *Propterus vidali* SAUV.

GYRODONTIDAE: *Microdon aff. egertoni* THIOLL., *Coelodus sp.*

ASPIDORHYNCHIDAE: *Aspidorhynchus?*

PLEUROPHOLIDAE: *Pleuropholis sp.*

LEPTOLEPIDAE: *Leptolepis voithi* AGASSIZ, *Leptolepis crusafonti* WENZ, *Anaethalion vidali* SAUV.

#### CAMBIO DE NOMENCLATURA

El *Holophagus leridae* SAUVAGE, sustituye al *Undina leridae* SAUV. (*Holophagus* EGERTON = *Undina* MÜNSTER). El *Vidalamia catalaunica* SAUV., sustituye a *Vidalia catalaunica* SAUV. El cambio fue efectuado por E. I. WHITE y J. A. MOY-THOMAS, ya que *Vidalia* designaba un género de insectos. Primeramente estaba incluido este pez en la familia de los Leptolépidos; WENZ, en 1971, estudia nuevamente el fósil y lo incluye dentro de la familia de los Amiidos.

*Lepidotes*, sustituye a *Lepidotus*. E. I. WHITE y J. A. MOY-THOMAS (1940), señalan que el género *Lepidotus* establecido por AGASSIZ en 1833, debe cambiarse por el de *Lepidotes* (AGASSIZ, 1832).

*Urocles* sustituye a *Megalurus*. E. I. WHITE y J. A. MOY-THOMAS (1940), indican que el nombre genérico *Megalurus* AGASSIZ (1833), había sido utilizado para un pájaro con prioridad (HORSFELL, 1821), debiendo ser reemplazado por *Urocles* (JORDAN, 1919).

*Anaethalion vidali* SAUVAGE, sustituye a *Aethalion vidali* SAUV. E. I. WHITE (1938), señala que el nombre genérico *Aethalion*, empleado hasta entonces, se aplica por la ley de prioridad a un hemíptero y propuso en consecuencia la adopción del término *Anaethalion*.

De la lista de peces establecida desde los primeros trabajos de M. H. E. SAUVAGE en 1903 y LUIS MARIANO VIDAL en 1915, desaparecen los siguientes: El *Undina penicillata* MÜNSTER. En opinión de S. WENZ (1968), los caracteres numéricos y la forma general de este fósil son los mismos que los que presenta el *Holophagus* (*Undina leridae*).



Orden: SEMIONOTIFORMES.

Familia: SEMIONOTIDAE.

Género: LEPIDOTES.

*Lepidotes sp.* (foto 2)

Dos son las especies halladas en el Montsech: el *L. ilergetis* SAUVAGE (1903) y el *L. aff. itieri* THIOLLIÈRE (1903).

El fragmento que incluyo en este trabajo, es demasiado incompleto para insertarlo en uno o en otro, por lo que lo clasifico dentro del género *Lepidotes* sin precisar la especie. El fósil en cuestión mide 115 mm., posee la aleta dorsal retirada, terminando al nivel de la base de la anal con 12 gruesos radios y fulcros. Anal muy retirada, con 10 gruesos radios y fulcros. Escamas lisas, que se hacen más pequeñas y alargadas en la parte posterior del cuerpo. Escamas de la parte anterior rugosas, y de la parte posterior lisas. Gruesos fulcros y radios en la nadadera caudal (se distingue tan sólo una pequeña porción en nuestro ejemplar). Este género se ha hallado en las dos zonas clásicas mesozoicas: Bugey y Baviera. Obsérvese en la foto que adjunto el brillo de las escamas ganoideas (de color pardorrojizo).

Orden: AMIIFORMES.

Familia: FURIDAE.

Género: *Caturus* AGASSIZ.

*Caturus tarraconensis* SAUVAGE 1903 (foto 3)

Holotipo: Museo Martorell de Barcelona; longitud: 200 mm.

Nuestro fósil consiste en un fragmento de la parte media y posterior y tiene una longitud de 215 mm. Coincide en líneas generales con el holotipo: Neurapófisis y hemapófisis de la región caudal arqueadas y bastante largas, nadaderas ventrales pequeñas, con 6 ó 7 radios, nadadera dorsal (a la que le falta un fragmento de la parte anterior, pero de la que se ve, no obstante, el inicio de los radios), comenzando por encima de las ventrales, pero algo más atrás, con 12 radios, éstos aumentan paulatinamente de longitud y se dicotomizan cada uno en varios. Anal comenzando a igual distancia de las ventrales y de la caudal; me parece ver en ella 11 ó 12 radios.

En 1951, LUIS FERRER CONDAL apuntaba que el *Aethalion* (*Anaethalion Gigas* SAUVAGE) no podía incluirse a pesar de la gran talla de éste en una especie distinta del *Anaethalion vidali* SAUV. WENZ en 1968, se adhiere igualmente a esta opinión; por consiguiente, el *A. Gigas* queda anulado. Igualmente, esta paleontóloga, considera el *Urocles sauvagei* VIDAL como un pez distinto, pero no lo incluye como género en la lista de peces que transcribe. Este fósil es de conservación deficiente, por lo que hace difícil su estudio; no obstante, por los datos aportados por VIDAL parece que efectivamente se trate de un *Urocles* distinto al *Ur. woodwardi*. Así pues, lo incluyo en la lista anterior de peces que he dado, con interrogación.

Los peces por mí hallados en el yacimiento son los siguientes:

#### CONDRICTIOS

*Paleoxyris o Spirangium* (foto 1)

Longitud del holotipo, 130 mm. Este fósil está considerado como un huevo de elasmobranquio o de holocéfalo, recuerda los huevos de *Heterodontus*; posee entre 10 y 11 espiras y es de tamaño superior a los otros *paleoxyris* conocidos (*P. appendiculata*, *marini*, *helicteroides*, etc.). Poseo dos *paleoxyris*; el que adjunto fotografía mide 125 mm., el otro es algo mayor.

Cf. *Seláceo*

Al revisar la fauna ictiológica del yacimiento, me apercibí de que la aleta dorsal del *Hybodus woodwardi*, precedida por una púa o ichtiodorulithes, estaba formada por radios muy finos, guardando cierta semejanza con el ala derecha del fósil descrito en mi anterior trabajo titulado: «Un ave y otras especies fósiles nuevas de la biofacies de Santa María de Meyá» (1979). (Las alas serían las aletas pectorales extendidas).

Este fragmento, supuesto de ave y pésimamente conservado, se estudia actualmente, pues podría tratarse de un seláceo.

#### OSTEICTIOS

##### ACTINOPTERIGIOS

Infra-clase: HOLOSTEOS.

La caudal, con 35 ó 36 radios; los centrales, más gruesos. Todas las nadaderas poseen fulcros. Se observa en nuestro fósil con gran nitidez el esqueleto axial; las escamas, que son cicloideas y montantes unas encima de otras, estas escamas son delgadas y poseen una ligera cubierta de ganoína. Se ha encontrado últimamente en el yacimiento una escama cicloidea de unos 20 mm. de diámetro, que es posible pertenezca a un *Caturus* de gran talla (alrededor de 1 m.). Poseo otro ejemplar algo mayor que el descrito, pero de conservación inferior; completo mediría de 450 a 500 mm.

El género *Caturus* se conoce en diversos yacimientos que van desde el Triásico al Cretácico. Así, en el Muschelkalk de Alcover y Montral (Tarragona), aparece el *Caturus* con algunos ejemplares de pequeño tamaño (40 mm. o 50 mm.). No se han conservado las escamas. Estos fósiles poseen el esqueleto axial similar al *C. drieri* de Cerin. El notocordio, persistente, se encuentra revestido por los pleurocentros e hipocentros dispuestos alternativamente en herradura. Las espinas neurales y hemales son delgadas y están osificadas. Las escamas del *Caturus* son normalmente cicloideas —como ya he indicado— e imbricadas, salvo en el *C. velifer*, que tiene las escamas rómbicas y ganoideas. El *C. tarraconensis*, es similar, según SAUVAGE, al *C. furcatus* de Cerin; este pez tiene la aleta dorsal más avanzada respecto al *C. tarraconensis*.

Orden: AMIIFORMES.

Familia: AMIIDAE.

Género: *Urocles* JORDAN = *Megalurus* AGASSIZ.

*Urocles woodwardi* SAUVAGE 1903 (fotos 4 y 5)

Holotipo: Museo Martorell; long. 100 mm.

Poseo de esta especie dos ejemplares de 60 mm. cada uno, asimismo el Sr. JORDI SIRERA, ex-catedrático de Historia Natural del INEM (Marius Torres) de Lérida, me ha cedido un *Urocles* casi completo, para su inclusión en este trabajo, y cuya longitud es de 70 mm. Estos peces reúnen las siguientes características: silueta alargada; en el cráneo de uno de ellos se aprecia claramente el premaxilar, el maxilar, el dentario, la órbita del ojo, el paraesfenoides, el preopercular, el opercular, el subopercular, los radios bran-

quiostegos y otros huesos. Los premaxilares son robustos. El maxilar está curvado creciendo de manera regular; en el dentario, se distinguen 6 dientecillos cónicos similares a los del *Amia Calva*. La longitud del aparato opercular es igual a la mitad de la longitud de la cabeza.

El esqueleto axial es de difícil determinación, pero según el holotipo, tiene 46 ó 47 vértebras. Costillas cortas, hemapófisis posteriores largas. Nadadera dorsal con 14-15 lepidotriquios que se dicotomizan en su tercio distal, tan alta como ancha y termina en el nivel de la parte media de la anal. Las ventrales están situadas un poco más adelante del origen de la dorsal. Pectoral larga, la anal posee 7 u 8 radios. La caudal consta aproximadamente de unos 20 radios gruesos, que se dicotomizan en su tercio distal.

Este pez no posee fulcros en ninguna de sus nadaderas. El revestimiento dérmico está constituido por escamas delgadas y cicloideas. El *U. woodwardi*, difiere plenamente del *U. elongatus* de Cerin, las mandíbulas son más cortas en el nuestro y posee muchos menos radios branquiostegos en relación a los 25 de aquél (el *Amia* posee 12). En 1915, L. M. VIDAL, publica en su «Nota geológica y paleontológica del Jurásico Superior de la provincia de Lérida», un nuevo *Megalurus* (*Urocles*) al que denomina *M. sauvagei*, y que difiere del *U. woodwardi* especialmente en la mayor longitud de la aleta dorsal, que posee 22 radios. Este fósil se halla en hueco en la caliza litográfica, por lo que se estudia según un moldeado en yeso, lo cual, dificultaba el estudio del ejemplar. La familia de los Amiidos, tiene un único representante actual: el *Amia Calva* de las aguas dulces de Norteamérica, guardando grandes analogías con el *Urocles*. Adjunto un dibujo del *U. woodwardi*, realizado por el autor (fig. 1).

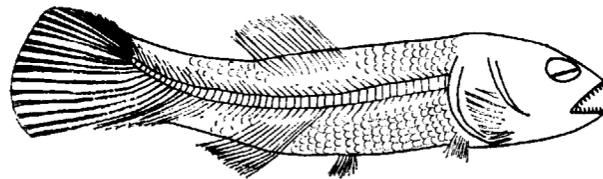


Figura 1.—*Urocles woodwardi*. SAUVAGE.

*Amiopsis* KNER

Cf. *Amiopsis* sp. (foto 6)

Atribuimos este ejemplar, si bien con reservas,

al género *Amiopsis*. En 1964 S. WENZ hace una escueta descripción de un *Amiopsis*, en su nota preliminar acerca de algunos peces del Montsech, pero sin dibujos ni fotografía alguna. El nuestro, consta de un fragmento de la parte anterior del pez y cuya longitud es de 60 mm.; en él se aprecia, pero bastante mal conservado, el cráneo que es alargado, y con la órbita del ojo pequeña, con dos cortas mandíbulas, viéndose en la inferior 4 pequeños dientes cónicos y puntiagudos. Las escamas son ganoideas y alargadas verticalmente, con los bordes posteriores ligeramente pectinados.

Familia: MACROSEMIIDAE.

En 1884 L. AGASSIZ constituyó el género *Macrosemius* a raíz de un ejemplar: el *Macrosemius rostratus*, procedente del Kimmeridgiense Inferior de Baviera.

V. THIOILLIÈRE, en 1858, establece la familia *Macrosemiidae*. Posteriormente, esta familia es estudiada por otros especialistas como A. H. WOODWARD, que la emparenta con los *Caturidae* (1895).

SAINT-SEINE (1949), describe igualmente algunos *Macrosemiidos* de la fauna de Cerin.

A. W. H. BARTRAM, en 1977, considera a esta familia como monofilética. Todos estos peces están extinguidos en la actualidad. Los *Macrosemiidos* están representados en el Triásico Superior de Hallein (Austria) y en el Retiense de Aust-Cliff, Gloucestershire (Inglaterra) por el *Legnonotus*. Durante el Jurásico Inferior no se han localizado ejemplares, reapareciendo éstos en el Jurásico Superior de Fichstatt y Kelheim (Baviera) y de Cerin, Ain (Francia) donde se han hallado: *Macrosemius*, *Propterus*, *Notagogus* e *Histionotus*; en Cerin están ausentes los *Propterus*.

Los últimos representantes de esta familia, el *Notagogus pentlandi* y el *Propterus scacchi*, se hallan en el Cretácico Inferior (Barremiense-Albiense) de Pietraroia, Castellamare y Benevento (Italia). El *Notagogus parvus*, se halla en el Wealdense de Bernissart (Bélgica). En Cabo Mondego (Portugal), se ha encontrado un pez descrito por VIANNA (1949) que recuerda el *Propterus microstomus* del Lusitaniano portugués.

La clasificación actual de estos peces es la siguiente:

Infraclase: *NEOPTERYGII* (según PATTERSON, 1973).

División: *HALECOSTOMI* (según PATTERSON, 1973).

Subdivisión: *INCERTAE SEDIS*.

Familia: *MACROSEMIIDAE* (THIOILLIÈRE, 1858).

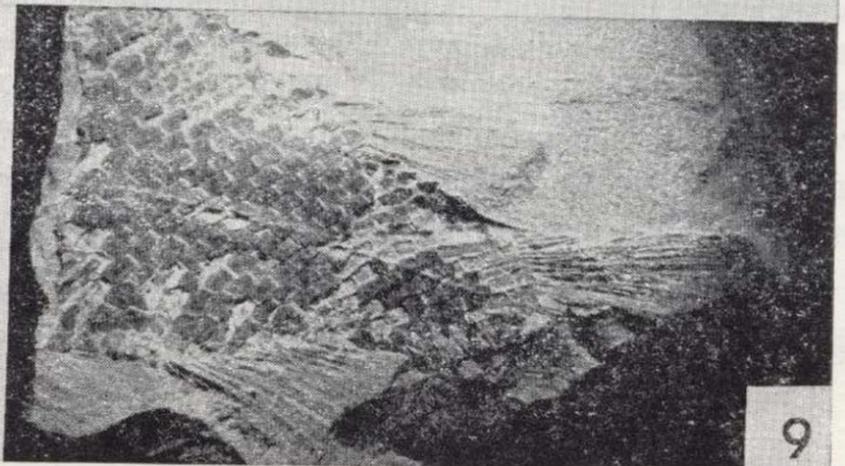
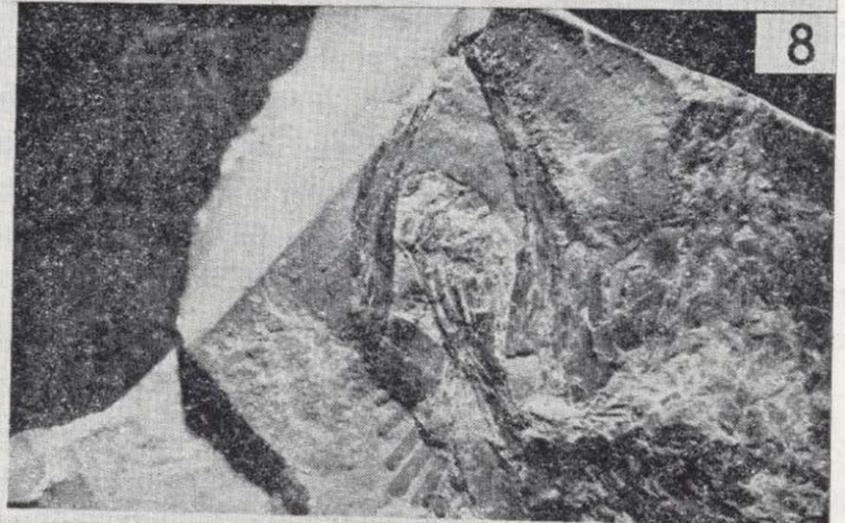
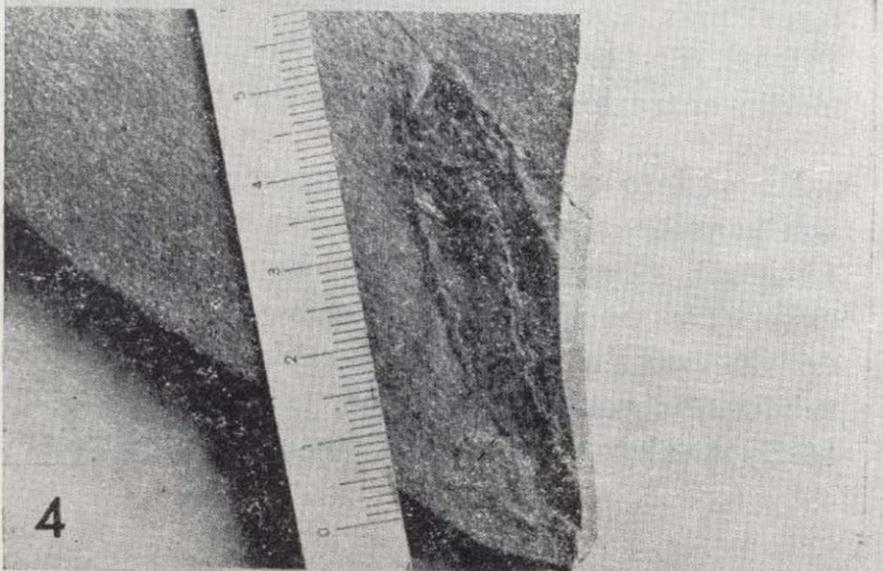
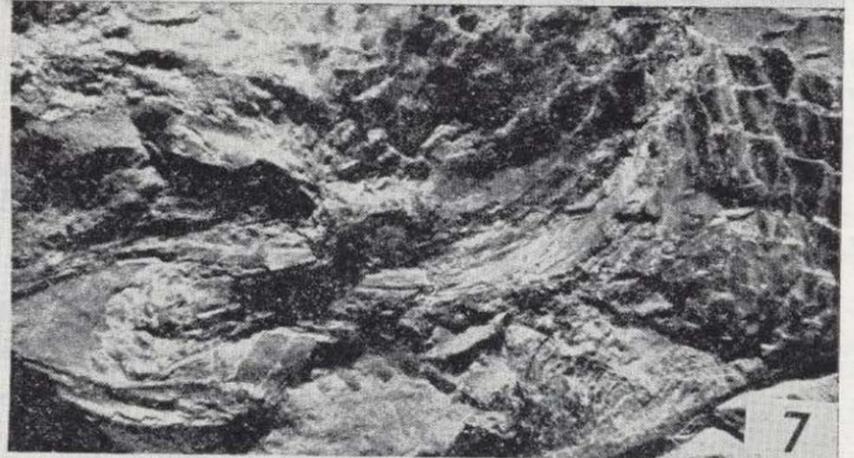
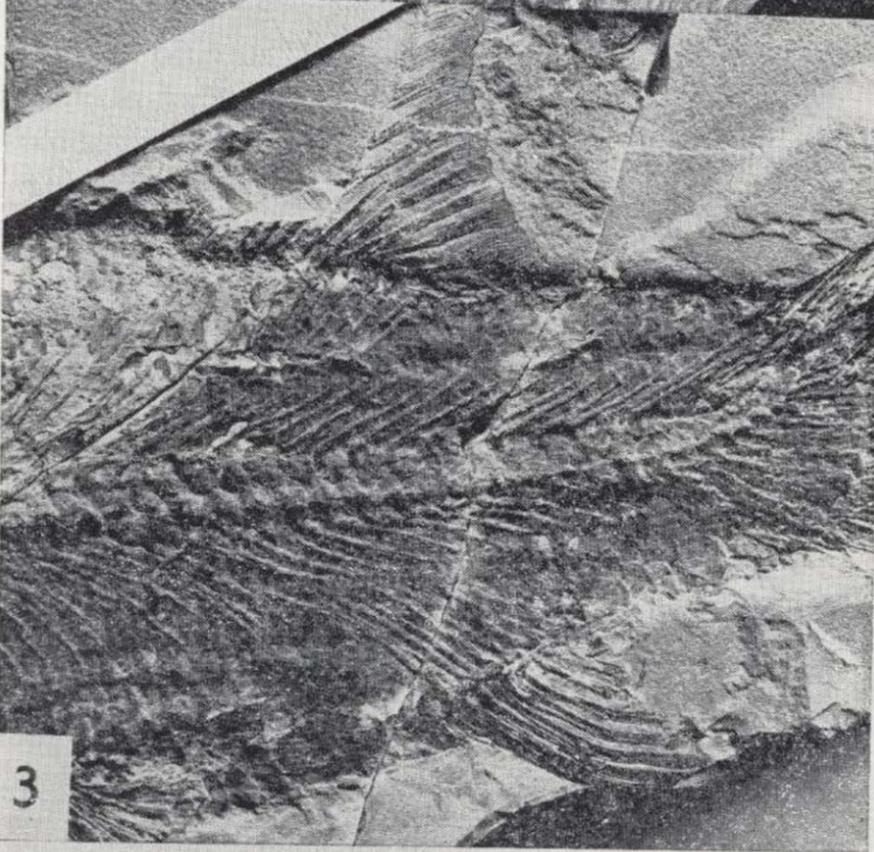
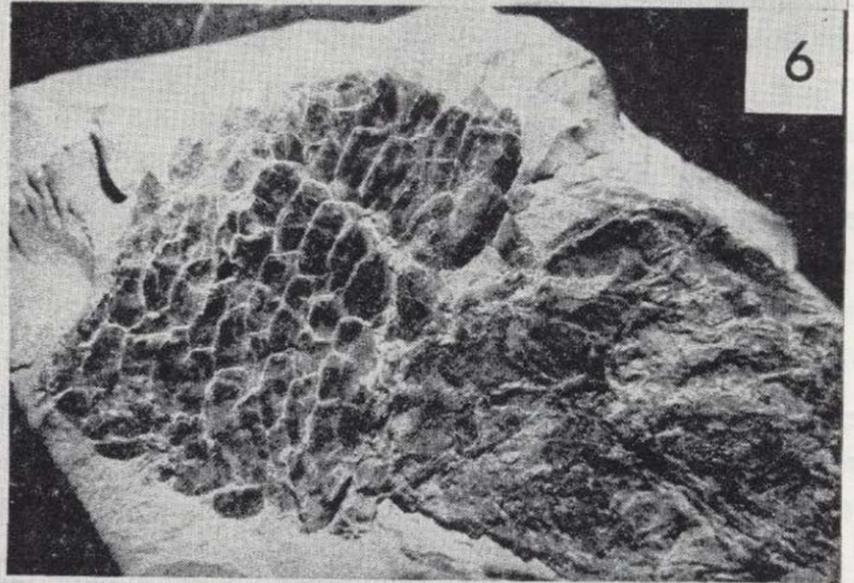
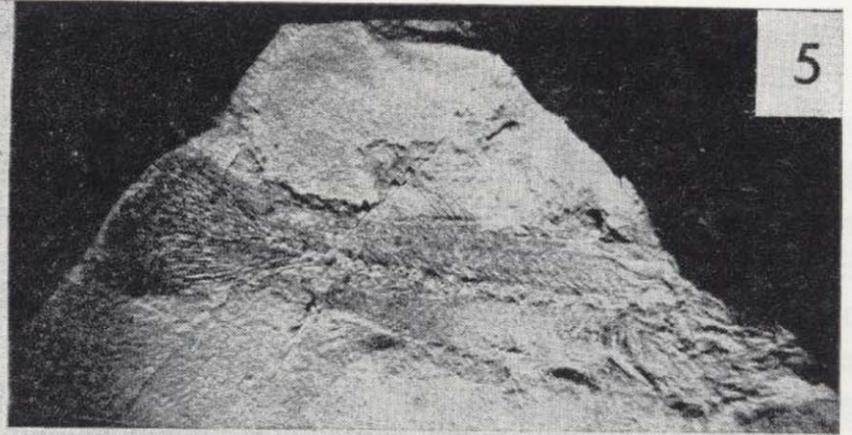
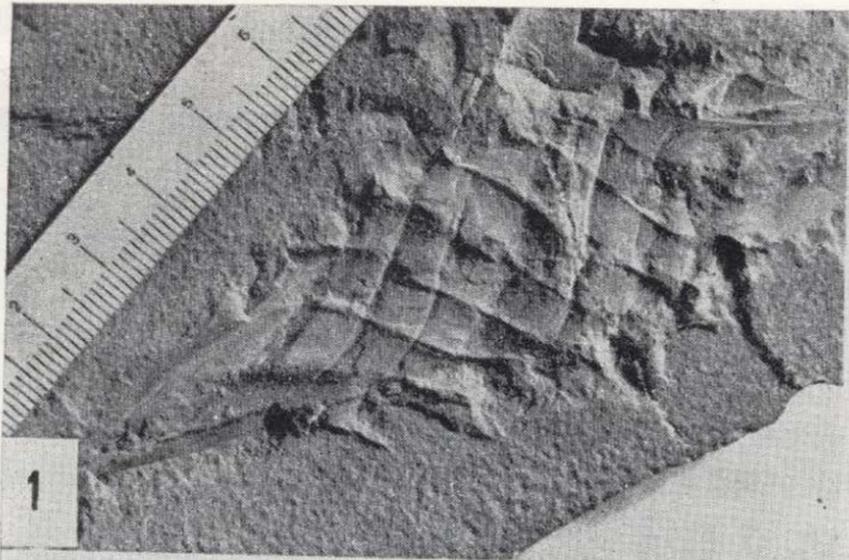
Cf. *Ophiopsis* sp. (fotos 7 y 8)

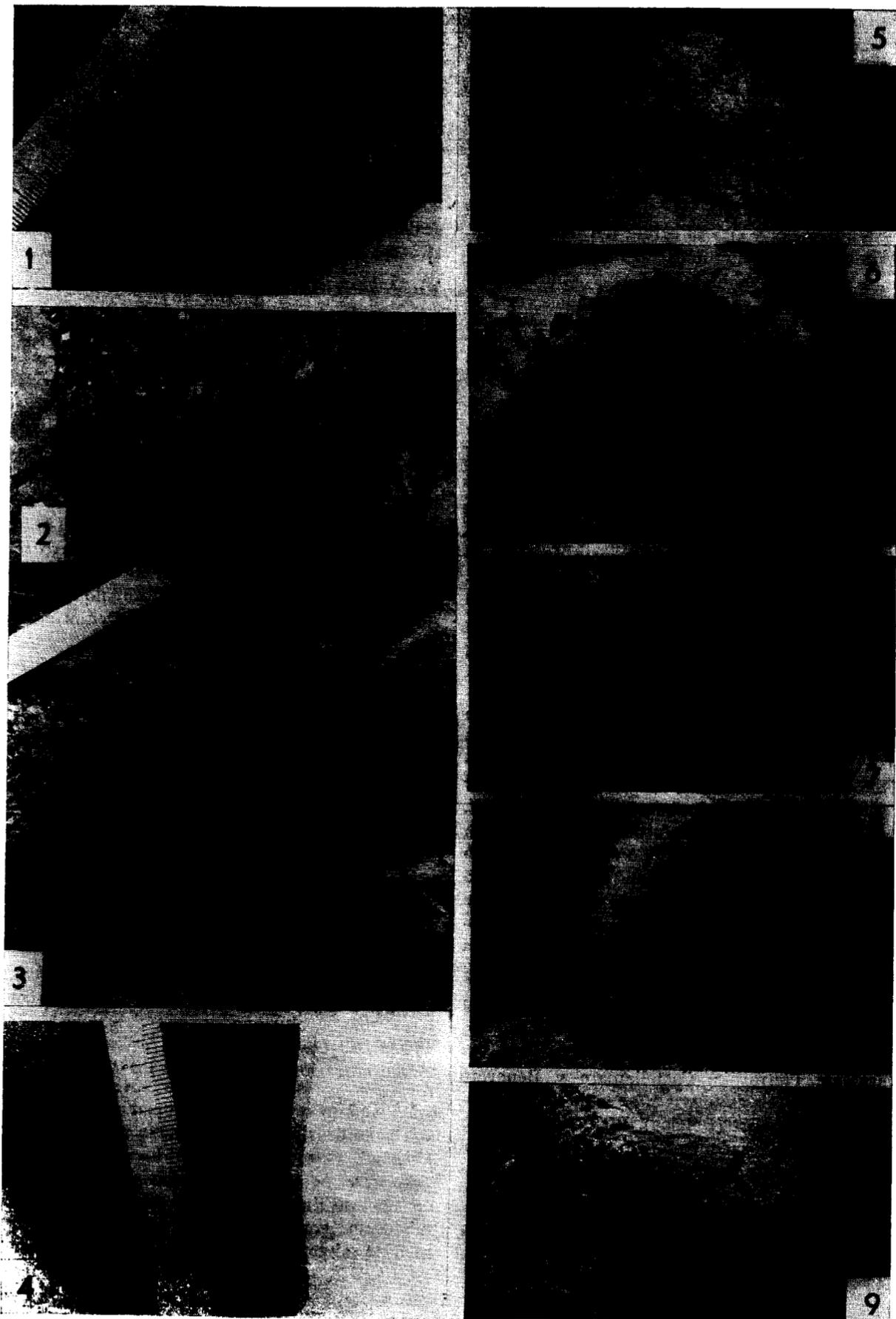
El género *Ophiopsis* es el más primitivo de la familia de los *Macrosemiidos*, si bien algunos autores no lo consideran como perteneciente a ella. Nuestro *Ophiopsis* consta de un fragmento craneado y una porción del cuerpo que permite distinguir las escamas. En 1964 S. WENZ añade una nueva especie de *Ophiopsis* del yacimiento de Santa María de Meyá: el *Ophiopsis montsechensis* WENZ, encontrándose este fósil en el Museo de Sabadell. La longitud del mismo es de 240 mm. El fragmento que aquí incluyo mide 90 mm. La mandíbula inferior se distingue perfectamente, el dentario y el ángulo articular, dibujan una curva cóncava muy pronunciada. Se aprecia una hilera de unos 20 dientes cónicos y puntiagudos, los dientes del tercio posterior de la mandíbula son más pequeños.

En el *Ophiopsis guigardi* de Cerin, el dentario posee una hilera continua de dientes, entre los cuales existen intercalados otros más pequeños; en el nuestro estos pequeños dientes no se aprecian, si bien es posible que existan.

Este género aparece desde el Triásico al Cretácico. En el Muschelkalk de Montral y Alcover se ha encontrado un posible *Ophiopsis*. Su tamaño es pequeño (60 mm.), y con una órbita muy grande, tiene un maxilar alargado y estrecho. BELTAN hace notar en el *Ophiopsis* por ella estudiado que aquel ejemplar presenta ya los caracteres más evolucionados como los *SEMIONOTIDAE*. El *Ophiopsis* constituye un género intermedio entre los *Eugnátidos* y los *Macrosemiidos*.

En cuanto a las escamas de nuestro ejemplar, son ganoideas y de un diámetro aproximadamente igual. Son rómbicas, el borde posterior se encuentra pectinado con más de 15 pequeños denticulos. En el cráneo se observan pequeños tubérculos ganoideos. Se ve también en nuestro fósil la aleta pectoral. Este pez es similar al





*Macrosemius*, pero la longitud de la mandíbula y otros caracteres hacen de él un probable *Ophiopsis*.

Género: *Propteris* AGASSIZ 1834.

*Propteris vidali* SAUVAGE 1903 (fotos 9 y 10)

Holotipo: Museo Martorell; long. 150 mm.

He recogido un fragmento de pez de la parte posterior, cuya longitud es de 74 mm., en el que se aprecia una porción de la dorsal anterior, la dorsal posterior con 9 radios dicotomizados con gruesos fulcros, se distingue también parte de la aleta pélvica. La aleta anal, posee 6 lepidotriquios. Todas estas aletas están protegidas por fulcros; igualmente se ve una parte de la caudal también con fulcros. Las escamas son lisas, brillantes, enteras y con la parte anterior un poco prolongada en punta y la posterior ligeramente dentada, son ganoideas y poseen el brillo característico. En una línea de escamas que va desde el comienzo del segundo lepidotriquio de la nadadera anal al último de la dorsal anterior he contado 13 escamas. La columna vertebral se arquea hacia arriba en la caudal. El Dr. LUIS FERRER me ha cedido muy amablemente la fotografía de un ejemplar

de pequeño tamaño de su colección y que incluye en este trabajo. Igualmente incluyo una reproducción del cuerpo del *Propteris* realizada por el autor, y un detalle del cráneo efectuado por A. LACASA (figs. 2 y 3), según un ejemplar existente en el Museo del IEI de Lérida.

Género: *Notagogus* AGASSIZ.

*Notagogus ferreri* WENZ (1964) (foto 11)

Holotipo: Colección del Dr. Ferrer; long. 35 mm.

En 1951, FERRER incluye en un trabajo publicado por el IGME un pez sin clasificar. En 1964, WENZ estudia el ejemplar del Montsech, y lo identifica como un *Notagogus*, que dedica a FERRER, autor del hallazgo.

El *Notagogus ferreri* es un espécimen de pequeña talla respecto a los demás *Notagogus* europeos. Posee una cabeza voluminosa más larga que la altura máxima del cuerpo, comprendida tres veces en la longitud sin la caudal. Boca poco profunda, articulación cuadratomandibular situada al nivel del borde anterior de la órbita, dientes mandibulares robustos, todos idénticos y dispuestos en una sola hilera. 24 vértebras con los centros vertebrados osificados. Dorsal formada por 2 lóbulos separados con una extensión y elevación similares. El anterior tiene 12 lepidotriquios, y el posterior, 11. La pectoral posee 9 lepidotriquios. La pelviana, opuesta al último cuarto del lóbulo posterior de la dorsal. Caudal con el borde libre sin escotadura con 10 lepidotriquios. Sólo existen fulcros en esta aleta. Los *Notagogus* no cuentan con muchos ejemplares en los yacimientos clásicos europeos. El nuestro tiene una longitud de 30 mm, y concuerda perfectamente con la descripción de WENZ.

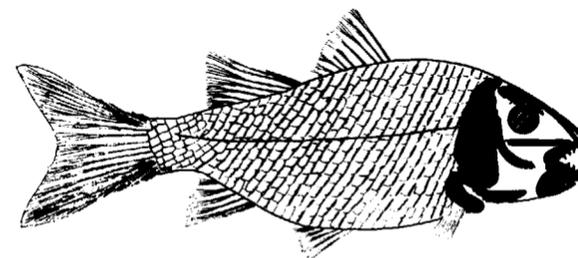


Figura 2.—*Propteris vidali*. SAUVAGE.

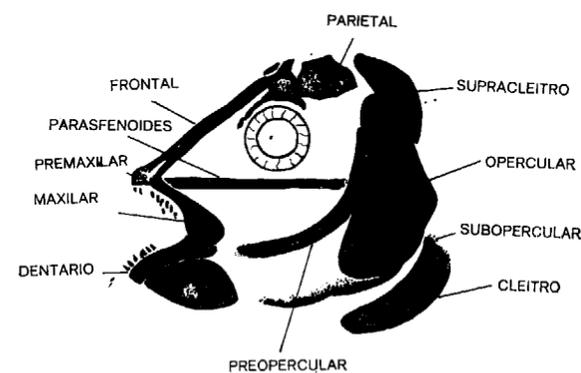


Figura 3.—Reconstrucción del cráneo de *Propteris* cf. *vidali*. SAUVAGE, según A. LACASA.

Orden: PICNODONTIFORMES.

Familia: GYRODONTIDAE.

Género: MICRODON AGASSIZ.

*Microdon* aff. *Egertoni* THIOLLIÈRE, 1903 (fotos 12 y 13)

Holotipo: Museo Martorell; long., 70 mm.

Poseo de esta especie 5 ejemplares, 2 de ellos casi completos, el de mayor tamaño mide 115 mm en su parte más alta y 140 mm desde el hocico hasta el comienzo de la caudal.

Tiene de 29 a 32 arcos neurales gruesos y espaciados, 21 espinas neurales en relación con los

axonostos de la nadadera anal. La caudal tiene de 20 a 22 radios, los anteriores más largos. En el cráneo se distingue perfectamente la dentición vomeriana y la esplenial, el anillo esclerótico osificado que protege la órbita del ojo y el aparato bucal que comprende una mandíbula superior, dos premaxilares y el vómer.

El otro ejemplar que adjunto, inmejorablemente conservado, tiene una longitud de 60 mm y una altura de 70 mm.

El *M. egertoni* THIOU, es frecuente en la fauna de Cerin; en cambio, en Solenhofen y de modo general en los yacimientos bávaros es bastante infrecuente.

### TELEOSTEOS

Orden: LEPTOLEPIFORMES.

Familia: LEPTOLEPIDAE.

Género: *Leptolepis* AGASSIZ.

*Leptolepis voithi* AGASSIZ (Holotipo: *Ascalabos voithi*), 1839? (foto 14)

Los *leptolepis* son peces presentes en los yacimientos europeos que van desde el Triásico al Cretácico (Cerin, Solenhofen y Santa María de Meyá). El *L. voithi* posee alrededor de 40 vértebras (sin contar las alojadas en el aparato craneal). Tiene dientes agudos en todo el borde externo del premaxilar y del maxilar, el mismo tipo de dientes sobre el borde anterior de la mandíbula. Posee el cráneo con osificaciones dérmicas. Es similar al *L. sprattiformis* de Cerin, teniendo éste la nadadera anal más retrasada. El *L. voithi* es siempre de pequeño tamaño, siendo raro el que sobrepasa los 10 cm de longitud. Es asimismo el pez más abundante en el yacimiento de Santa María de Meyá.

Cf. *Leptolepis crusafonti* WENZ, 1968

Holotipo: Museo de Sabadell. Long., 35 mm.

El *L. sprattiformis* de Cerin y Baviera posee 49 ó 50 vértebras. El *L. voithi*, 38 a 42. En 1968, S. WENZ incluye una nueva especie procedente del yacimiento de Santa María de Meyá, teniendo como principal diferencia respecto a los anteriores el número de vértebras del esqueleto axial (alrededor de 30). El *L. crusafonti* tiene la dorsal situada por encima de la décima vértebra, con-

tada a partir del borde posterior del cleitro. La pelviana está situada a media distancia entre las pectorales y la anal, levemente más próxima de las primeras, la anal está retrasada, insertada en los 2/3 distales de la longitud que separa las pelvianas de las caudales.

Los *leptolepis* presentan aún una cubierta delgada de ganoína, por lo que algunos autores los colocan dentro de los *holosteos*. La mandíbula inferior es típicamente teleóstida, habiendo desaparecido los fulcros, el notocordio es continuo, encerrado dentro de una serie de vértebras netamente osificadas. Tanto por la forma como por el tamaño, este pez está emparentado con los arenques actuales.

Género: ANAETHALION.

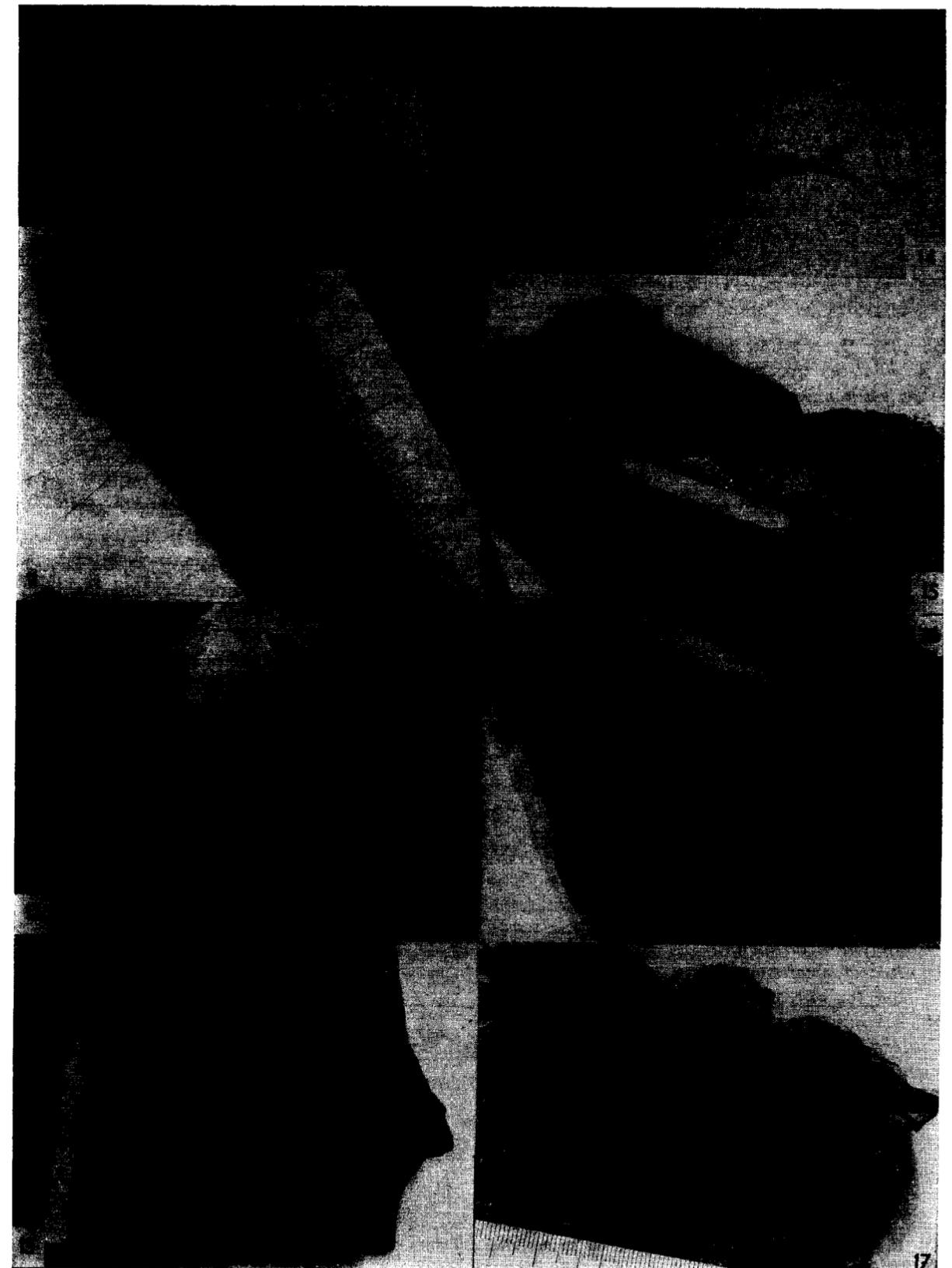
*Anaethalion vidali* SAUVAGE (1903) (fotos 15, 16, 17 detalle del cráneo, 18 detalle del esqueleto axial, y 19 detalle del revestimiento dérmico).

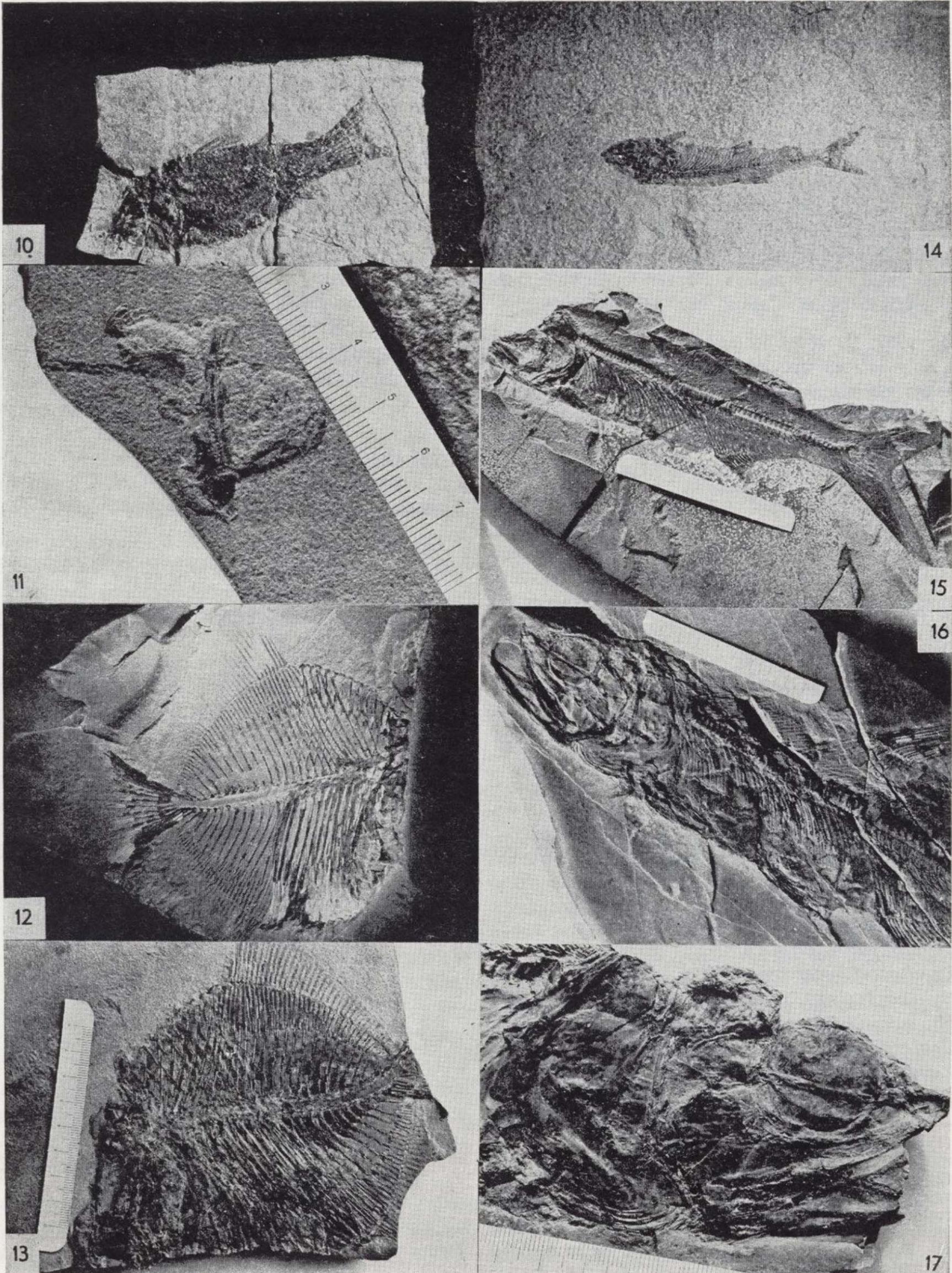
Este fósil es bastante raro en los yacimientos alemanes y franceses; en el yacimiento de Santa María de Meyá es quizá el más abundante de los *leptolepis*.

Los peces de Cerin y Babiera son de pequeña talla; así, el *A. knorri* BLAINVILLE, de Cerin, mide tan sólo unos 150 mm, y en nuestro yacimiento tenemos ejemplares que llegan hasta los 700 mm. El holotipo descrito por SAUVAGE se encuentra en el Museo Martorell y posee una longitud de 365 mm.

Poseo 6 ejemplares identificables como pertenecientes a esta especie; así, inserto un fragmento de 300 mm de longitud, que completo nos daría un ejemplar de alrededor de 700 mm. En este fósil, cuya columna vertebral mide en su parte más ancha 15 mm, se observan las finas estrías de osificación secundaria que es uno de los detalles que permiten diferenciarlo del género *Thrissopss*. Otro fragmento, que adjunto, tiene una longitud de 300 mm y completo mediría alrededor de 400 mm; en éste se divisa perfectamente el cráneo. Otro de los fósiles tiene un tamaño igualmente de 300 mm y ha conservado magníficamente las escamas que tienen aún restos de ganoína. Otro de los peces es un espécimen casi completo y de excelente preservación.

El *A. vidali* tiene el opérculo grande y con varias estrías en la parte superior. El preopérculo es muy arqueado y con unos 7 u 8 radios branquiostegos.





El anillo esclerótico está perfectamente osificado, con un grueso paraesfenoides. Las mandíbulas son muy robustas, con dientes muy pequeños e iguales en el premaxilar, en el maxilar y en el dentario. Se ven en el cráneo claramente los canales sensoriales. El esqueleto axial consta de unas 65 vértebras. Costillas largas y delgadas. Neurapófisis y hemapófisis de la parte posterior del cuerpo cortas y fuertes. Nadaderas ventrales aproximadamente a igual distancia de las pectorales que de la anal. Anal alargada y más cercana a las ventrales con 17 ó 18 radios dicotomizados a partir de su tercio distal. Caudal con 32 ó 33 radios.

En 1967, O. NYBELIN señala que la aleta anal del *A. vidali* es más alargada en las especies de nuestro yacimiento que en las restantes europeas y debido a esta diferencia este autor considera que podría cambiarse de género a los fósiles del Montsech.

Si la fauna ictiológica aquí brevemente expuesta resulta muy interesante, no lo es menos la flora, que cuenta con más cantidad de formas, algunas de las incluidas aquí son nuevas en el yacimiento. Respecto a estos ejemplares inéditos, transcribo tan sólo una cita preliminar para un posterior trabajo.

Hasta el presente, la lista de vegetales fósiles del yacimiento de Santa María de Meyá, es la siguiente:

- Yuccites* cf. *burgundiacus* SAPORTA (1).
- Yuccites* sp.
- Phyllitoteca* o *Equisetum*.
- Weichselia reticulata* (STOKES & WEBB) FONTAINE emend. ALVIN.
- Pityophyllum flexile*.
- Cordaicladus*.
- Pagiophyllum cirinicum*.
- Zamites* cf. *acerosus* SAP.
- Sphenopteris* cf. *microclada* SAP (2).
- Matonidium goepperti* ETTINGHAUSEN (3).
- Caulerpa filiformis* HR.
- Zamites fallax* SAP.
- Scleropteris zeilleri* SAP.

(1) Actualmente denominado *Pelourdea* (A. C. SEWARD).

(2) En el trabajo: *El Ilmo. Sr. D. Luis M.º Vidal Carreras*, publicado por la Junta de Ciencias Naturales de Barcelona, 1924, este fósil aparece clasificado como *Sphenopteris* aff. *mantelli*.

(3) BARALE opina que este vegetal se trata en realidad de *Weichselia reticulata*.

- Himenophyllites tenellinervis* SAP.
- Rabdotocaulon*.
- Brachyphyllum gracile* BRONG.
- Paleocypris itieri* SAP.
- Paleocypris falsani* SAP.
- Rhizocaulon elongatum* SAP.
- Phillotaenia* aff. *nervosa* SAP.
- Carpolithes* sp.
- Podozamites* sp.
- Sphenolepis* cf. *kurriana* DUNKER.
- Montsechia vidali* ZEILLER.
- Montsechites ferreri* TEIXEIRA.
- Araucarites* sp.
- Pseudoceteris*.
- Frenelopsis rubiesensis* BARALE.
- Eretmoglossa lacasae* BARALE.

#### FILICINEAS

*Sphenopteris* cf. *microclada* SAPORTA (foto 20)

Género muy similar al *Trichomanes longisetum* (del que adjunto un dibujo, fig. 4), de la familia de las himenofiláceas, que presenta las frondas muy divididas en lóbulos capilares y con esporangios.

Ya R. ZEILLER, en 1902, al describir al *Sphenopteris microclada*, dice que el ejemplar fósil es enteramente comparable a las frondas de ciertos trichomanes de la flora actual, especialmente al *T. pluma* HOOK. Este fósil debería ser revisado por algún especialista en paleobotánica a fin de precisar su taxonomía.

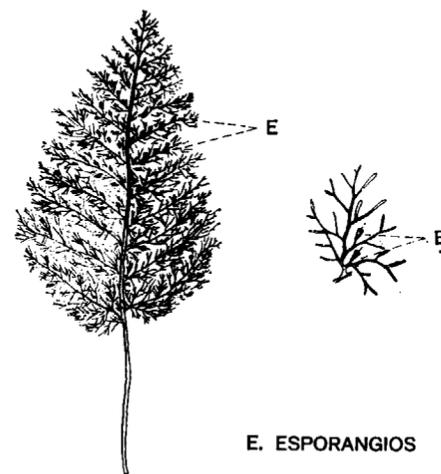


Figura 4.—Fronda de *Trichomanes longisetum*, pecíolo incompleto, según VAN DEN BOSCH.

*Weichselia reticulata* (STOKES & WEBB) FONTAINE emend. ALVIN (foto 21)

Las *weichseliáceas* cuentan con dos géneros actuales: el *Paradoxopteris stromeri* HIRMER, del Cenomaniense de Egipto, y el *Palmoidopteris* BOUREAU, del Albiense de Túnez. El follaje del *Weichselia* pertenece a la estípula del *P. stromeri*, y dichas estípulas tienen un diámetro de 30 cm; siendo su anatomía similar al de las *Angiopteris* actuales (Emberger). Se trata de un helecho arborescente, homoaxilado y con canales mucilaginosos. Las pínulas se encuentran ópuestas según el sistema «butterfly position», de T. LIPPS. Son oblongas, con el ápice redondeado. Poseen una nerviación central muy marcada y una secundaria anastomosada. El *weichselia* es un helecho que presenta cierta afinidad con las *Matoniaceae*, y tiene una amplia difusión geográfica: Europa Occidental, Oriente Medio, India, Rusia, Africa y las dos Américas. Se halla situada entre las Paleolatitudes 30° N y 30° S (30) según BARALE. El *Weichselia reticulata* es en Europa característica del Cretácico Inferior. El hallazgo de este vegetal y del género *Frenelopsis* SHENK (*F. rubiesensis*) francamente cretácicos, conjuntamente con ostrácodos lacustres, llevaron a la conclusión de datar estas calizas como las del Cretácico Inferior (Berriasiense Superior-Valanginiense Inferior).

#### GIMNOSPERMAS

#### CONIFERAS

Cf. *Paleocypris falsani* SAPORTA (foto 22)

J. MENÉNDEZ AMOR, en un trabajo publicado por el IGME en 1951, describe dos tipos de *Paleocypris*: el *P. itieri* y el *P. falsani*. De este último dice que la ramita presenta diminutas hojas imbricadas y decusadas, ovalado-lanceoladas y obtusas, sin puntuaciones glandulosas. De estos dos ejemplares no adjunta dibujo ni fotografía alguna. En el Museo Martorell existe un fósil clasificado como *P. falsani* SAP que es muy similar al que incluyo en este trabajo.

El nuestro tiene una longitud de 155 mm y provisionalmente queda englobado dentro de esta especie.

*Brachyphyllum gracile* BRONGN. (foto 23)

Poseo varios ejemplares pertenecientes a esta especie. Carlos TEIXEIRA, en su trabajo sobre la flora de Santa María de Meyá (1954), nos dice acerca de un ejemplar de FERRER que se trata de un *Sphenolepis*; en opinión de FERRER, ambos fósiles es posible pertenezcan a la misma especie.

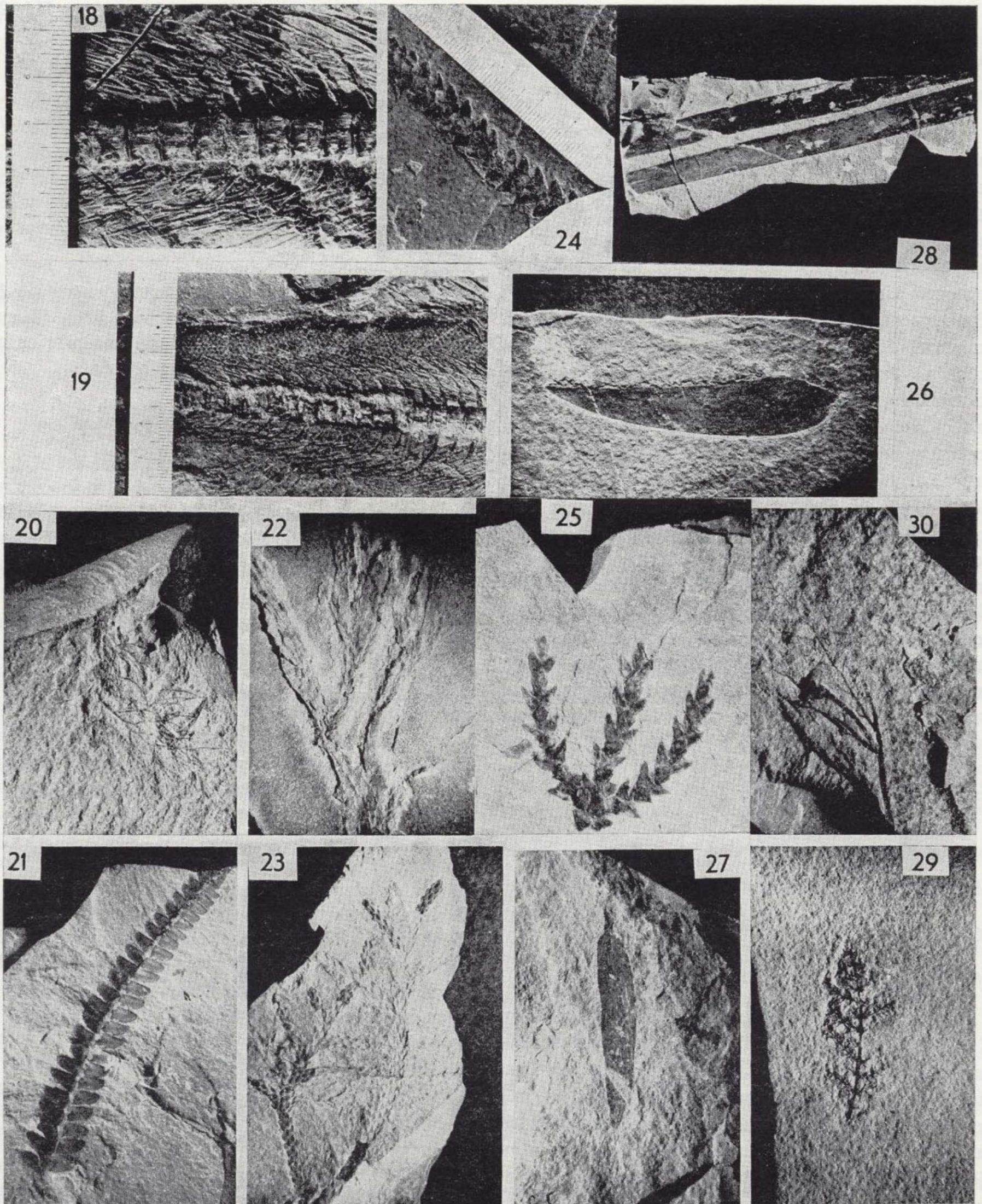
TEIXEIRA incluye al *Sphenolepis* dentro de las *Araucarias*. El fósil que aquí incluyo mide 65 mm. Se trata de ramitas con las hojas imbricadas, oblongas y con la terminación aguda.

*Pagiophyllum cirinicum* SAP (fotos 24 y 25)

Se trata de una conífera abundante en el yacimiento; incluyo aquí dos ejemplares, uno con terminación triple, amablemente cedido por el Dr. FERRER para su inclusión en este trabajo. El otro es más alargado y presenta ciertas diferencias con el anterior.

Tipo *Zamites* (fotos 26 y 27)

En 1902, René ZEILLER describe el *Zamites* cf. *acerosus* SAP diciendo de esta hojita que tiene forma lanceolada, los bordes laterales convergiendo casi desde la base al vértice, que es afilado en punta muy aguda y da su clasificación como provisional. J. MENÉNDEZ AMOR, en 1951, crea la nueva especie *Zamites fallax* SAP. Estas hojas eran consideradas como cicadáceas por estos autores, es decir, plantas similares a palmeras, pero de distinta estructura. Posteriormente, C. TEIXEIRA clasifica tres impresiones remitidas por el Dr. FERRER como del tipo *Podozamites*, considerándolas *cycadophites*. Más adelante se han considerado estas hojas como *Benettitales* (similares a las cicadáceas actuales, pero con los órganos de reproducción diferentes). También se ha pensado la posibilidad de que este tipo de hojas se encuentre extinguido en la actualidad. Inserto aquí varios tipos de hojas similares, pero que pertenecen a especies distintas. L. EMBERGER, en su libro sobre las plantas fósiles (1968), señala que la inmensa mayoría de plantas consideradas como del tipo zamites son erróneas, siendo muy pocos los ejemplares que efectivamente pertenezcan a verdaderas cicadáceas. Las hojas del tipo zamites poseen una nerviación paralela que se dicotomiza, no tienen pecíolo. Las hojas de Santa María de Meyá, con-



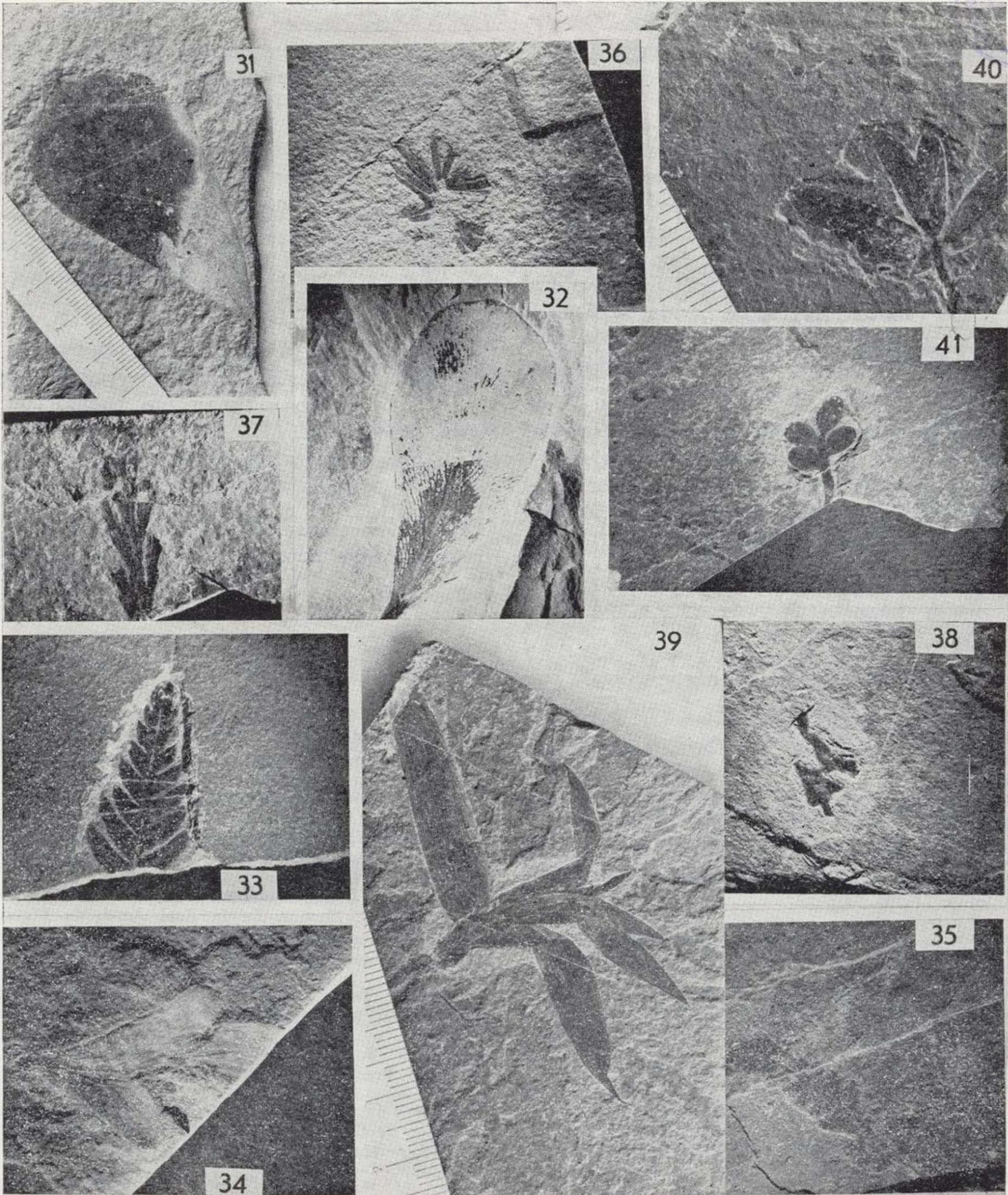
sideradas como del tipo zamites, tienen pecíolo. Es necesario un análisis estomático conciso y una revisión de todas estas hojas.

Algunos ejemplares recuerdan al *Agathis*. Existe también un tipo más alargado y sin pecíolo. Incluyo aquí dos fósiles con pecíolo, midiendo, respectivamente, 32 mm (la del pecíolo más largo) y 45 mm.

#### PROANGIOSPERMAS

*PELOURDEA* (*Yuccites*) (foto 28)

Anteriormente denominado *Yuccites*, es un vegetal abundante en el yacimiento con hojas de más de 300 mm de longitud (si bien la mayoría son más pequeñas); tienen una nerviación paralelnervia, es un vegetal similar a los que crecen en los lugares de charcas.



## ANGIOSPERMAS?

*Montsechia vidali* ZEILLER (foto 29)

El ejemplar que inserto mide 25 mm de longitud. Antiguamente se denominaba a este vegetal *Pseudoasterophyllites vidali*. El profesor lusitano TEIXEIRA, propone, en 1954, la creación de un género nuevo para este vegetal. Su morfología es similar a ciertas angiospermas del género *Myriophyllum*. Es factible, según este autor, que se

trate de una planta acuática de la que aún hoy día se desconoce su taxonomía precisa; este fósil es abundante en el yacimiento.

*Montsechites ferreri* TEIXEIRA (foto 30)

Se considera igualmente acuático y similar a ciertas angiospermas del tipo *Ranúnculus*. Parecen contener pequeños frutos o yemas en las axilas de las holitas. El ejemplar que presento en el trabajo mide 42 mm.

NUEVOS EJEMPLARES DE LA FLORA  
PARA EL YACIMIENTO  
DE SANTA MARIA DE MEYA

1. Dos hojas con pecíolo de unos 70 mm de longitud, con un nervio principal muy marcado, del que parten numerosos nervios secundarios que se dicotomizan. La hoja que presenta el pecíolo completo me ha sido facilitada para su inclusión aquí por el ex-catedrático de Historia Natural del INEM (Marius Torres) de Lérida Sr. SIRERA. Estas hojas presentan una morfología idéntica a la de ciertas *Caytoniales*, por lo que es muy probable pertenezcan a este grupo. (Fotos 31 y 32.)

2. Ejemplar de 30 mm de longitud con las frondas del tipo pecopteridiano, con una nerviación central de la que salen nervios secundarios dicotomizados, acercándose más al tipo alethopteridiano (pinnulas mayores). (Foto 33.)

3. Hoja trilobulada de 39 mm de longitud y que posee también una nerviación principal. (Foto 34.)

4. Otro posible helecho de bastante mala conservación y cuya longitud es de 34 mm. (Foto 35.)

5. Planta ramificada en forma de estrella. (Foto 36.)

6. Pequeña planta de 24 mm de longitud y que posee las pínulas en forma de abanico cerrado, estando éstas divididas por algunas nerviaciones paralelas. (Foto 37.)

7. Pequeño ejemplar de escama fruto u hoja de 7 mm. (Foto 38.)

8. Planta de un conjunto de 6 hojas que se abre de una yema, la hoja más larga mediría completa de 45 a 50 mm. Nerviación paralelinervia sin dicotomizarse; estas hojas son similares a las descritas bajo el tipo *Zamites*, pero poseen marcadas diferencias, acercándose más a las hojas del *Agathis*, de momento no se puede asegurar nada hasta verificar su estudio estomático. (Foto 39.)

9. Vegetal con 5 hojas elípticas sin pecíolo, la más larga mide 17 mm y muestra una nerviación paralelinervia, si bien con muchas menos nerviaciones que la anteriormente descrita. Las hojas de este fósil salen de un tallo de 1 mm de grosor. (Foto 40.)

10. Pequeña planta con un tallo de algo más de 1 mm con 4 hojitas ovoides y enteras con 5 nerviaciones internas. (Foto 41.)



Estos tres últimos ejemplares es muy posible pertenezcan a coníferas.

11. Planta de 35 mm de longitud, de la que adjunto un dibujo (fig. 5).

Y hasta aquí, el resumen de los fósiles (peces y vegetales) hallados últimamente, cuento con algunos insectos nuevos, pero es mi intención el aunar más fósiles a fin de aprovechar la oportunidad de su publicación.

Paso a continuación a transcribir la lista de trabajos consultados.

BIBLIOGRAFIA

Peces

BARTRAM, A. W. H.: *The Macrosemiidae, a Mesozoic family of holostean fishes —Geology series—*, vol. 29, núm. 2, British Museum (Natural History), London (1977).

BARTRAM, A. W. H.: *The holostean fish genus Ophiopsis* AGASSIZ *Zool. J. Linn. Soc.*, London (1975).

BELTAN, L. L.: *La faune ichtyologique du Muschelkalk de la Catalogne*. Memor. de la Real Acad. de Cienc. y Art., 3.ª época, núm. 760, vol. XLI, núm. 10, Barcelona (1972).

PIVETEAU, J.: *Traité de Paleontologie*, t. IV, vol. III, Masson et Cie., Paris (1966).

ROMER, A. S.: *Vertebrate Paleontology*, University of Chicago Press. Ltd., London.

SAINT-SEINE (P. de): *Les poissons des calcaires lithographiques de Cerin (Ain)*. Nouvelles archives du Museum d'Histoire Naturelle de Lyon, Lyon (1949).

SAUVAGE, M. H. E.: *Noticia sobre los peces de la caliza litográfica de la provincia de Lérida (Cataluña)*. Mem. R. A. C. y A., Barcelona (1903).

WENZ, S.: *Etude d'un nouveau Notagodus de la province de Lérida (Espagne)*. Bull. Soc. Géol. de France, vol. VI, Paris (1964).

WENZ, S.: *Note préliminaire sur la faune ichtyologique du Jurassique Supérieur du Montsech (Espagne)*. Bull. Soc. Géol. de France, t. X, Paris (1968).

WENZ, S.: *Anatomie et position systématique de Vidalmia, poisson hólósteen du jurassique supérieur du Montsech*. Annales de Paléont. (Vertébrés), t. LVIII, fasc. 1, Paris (1971).

Vegetales

BARALE, G.: *Contribution a l'étude de la flore Jurassique de France: La paleoflore du gisement Kimmeridgien de Creys (Isère)*. Facul. Scienc. Univ. de Lyon, Tesis número 506, Lyon (1970).

BARALE, G.: *Contribution a la connaissance de la Flore des calcaires lithographiques de la province de Lérida (Espagne)*. Frenelopsis rubiesensis n. sp. Review of Paleobotany and Palynology, Amsterdam (1973).

BARALE, G.: *Decouverte de Weichselia reticulata (STOKES & WEBB) FONTAINE emend ALVIN, Filicinee leptosporangiee, dans le Cretace Inferieur de la province de Lérida (Espagne): Implications stratigraphiques et paleoecologiques*. Géobios, núm. 12, fasc. 2, Lyon (1979).

BARALE, G.: *Eretmoglossa, nuevo género de ginkgoformas de las calizas litográficas del Cretácico inferior de la Sierra del Montsech (España)*. Instituto de Estudios Ilerdenses, Lérida (1981).

EMBERGER, L.: *Les plantes fossiles dans leurs rapports avec les végétaux vivants*, Masson et Cie., Paris (1968).

GAUSSEN, H.: *Les Gymnospermes actuelles et fossiles* Lab. Forestier Fac. de Scienc., fasc. III, cap. VI, Toulouse (1964).

MENÉNDEZ AMOR, J.: *Contribución al conocimiento de la flora Kimmeridgiense de Rubies y Santa María de Meyá (Lérida)*, Notas y comunicaciones del IGME, Madrid (1951).

SEWARD, A. C.: *Fossil Plants*, t. III (1963).

TEIXEIRA, C.: *La Flore fossile des calcaires lithographiques de Sta. María de Meyá*. Bol. da Soc. Geol. de Portugal, vol. XII, Lisboa (1964).

ZEILLER, R.: *Sobre algunas impresiones vegetales del*

*Kimmeridgiense de Santa María de Meyá*. Mem. R. A. C. y A., Barcelona (1902).

Varios

BRENNER, P.; GELDMACHER, W., und SCHROEDER, R.: *Ostrakoden und Alter der Plattenkalke von Rubies (Sierra del Montsech. Provincia de Lérida, NE Spanien)*. Neues Jb. Geol. Paläont. Mh., Stuttgart (1974).

CHAVAN, A., et CAILLEUX, A.: *Determination pratique des fossiles*, Masson et Cie., Paris.

FERRER CONDAL, L.: *Nuevos hallazgos en el Jurásico Superior del Montsech*. Notas y comunicaciones del IGME, Madrid (1951).

FERRER CONDAL, L.: *Nota sobre la fauna y flora de las calizas litográficas de Rubies (Lérida)*. Instituto de Estudios Ilerdenses, Rev. Ilerda, Lérida (1956).

LACASA RUIZ, A.: *Estudio del yacimiento Portlandiense del Montsech de Rubies, Lérida (1975)*. Copias en el I. E. I. y en el Mus. Geol. Seminario, Barcelona (actualmente en prensa para su aparición en la revista Ilerda).

LACASA RUIZ, A.: *La facies Purbeck en el Montsech de Lérida*. Rev. Ibérica, núm. 172, Barcelona (1976).

LACASA RUIZ, A.: *La Pedrera de Meià 80 anys d'Historia*. I. E. I., Lérida (1979).

LACASA RUIZ, A.: *La «Pedrera de Rubies», un excepcional yacimiento fosilífero*. Museu de la Ciència, Barcelona (1981).

SCHAIRER, G., und JANICKE, V.: *Neues J. B. Geol. Paläont. Abh.*, 135 (2:171-189), Stuttgart (1970).

SWINERTON, H. H.: *Elementos de Paleontología*. Ed. Omega, Barcelona (1961).

VIDAL, L. M.: *Nota geológica y Paleontológica sobre el Jurásico Superior de la provincia de Lérida*. Bol. IGME, Madrid (1915).

*Mapa Geol. de España*, Hoja núm. 290, Isona, Madrid (1953).

Recibido: Enero 1982.

GEOLOGIA

# Las discordancias progresivas de la cobertera carbonífera de Oejo de la Peña: Testigos de la reactivación de un pliegue del basamento por "Flexural-Slip" (Cordillera Cantábrica).

Por J. L. ALONSO (\*)

RESUMEN

Una cobertera carbonífera, dispuesta sobre un basamento paleozoico más antiguo, muestra diversas discordancias intraformacionales y abanicos de capas, indicando una simultaneidad entre deformación y sedimentación. El basamento consiste en un gran sinclinal que se reactivó por «flexural-slip» durante el depósito de la cobertera. Como consecuencia de esta reactivación, se originan abanicos de capas conservadas en la cobertera situada sobre la zona de charnela del sinclinal, mientras que, en la cobertera situada sobre los flancos, los abanicos de capas están truncados por discordancias intraformacionales. Esta disposición estructural de la cobertera situada sobre los flancos, está producida por la interferencia entre los deslizamientos diferenciales según algunos contactos litostratigráficos, debido al mecanismo de «flexural-slip», y el levantamiento general de los flancos respecto a la zona de charnela. La estructura de la cobertera está controlada, por tanto, por la anisotropía y estructura previa del basamento.

ABSTRACT

A carboniferous sequence overlying an older Paleozoic basement, presents several intraformational unconformities and cumulative wedges, out, showing the close relationships between deformation and sedimentation. The basement forms a large syncline and it can be shown that this structure was reactivated by flexural slip mechanism when the sedimentation of the carboniferous cover took place. So, the cover forms conservative cumulative wedges out are truncated by intraformational unconformities. This disposition of the cover sediments on the limbs of the syncline is produced by the differential upward which took place by flexural slip along some litostratigraphic contacts, added to a general upward of this regions in relationship to the hinge area. The general structure of the cover and the distribution of the sinorogenic carboniferous sediments are controlled by the anisotropy and the previous structure of the basement.

INTRODUCCION

La presencia de abanicos de capas (discordancias progresivas o «cumulative wedges out») y discordancias intraformacionales, como exponentes del carácter simultáneo de la sedimentación y la deformación tectónica, es algo suficientemente conocido en sedimentos sinorogénicos (sistema flysch-molasa) de diversas regiones del mundo (ASHAUSER, 1934; PRUVOST, 1939; Ríos et al., 1943; ROCO y JABOLI, 1958; JULIVERT, 1961; KERR y CHRISTIE, 1965; RIBA, 1973; SEGURET, 1970; REILLE, 1971; GIGOT et al., 1974; PUIGDEFÁBREGAS, 1975; etc.), una buena recopilación bibliográfica sobre este tema puede encontrarse en MIALL (1978). En el Terciario

Inferior de la Cordillera Pirenaica, se han descrito excelentes ejemplos de este tipo de estructuras, algunos de los cuales sirvieron de apoyo a RIBA (1973) para establecer un modelo evolutivo que explicase el cambio lateral de abanicos de capas a discordancias angulares. El autor citado considera que este cambio lateral se produce como consecuencia de un «offlap» seguido de un «onlap» sintectónicos, los cuales podrían estar originados respectivamente por la aceleración inicial y desaceleración subsiguiente de la velocidad de deformación durante el lapso de tiempo correspondiente a una fase tectónica (fig. 1).

En la presente publicación se van a describir las discordancias progresivas-angulares originadas en una cobertera carbonífera que comienza a deformarse desde el primer momento de su depó-

(\*) Departamento de Geotectónica. Facultad de Geología. Universidad de Oviedo.

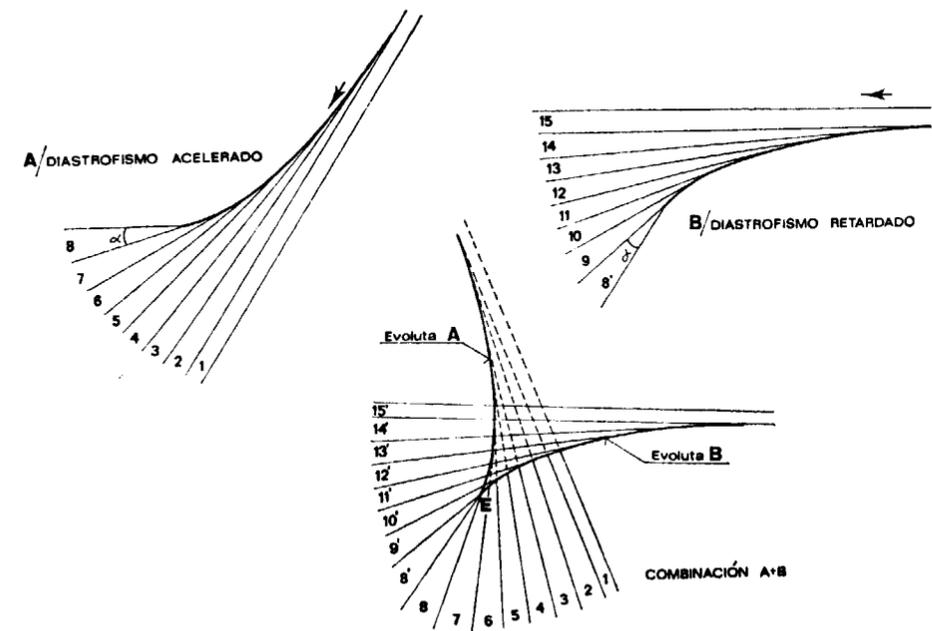


Figura 1.—Modelo de desarrollo de discordancias progresivas. Según RIBA (1973).

sito, el cual tiene lugar sobre unos materiales paleozoicos más antiguos. En estas condiciones, un sinclinal del basamento se reactivó mediante «flexural-slip» y la cobertera se amoldó pasivamente a los escalones producidos en los flancos previamente erosionados de dicho sinclinal, escalones originados por deslizamiento diferencial de ciertas unidades litostratigráficas del basamento al actuar el mecanismo de plegamiento antes mencionado.

Las estructuras de la cobertera (pliegues y fallas sinsedimentarios y las discordancias progresivas-angulares ligadas a ellos) son testigos de los deslizamientos diferenciales entre las unidades litostratigráficas del basamento, y son, en consecuencia, como una referencia gráfica donde queda registrada la evolución estructural del basamento durante y después del depósito de la cobertera.

Hasta el presente, todos los cambios de potencia sinsedimentarios de carácter local, descritos en otras áreas del Paleozoico de la Cordillera Cantábrica, habían sido atribuidos a fallas sinsedimentarias (NEDERLOF, 1959; HELMIG, 1965; WAGNER y VARKER, 1971; VAN LOON, 1972; KNIGT, 1975) y en ningún caso al plegamiento de los materiales subyacentes.

CARACTERISTICAS GENERALES DEL AREA

El área estudiada pertenece a la zona más externa del Macizo Herciniano del NO de la Península Ibérica, denominada Zona Cantábrica (LOTZE, 1945), en donde la anisotropía jugó un papel muy importante durante el desarrollo de la orogenia hercínica: el primer episodio tectónico fue el emplazamiento de mantos de despegue de tipo apalachense (JULIVERT, 1971), los cuales fueron deformados posteriormente por dos generaciones de pliegues con características flexurales (JULIVERT y MARCOS, 1973).

Dentro de la Zona Cantábrica, la situación del área estudiada puede observarse en la figura 2. En este área se presenta una sucesión carbonífera, de edad Cantabriense (WAGNER y WINKLER PRINS, 1979) dispuesta discordantemente sobre unos materiales paleozoicos más antiguos (fig. 3). Para estos dos conjuntos, vamos a utilizar respectivamente las palabras cobertera y basamento, que aquí usaremos sin otro tipo de connotaciones que las puramente geométricas, en el sentido de un conjunto de materiales que reposan discordantemente sobre otros más antiguos.

Desde el punto de vista estratigráfico, la cobertera cantabriense consiste en una sucesión predo-

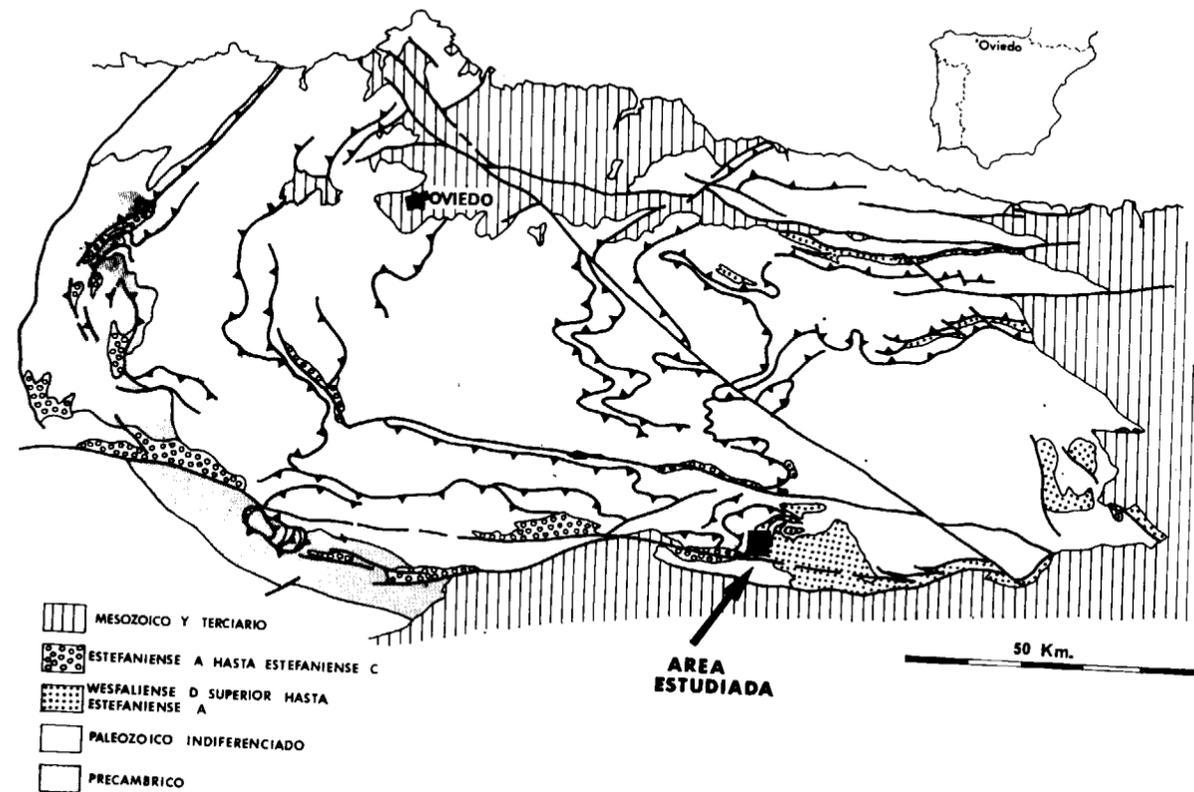


Figura 2.—Esquema de la Zona Cantábrica, indicando la situación del área estudiada.

minantemente conglomerática, con una distribución de facies similar a la que presentan los abanicos aluviales, si bien este término no puede aplicarse en sentido geomorfológico, al tratarse de materiales depositados sobre un importante paleorrelieve previo (figs. 3 y 9). En cuanto a su significado orogénico, estos materiales pueden ser considerados como una molasa en el sentido de VAN HOUTEN (1973). Por otra parte, en el basamento, la sucesión estratigráfica consiste en una alternancia de formaciones carbonatadas y siliciclásticas, depositadas en una plataforma marina estable (COMTE, 1959; RUPKE, 1965) (fig. 3).

Desde el punto de vista estructural, el basamento está constituido por un sinclinal de unos 5 km. de longitud de onda —Sinclinal de Peña Quebrada (figs. 3 y 8)—, deformado por pliegues más tardíos de dirección E-O. Estas dos generaciones de pliegues deforman el Manto del Esla, unidad alóctona a la cual pertenece el basamento representado en la figura 3, si bien la superficie

de cabalgamiento no llega a observarse en dicha figura. Sobre el Sinclinal de Peña Quebrada se dispone una cobertera en retazos (fig. 3), cuya estructura trataremos de describir e interpretar en el presente trabajo.

Entre basamento y cobertera existe, como ya se señaló anteriormente, una discordancia generalizada, fosilizando un paleorrelieve, discordancia que fue denominada «Leónica» por WAGNER (1959). Sobre los depósitos cantabrienses, se sitúan también en discordancia materiales estefanienses, que en la figura 3 únicamente están representados en el ángulo SO de la misma, al S de Santa Olaja. Pero, además de estas dos discordancias de carácter general, que delimitan los materiales cantabrienses, estos últimos albergan en su seno otras discordancias angulares de distribución local, asociadas a una sucesión con rápidos cambios de potencia que se manifiestan como abanicos de capas.

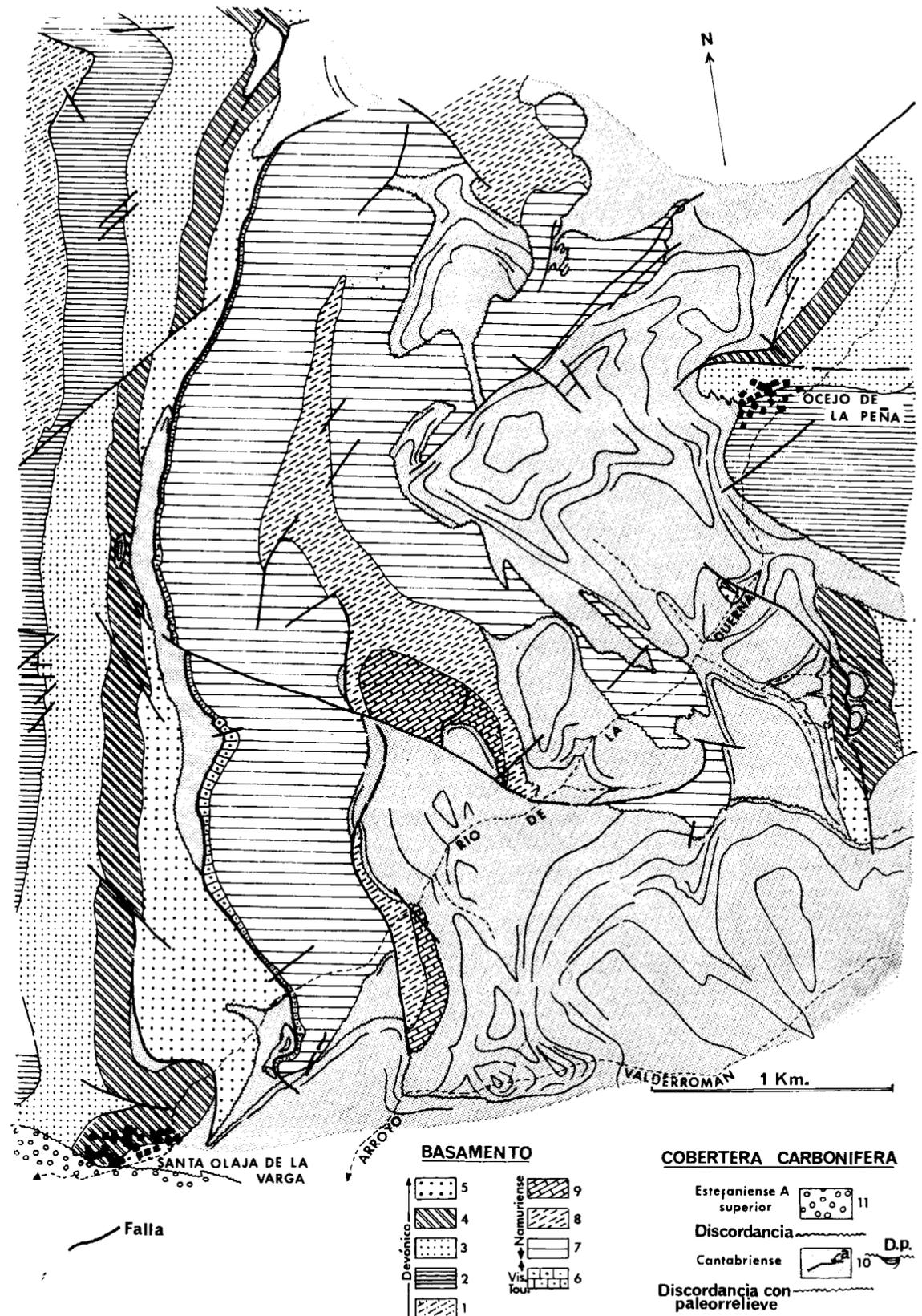


Figura 3.—Esquema geológico del área estudiada. 1: Formación La Vid (lutitas, margas y calizas); 2: Formación Santa Lucía (calizas); 3: Formación Huergas (areniscas, limolitas y lutitas); 4: Formación Portilla (calizas y margas); 5: Conjunto predominantemente terrígeno (sobre todo areniscas), aunque con algunos episodios carbonatados, del Devónico Superior; 6: Formación Alba (calizas y margas en facies «griotte»); 7: Caliza de Montaña (calizas negras tipo Formación Barcaliente); 8: Lutitas, margas y calizas; 9: Calizas negras tipo Formación Barcaliente; 10: Conglomerados generalmente polimícticos, areniscas, pizarras y carbón; a: Traza de capas; D.p.: Discordancias progresivas; 11: Conglomerados cuarcíticos, areniscas y pizarras.

**DISPOSICION DE LAS DISCORDANCIAS PROGRESIVAS. SU RELACION CON LA DEFORMACION DEL BASAMENTO**

Las discordancias progresivas más ilustrativas aparecen al S del río de La Duerna, en los materiales cantabrienses discordantes sobre el flanco occidental del Sinclinal de Peña Quebrada (figuras 4 y 9), materiales en donde se aprecia el paso de abanicos de capas a discordancias angulares, tal como ha sido descrita por RIBA (1973) en las molasas pirenaicas.

En este área (fig. 4), la cobertera cantabriense está constituida por dos unidades estratigráficas bien diferenciadas. La unidad basal tiene como rasgo distintivo más evidente su color rojo, debido a la presencia de arcillas rojas como constituyente predominante de la matriz de los conglomerados; los cantos son de naturaleza variada, si bien los cantos calcáreos con abundancia de fósiles devónicos son los más abundantes, aunque también están presentes cantos de calizas negras namurienses y cantos de areniscas. Otra característica distintiva de esta unidad es la profusión

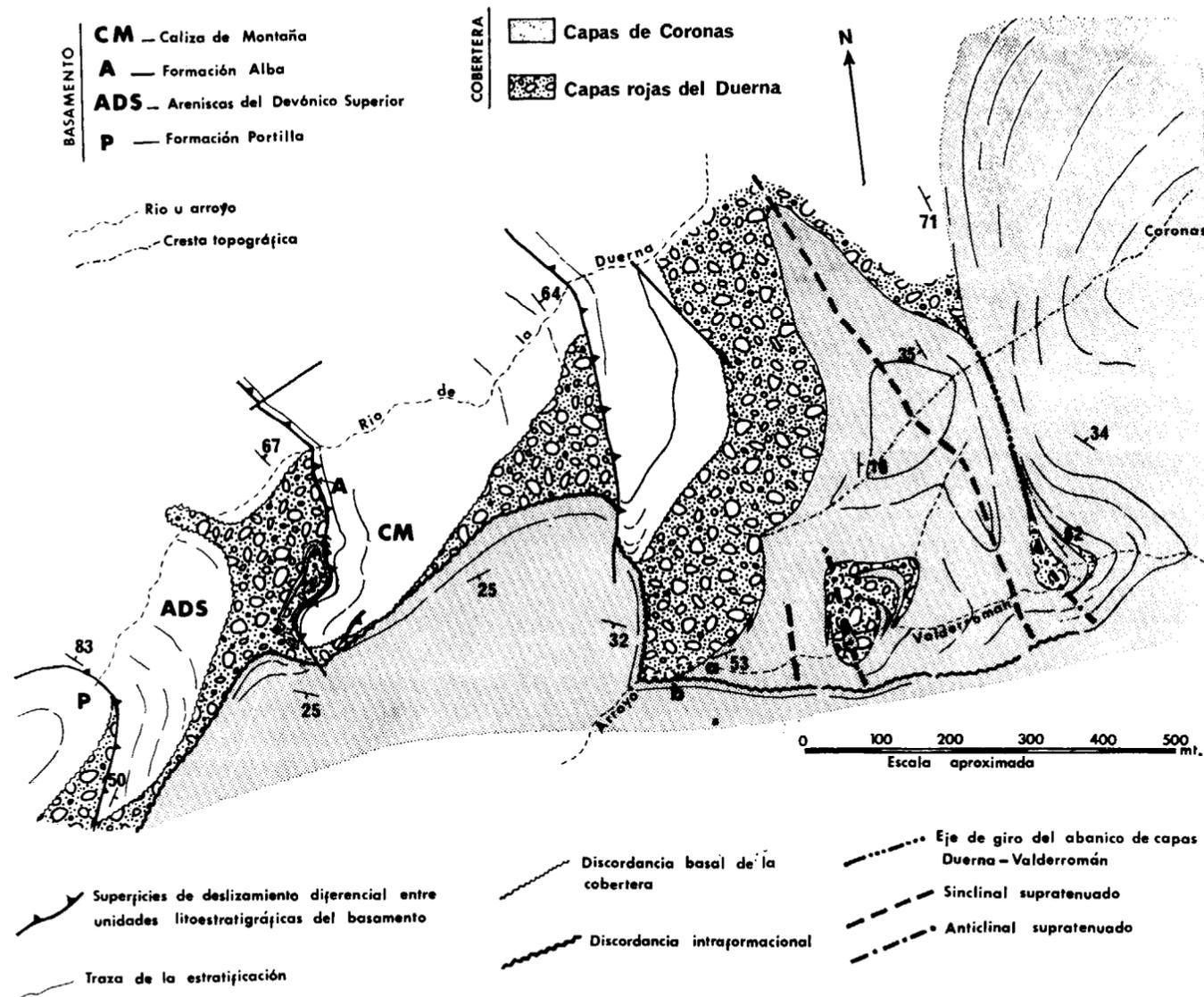


Figura 4.—Mapa realizado sobre foto aérea, mostrando el extremo meridional del flanco W del Sinclinal de Peña Quebrada y sus relaciones con la cobertera discordante, entre el río de La Duerna y el arroyo Valderromán.

de cantos blandos. La descripción de una sección detallada de esta sucesión puede encontrarse en OELE y MABESONE (1963). Hacia el E, ya fuera del área representada en la figura 4, estas capas rojas con predominio conglomerático pasan lateralmente a materiales más finos con capas de carbón.

Sobre las capas rojas descritas, se sitúa otra unidad estratigráfica que consiste en conglomerados polimícticos con matriz litarenítica. No presenta cantos blandos y los cantos más abundantes son de calizas negras.

Para referirnos a estas dos unidades, hablaremos respectivamente de Capas rojas del Duerna y Capas de Coronas, ya que es en estas dos localidades (fig. 4) donde están mejor representadas y donde pueden obtenerse las mejores secciones.

La distribución cartográfica de estas dos unidades puede observarse en la figura 4. En esta figura, si realizamos un recorrido de E a O, pueden verse las siguientes estructuras: un anticlinal con una charnela muy aguda que representa el eje de giro de un abanico de capas que puede observarse en la ladera S del río Duerna y en la ladera N del arroyo Valderromán (figs. 5 y 6), anticlinal que se amortigua hacia el S, en donde se manifiesta como un anticlinal supratenuado; más al O se presenta un sinclinal supratenuado y a continuación un anticlinal y un sinclinal supratenuados de trazas muy cortas comparativamente con las anteriores. En los núcleos de los anticlinales anteriormente mencionados y en el flanco occidental de este último sinclinal, aflora la unidad roja



Figura 5.—El abanico de capas Duerna-Valderromán en la ladera S del valle de La Duerna.

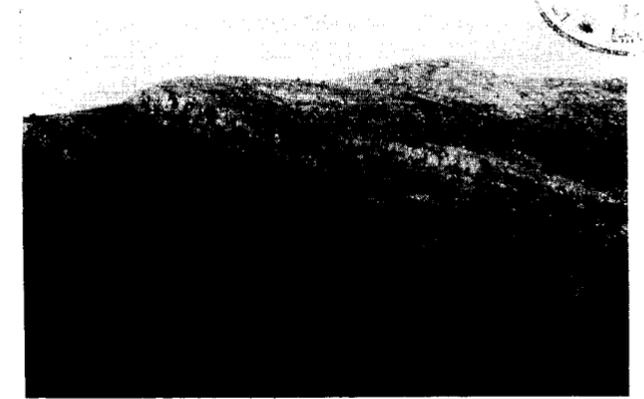


Figura 6.—Parte inferior del abanico de capas Duerna-Valderromán en la ladera N del valle de Valderromán.

basal en tránsito digitado con las Capas de Coronas (fig. 4).

En el área situada aún más al O, los niveles más altos de las Capas de Coronas pasan a disponerse en discordancia angular sobre las Capas rojas del Duerna, tal como puede observarse en el sector más occidental del arroyo Valderromán (fig. 4). La desaparición de la parte basal de la sucesión de Coronas a partir de este sector, no sólo se manifiesta en la oblicuidad de estos materiales y de los de la sucesión roja basal respecto a las capas superiores de Coronas, sino también debido a que las litofacies de los conglomerados inferiores y superiores de Coronas es ligeramente diferente en esta parte más occidental del arroyo de Valderromán. Así, mientras en los conglomerados situados en el punto *a* de la figura 4, los cantos silíceos provienen de cuarcitas blancas de grano fino, en los conglomerados de la capa discordante (*b* en la figura 4) los cantos silíceos son de areniscas amarillas de grano grueso, y están en una proporción mucho menor que en el caso anterior.

Si continuamos el recorrido hacia el O, veremos que las Capas superiores de Coronas continúan apoyándose en discordancia sobre las Capas rojas del Duerna, fosilizando, por otra parte, una serie de fallas que suponen deslizamientos diferenciales entre formaciones del basamento, las cuales cabalgan a las capas rojas. Estas fallas se producen en los siguientes contactos estratigráficos: en el contacto entre la Caliza de Montaña y las margas y pizarras superiores, en la base de la Formación Alba, y en el contacto entre la Formación Portilla y las Areniscas del Devónico Superior.

de cantos blandos. La descripción de una sección detallada de esta sucesión puede encontrarse en OELE y MABESONE (1963). Hacia el E, ya fuera del área representada en la figura 4, estas capas rojas con predominio conglomerático pasan lateralmente a materiales más finos con capas de carbón.

Sobre las capas rojas descritas, se sitúa otra unidad estratigráfica que consiste en conglomerados polimícticos con matriz litarenítica. No presenta cantos blandos y los cantos más abundantes son de calizas negras.

Para referirnos a estas dos unidades, hablaremos respectivamente de Capas rojas del Duerna y Capas de Coronas, ya que es en estas dos localidades (fig. 4) donde están mejor representadas y donde pueden obtenerse las mejores secciones.

La distribución cartográfica de estas dos unidades puede observarse en la figura 4. En esta figura, si realizamos un recorrido de E a O, pueden verse las siguientes estructuras: un anticlinal con una charnela muy aguda que representa el eje de giro de un abanico de capas que puede observarse en la ladera S del río Duerna y en la ladera N del arroyo Valderromán (figs. 5 y 6), anticlinal que se amortigua hacia el S, en donde se manifiesta como un anticlinal supratenuado; más al O se presenta un sinclinal supratenuado y a continuación un anticlinal y un sinclinal supratenuados de trazas muy cortas comparativamente con las anteriores. En los núcleos de los anticlinales anteriormente mencionados y en el flanco occidental de este último sinclinal, aflora la unidad roja

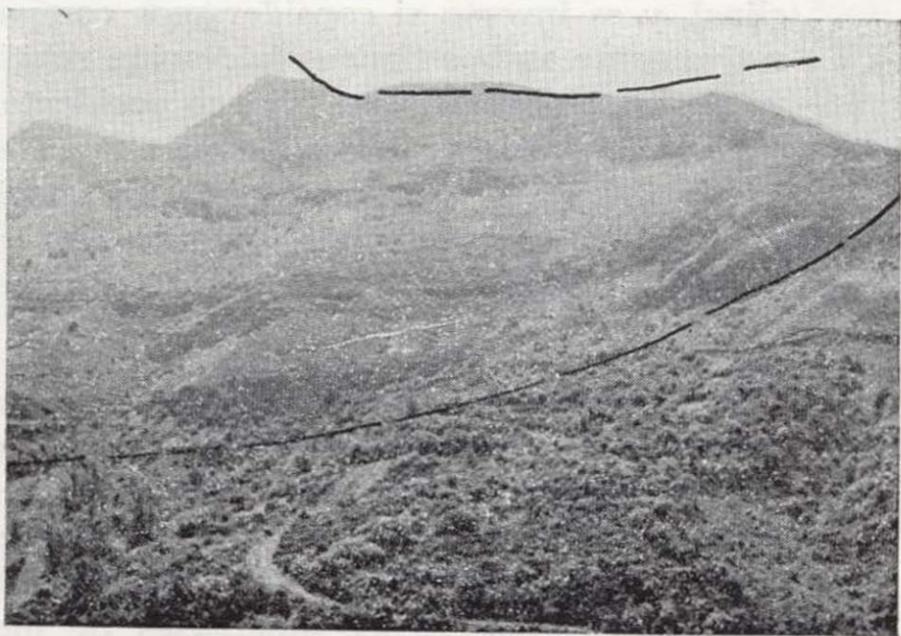


Figura 5.—El abanico de capas Duerna-Valderromán en la ladera S del valle de La Duerna.

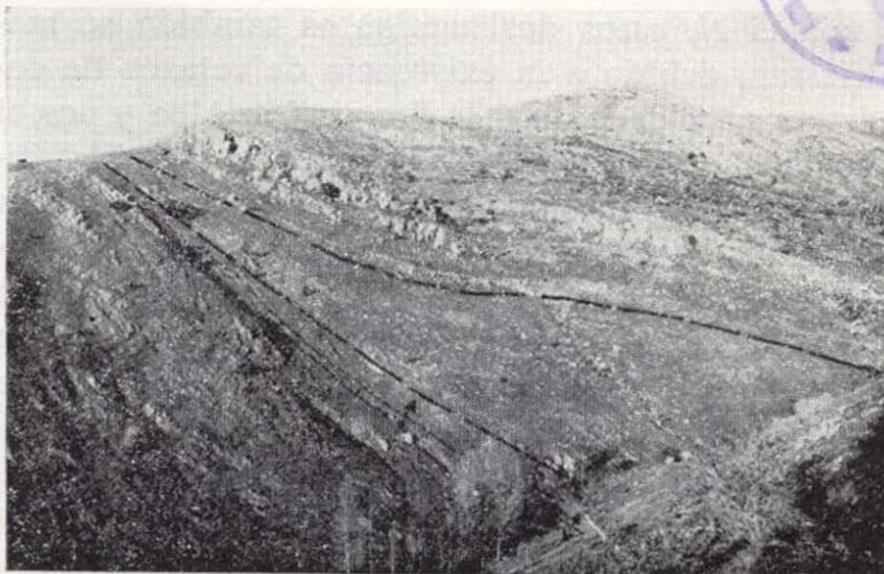


Figura 6.—Parte inferior del abanico de capas Duerna-Valderromán en la ladera N del valle de Valderromán.

basal en tránsito digitado con las Capas de Coronas (fig. 4).

En el área situada aún más al O, los niveles más altos de las Capas de Coronas pasan a disponerse en discordancia angular sobre las Capas rojas del Duerna, tal como puede observarse en el sector más occidental del arroyo Valderromán (fig. 4). La desaparición de la parte basal de la sucesión de Coronas a partir de este sector, no sólo se manifiesta en la oblicuidad de estos materiales y de los de la sucesión roja basal respecto a las capas superiores de Coronas, sino también debido a que las litofacies de los conglomerados inferiores y superiores de Coronas es ligeramente diferente en esta parte más occidental del arroyo de Valderromán. Así, mientras en los conglomerados situados en el punto *a* de la figura 4, los cantos silíceos provienen de cuarcitas blancas de grano fino, en los conglomerados de la capa discordante (*b* en la figura 4) los cantos silíceos son de areniscas amarillas de grano grueso, y están en una proporción mucho menor que en el caso anterior.

Si continuamos el recorrido hacia el O, veremos que las Capas superiores de Coronas continúan apoyándose en discordancia sobre las Capas rojas del Duerna, fosilizando, por otra parte, una serie de fallas que suponen deslizamientos diferenciales entre formaciones del basamento, las cuales cabalgan a las capas rojas. Estas fallas se producen en los siguientes contactos estratigráficos: en el contacto entre la Caliza de Montaña y las margas y pizarras superiores, en la base de la Formación Alba, y en el contacto entre la Formación Portilla y las Areniscas del Devónico Superior.

Hacia el N, estos deslizamientos también se manifiestan, debido a la existencia de retazos de cobertera cabalgados por la Formación Alba y por el miembro superior de la Formación Portilla (figuras 3 y 8). Cuando la estratificación está bien desarrollada en la sucesión cabalgada por las formaciones del basamento, se suelen presentar en dicha sucesión sinclinales muy asimétricos, con la zona de charnela adosada a las superficies de deslizamiento, llegando a tener invertido el flanco oriental, sinclinales que deben haberse originado como consecuencia de dicho deslizamiento (figs. 7 y 8).

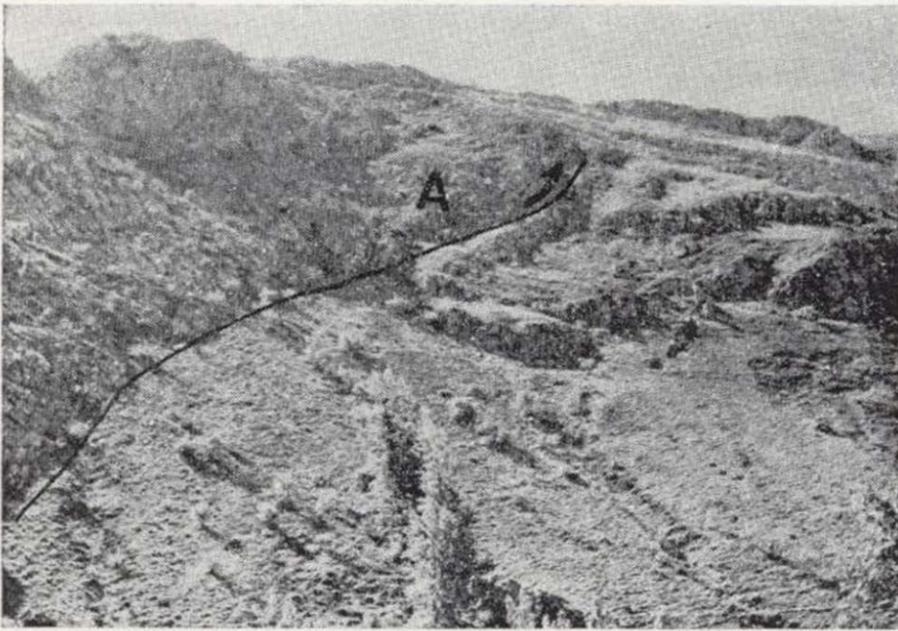


Figura 7.—Sinclinal originado en los materiales cantabrienses por la ascensión relativa de la Formación Alba (A) respecto a las areniscas del Devónico Superior. Las capas que dibujan el sinclinal son conglomerados polimícticos con matriz litarenítica en tránsito digitado con las capas rojas del Duerna. Ladera S del valle de La Duerna; la situación de esta localidad puede observarse en la figura 9.

La disposición estructural de la cobertera que se apoya sobre el flanco oriental del Sinclinal de Peña Quebrada es bastante similar a la descrita en el flanco oriental, pasando de un abanico de capas en los materiales cantabrienses situados sobre la zona de charnela de dicho sinclinal, a una discordancia angular intracantabriense hacia el flanco (figs. 8 y 9). La estructura de los materiales cantabrienses situados por debajo de esta discordancia y el tipo de interacción basamento-cobertera es también semejante, de tal manera que dicha discordancia fosiliza una falla que supone un deslizamiento diferencial que hace cabalgar el miembro superior de la Formación Portilla sobre los materiales carboníferos dispuestos discordan-

temente sobre el resto de la formación, cabalgamiento que hacia el NO, o lo que es lo mismo, hacia arriba en la sucesión estratigráfica de la cobertera, se muestra responsable del desarrollo de un anticlinal y un sinclinal asimétricos presentes en la misma (figs. 3 y 8). Asimismo, se observa la presencia de un sinclinal muy asimétrico en la cobertera instalada sobre las Areniscas del Devónico Superior, sinclinal equiparable al que se presenta sobre esta misma unidad estratigráfica en el otro flanco del Sinclinal de Peña Quebrada. El flanco corto de este sinclinal asimétrico es muy estrecho y ocupa sobre la cartografía el lugar que debería corresponder a la Formación Alba si no existiese la cobertera, por lo que parece adecuado suponer que dicho sinclinal asimétrico se ha desarrollado como consecuencia de la ascensión relativa de la Formación Alba sobre las Areniscas del Devónico Superior, si bien en este flanco del Sinclinal de Peña Quebrada la erosión no ha progresado lo suficiente para dejar al descubierto dicha formación (figs. 3, 8 y 9).

Si tenemos en cuenta la estructura descrita en ambos flancos del Sinclinal de Peña Quebrada, expresada por otra parte en el corte de la figura 9, ésta nos conduce a pensar que la estructura de la cobertera es el resultado pasivo de la reactivación de dicho sinclinal mediante «flexural-slip», mecanismo responsable del deslizamiento diferencial entre las unidades estratigráficas del basamento. Esta afirmación se apoya en los siguientes argumentos:

- a) El movimiento relativo de las unidades que se deslizan entre sí en el basamento, es el mismo en un flanco determinado del sinclinal, y es inverso si consideramos comparativamente ambos flancos (elevación relativa de los bloques E en el flanco occidental y elevación relativa de los bloques O en el flanco oriental). Este sentido de los movimientos relativos está de acuerdo con el que se produciría por «flexural-slip» en el desarrollo de dicho sinclinal.
- b) Las superficies de deslizamiento son en general las mismas en ambos flancos, siendo las más importantes el techo de los niveles margosos que constituyen el miembro medio de la Formación Portilla y la base de la Formación Alba. Otras superficies de menor importancia aparecen en la Caliza de Montaña (figs. 3 y 8).

Hacia el N, estos deslizamientos también se manifiestan, debido a la existencia de retazos de cobertera cabalgados por la Formación Alba y por el miembro superior de la Formación Portilla (figuras 3 y 8). Cuando la estratificación está bien desarrollada en la sucesión cabalgada por las formaciones del basamento, se suelen presentar en dicha sucesión sinclinales muy asimétricos, con la zona de charnela adosada a las superficies de deslizamiento, llegando a tener invertido el flanco oriental, sinclinales que deben haberse originado como consecuencia de dicho deslizamiento (figs. 7 y 8).



Figura 7.—Sinclinal originado en los materiales cantabrienses por la ascensión relativa de la Formación Alba (A) respecto a las areniscas del Devónico Superior. Las capas que dibujan el sinclinal son conglomerados polimícticos con matriz litarenítica en tránsito digitado con las capas rojas del Duerna. Ladera S del valle de La Duerna; la situación de esta localidad puede observarse en la figura 9.

La disposición estructural de la cobertera que se apoya sobre el flanco oriental del Sinclinal de Peña Quebrada es bastante similar a la descrita en el flanco oriental, pasando de un abanico de capas en los materiales cantabrienses situados sobre la zona de charnela de dicho sinclinal, a una discordancia angular intracantabriense hacia el flanco (figs. 8 y 9). La estructura de los materiales cantabrienses situados por debajo de esta discordancia y el tipo de interacción basamento-cobertera es también semejante, de tal manera que dicha discordancia fosiliza una falla que supone un deslizamiento diferencial que hace cabalgar el miembro superior de la Formación Portilla sobre los materiales carboníferos dispuestos discordan-

temente sobre el resto de la formación, cabalgamiento que hacia el NO, o lo que es lo mismo, hacia arriba en la sucesión estratigráfica de la cobertera, se muestra responsable del desarrollo de un anticlinal y un sinclinal asimétricos presentes en la misma (figs. 3 y 8). Asimismo, se observa la presencia de un sinclinal muy asimétrico en la cobertera instalada sobre las Areniscas del Devónico Superior, sinclinal equiparable al que se presenta sobre esta misma unidad estratigráfica en el otro flanco del Sinclinal de Peña Quebrada. El flanco corto de este sinclinal asimétrico es muy estrecho y ocupa sobre la cartografía el lugar que debería corresponder a la Formación Alba si no existiese la cobertera, por lo que parece adecuado suponer que dicho sinclinal asimétrico se ha desarrollado como consecuencia de la ascensión relativa de la Formación Alba sobre las Areniscas del Devónico Superior, si bien en este flanco del Sinclinal de Peña Quebrada la erosión no ha progresado lo suficiente para dejar al descubierto dicha formación (figs. 3, 8 y 9).

Si tenemos en cuenta la estructura descrita en ambos flancos del Sinclinal de Peña Quebrada, expresada por otra parte en el corte de la figura 9, ésta nos conduce a pensar que la estructura de la cobertera es el resultado pasivo de la reactivación de dicho sinclinal mediante «flexural-slip», mecanismo responsable del deslizamiento diferencial entre las unidades estratigráficas del basamento. Esta afirmación se apoya en los siguientes argumentos:

- a) El movimiento relativo de las unidades que se deslizan entre sí en el basamento, es el mismo en un flanco determinado del sinclinal, y es inverso si consideramos comparativamente ambos flancos (elevación relativa de los bloques E en el flanco occidental y elevación relativa de los bloques O en el flanco oriental). Este sentido de los movimientos relativos está de acuerdo con el que se produciría por «flexural-slip» en el desarrollo de dicho sinclinal.
- b) Las superficies de deslizamiento son en general las mismas en ambos flancos, siendo las más importantes el techo de los niveles margosos que constituyen el miembro medio de la Formación Portilla y la base de la Formación Alba. Otras superficies de menor importancia aparecen en la Caliza de Montaña (figs. 3 y 8).

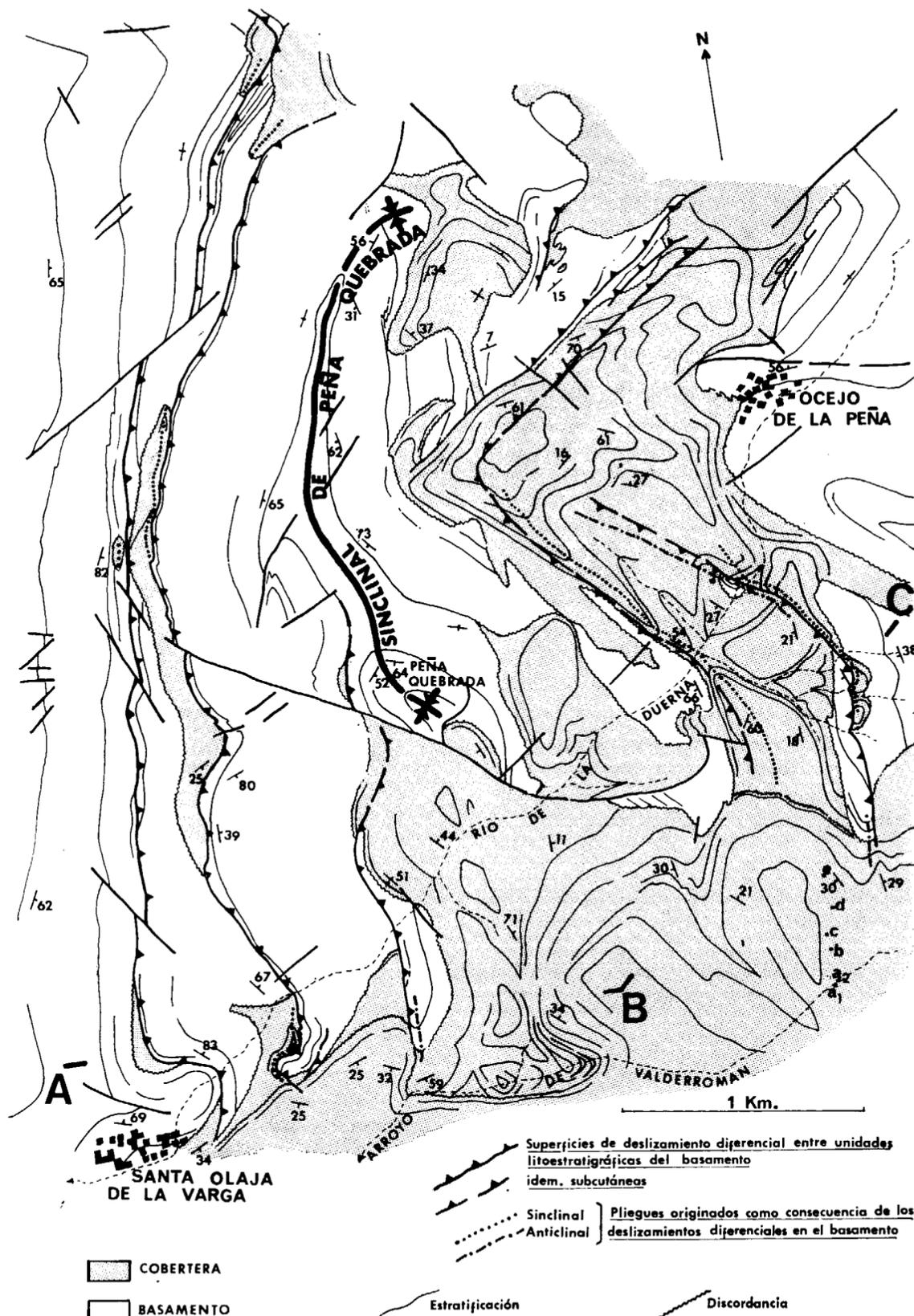


Figura 8.—Esquema estructural del área representada en la figura 3.A-B-C situación del corte de la figura 9.

Evidentemente, hay que suponer que estas superficies son las que han opuesto una menor resistencia al deslizamiento y conviene resaltar el hecho de que siempre están vinculadas a niveles margosos. Desde este punto de vista, es significativo el salto que se produce en la superficie de deslizamiento al N de Santa Olaja (fig. 8), en donde coincidiendo con un cambio lateral de facies, de margas a calizas hacia el S, del miembro medio de la Formación Portilla, la superficie de deslizamiento salta desde la base del miembro superior de dicha formación al techo de la misma.

En un área más oriental a la representada en la figura 3, las superficies de deslizamiento corresponden a algunas superficies de cabalgamiento asociadas al manto del Esla, que fueron reactivadas después de que el manto hubiese sido fosilizado (ALONSO, in litt.). El sentido de deslizamiento relativo de estas superficies está también de acuerdo con el que corresponde a un apretamiento del Sinclinal de Peña Quebrada por «flexural-slip».

c) La disposición de las discordancias progresivas indica su vinculación con la reactivación del sinclinal de Peña Quebrada. En efecto, las discordancias angulares se sitúan sobre los flancos del sinclinal, indicando la elevación global de los mismos respecto a la zona de charnela y el eje de giro de los abanicos (fig. 4) es paralelo al eje del sinclinal. Por otra parte, existe un paso gradual desde los abanicos truncados situados sobre los flancos (fig. 9), de tal modo que, además, las discordancias angulares fosilizan prácticamente los desplazamientos diferenciales entre las unidades estratigráficas del basamento. Estos hechos indican, por tanto, que las discordancias progresivas están vinculadas a la reactivación del Sinclinal de Peña Quebrada mediante «flexural-slip», y las discordancias angulares postdatan dicho movimiento. El cese del movimiento por «flexural-slip» debió ser brusco, ya que el «onlap» se realiza prácticamente con una sola capa (fig. 4).

No obstante, la instalación de las discordancias angulares sobre los flancos del sinclinal no signi-

ficó el cese de la reactivación del mismo, ya que las capas situadas sobre tales discordancias siguen plegándose en la misma dirección. Así sucede fundamentalmente en aquellas situadas sobre la zona de charnela del sinclinal (figs. 8 y 9), y este plegamiento es acompañado asimismo de abanicos, lo que significa que el estrechamiento del sinclinal del basamento prosiguió por otro mecanismo. Estos pliegues, que deforman las discordancias y los abanicos de capas, de los cuales el más importante es el anticlinal situado sobre la Caliza de Montaña en el flanco oriental del Sinclinal de Peña Quebrada (fig. 9), poseen una ligera vergencia hacia el O. El basculamiento general de las discordancias angulares intracantabrienses, en un corte transversal del sinclinal (fig. 9), con mayor elevación de la que está situada sobre el flanco oriental, puede ser también indicativo de la vergencia de estos movimientos posteriores. Se debe de tener en cuenta también, no obstante, que estas discordancias intraformacionales están plegadas por los pliegues de dirección E-O, de tal manera que actualmente pueden verse inclinadas entre 20-30° aproximadamente hacia el S (fig. 4).

En resumen, por tanto, se puede concluir que el análisis de las discordancias progresivas del área permite no sólo llegar a conocer ciertos aspectos de la evolución temporal de la estructura de la cobertera, sino también, indirectamente, algunos referentes a la evolución temporal de la deformación del basamento, que de otro modo sería probablemente más difícil poner en evidencia.

*Datación de las discordancias intracantabrienses*

Hasta el presente, la única datación de los materiales discordantes representados en la figura 3 había sido realizada en las proximidades de la localidad de Oejo, en la parte basal de la sucesión. En esta localidad se encontró una flora considerada en principio como de edad Westfaliense D Superior-Cantabriense (WAGNER, 1959), y más recientemente ha sido reasignada al Cantabriense Inferior (WAGNER y WINKLER PRINS, 1979).

Durante la realización del presente trabajo se ha recolectado flora fósil en varios yacimientos localizados aproximadamente en un mismo nivel estratigráfico, situado ligeramente por encima de las discordancias angulares (yacimientos a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, b, c, d y e en la figura 8). Las especies recogidas (cla-

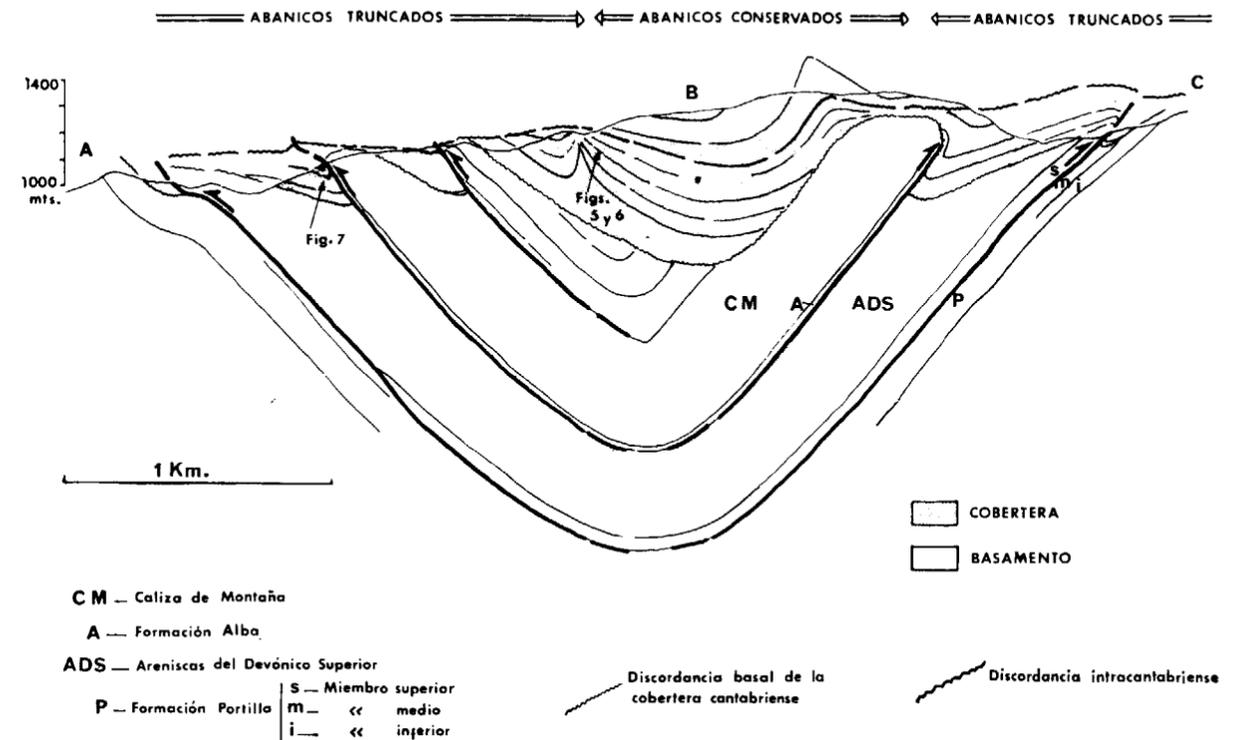


Figura 9.—Corte geológico a través del Sinclinal de Peña Quebrada, según la dirección señalada en la figura 8.

sificadas por P. LORENZO, del Departamento de Geología de la Universidad de León), se indican en la tabla 1.

TABLA 1

*Yacimiento*

- a<sub>1</sub> - *Neuropteris* cf. *scheuchzeri* HOFFMAN
- Pecopteris hemitelioides* BROGNIART
- Annularia stellata* (VON SCHLOTHEIM) WOOD
- Calamostachys tuberculata* (STERNBERG)
- Sphenophyllum* sp.
- Pecopteris* spec. div.
- Sphenopteris* sp.
- Pecopteris ocejenensis* WAGNER
- Callipteridium* cf. *jongmansi* (BERTRAND)
- Odontopteris* cf. *robusta* ZALESSKY
- a<sub>2</sub> - *Odontopteris cantabrica* WAGNER
- Pecopteris* cf. *lepidorachis* BOAGNIART
- Odontopteris cantabrica* WAGNER
- Pecopteris* cf. *lepidorachis* BROGNIART
- Pecopteris polymorpha* BROGNIART
- Pecopteris* cf. *gothani* GUTHIOL

- Annularia stellata* (VON SCHLOTHEIM) WOOD
- Alethopteris* sp.
- Lepidodendron* cf. *dissitum* SAUVEUR
- Mixoneura wagneri* LORENZO
- Pinnularia* sp.
- Mixoneura* sp.
- Linopteris* sp.
- Pecopteris* spec. div.
- Sphenopteris* sp.

- b - *Neuropteris ovata grandeur* WAGNER
- Sphenophyllum oblongifolium* (GERMAN y KAULFUSS)
- Pecopteris* spec. div.

- c - *Annularia stellata* (VON SCHLOTHEIM) WOOD
- Linopteris florini* TEIXEIRA
- Sigillaria brardi* BROGNIART
- Pecopteris polymorpha* BROGNIART
- Pecopteris monyi* ZEILLER
- Pecopteris* spec. div.
- Sphenopteris* spec. div.

- d - *Alethopteris grandiniodes subzeilleri* W.
- Pecopteris* sp.
- Callipteridium jongmansi* (BERTRAND)

- e-*Neuropteris* cf. *scheuchzeri* HOFFMAN  
*Pecopteris* spec. div.  
*Sigillaria brardi* BROGNIART  
*Annularia sphenophylloides* (ZENKER)  
*Pecopteris polymorpha* BROGNIART  
*Calamites* cf. *gigas* BROGNIART  
 Cf. *Sphenopteris (Oligocarpia) grigori*  
 (ZALEESKY y TCHIRKOVA) WAGNER  
*Linopteris florini* TEIXEIRA

La edad atribuida a esta asociación es un Cantabriense Medio. Dado que estos yacimientos se sitúan por encima de las discordancias intracantabrienses, se puede afirmar que la reactivación del Sinclinal de Peña Quebrada mediante «flexural-slip» había cesado antes del fin del Cantabriense Medio.

#### COMPARACION CON OTRAS REGIONES EN CUANTO AL TIPO DE INTERACCION BASAMENTO-COBERTERA

Es frecuente encontrar en la literatura geológica alusiones relativas a la influencia producida por la reactivación de fracturas del basamento sobre la estructura de la cobertera (WISE, 1964; HODGSON, 1965; HOPPIN & PALMQUIST, 1965; TOSAL, 1968; JULIVERT, RAMÍREZ DEL POZO y TRUYOLS, 1972; FOYO, 1979; etc.). Sin embargo, en raras ocasiones han sido invocados mecanismos de reactivación del basamento similares a los descritos en el presente trabajo, aunque la actuación de las superficies de estratificación como superficies de cizalla es algo comúnmente admitido, y es de esperar que cualesquiera superficie de debilidad existente pueda ser reactivada frente a un nuevo campo de esfuerzos, si su orientación respecto a los mismos es adecuada, y las superficies de estratificación no tienen por qué ser una excepción.

Existen en la literatura geológica dos ejemplos, en donde se describe un mecanismo de interacción basamento-cobertera con cierta similitud a los aquí descritos: BRACE (1958) y HEIM (in BRACE, *op. cit.*) describen el arrastre y cizallamiento producidos en el basamento próximo a la superficie de discordancia, por la reactivación de dicha superficie durante plegamiento de la cobertera. En realidad, se trata del mismo mecanismo que ha sido descrito en el presente trabajo, consistente en un deslizamiento entre superficies, originado en relación con los pliegues, pero su resultado es inverso según señalan estos autores, ya que son

los pliegues de la cobertera los que condicionan la estructura del basamento en una franja próxima a la superficie de discordancia.

#### AGRADECIMIENTOS

Al profesor Dr. Alberto Marcos, quien me introdujo en la problemática del área. También debo agradecer a él y a los profesores Drs. A. Pérez-Estaún y E. Martínez García la lectura crítica del manuscrito original.

#### BIBLIOGRAFIA

- ALONSO, J. L.: Una nueva discordancia pre-«Leónica» fosilizando el Manto del Esla. (Cordillera Cantábrica). *Trab. Geol.*, 12, (in litt.).
- ASHAUER, H.: Die östliche Endigung der Pyrenäen. *Beitr. Geol. Westl. Medit.-Gebiete* 11. Abh. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl., 3 F., H. 10, 115 pp. Trad. Publ. Alem. Geol. Esp., 2, pp. 201-236 (1934).
- COMTE, P.: Recherches sur les terrains anciens de la Cordillère Cantabrique. *Mem. I. G. M. E.*, 60, pp. 1-440 (1959).
- FOYO MARCOS, A.: Interpretación de la estructura de la región de Castro-Urdiales (Santander) mediante una zona de cizalla. *Tecniterrae*, 27, pp. 6-11 (1979).
- GIGOT, P.; GRANDJACQUET, C., y HACCARD, D.: Evolution tectono-sédimentaire de la bordure septentrionale du bassin tertiaire de Digne depuis L'Eocene. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 16, pp. 128-139 (1974).
- HELMIG, H. M.: The geology of the Valderrueda Tejerina, Ocejo and Sabero coal basins (Cantabrian mountains, Spain). *Leidse Geol. Meded.*, 32, pp. 75-149 (1965).
- HODGSON, R. A.: Genetic and geometric relations between structures in basement and overlying sedimentary rocks. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, XLIX, pp. 935-949 (1965).
- HOPPIN, R. A., y PALMQUIST, J. C.: Basement influence on later deformation: the problem, techniques of investigation, and examples from Bighorn mountains, Wyoming. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.*, XLIX, pp. 993-1003 (1965).
- HOUTEN, F. van: Meaning of molasse. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 84, pp. 1973-1976 (1973).
- JULIVERT, M.: Las estructuras del Valle Medio del Magdalena y su significación. *Bol. Geol. Univ. Industrial de Santander*, 6, pp. 33-52 (1961).
- JULIVERT, M.: Décollement tectonics in the Hercynian Cordillera of NW Spain. *Am. Jour. Science*, 270, 1, pp. 1-29 (1971).
- JULIVERT, M., y MARCOS, A.: Superimposed folding under flexural conditions in the Cantabrian zone (Hercynian

- Cordillera, NW Spain). *Am. Jour. Science*, 273, pp. 353-375 (1973).
- JULIVERT, M.; RAMÍREZ DEL POZO, J., y TRUYOLS, J.: Le réseau de failles et la converture post-hercynienne dans les Asturies. *Histoire structurale du Golfe de Gascogne*, 2, v.3-1 to v.3-33. Publ. Inst. Fr. Petrol. Paris (Technip) (1972).
- KERR, J. W., y CHRISTIE, R. L.: Tectonic history of Boothia Uplift and Cornwallis Fold Belt, Arctic Canada. *Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol.*, XLIX, pp. 905-927 (1965).
- KNIGHT, J. A.: The systematics and stratigraphic aspects of the Stephanian flora of the Sabero coalfield, León (NW Spain). Ph. D. Thesis. University of Sheffield (1975).
- LOON, A. J. van: A prograding deltaic complex in the upper carboniferous of the Cantabrian Mountains (Spain): The Prioro-Tejerina basin. *Leidse Geol. Meded.*, 48, 1, pp. 1-81 (1972).
- LOTZE, F.: Fur Gliederung der Varisziden der Iberischen Meseta. *Geotekt. Forsch.*, 6, pp. 78-92 (1945).
- MIALL, A. D.: Tectonic and syndepositional deformation of molasse and other non marine paralic sedimentary basins. *Can. J. Earth. Sc.*, 15, pp. 1613-1632 (1978).
- NEDERLOF, M. H.: Structure and sedimentology of the Upper Carboniferous of the upper Pisuerga Valleys, Cantabrian Mountains, Spain. *Leidse Geol. Meded.*, 24, pp. 603-703 (1959).
- OELE, E., y MABESONE, J. M.: Origin of the Stephanian Red Beds in the Ocejo Basin (prov. of León, Spain). *Leidse Geol. Meded.*, 28, pp. 377-382 (1963).
- PRUVOST, P.: Quelques observations sur le phenomene de plissement faites dans les bassins houillers. *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 5, 9, pp. 307-319 (1939).
- PUIGDEFÁBREGAS, C.: La sedimentación molásica en la Cuenca de Jaca. *Monografías del Inst. Est. Pirenaicos*, número 104 (1975).
- REILLE, J.: Les relations entre tectorogénese et sédimentation sur le versant sud des Pyrenées centrales. *D'après*
- l'étude des formations tertiaires essentiellement continentales*. These Univ. Montpellier, 330 p. (1971).
- RIBA, O.: Las discordancias sintectónicas del Alto Cardener (Prepirineo catalán), ensayo de interpretación evolutiva. *Acta Geol. Hisp.*, VIII, 3, pp. 90-99 (1973).
- RÍOS, J. M.; ALMELA, A., y GARRIDO, J.: Contribución al conocimiento de la zona sub-pirenaica catalana. Primera parte: Observaciones geológicas sobre el borde sur de los Pirineos Orientales. *Bol. I. G. M. E.*, 56, pp. 337-389 (1943).
- ROCCO, T., y JABOLI, D.: Geology and hydrocarbons of the Po Basin. In *Habitat of oil*. Edited by K. G. Weeks. *Am. Ass. Petrol. Geol.*, pp. 1153-1167 (1958).
- RUPKE, J.: The Esla nappe, Cantabrian Mountains (Spain). *Leidse Geol. Meded.*, 32, pp. 1-74 (1965).
- SEGURET, M.: Etude tectonique des nappes et séries décollées de la partie centrale du versant Sud des Pyrénées. Caractère synsédimentaire, rôle de la compression et de la gravité. These Fac. Sc. Montpellier, 224 p. (1970).
- TOSAL, J. M.: Relaciones zócalo-cobertera en el límite de las provincias de Oviedo y Santander. *Brev. Geol. Ast.*, 1, XII, pp. 9-14 (1968).
- WAGNER, R. H.: Sur la presence d'une nouvelle phase tectonique «leonienne» d'age Wesphaliense D dans le Nord-Ouest de l'Espagne. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 249, pp. 2804-2806 (1959).
- WAGNER, R. H., y VARKER, W. J.: The distribution and development of post-leonian strata (upper Westphalian D, Cantabrian and Stephanian A) in northern Palencia, Spain. *Trab. Geol.* 4, pp. 533-601 (1971).
- WAGNER, R. H., y WINKLER PRINS, C. I.: The lower Stephanian of western Europa. In *Palaeontological characteristics of the main subdivisions of the Carboniferous*. C. R. 8.º Cong. Int. Strat. Geol. Carb. Moscow, 3, pp. 111-140 (1979).
- WISE, D. U.: Microjointing in basement, Middle Rocky Mountains of Montana and Wyoming. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 75, pp. 287-306 (1964).

Recibido: Diciembre 1981

# Estudio mineralógico de las magnetitas de La Berrona (Badajoz) con vistas a su posible concentración

Por: F. GARCIA CARCEDO (\*), J. RUIZ SIERRA (\*), P. ADEVA RAMOS (\*)  
y M.<sup>a</sup> Angustias PALACIOS VIDA (\*)

## RESUMEN

Al moler una muestra mineral las especies mineralógicas más frágiles tienden a acumularse en las fracciones finas, y las especies de mayor dureza en las gruesas.

El objeto de este trabajo es comprobar la existencia de esta segregación granulométrica y determinar sus características. Para ello, se analizan las diferencias de composición química de las distintas fracciones que integran el todouno de referencia. Este todouno, procedente de una zona superficial de un yacimiento magnetítico, viene molido a 8 mm.

Los elementos químicos cuya variación ha sido estudiada en este informe son: hierro (total e ión ferroso), sodio, potasio, fósforo y azufre.

Una vez confirmada la segregación de determinadas especies, se investiga la naturaleza de las mismas con vistas a obtener conclusiones útiles para el beneficio de la mena y el posible aprovechamiento de los componentes de la ganga.

## ABSTRACT

When an ore sample is ground the more fragile mineralogical species tend to settle down in the fine fractions while the harder species do so in the thick size categories.

The aim of this report is to verify the existence of this grain size segregation and to determine its characteristics. To this end, the differences in chemical composition of the various fractions which make up the run of mine in question were analyzed. This run of mine originating in the surface zone of a magnetite deposit were supplied ground to 8 mm.

The chemical elements whose variation was examined in this report are: iron (total and ferrous ion); sodium; potassium; phosphorus and sulphur.

Once the segregation of given species was confirmed, an investigation was carried out on their nature in order to obtain useful conclusions for beneficiation of the mineral and the possible recovery of the gangue components.

### 1. GRANULOMETRIA DE LA MUESTRA

Se efectuó en vía seca y vía húmeda, constatándose una diferencia sustancial de resultados (figura 1, tabla 1). Esta circunstancia parece relacionarse con la existencia de aglomerados de partículas finas que se pueden deshacer por un simple lavado en húmedo.

Por otra parte, el estudio microscópico del todouno reveló que muchos granos están superficialmente atacados y que los productos de descomposición poseen menor cohesión que el núcleo inalterado.

Tomando como referencia la curva granulométrica obtenida, se observa que la proporción de finos inferiores a 1 mm. es alta (40,3 por 100, incluyendo pérdidas). Ello indica que el material es relativamente degradable. Lo anterior podría deberse a una intensa meteorización sufrida por la muestra a causa de su localización en zonas próximas a la montera del yacimiento.

### 2. ANALISIS QUIMICOS POR FRACCIONES. PERDIDAS POR CALCINACION

Sobre los intervalos granulométricos contemplados en el apartado anterior, se verificaron de-

(\*) CENIM.

TABLA 1  
Análisis granulométrico

TAMAÑO mm	ENSAYO VIA SECA		ENSAYO VIA HUMEDA	
	%	% Ac	%	% Acum.
+10	2,1	2,1	0,8	0,8
10 - 8	15,2	17,3	2,6	3,4
8 - 5	23,0	40,3	22,0	25,4
5 - 3	17,9	58,2	17,5	42,9
3 - 2	12,0	70,2	5,1	48,0
2 - 1	15,0	85,2	11,7	59,7
1 - 0,5	1,5	86,7	5,9	65,6
0,5 - 0,25	1,7	88,4	6,0	71,6
0,25 - 0,125	1,4	89,8	6,1	77,6
0,125 - 0,074	2,7	92,5	4,8	82,5
0,074 - 0,043	2,2	94,7	5,3	87,8
0,043 - 0,005	3,4	98,1	7,6	95,4
LAMAS (-0,005)	1,4	99,4	3,2	98,6
Perdidas	0,6	100,0	1,4	100,0
TOTAL	100,0		100,0	

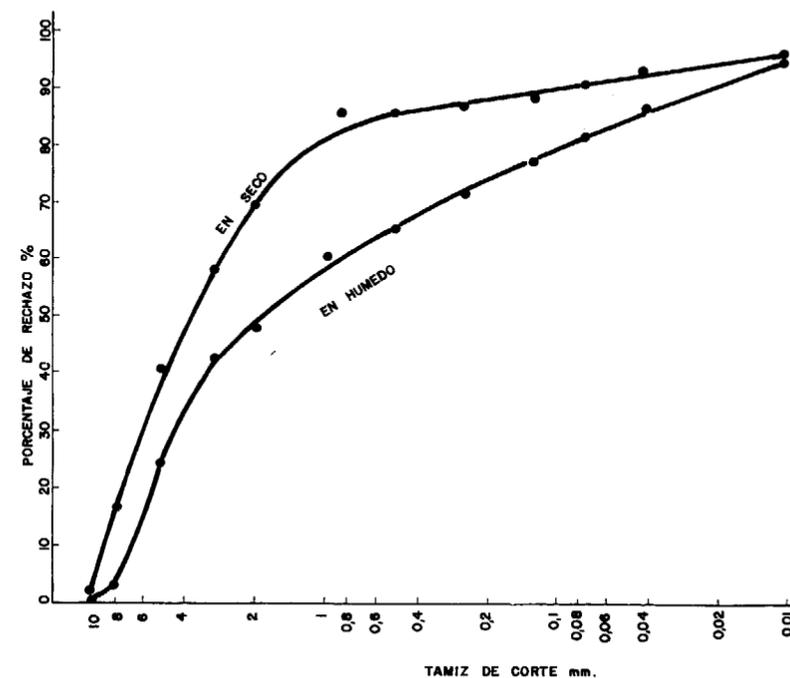


Figura 1.—Curva granulométrica.

terminaciones de Fe<sub>T</sub>, Fe<sup>+2</sup>, Na, K, P y S. Con los datos de cada fracción y el análisis correspondiente a la muestra reconstituida, se calcularon los rendimientos en metal de los elementos citados para 13 intervalos comprendidos en el rango 0-8 mm. (tabla 2).

También se estudiaron relaciones entre algunas de las determinaciones efectuadas a fin de detectar posibles asociaciones de elementos formando agregados minerales. P×C. Por otra parte, se estudiaron las pérdidas por calcinación de cada fracción, observándose que los tamaños menores de 0,5 mm. presentaban ganancia en peso, y los mayores de 0,5 mm. presentaban pérdida de peso. Las ganancias en peso se achacan a la oxidación de la magnetita, especie predominante en las fracciones gruesas.

Las pérdidas se justifican con la pérdida de agua de constitución de limonitas o goethitas y con la descomposición de hidratos pertenecientes a diversas especies mineralógicas abundantes en las fracciones finas.

### 3. DISTRIBUCION DEL HIERRO TOTAL E ION FERROSO

A partir de los datos de la tabla 2 se han realizado histogramas para la distribución de Fe<sub>T</sub> y Fe<sup>+2</sup> según distintos intervalos granulométricos. También se calculó una función que permite calcular el rendimiento en metal de una operación de cribado o deslamado del todouno. A continuación veremos estos histogramas y funciones (figura 2). En esta gráfica se observa que los tamaños inferiores a 43 micras presentan un contenido de Fe<sub>T</sub> notablemente más bajo que los demás. Lo mismo podríamos decir para los contenidos de Fe<sup>+2</sup>. La siguiente figura es la curva que anunciábamos anteriormente (figura 3), que permite calcular el rendimiento en metal de una operación de cribado o deslamado del todouno. Como ejemplo, un deslamado a 43 micras supondría tan sólo una pérdida de 4,9 por 100 en hierro, puesto que esta fracción contiene únicamente el 22,6 por 100 en Fe. Paralelamente, eliminaríamos muchas impurezas que se concentran en los tamaños finos. De esta

TABLA 2

Leyes y rendimientos en metal para los diversos intervalos

Fracción mm	Fe <sub>T</sub>		Fe <sup>+2</sup>		Na		K		P		S							
	Ley Fe %	% Ac.	Ley Fe <sup>+2</sup> %	% Ac.	Ley Na %	% Ac.	Ley K %	% Ac.	Ley P %	% Ac.	Ley S %	% Ac.						
													Rend. Fe	Rend. Fe <sup>+2</sup>	Rend. Na	Rend. K	Rend. P	Rend. S
+10	60,1	1,0	1,0	14,7	1,0	0,60	0,5	0,01	0,1	0,1	0,38	0,8	0,03	0,3	0,3			
10-8	56,9	2,9	3,9	14,9	3,1	4,1	0,72	1,8	2,3	0,02	0,9	1,0	0,38	2,3	3,1	0,05	1,7	2,0
8-5	57,3	24,9	28,8	13,9	25,0	29,1	0,84	18,3	20,6	0,04	16,0	17,0	0,38	20,1	23,2	0,06	17,1	19,1
5-3	56,5	19,5	48,3	14,0	19,9	49,0	0,92	16,0	36,6	0,05	16,0	33,0	0,38	16,0	39,2	0,06	13,5	32,6
3-2	57,7	5,8	54,1	14,4	6,0	55,0	0,76	3,9	40,5	0,03	2,8	35,8	0,38	4,7	43,9	0,07	4,7	37,3
2-1	57,0	13,2	67,3	14,6	13,9	68,9	0,84	9,7	50,2	0,04	8,5	44,3	0,37	10,5	54,4	0,06	9,1	46,4
1-0,5	55,3	6,4	74,1	14,3	6,8	75,7	0,88	5,1	55,3	0,05	5,4	49,7	0,37	5,2	59,6	0,07	5,3	51,7
0,5-0,25	53,5	6,3	80,4	13,5	6,5	82,2	1,08	6,4	61,7	0,05	5,4	55,1	0,45	6,5	66,1	0,07	5,6	57,3
0,25-0,125	51,2	6,2	86,6	13,1	6,5	88,7	1,32	8,0	69,7	0,05	5,6	60,7	0,50	7,4	73,4	0,08	6,1	63,4
0,125-0,074	44,1	4,2	90,8	10,5	4,1	92,8	1,60	7,6	77,3	0,06	5,3	66,0	0,50	5,8	79,2	0,11	6,8	70,2
0,074-0,043	42,2	4,4	95,2	9,1	3,9	96,7	1,52	8,0	85,3	0,08	7,7	73,7	0,62	7,9	87,1	0,13	8,9	79,1
0,043-0,005	22,6	3,4	98,6	4,2	2,6	99,3	1,28	9,6	94,9	0,10	13,8	87,5	0,48	8,8	85,9	0,14	13,8	92,9
Lamas (-0,005)	16,9	1,0	99,6	1,8	0,5	99,8	1,12	3,5	98,4	0,15	8,6	96,1	0,37	2,8	98,7	0,12	4,9	97,8
Pérdidas	17,0	0,4	100	1,8	0,2	100	1,12	1,6	100	0,15	3,9	100	0,37	1,3	100	0,12	2,2	100

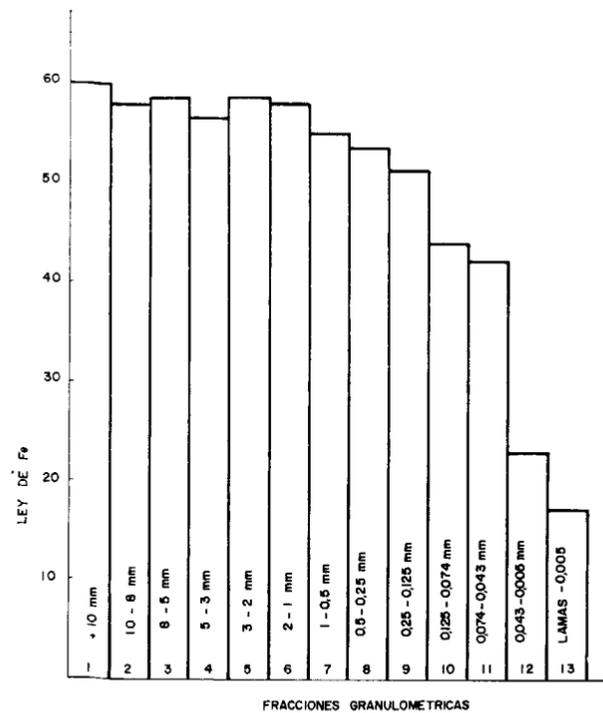


Figura 2.—Análisis de Fe total para distintas granulometrías.

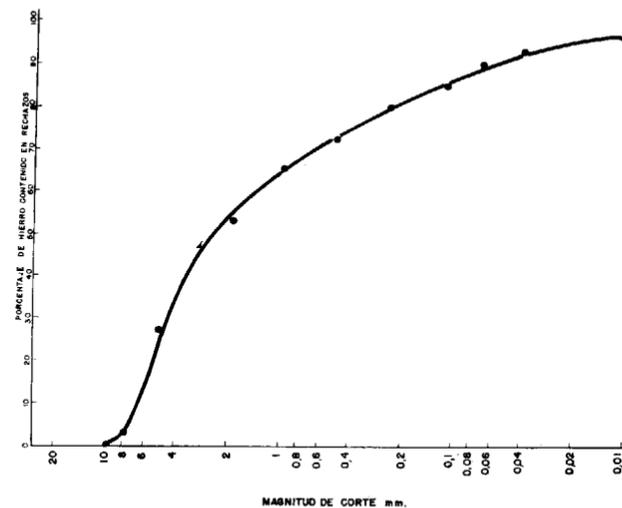


Figura 3.—Posibilidades de enriquecer por cribado en húmedo en función del porcentaje de hierro contenido en los rechazos referido a todo el hierro del T.U.

forma, con esta operación el todouno pasaría de una ley inicial de 50,7 por 100 Fe a otra de 54,9 por 100 Fe con un rendimiento en metal del 95,1 por 100.

Estudiando los valores que toma el cociente  $Fe_T/Fe^{+2}$  para los distintos intervalos granulométricos, y considerando que esta relación vale 3 para la magnetita, se deducen las siguientes conclusiones:

a) Los valores más altos de  $Fe_T/Fe^{+2}$  corresponden a las granulometrías inferiores a 0,125 mm. Ello indica que las fracciones oxidadas resultan más fácilmente degradables, y por tanto la magnetita se acumula preferentemente en los tamaños gruesos.

b) Suponiendo que todo el  $Fe^{+2}$  se halla en forma de magnetita, el  $Fe^{+3}$  en exceso de cada fracción ha de ir en forma de hematites, goethita o limonita. Ello explicaría la aparición de picos para distintos intervalos granulométricos de la función que muestra el exceso de  $Fe^{+3}$  sobre el necesario para formar magnetita.

c) En una operación de deslamado, el hierro que se perdería estaría sobre todo en forma de óxidos férricos hidratados. Ello no habría de repercutir negativamente en la concentración posterior del mineral, puesto que al poseer dichos óxidos una baja susceptibilidad magnética, pasan al rechazo durante la operación de concentración magnética.

d) Las fracciones finas del todouno, además de óxidos de hierro, contienen filosilicatos arcillosos complejos, micas, sílice libre, apatito, feldspatos y cloritas.

#### 4. DISTRIBUCION DE LOS ELEMENTOS ALCALINOS Na Y K

Al igual que se hiciera con el hierro, se prepararon los histogramas de los elementos alcalinos sodio y potasio. El perfil de estas gráficas permite postular la existencia de, al menos, tres especies mineralógicas diferentes (figuras 4 y 5).

*Especie A.*—Localizada en el intervalo 8-3 mm. No parece haber alcanzado su tamaño de liberación. Posee contenidos altos de elementos alcalinos, y se estima que el 34 por 100 del Na y 50 por

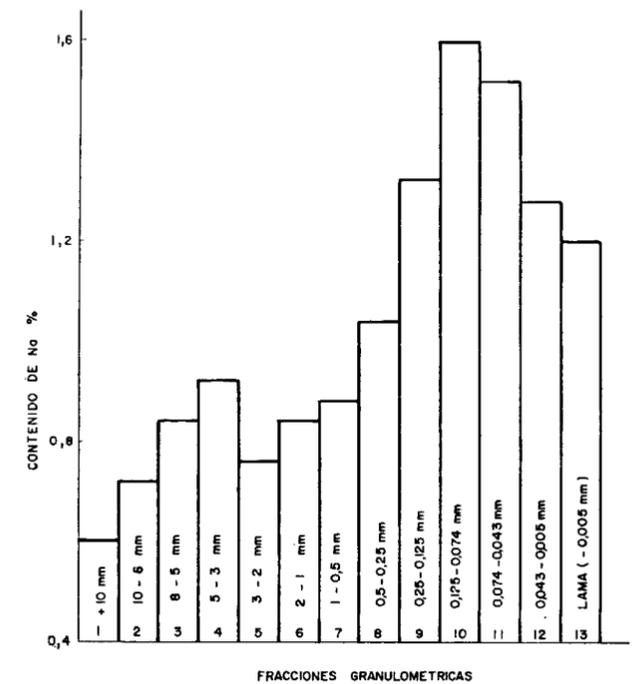


Figura 4.—Análisis de Na para distintas fracciones granulométricas.

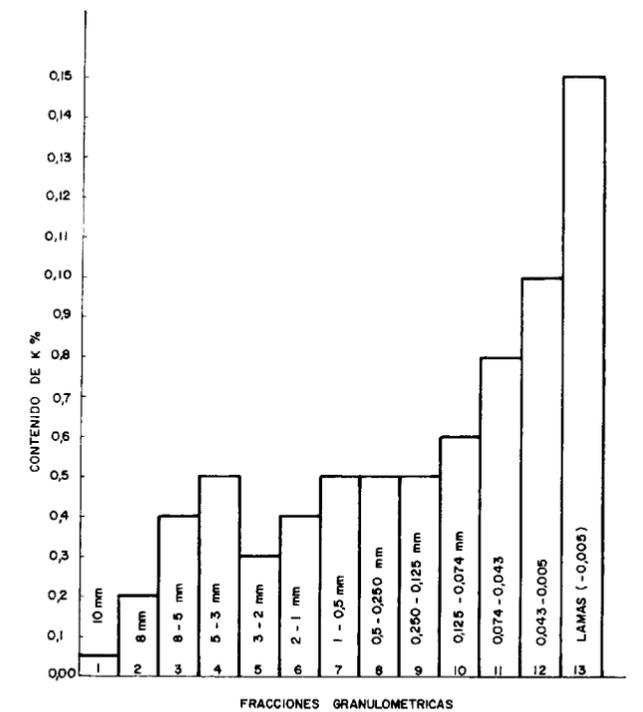


Figura 5.—Análisis de K para distintas fracciones granulométricas.

100 del K total pueden concentrarse bajo esta forma mineralógica.

*Especie B.*—Localizada en el intervalo 0,125-0,043 mm. Tamaño de liberación aproximado, 43 micras. Dureza intermedia. Contiene niveles altos de Na y bajo de K. Se estima que el 16 por 100 del Na y el 14 por 100 del K total pueden encontrarse bajo esta forma mineralógica.

*Especie C.*—Localizada en las lamas, probablemente como constituyente de las arcillas. Es blanda. Contiene niveles intermedios de Na y altos de K. Se estima que el 15 por 100 de Na y el 26 por 100 del K total pueden encontrarse bajo esta forma mineralógica.

La existencia de estas especies ha sido comprobada por medios de la microsonda de Rayos X. Por otra parte, se construyeron las gráficas de rendimiento en alcalinos de distintos deslamados.

Desde el punto de vista siderúrgico, el contenido medio en sodio de la muestra (0,25 por 100) podría dar lugar a que el material fuese inadecuado para su uso directo en el horno alto. Sin embargo, las pruebas de concentración magnética a baja intensidad realizadas a escalas de laboratorio y piloto demostraron que basta una molienda a 104 micras para estar en disposición de obtener concentrados de 0,10 por 100 en Na con un índice de desalcalinización superior al 98 por 100.

## 5. DISTRIBUCION DEL FOSFORO Y EL AZUFRE

Estos dos elementos tienden a segregarse en las fracciones finas, si bien no parece existir una asociación entre ambos, ni entre alguno de ellos y los alcalinos, como se deduce de la exploración realizada con la microsonda de Rayos X.

El fósforo muestra una concentración máxima para la granulometría 0,074-0,043 mm., lo que puede ir relacionado con un tamaño de liberación próximo a las 50 micras y con una especie química relativamente degradable. El hecho de que esta especie química, que fue identificada como apatito, se concentre en una gama de tamaños mayor que las lamas puede facilitar la obtención de una fracción rica en fósforo, obtenida a partir de los rechazos.

El contenido en azufre presenta una ligera disminución en el rango 2-1 mm., pero los datos disponibles apuntan a un tamaño de liberación inferior a las 125 micras. Ello sugiere que la especie química portadora es poco tenaz.

Independientemente de lo anterior, diferentes pruebas de concentración magnética, llevadas a cabo en el CENIM, sobre minerales de las mismas características mineralógicas que el todouno en estudio hacen suponer que una molienda a 60-74 micras permitiría obtener concentrados de alta ley con bajos contenidos de fósforo y azufre.

## 6. ESTUDIO DE LA MUESTRA POR MICROSCOPIA OPTICA Y ELECTRONICA

### *Exploración al microscopio óptico*

La zona interna de los granos presenta estructura magnética con delgadas venas de hematites secundaria (foto 1) y cristales de sílice libre. Frecuentemente los granos se hallan recubiertos por una capa oscura poco consolidada de un material porfídico, que presumiblemente puede ser eliminada por medio de un deslamado. Aparte del cuarzo, los constituyentes más abundantes de la ganga identificados al microscopio fueron anortita (foto 2) y mica.

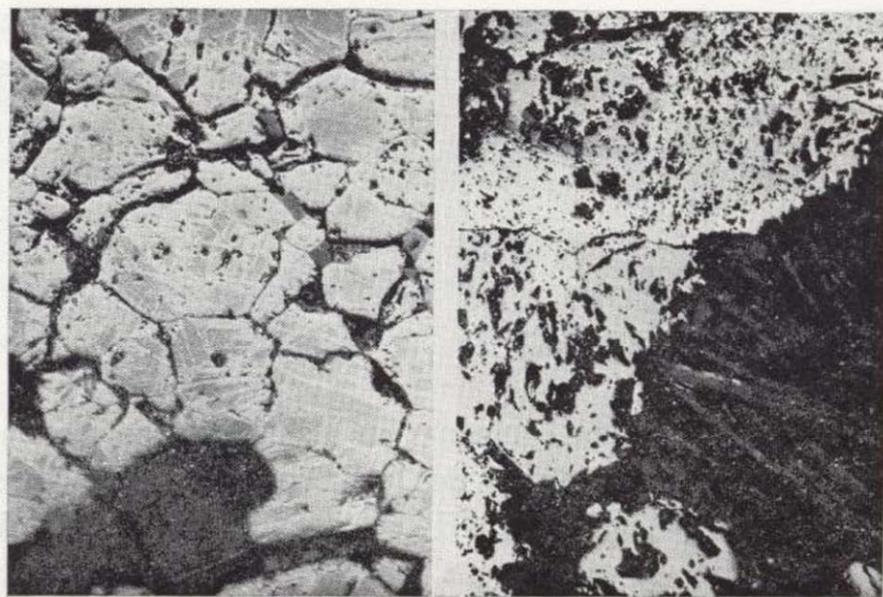


Foto 1.—Cristales de magnetita (gris claro) oxidados a martita (blanco), según planos octaédricos. Granos de cuarzo libre (gris medio). Nícoles paralelos  $\times 756$ .

Foto 2.—Zona limítrofe entre filosilicatos aciculares (gris oscuro), magnetita (gris claro) y hematites (blanco). Nícoles paralelos  $\times 192$ .

100 del K total pueden concentrarse bajo esta forma mineralógica.

*Especie B.*—Localizada en el intervalo 0,125-0,043 mm. Tamaño de liberación aproximado, 43 micras. Dureza intermedia. Contiene niveles altos de Na y bajo de K. Se estima que el 16 por 100 del Na y el 14 por 100 del K total pueden encontrarse bajo esta forma mineralógica.

*Especie C.*—Localizada en las lamás, probablemente como constituyente de las arcillas. Es blanda. Contiene niveles intermedios de Na y altos de K. Se estima que el 15 por 100 de Na y el 26 por 100 del K total pueden encontrarse bajo esta forma mineralógica.

La existencia de estas especies ha sido comprobada por medios de la microsonda de Rayos X. Por otra parte, se construyeron las gráficas de rendimiento en alcalinos de distintos deslamados.

Desde el punto de vista siderúrgico, el contenido medio en sodio de la muestra (0,25 por 100) podría dar lugar a que el material fuese inadecuado para su uso directo en el horno alto. Sin embargo, las pruebas de concentración magnética a baja intensidad realizadas a escalas de laboratorio y piloto demostraron que basta una molienda a 104 micras para estar en disposición de obtener concentrados de 0,10 por 100 en Na con un índice de desalcalinización superior al 98 por 100.

##### 5. DISTRIBUCION DEL FOSFORO Y EL AZUFRE

Estos dos elementos tienden a segregarse en las fracciones finas, si bien no parece existir una asociación entre ambos, ni entre alguno de ellos y los alcalinos, como se deduce de la exploración realizada con la microsonda de Rayos X.

El fósforo muestra una concentración máxima para la granulometría 0,074-0,043 mm., lo que puede ir relacionado con un tamaño de liberación próximo a las 50 micras y con una especie química relativamente degradable. El hecho de que esta especie química, que fue identificada como apatito, se concentre en una gama de tamaños mayor que las lamás puede facilitar la obtención de una fracción rica en fósforo, obtenida a partir de los rechazos.

El contenido en azufre presenta una ligera disminución en el rango 2-1 mm., pero los datos disponibles apuntan a un tamaño de liberación inferior a las 125 micras. Ello sugiere que la especie química portadora es poco tenaz.

Independientemente de lo anterior, diferentes pruebas de concentración magnética, llevadas a cabo en el CENIM, sobre minerales de las mismas características mineralógicas que el todouno en estudio hacen suponer que una molienda a 60-74 micras permitiría obtener concentrados de alta ley con bajos contenidos de fósforo y azufre.

##### 6. ESTUDIO DE LA MUESTRA POR MICROSCOPIA OPTICA Y ELECTRONICA

###### *Exploración al microscopio óptico*

La zona interna de los granos presenta estructura magnética con delgadas venas de hematites secundaria (foto 1) y cristales de sílice libre. Frecuentemente los granos se hallan recubiertos por una capa oscura poco consolidada de un material porfídico, que presumiblemente puede ser eliminada por medio de un deslamado. Aparte del cuarzo, los constituyentes más abundantes de la ganga identificados al microscopio fueron anortita (foto 2) y mica.

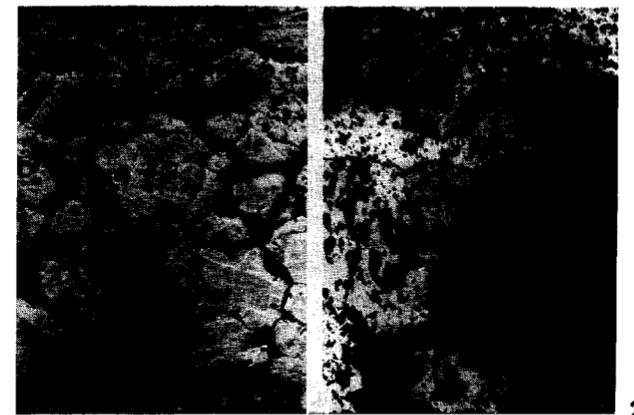


Foto 1.—Cristales de magnetita (gris claro) oxidados a martita (blanco), según planos octaédricos. Granos de cuarzo libre (gris medio). Nícoles paralelos  $\times 756$ .

Foto 2.—Zona límite entre filossilicatos aciculares (gris oscuro), magnetita (gris claro) y hematites (blanco). Nícoles paralelos  $\times 192$ .

###### *Exploración en la microsonda de Rayos X*

Se utilizó la técnica puntual para poner de manifiesto la existencia de, al menos, tres óxidos de hierro diferentes. Así pues, fueron seleccionados tres cristales; uno de ellos reconocido al microscopio óptico como magnetita; otro, de carácter hematítico, y un tercero que estaba localizado en el borde de un grano y aparecía bastante deteriorado. Se efectuaron cinco mediciones por cristal en condiciones de operación constantes y se obtuvieron los siguientes valores:

Cristal núm. 1	Cristal núm. 2	Cristal núm. 3
Media, 30.226	Media, 29.037	Media, 28.557

La hipótesis de que el Cristal núm. 1 sea magnetita y el cristal núm. 2 hematites, se refuerza por el hecho de que la relación entre valores medios de contaje para hierro, es decir, el valor

$$30226/29037=1,04$$

coincide prácticamente con la relación de leyes en hierro de las especies puras  $Fe_3O_4$  y  $Fe_2O_3$ .

$$72,36/69,94=1,035$$

Respecto al cristal núm. 3, todo hace pensar que está constituido por un óxido férrico parcialmente hidratado a limonita.

La aplicación de la microsonda a la ganga, y la comparación de estos resultados con la información obtenida a partir de un Debygrama de Rayos X, permitió determinar la presencia de apatito, clorita y filossilicatos arcillosos complejos.

##### 7. CONCLUSIONES

El análisis de los apartados precedentes puede resumirse en las conclusiones siguientes:

1. El todouno molido a 8 mm. parece ser degradable, conteniendo un 40,3 por 100 de finos inferiores a 1 mm. Este hecho apunta a una intensa meteorización de la muestra y su consiguiente oxidación, hipótesis comprobada por medios químicos y ópticos.
2. Los finos de mineral, que frecuentemente aparecen adheridos a las granulometrías gruesas, contienen poco hierro. Para eliminarlos puede

realizarse un cribado a 43 micras, lo que permitiría pasar de una ley inicial de 50,7 por 100 en Fe a otra de 54,9 con un rendimiento en metal de la operación del 95,1 por 100. Simultáneamente se conseguiría eliminar el 19 por 100 de sodio, 26 por 100 de potasio, 14 por 100 de fósforo y 22 por 100 de azufre presentes en el todouno.

3. Aparte de magnetita se postula la existencia de hematites y óxidos de hierro hidratados, que se concentran preferentemente en las zonas externas de los granos.
4. Las especies minerales detectadas en la ganga son, aparte de los hidratos férricos mencionados, micas, sílice libre, apatito, feldespatos, cloritas y filossilicatos arcillosos complejos. El feldespato más abundante es la anortita.
5. El contenido en sodio es alto, predominando sobre el correspondiente al potasio. Los diagramas de barras y la exploración con la microsonda de Rayos X, indican que al menos existen tres especies químicas portadoras de alcalinos cuyas características son las siguientes:

*Especie A.*—Es un constituyente relativamente duro que contiene niveles intermedios de Na y K. Se localiza preferentemente en la gama 8-3 mm., si bien no parece haber alcanzado su tamaño de liberación. Bajo esta forma se presenta el 34 por 100 de Na y el 50 por 100 de K del todouno.

*Especie B.*—Posee dureza intermedia y contiene niveles altos en sodio, bajos de potasio. Se localiza como especie liberada en el intervalo 0,125-0,043 mm. Bajo esta forma se presenta el 16 por 100 de sodio y el 14 por 100 de potasio del todouno.

*Especie C.*—Es un material blando que contiene niveles altos de K y bajos de Na. Se concentra preferentemente en las lamás, pudiendo ser eliminado por lavado en húmedo. Bajo esta forma se presenta el 14,7 por 100 de sodio y el 26,3 por 100 de potasio total.

6. El fósforo y el azufre tienden a segregarse en las fracciones finas, no pareciendo existir asociaciones entre ambos, ni entre alguno de ellos y los alcalinos, como se deduce de la exploración realizada por medio de la microsonda electrónica de barrido.

7. En la base a los tamaños de liberación de las principales especies de la ganga, cabe pensar que una molienda a 74 micras seguida de una etapa de separación magnética por baja intensidad en vía húmeda podría dar lugar a concentrados magnetíticos de alta ley. (Este extremo ha sido comprobado con éxito por el equipo de Beneficio de Minerales de Hierro, del CENIM.)
8. Si en el enriquecimiento del mineral se incluyese una fase de separación magnética, podría ser de interés realizar un estudio de viabilidad para recuperar el fósforo a partir del rechazo.

## BIBLIOGRAFIA

GARCÍA CARCEDO-RUIZ SIERRA: *Comportamiento en la separación magnética de una muestra de baja ley. Masa*

*mineral La Berrona (Badajoz). Ensayos en Tubo Davis. Publicación restringida CENIM, noviembre 1980.*

GARCÍA CARCEDO-RUIZ SIERRA: *Estudio comparativo de la composición de la muestra de baja ley en relación con la de alta ley. Publicación restringida CENIM, febrero 1981.*

GARCÍA CARCEDO-RUIZ SIERRA: *Eliminación de alcalinos mediante técnicas de separación magnética en dos minerales de hierro nacionales. Industria Minera, agosto-septiembre 1981.*

NIÑO DE OLAIZ Y OTROS: *Estudio preliminar sobre concentración y peletización de un mineral de hierro del SO de España (zona de Cala). Revista de Metalurgia, volumen 4, núm. 2, marzo-abril 1968.*

NIÑO DE OLAIZ-MARTÍN MOYANO: *Estudio de aptitud a la concentración de un mineral de hierro del SO de España (zona de San Guillermo). Industria Minera, núm. 95.*

NIÑO DE OLAIZ Y OTROS: *Aprovechamiento integral de las menas presentes en los minerales magnéticos del SO de España. Revista de Metalurgia, vol. 5, núm. 4, julio-agosto 1969.*

Recibido: Octubre 1981.

## El yacimiento de magnesita de Valderrodero (Asturias, España)

Por M. GUTIERREZ CLAVEROL (\*) y J. GARCIA IGLESIAS (\*\*)

## RESUMEN

Se realiza un estudio de este yacimiento estratiforme, encajado en el nivel carbonatado de la formación «Cándana-Herrería», del Georgiense.

Las paragénesis encontradas (magnesita, dolomita, talco, clorita, cuarzo, pirita y calcopirita), el estudio de las inclusiones fluidas y la relación con otros datos geológicos, permiten establecer una hipótesis epigenético-hidrotermal, en la que los fenómenos de difusión química y metasomatismo han debido ejercer una importante función.

Esta conclusión contrasta con los modelos aplicados a otros yacimientos de magnesita relativamente próximos, en especial el de Pacios (Lugo) y el de Eugui-Asturreta (Navarra), que se describen como de origen sedimentario. Por el contrario, concuerda con la hipótesis epigenético-metasomática establecida para las magnesitas de Serre de Montner (Pirineos orientales franceses).

## ABSTRACT

A geological and mineralogical survey of the strata-bound Valderrodero magnesite deposit which occurs in the carbonated layers of the «Cándana-Herrería» formation (Georgian) is carried out.

An epigenetic-hydrothermal origin is suggested by the mineral paragenesis (magnesite, dolomite, talc, chlorite, quartz, pyrite and chalcopirite), fluid-inclusions and field evidences. In this hypothesis the chemical diffusion and the metasomatism are probably an important phenomena.

This conclusion disagrees with the model of others magnesite ores, specially «Pacios» (Lugo) and «Eugui-Asturreta» (Navarra) that are taken as marine-sedimentary deposits. However, it agrees with the metasomatic-epigenetic hypothesis established for magnesite from «Serre de Montner» in the French eastern Pyrenées.

## 1. INTRODUCCION

En este trabajo se realiza un estudio del yacimiento de magnesita de Valderrodero, término municipal de Salas (43° 27' 05" N - 2° 35' 14" O), único conocido en la región asturiana.

Su actividad comienza en los años 50 y, con ciertas interrupciones, se ha mantenido hasta nuestros días.

La explotación, modesta, se efectúa a cielo abierto; los datos referentes a producciones anuales, según la Cámara Oficial Minera de Asturias, son: 10.730 Tm (1978), 21.530 Tm (1979) y 17.800 Tm (1980). Perteneció primero a la compañía «Magne-

sitas Españolas», y en la actualidad es propiedad de «Molinera Astur, S. A.».

También se ha mencionado la presencia de indicios de magnesita en las localidades próximas de «La Granja» y «Las Gallinas».

Hace varios años se han realizado algunos sondeos para reconocer la posible extensión lateral del yacimiento, pero los testigos y datos obtenidos se han extraviado, por lo que la información oral disponible, que asegura cierta continuidad de la mineralización, requiere verificación.

Las referencias bibliográficas sobre magnesitas en Asturias son escasas (GÓMEZ DE LLARENA, 1950, 1968; RUIZ, 1971; JULIVERT et al., 1977 a; VÁZQUEZ GUZMÁN, 1980), limitándose prácticamente a citar la existencia del yacimiento.

(\*) Departamento de Geología. E. T. S. de Minas. Oviedo.

(\*\*) Departamento de Metalogenia. E. T. S. de Minas. Oviedo.

2. EL MARCO GEOLOGICO

2.1. Geología regional del entorno

Los materiales en que arma el yacimiento pertenecen a la «Serie de Cándana» (LOTZE, 1958) —también denominada «Formación Areniscas de la Herrería» (COMTE, 1959)— del Cámbrico Inferior, y más concretamente a la unidad de «Calle- ras» o basal de «Pilotuerto» (ver cuadro I).

El tramo carbonatado —a veces constituido por más de un nivel— presenta un desarrollo regional notable, pudiendo seguirse su trazado, de manera bastante continua, a lo largo de todo el anticlinorio del Narcea (fig. 1).

El medio deposicional de alguno de los miembros de la formación «Cándana-Herrería» es ligeramente controvertido: la mayor parte de las características litológicas y estratigráficas sugieren un medio somero, pero el hallazgo local, incluso en el nivel carbonatado, de icnofauna del género *Taphrhelminthopsis* en el oeste de Cudillero (ARBOLEYA, 1973) y en la zona de Pilotuerto, así como de estructuras «slumps», seudonódulos y brechas sinsedimentarias, parecen señalar un carácter turbidítico (JULIVERT et al., 1977 b).

La magnesita se sitúa en una zona peculiar —borde oriental del anticlinorio del Narcea—, en cuya proximidad se establece el límite de dos ámbitos geológicos bien diferenciados paleogeográfica y estructuralmente: extremo occidental de la zona cantábrica (LOTZE, 1945) o «Arco Medio» de

la Rodilla Astúrica (MARTÍNEZ ALVAREZ, 1964) y zona Astur occidental leonesa o «Arco externo». El contacto entre ambos se produce mediante un gran accidente NNE-SSO —«cabalgamiento de la Espina»— que se bifurca en la Sierra del Viso, alcanzando la costa una rama en Cudillero —parte de su trazado lo jalona un dique de cuarzo— y la segunda cerca de la desembocadura del río Nalón.

Al O del cabalgamiento se generaliza el desarrollo de microestructuras (foliación s.l.) que configuran al menos dos fases tectónicas: una con esquistosidad de flujo, y otra, posterior, de crenulación. Este dominio presenta un metamorfismo epizonal de bajo grado, perteneciente a la isograda de la clorita y a la zona de los esquistos verdes. Recientemente, en el área del Cabo Peñas se ha establecido, estudiando los polimorfos y el índice de cristalinidad de la illita, el límite anquizona-epizona (BRIME y PÉREZ-ESTAUN, 1980).

En el área de estudio existen afloramientos dispersos de rocas ígneas, predominantemente posttectónicas, emplazadas en materiales que abarcan desde el Cámbrico Inferior al Devónico (fig. 1). Dentro de los granitoides sobresalen, por su mayor proximidad al yacimiento, los stocks de Arcellana (granodioritas y cuarzdioritas) y de Carlés (granodioritas y granogabros), ambos con paragénesis de dominio magmático profundo, alta temperatura y pobre en agua (CORRETEGE et al., 1970). Entre las vulcanitas, además de las ácidas propias del Precámbrico, destacan los afloramientos de los

CUADRO I

Equivalencia entre los miembros de la formación «Cándana-Herrería», según nomenclatura de distintos autores.

Serie de Cándana (PARGA y LUQUE, 1971)	Herrería (RUIZ, 1971)	Características litológicas
VALSERONDO	ORE	Areniscas, cuarcitas y pizarras versicolores algo carbonatadas. Niveles dolomíticos.
LA FLORIDA	BUSCABRERO	Cuarcitas blanquecinas y rosadas, areniscas feldespáticas con intercalaciones pizarrosas.
PILOTUERTO	BRAÑALONGA	Pizarras verdes y areniscas y/o cuarcitas.
SORRIBA	CALLERAS	Nivel carbonatado, esencialmente dolomítico.
FENOSA	LA CUERVA	Areniscas y cuarcitas ferruginosas, con intercalaciones pizarrosas.
		Areniscas arcillosas y pizarras.

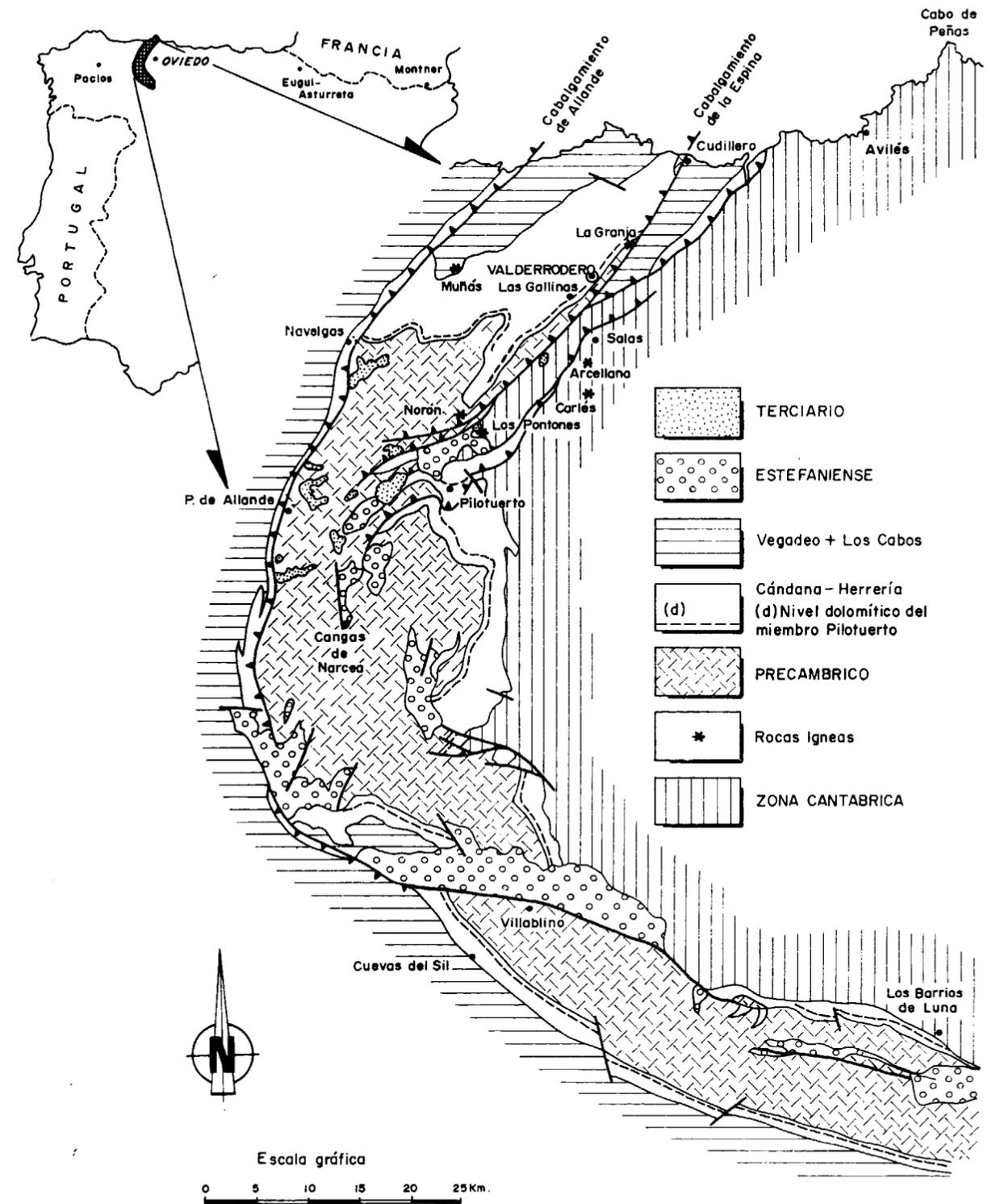


Figura 1.—Esquema geológico del anticlinorio del Narcea y ubicación de las localidades mencionadas en el texto.

Potones y Muñas —traquitas alcalinas a basaltos, en ocasiones con gran participación sedimentaria (tobas)—.

La manifestación ígnea más próxima a Valderrodero que se conoce —un dique diabásico— se encuentra a 4 km. al NE, en la localidad de La Granja. Por último, cabe mencionar los pórfidos cuarzo-dioríticos o monzoníticos postestefanienses, como el ubicado en el Precámbrico de Norón, al O de Tineo.

2.2. Geología del yacimiento

El camino de Mallecina a Valderrodero ofrece un buen corte geológico general del marco de la mineralización.

Destaca en primer lugar el cabalgamiento subvertical de la Espina, con rumbo NE-SO (figs. 1 y 2) que, en este punto concreto, pone en contacto las filitas de la serie turbidítica del Precámbrico con las pizarras y areniscas de la formación Oville (Cámbrico Medio-Superior).

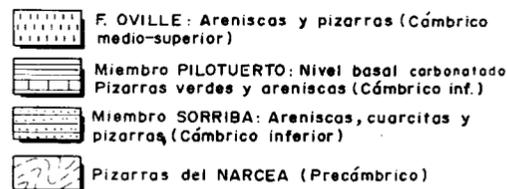
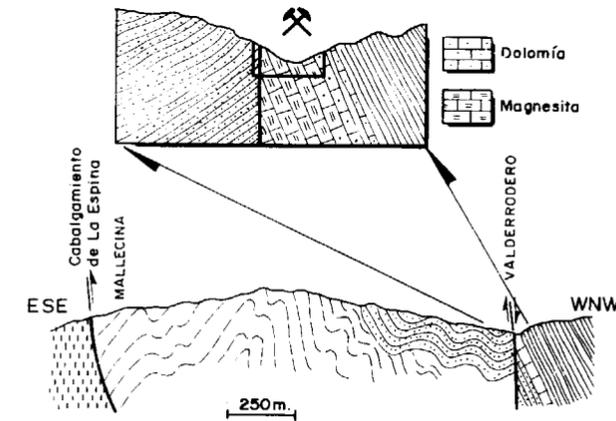


Figura 2.—Corte geológico del yacimiento de Valderrodero y su relación con el flanco oriental del anticlinorio del Narcea.

Sobre los materiales precámbricos, que muestran clara esquistosidad, descansa la formación «Cándana-Herrería», probablemente en discordancia, constatada en zonas muy próximas, aunque no evidente en este afloramiento. Esta unidad comienza con unos 200 metros —miembro Sorriba— de areniscas (sublitarenitas), algunas veces ferruginosas, y cuarcitas de grano grueso, con intercalaciones pizarrosas, localmente importantes.

La serie finaliza con el miembro «Pilotuerto». Su parte basal está formada por el nivel carbonatado y el resto constituido por una alternancia de pizarras compactas verdes, a veces esquistosas, y areniscas de grano fino a medio.

En el yacimiento, el paquete carbonatado se pone en contacto con las pizarras y areniscas del miembro «Sorriba» mediante una falla con trazado aparente NNE-SSO, la cual hace descender el bloque occidental (fig. 2). Las pizarras y areniscas del labio E muestran aquí rumbo N-25° E y buzamiento 37° E, mientras que las capas del labio O poseen dirección N-30° E y buzamiento 60° O. Se observan dos sistemas preferentes de fracturación: uno N 150° E/80° E y otro N 20° E/75° E.

El frente actual de la explotación permite observar los 15 metros finales del nivel carbonatado, cuyo muro estratigráfico no es visible, debido al contacto mecánico mencionado. Por consiguiente, es previsible un aumento de su potencia en profundidad. En dicho frente se distinguen, de techo a muro:

1. Unos dos metros de dolomías, en estratos decimétricos, con laminaciones cloritosas y marcada estilolitización.
2. Aproximadamente diez metros de magnesita, en bancos gruesos, que son objeto preferente de explotación.
3. Tramo de magnesita, con estratificación fina y ondulante, marcada por la presencia de lechos de clorita.

El tránsito a la serie del techo se realiza de forma gradual, mediante términos detrítico-carbonatados. Se observan areniscas dolomíticas, en las que abundan óxidos de manganeso, localizados en fracturas y en los poros causados por la disolución de los carbonatos como consecuencia de una alteración meteórica.

3. CARACTERISTICAS MINERALOGICAS

Los niveles carbonatados de Valderrodero presentan coloraciones que varían desde grises —más o menos verdosas en función del contenido en talco y clorita— hasta ocres, debidos a la oxidación de sulfuros de hierro.

Los carbonatos presentan texturas en mosaico con tendencia a granoblástica (foto número 1) y cataclástica incipiente (foto núm. 2); muestran maclas de origen mecánico y a veces aspecto poligonizado. El grado de cristalinidad es extremadamente grueso hacia la parte basal (centiles de hasta 17 mm.) y grueso a muy grueso en el techo.

En general, se observan varias generaciones de carbonatos, consecuencia de las acusadas transformaciones diagenético-metasomáticas que ha su-

frido la roca, y que junto a la presencia generalizada —en ocasiones muy intensa— de una red fisural (fotos núms. 3 y 4), puede ser reveladora de la importancia de fenómenos de transporte por difusión química, en la línea apuntada por HARDY (1980) para la zona de Puebla de Lillo.

La composición mineralógica encontrada en diferentes muestras del yacimiento, estudiadas mediante difracción de rayos X y microscopía de transparencia y reflexión, es:

- \* Magnesita-talco-clorita-cuarzo.
- \* Magnesita-dolomita-talco-clorita-cuarzo.
- \* Talco-magnesita-dolomita-clorita-cuarzo.
- \* Dolomita-clorita-cuarzo-talco-goethita.
- \* Dolomita-talco-magnesita-clorita-cuarzo.
- \* Dolomita-clorita-cuarzo.

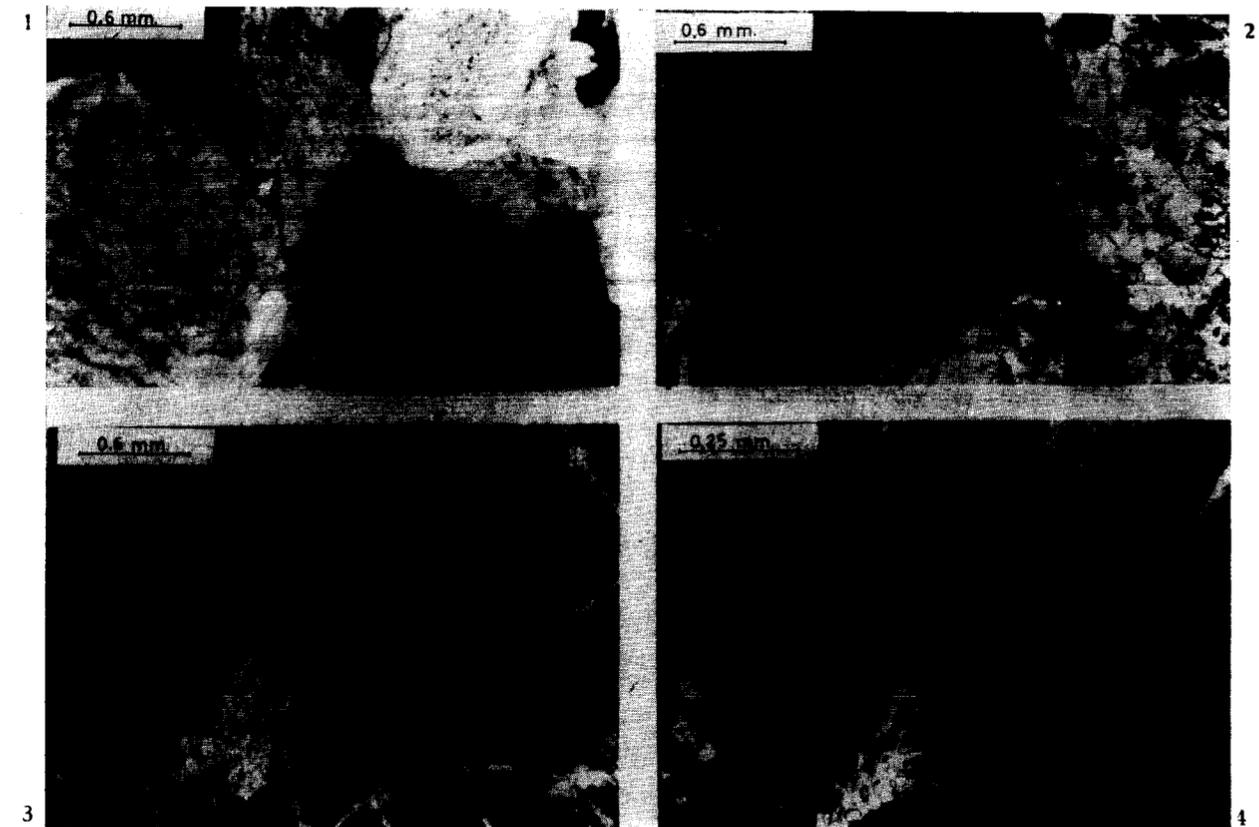


Foto 1.—Magnesita con textura granoblástica, mostrando alto grado de cristalinidad.  
Foto 2.—Magnesita con textura cataclástica incipiente, mostrando fisuras orientadas. Reemplazamiento parcial por talco (Tl) y carbonatos de neoformación (C).

Foto 3.—Magnesita con red fisural y superficies de exfoliación, en las que se instalan carbonatos posteriores. Talco (Tl) ligado a fractura, sustituyendo a la magnesita.  
Foto 4.—Red fisural dendrítica en magnesita, ocupada por talco (Tl), que sustituye a aquélla, y por carbonatos secundarios (C).

### 3. CARACTERISTICAS MINERALOGICAS

Los niveles carbonatados de Valderrodero presentan coloraciones que varían desde grises —más o menos verdosas en función del contenido en talco y clorita— hasta ocres, debidos a la oxidación de sulfuros de hierro.

Los carbonatos presentan texturas en mosaico con tendencia a granoblástica (foto número 1) y cataclástica incipiente (foto núm. 2); muestran maclas de origen mecánico y a veces aspecto poligonizado. El grado de cristalinidad es extremadamente grueso hacia la parte basal (centiles de hasta 17 mm.) y grueso a muy grueso en el techo.

En general, se observan varias generaciones de carbonatos, consecuencia de las acusadas transformaciones diagenético-metasomáticas que ha su-

frido la roca, y que junto a la presencia generalizada —en ocasiones muy intensa— de una red fisural (fotos núms. 3 y 4), puede ser reveladora de la importancia de fenómenos de transporte por difusión química, en la línea apuntada por HARDY (1980) para la zona de Puebla de Lillo.

La composición mineralógica encontrada en diferentes muestras del yacimiento, estudiadas mediante difracción de rayos X y microscopía de transparencia y reflexión, es:

- \* Magnesita-talco-clorita-cuarzo.
- \* Magnesita-dolomita-talco-clorita-cuarzo.
- \* Talco-magnesita-dolomita-clorita-cuarzo.
- \* Dolomita-clorita-cuarzo-talco-goethita.
- \* Dolomita-talco-magnesita-clorita-cuarzo.
- \* Dolomita-clorita-cuarzo.

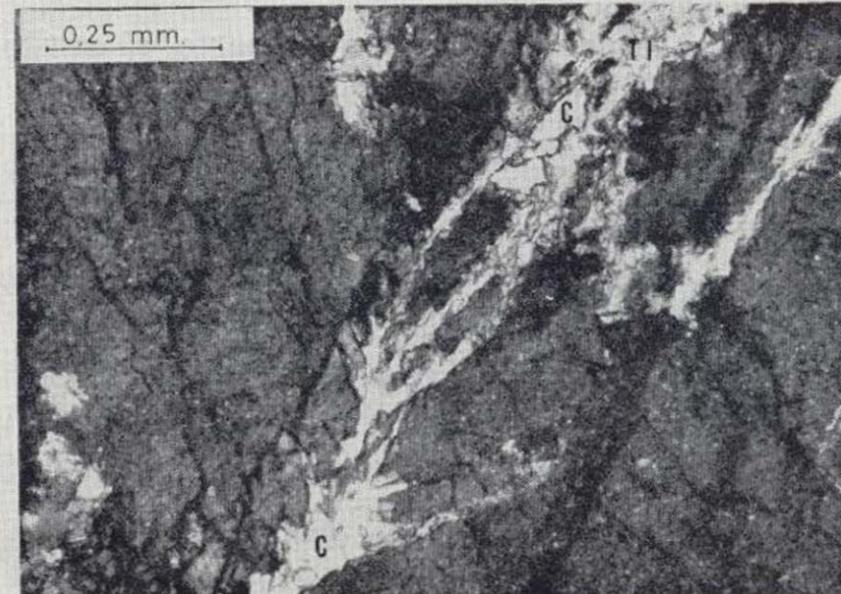
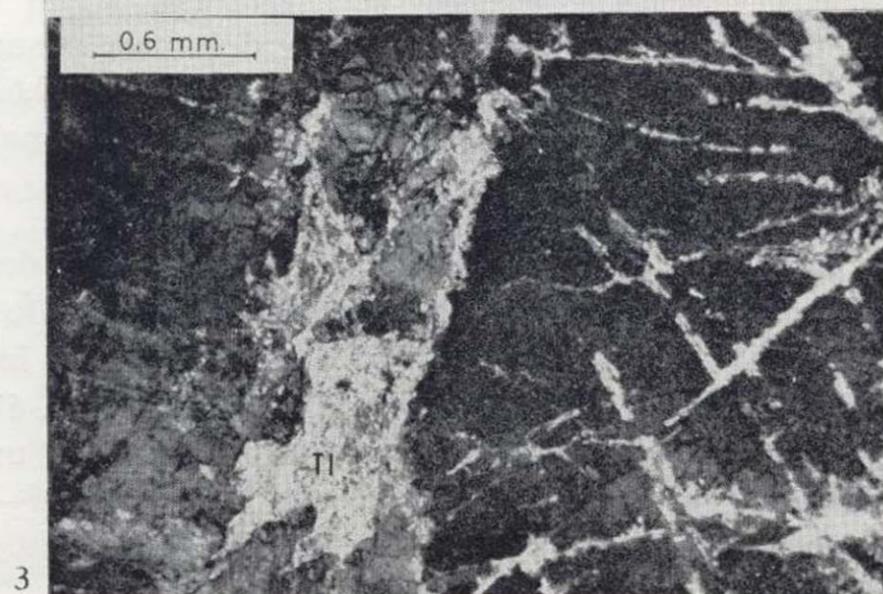
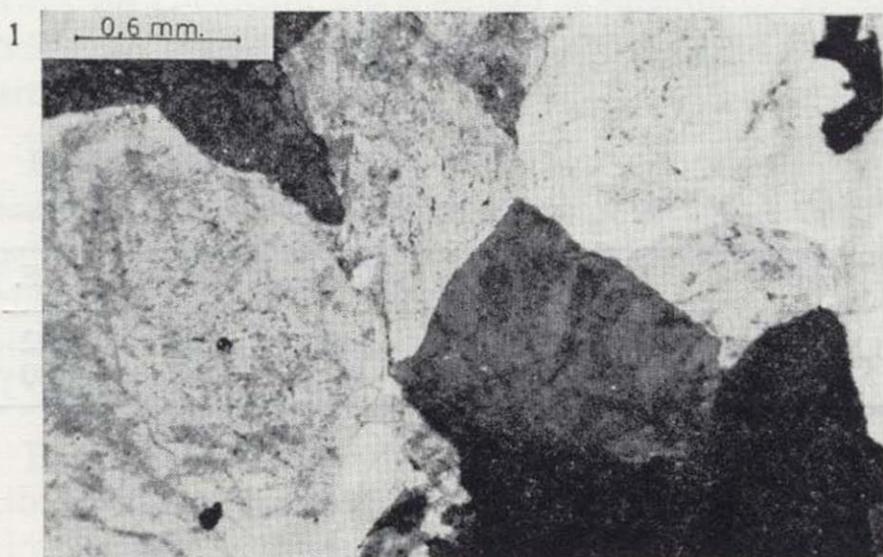


Foto 1.—Magnesita con textura granoblástica, mostrando alto grado de cristalinidad.

Foto 2.—Magnesita con textura cataclástica incipiente, mostrando fisuras orientadas. Reemplazamiento parcial por talco (Tl) y carbonatos de neoformación (C).

Foto 3.—Magnesita con red fisural y superficies de exfoliación, en las que se instalan carbonatos posteriores. Talco (Tl) ligado a fractura, sustituyendo a la magnesita. Foto 4.—Red fisural dendrítica en magnesita, ocupada por talco (Tl), que sustituye a aquélla, y por carbonatos secundarios (C).

El orden de los minerales indica abundancia decreciente de aquéllos. Además aparecen en ocasiones, preferentemente relacionados con las laminaciones cloríticas de las dolomías, sulfuros (pirita y calcopirita fundamentalmente) y algo de rutilo. Los interestratos pizarrosos están constituidos esencialmente por clorita, a la que acompañan illita y cuarzo.

La *magnesita*, el mineral más abundante, predomina en el conjunto del yacimiento —alguna de las muestras sólo contiene este carbonato—; en cambio, hacia el techo aparecen niveles totalmente dolomíticos.

Es característico de la *magnesita* su alto índice de cristalinidad —presenta incluso cristales centimétricos— y su textura no orientada (foto núm. 1).

Los difractogramas indican gran homogeneidad. En el cuadro II se expresan las distintas interreticulares, intensidades relativas y planos hkl obtenidos.

nidos, prácticamente coincidentes con los datos de la ficha ASTM núm. 8-479.

CUADRO II

Valores difractométricos de la *magnesita* de Valderrodero. Entre paréntesis: valores de la ficha ASTM.

d Å	I/I <sub>0</sub>	hkl
2,74 (2,742)	100 (100)	104
2,50 (2,503)	15 (18)	006
2,32 (2,318)	2 (4)	110
2,10 (2,102)	26 (45)	113
1,94 (1,939)	7 (12)	022
1,77 (1,769)	3 (4)	024
1,70 (1,700)	37 (35)	116

En el cuadro III se dan cifras representativas de la composición química del mineral.

CUADRO III

Composición química del mineral (%)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P. F.
A	5,01	0,80	4,06	39,44	0,63	0,05	<0,03	<0,03	49,82
B	5,45	0,28	3,70	43,00	2,00	—	—	—	48,00

- A) Sobre muestra tomada en el yacimiento (fluorescencia de Rayos X).
- B) Valores medios del producto vendible (\*).

El titanio se debe, al menos en parte, al rutilo que se identificó con microscopía de reflexión.

Algunas muestras del tramo superior están constituidas por dolomita casi pura, con algo de clorita y sílice, pero en zonas de las mismas, relacionadas con superficies de estratificación y con fracturas, aparecen lógicamente talco y *magnesita* como consecuencia de los fenómenos de sustitución ya mencionados (foto núm. 5).

La identidad de caracteres ópticos dificulta la distinción microscópica entre dolomita y *magnesita* cuando, como en este caso, están ausentes las típicas morfologías romboides de aquélla. En

preparaciones monominerales, la dolomita posee cristalinidad inferior (centil=1,5 mm., moda=0,62 milímetros) y marcada tendencia equidimensional (fotos núms. 5 y 6).

La *clorita*, mineral habitual en el conjunto del yacimiento, se presenta bien diseminada entre los carbonatos, bien constituyendo interestratos y laminaciones —clorita sedimentaria— (foto núm. 6). En general está bastante recristalizada y, con un aparente carácter tardío —¿clorita hidrotermal?— en ocasiones reemplaza a los mismos carbonatos (foto núm. 8).

El análisis de uno de aquellos interestratos, además de trazas de illita y cuarzo, indica presencia dominante de una clorita cuyas características difractométricas se reflejan en el Cuadro IV.

CUADRO IV

Características difractométricas de clorita.

d Å	I/I <sub>0</sub>	hkl
14,01	25	001
7,07	100	002
4,72	52	003
3,55	83	004
2,83	15	005
2,57	5	131,202
2,54	12	132,201
2,43	10	132,203

Las observaciones realizadas en los niveles dolomíticos del techo del yacimiento, tanto a escala macroscópica —en el campo— como al microscopio (foto núm. 5), permiten deducir que la *magnesita* se forma por reemplazamiento de las dolomías. Esta transformación está controlada por factores de permeabilidad, en parte ligados a superficies de estratificación y fisuras, desde las que progresa el fenómeno.

Estos datos permiten suponer que los niveles esencialmente magnésíticos derivan de rocas originalmente dolomíticas, en las que el reemplazamiento ha sido más completo y general. La *magnesita* se formaría según la reacción clásica:  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 + \text{MgO} \rightarrow 2 \text{MgCO}_3 + \text{CaO}$ .

Este cambio se produciría bajo la acción de soluciones hidrotermales que aumentan la concentración en Mg y eliminan el Ca.

ROSENBERG y MILLS (1966), basándose en investigaciones experimentales, proponen un mecanismo de génesis de *magnesita* a partir de dolomita, con fases de sustitución de ésta por aquélla a temperaturas superiores a los 200° C, cuando las soluciones alcanzan valores Ca/Mg próximos a 1.

La *dolomita* es un acompañante casi habitual de la *magnesita*. En la zona del muro, próxima a la falla, parece estar ausente, pero al ascender en el nivel carbonatado, su presencia es cada vez más importante: en los primeros niveles la difracción sólo detecta el pico de mayor intensidad (2,88 Å), mientras que en las muestras del techo se definen los picos restantes, pasando la dolomita a ser dominante o exclusiva.

Las reflexiones de orden par son más intensas que las impares, por lo que cabe pensar en un contenido apreciable de hierro. Por otro lado, los

picos de difracción 2,57 Å y 2,54 Å califican al mineral como del politipo 11b, considerado estable en un metamorfismo de grado normal y en condiciones de temperatura media y alta (CARROLL, 1969).

La *sílice*, poco abundante, presenta a veces tendencia idiomorfa, apareciendo bien en espacios intercrystalinos y fisuras, bien incluida en los carbonatos. Muestra marcado carácter de neoformación (foto núm. 7).

La difracción parece indicar una relación inversa entre contenido en sílice —menos abundante hacia el muro— y grado de cristalinidad de *magnesita* —es también hacia el muro donde los cristales de ésta presentan mayores tamaños—.

El *talco*, acompañante constante de la *magnesita*, ocupa espacios intercrystalinos, planos de exfoliación y superficies de fractura y de estratificación. En relación con estas últimas superficies, llega a formar placas de espesor centimétrico, constituidas esencialmente por un talco verdoso y bien cristalizado, al que acompañan, de manera accesoria, *magnesita*, dolomita, clorita y cuarzo.

Los parámetros obtenidos mediante diagrama de polvo, concuerdan con la ficha ASTM 13-58, lo que indicaría que se trata de un talco sin notables impurezas dentro de la red.

El estudio microscópico permite ver que el talco se forma bien sustituyendo a los carbonatos —*magnesita* y también dolomita (fotos núms. 2 a 5)—, bien a la clorita, por la que muestra cierta preferencia (foto núm. 8).

En ocasiones se observa, incluso, cómo reemplaza a sílice (foto núm. 9).

La génesis del talco se realiza en parte aprovechando también el factor permeabilidad, en el que influyen los sistemas de fracturas, el grado de recristalización y las superficies de estratificación. Los lechos cloritosos parecen desempeñar un papel de barrera, inhibiendo los fenómenos de recristalización (foto núm. 6) y difusión.

Partiendo de la *magnesita*, cabe pensar en la formación de talco según una reacción del tipo:  $3 \text{MgCO}_3 + 4 \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Si}_4\text{O}_{10} \text{Mg}_3 (\text{OH})_2 + 3 \text{CO}_2$ .

Esta transformación implica la llegada de soluciones hidrotermales portadoras de sílice, siendo el CO<sub>2</sub> un componente móvil.

(\*) Según datos facilitados por F. Ugarteburu («Molinería Astur, S. A.»).

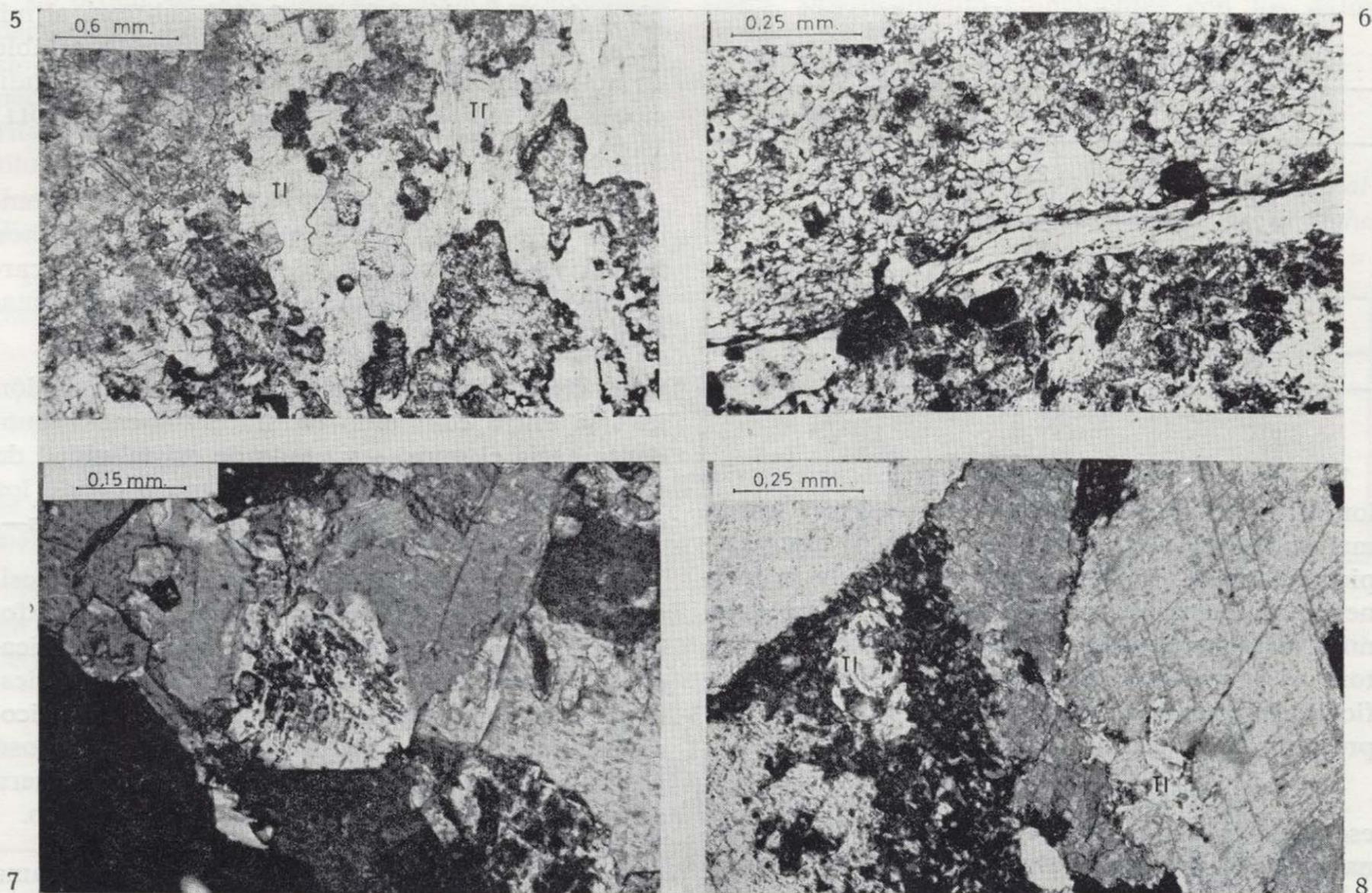


Foto 5.—Frente de reemplazamiento en dolomía. Tercio izquierdo: dolomía no afectada, con grado de cristalinidad inferior al de la magnesita (vid. foto núm. 1). La zona alterada presenta talco (Tl), magnesita y dolomita. Frentes de concentración de Fe sobre carbonatos sustituidos por talco.

Foto 6.—Zonas de dolomita con desigual recrystalización,

separadas por laminación de clorita. Sulfuros de neoformación relacionados con ésta (opacos).

Foto 7.—Cuarzo de neoformación, reemplazando a carbonatos (magnesita) y conservando inclusiones orientadas de los mismos.

Foto 8.—Clorita reemplazando a carbonatos, y a su vez sustituida por talco (Tl). Este parece sustituir también a los carbonatos.

Cuando el talco se produce por sustitución de dolomita, la reacción es:  $3 \text{Mg Ca}(\text{CO}_3)_2 + 4 \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Si}_4\text{O}_{10} \text{Mg}_3(\text{OH})_2 + 3 \text{Ca CO}_3 + 3 \text{CO}_2$ .

Esta ecuación plantea el problema real de la ausencia de calcita en el yacimiento. Podría explicarse con un sistema abierto, en el que Ca y  $\text{CO}_2$  son móviles, sin llegar nunca a concentraciones suficientes para dar origen a aquélla.

Las observaciones microscópicas ponen en evidencia que la sustitución de clorita por talco es fenómeno común en el yacimiento (foto núm. 8): se encuentran cloritas bien conservadas, otras en vía de talquización y, por último, talco, que presenta clorita residual. La talquización de las cloritas se debería a soluciones hidrotermales, que

aportan sílice y producen una sustitución a volumen constante.

La formación de talco a expensas de sílice, observada en algunos puntos a escala microscópica (foto núm. 9), es cuantitativamente poco significativa, y se realizaría según la reacción:  $4 \text{SiO}_2 + 3 \text{MgO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Si}_4\text{O}_{10} \text{Mg}_3(\text{OH})_2$ .

En este caso, es el Mg quien actúa como componente móvil. Conviene insistir en que la sílice contenida en los niveles carbonatados es muy escasa y que, por tanto, sólo una parte mínima del talco formado lo hizo a expensas de aquélla.

Los *sulfuros* aparecen en pequeña cantidad, dentro de las dolomías marmóreas con clorita del

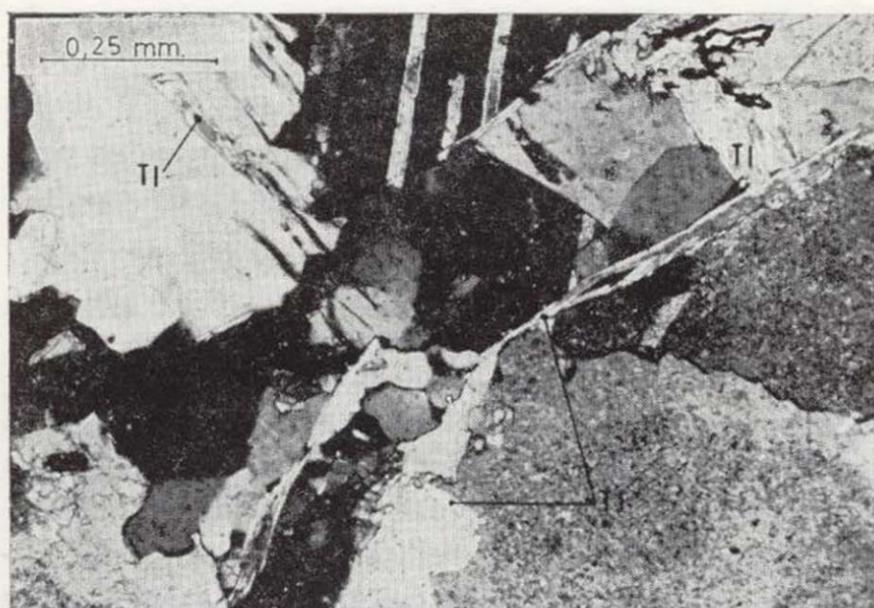


Foto 9.—Talco (Tl) penetrando y reemplazando a sílice de neoformación. También se instala en límites de sílice-carbonatos.

techo (foto núm. 6). En este caso el color de la roca es más gris-verdoso, contrastando con los tonos ocre, dominantes en el yacimiento; estos últimos se deben a los óxidos de Fe, fruto de la meteorización —el mineral de venta da valores del orden de 3,7 por 100 en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Cuatro III)—.

El sulfuro más abundante es la pirita —bastante idiomorfa—, aunque también se observan, al microscopio, indicios de calcopirita y algo de calcocita, que reemplaza a la anterior. Estos sulfuros muestran aspecto de neoformación y carácter tardío en relación con los carbonatos. En ocasiones se distinguen dos fases de sulfuros (pirita I-pirita II; calcopirita-pirita). Con frecuencia conservan inclusiones de otros minerales (carbonatos, filosilicatos e incluso rutilo de neoformación).

La estrecha relación que a veces presentan los sulfuros y superficies de estilolitización, lleva a pensar en un proceso genético ligado a fenómenos de disolución bajo presión.

#### 4. ESTUDIO DE INCLUSIONES FLUIDAS

Sobre cristales de magnesita, bien conservados y transparentes, se han realizado estudios de inclusiones bifásicas (líquido-gas), aparentemente primarias. Los resultados obtenidos (fig. núm. 3) dan valores de homogenización comprendidos en el intervalo  $150^\circ\text{C}$  a  $250^\circ\text{C}$ . En el histograma se

observa un carácter bimodal, con máximos en los intervalos  $190^\circ\text{C}$ - $200^\circ\text{C}$  y  $230^\circ\text{C}$ - $240^\circ\text{C}$ , lo que pudiera deberse bien a dos fases de formación diferentes, bien a que parte de las inclusiones fuesen secundarias.

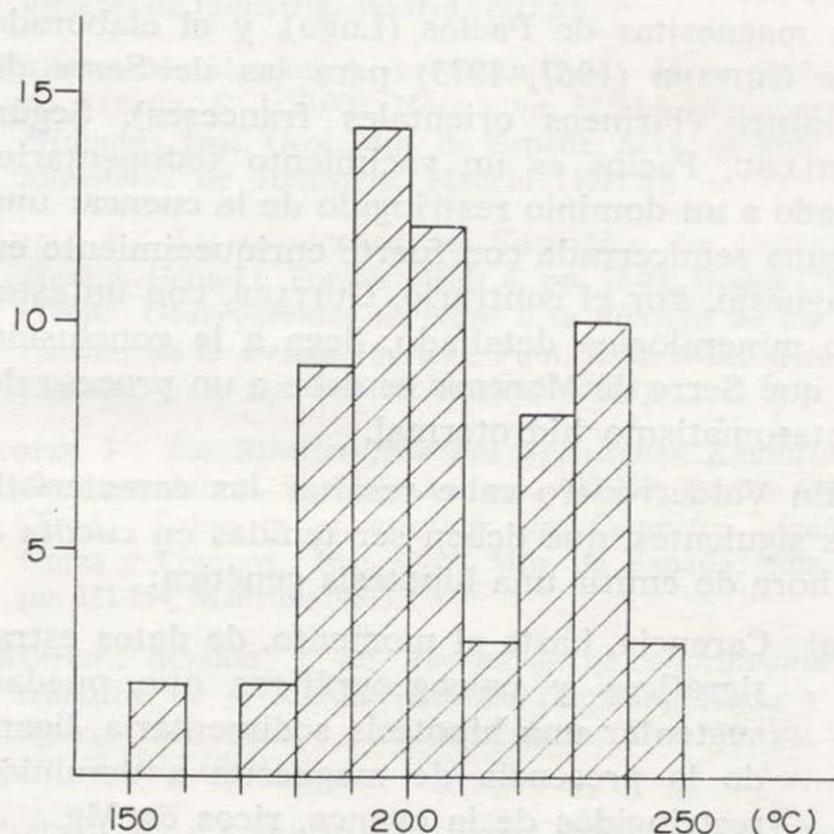


Figura 3.—Temperaturas de homogeneización de inclusiones fluidas en cristales de magnesita del yacimiento.

Se comprobó la estanqueidad de las inclusiones mediante la vuelta a las condiciones iniciales; además la repetición de medidas sobre las mismas inclusiones proporcionan temperaturas de homogenización idénticas. Los sistemas de inclusiones claramente secundarias presentan temperaturas de homogeneización bastante inferiores. En estas temperaturas calculadas no se ha efectuado corrección de presión. Ello podría significar que las condiciones reales de formación fuesen aún superiores y, por tanto, que las temperaturas medidas puedan ser consideradas como mínimas de formación, válidas para condiciones de presión no muy alta.

En el supuesto de que los valores medidos corresponden a las condiciones de génesis de la magnesita, debe admitirse la existencia de condiciones hidrotermales (hasta  $250^\circ\text{C}$ ) acordes con los datos experimentales de síntesis de ROSENBERG y MILLS (1966).

## 5. INTERPRETACION GENETICA

Al hacer una interpretación genética es oportuno considerar los modelos propuestos para mineralizaciones análogas, también relacionadas con niveles dolomíticos del Cámbrico. En este sentido cabe citar el establecido por GUILLOU (1970) para las magnesitas de Pacios (Lugo), y el elaborado por GUITARD (1967, 1973) para las de Serre de Montner (Pirineos orientales franceses). Según GUILLOU, Pacios es un yacimiento sedimentario, ligado a un dominio restringido de la cuenca: una laguna semicerrada con fuerte enriquecimiento en magnesio. Por el contrario, GUITARD, con un estudio mineralógico detallado, llega a la conclusión de que Serre de Montner se debe a un proceso de metasomatismo hidrotermal.

En Valderrodero cabe resaltar las características siguientes, que deben ser tenidas en cuenta a la hora de emitir una hipótesis genética:

- Carencia, hasta el momento, de datos estratigráficos y paleogeográficos que puedan sustentar una hipótesis sedimentaria, ligando la presencia de magnesita a dominios restringidos de la cuenca, ricos en Mg.
- Presencia de dolomías al techo de la mineralización, en las que aparece magnesita claramente epigenética, así como restos de dolomita en los tramos netamente magnésicos. Estos datos, junto al carácter predominantemente dolomítico del nivel carbonatado en toda el área del anticlinorio del Narcea, permiten suponer que, en Valderrodero, la roca original era de naturaleza análoga.
- Evidencia de formación de talco y magnesita por fenómenos de reemplazamiento de dolomías recristalizadas. Esta sustitución, ligada a un factor de permeabilidad, muestra en ocasiones neta dependencia con superficies de estratificación y fracturación, desde las que progresa. En cualquier caso, la presencia del talco —claramente posterior a la magnesita— indica la existencia de un hidrotermalismo.
- Los datos obtenidos sobre inclusiones fluidas, en cristales de magnesita, señalan también la existencia de fases hidrotermales con temperaturas de génesis relativamente elevadas.
- Relación espacial inmediata de la mineralización con un factor estructural —falla—.

f) Magnesitización de niveles próximos a la falla, aun con características poco favorables de permeabilidad —abundancia de lechos cloritosos—, mientras que niveles análogos alejados de la misma están poco o nada mineralizados (dolomías del techo).

g) Presencia de rocas ígneas de tipo básico en zonas relativamente próximas.

Este conjunto de datos encaja mejor en una teoría epigenético-hidrotermal, que implicaría un metasomatismo de dolomías bajo la acción de soluciones a temperatura relativamente alta. La llegada de éstas estaría controlada por la falla, y su distribución en el nivel carbonatado tendría lugar en función del factor de permeabilidad total, que condicionaría los fenómenos de difusión y reemplazamiento.

En el proceso, cabe distinguir las fases sucesivas que se señalan a continuación:

- Formación de dolomías primarias, incluyendo lechos cloritosos.
- Complejo proceso de recristalización y fracturación.
- Magnesitización de las dolomías recristalizadas.
- Talquización irregular de carbonatos, clorita y sílice.
- Alteración supergénica.

En cuanto al origen del magnesio, y de acuerdo con los datos de ROSENBERG y MILLS (1966), si se admite la existencia de soluciones calientes ricas en CO<sub>2</sub>, no es necesario recurrir a una fuente distinta del nivel dolomítico: en una primera fase aumentaría la relación Mg/Ca en las soluciones, permitiendo luego la formación de magnesita por reemplazamiento de dolomita. En ese sentido, debe señalarse la presencia de abundantes estilolitos en las dolomías del yacimiento, que indican la existencia de fenómenos de disolución bajo presión. No obstante, la proximidad relativa de rocas ígneas básicas justificaría el no descartar un posible origen magmático —al menos en parte— del magnesio.

El origen de la sílice puesta en juego para formar el talco y el cuarzo de neoformación, no ofrece especiales problemas, por cuanto éstos son escasos y, en el contexto litológico inmediato, la sílice es abundante.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ARBOLEYA, M. L.: *Nota sobre la icnofauna del Cámbrico de la costa asturiana entre Cudillero y Ballota (NW de España)*. Brev. Geol. Astur., año XVII, núm. 3, pp. 37-42, Oviedo (1973).
- BRIME, C., y PÉREZ-ESTAUN, A.: *La transición diagénesis-metamorfismo en la región del Cabo de Peñas*. Publicaciones do Seminario de Estudios Galegos. Cuadernos do Laboratorio Xeolóxico de Lage, t. 1, pp. 85-97 (1980).
- CARROLL, D.: *Clay Minerals. A Guide to their X-Ray identification*. The Geological Society of America. Special paper 126, 79 pp. (1969).
- COMTE, P.: *Recherches sur les terrains anciens de la Cordillère Cantabrique*. Mem. Inst. Geol. Min. España, t. 60, 440 pp., Madrid (1959).
- CORRETGE, L. G.; LUQUE, C., y SUÁREZ, O.: *Los stocks de la zona de Salas-Belmonte (Asturias)*. Bol. Geol. y Min., t. LXXXI-II-III, pp. 257-270, Madrid (1970).
- GÓMEZ DE LLARENA, J.: *La magnesita de Eugui (Navarra)*. Bol. R. Soc. Española de Hist. Nat. (Geol.), t. 48, pp. 67-70, Madrid (1950).
- GÓMEZ DE LLARENA, J.: *Contribución al estudio de la diagénesis de los carbonatos sedimentarios*. Acta Geol. Hisp., t. III, núm. 4, pp. 97-98, Barcelona (1968).
- GUILLOU, J. J.: *Les magnésites cambriennes de Pacios (Province de Lugo - Espagne). Leur environnement paléogéographique*. Bull. du B. R. G. M. (deuxième série), Section IV, núm. 3, pp. 5-20 (1970).
- GUITARD, G.: *Origine hydrothermale et mode de formation de magnésite (giobertite), de la brucite et de la dolomite spathique du gisement de Serre de Montner (Pyrénées orientales)*. C. R. Acad. Sci., Série D, 265, pp. 1879-1882, París (1967).
- GUITARD, C.: *Sur la genèse des gisements métasomatiques de talc et de chlorite magnésienne des Pyrénées et sur les relations entre le talc et la magnésite*. Coll. Scient. Int. E. Raguin, Masson Ed., pp. 369-395 (1973).
- HARDY, M.: *Etude géologique et mineralogique des gîtes de talc de Puebla de Lillo (Leon-Espagne); les bilans de transport de Si et Mg*. Tesis Doctoral, Université d'Orléans, 230 pp. (1980).
- JULIVERT, M.; MARCOS, A.; MARTÍNEZ, F., y TRUYOLS, J.: *Mapa Geológico de España, E. 1:50.000. Hoja núm. 27/11-4 (Tineo)*. Inst. Geol. Min. de España, Serv. de Publ. del Ministerio de Industria, Madrid (1977 a).
- JULIVERT, M.; MARCOS, A., y PULGAR, J. A.: *Mapa Geológico de España, E. 1:50.000. Hoja núm. 51/11-5 (Belmonte de Miranda)*. Inst. Geol. Min. de España, Serv. de Publ. del Ministerio de Industria, Madrid (1977 b).
- LOTZE, F.: *Zur Gliederung der Varisziden der Iberischen Meseta*. Geotekt. Forsch., Heft 6, pp. 78-92, Berlín (1945). (Trad.: *Observaciones respecto a la división de los Variscides de la Meseta Ibérica*), Publ. Extr. sobre Geol. de España, t. 5, pp. 149-166. Madrid (1950).
- LOTZE, F.: *Zur Stratigraphie des Spanischen Kambriums*. Geologie Jahrg., 7, Heft 3-6, pp. 727-750, Berlín (1958). (Trad.: *Sobre la estratigrafía del Cámbrico español*). Notas y Comuns., Inst. Geol. Min. de España, núm. 61, pp. 131-164, Madrid (1961).
- MARTÍNEZ ALVAREZ, J. A.: *Aportación al conocimiento estructural de la Rodilla Astúrica (España)*. Notas y Comuns., Inst. Geol. y Min. de España, núm. 76, pp. 221-236. Madrid (1964).
- PARGA, J. R., y LUQUE, C.: *Las series del Cámbrico Inferior y Eocámbrico en la Cordillera Cantábrica*. Bol. Geol. y Min., t. LXXXII-III-IV, pp. 310-320. Madrid (1971).
- ROSENBERG, P. E., y MILLS, J. W.: *A mechanism for the emplacement of magnesite in dolomite*. Econ. Geol., vol. 61, núm. 3, pp. 582-586 (1966).
- RUIZ, F.: *Geología del sector norte del anticlinorio del Narcea*. Brev. Geol. Astur., Año XV, núm. 3, pp. 39-46. Oviedo (1971).
- VÁZQUEZ GUZMÁN, F.: *Depósitos minerales de España*. Temas Geológico-Mineros, núm. II, Inst. Geol. y Min. de España, 158 pp. Madrid (1980).

Recibido: Enero 1982.

## MINERIA

# Estudio mineralógico y geoquímico del gossan de los depósitos de Fe, Pb, Zn de la Unión (Sierra de Cartagena)

Por R. LUNAR, J. I. MANTECA, P. RODRIGUEZ, J. L. AMOROS

## RESUMEN

En este trabajo se estudia la mineralogía y geoquímica del gossan de las mineralizaciones de Fe, Pb y Zn de La Unión (Cartagena) y se identifican las fases minerales portadoras de la plata y su distribución. Se trata brevemente de la mineralización primaria o de sulfuros, analizando la expresión mineralógica de la plata y su distribución espacial. Se estudian y caracterizan las especies minerales que constituyen el gossan de estas mineralizaciones y se compara con el gossan de otras mineralizaciones.

Los minerales principales que constituyen el gossan de los yacimientos de La Unión son: gohetita, hematites y en menor proporción minerales del grupo de la jarosita. Como minerales accesorios aparecen anglesita, cerusita, siderita, smithsonita. Aparecen también óxidos de Mn conteniendo algo de Pb, Zn, Fe, K o Ba, tales como psilomelano, cryptomelano, calcofanita, heterolita y coronadita.

En general, los principales minerales portadores de la plata son los minerales del grupo de la jarosita, aunque localmente la querargirita puede ser un mineral principal acompañado por cerusita y anglesita. La distribución de este elemento en las muestras estudiadas pone de manifiesto una dispersión muy grande.

## 1. Introducción y antecedentes

Las mineralizaciones de la Sierra de Cartagena (fig. 1), vienen siendo explotadas desde los tiempos de fenicios y romanos, en que se beneficiaban los filones y yacimientos más ricos. Existen numerosos estudios de esta zona, tanto estratigráficos y estructurales como petrológicos y mineralógicos. En cuanto a los trabajos de mineralogía son numerosas las publicaciones ya desde antiguo, como las de BASILIO TRÍAS, A. (1883), sobre las minas de plomo y cinc de Cabejo Rajado, las de PILZ, R. (1927) y GUARDIOLA, R. (1927) sobre el distrito minero de Cartagena, en las que se aborda la génesis de estas mineralizaciones. No existe acuerdo, entre los distintos autores que han estudiado las mineralizaciones, en cuanto a su origen. FRIEDERICH, G. (1964), en su trabajo sobre la mineralogía de la Sierra de Cartagena, defiende la idea de que hay una sola fase de mineralización, de origen hidrotermal subvolcánico, en el Terciario. PAVILLON, M. J. (1969), afirma, sin embargo, que se han formado yacimientos de tres edades diferentes por episodios volcánicos en el Paleozoico, Mioceno y Pleistoceno. ALLABERT, J. (1973) tam-

bién afirma que hay más de una fase de mineralización, unas de edad preterciaria y otras de edad terciaria.

OEN, I. S., J. C. FERNÁNDEZ y J. I. MANTECA (1975), estudian las condiciones físico-químicas de las diversas paragénesis de los yacimientos de La Unión, y llegan a la conclusión de que todos ellos se deben a una fase hidrotermal-subvolcánica en el Terciario Superior.

Posteriormente, OVEJERO, G., J. P. JACQUINS y SERVAJEAN (1976), en un trabajo sobre estas mineralizaciones y su contexto geológico, piensan que hay mineralizaciones preorogénicas de origen sedimentario y volcanosedimentario y otras post-orogénicas de origen discutido. Existen además trabajos sobre la Sierra de Cartagena sobre aspectos más parciales, como el de OEN, I. S.; VITERWIJK, B. H., y VAERMANS, F. M. (1975) sobre la bertrandita y el enriquecimiento de berilo en grenalita.

Sin embargo, los trabajos dedicados a las zonas de oxidación de estos yacimientos son muy escasos. Esta escasez es debida por una parte a que

la atención de las investigaciones ha estado dirigida en general a las zonas de sulfuros que han centralizado el interés minero, y por otra parte a las propias dificultades técnicas que entraña el estudio mineralógico de estos materiales. Así, el trabajo de FRIEDERICH (1962-1964), dedicado específicamente a los aspectos mineralógicos de estos depósitos, trata muy poco de la mineralogía de los oxidados. En su descripción cita la presencia de smithsonita, calcofanita, psilomelano, pirolusita, anglesita y cerusita acompañando a la hematites.

Es en el trabajo de OEN, FERNÁNDEZ y MANTECA (1975), donde se dedica más atención a estos temas. Estos autores hacen referencia a esta asociación mineral de las zonas oxidadas bajo el término de paragénesis «3»: óxidos-hidróxidos-carbonatos-sílice, distinguiéndose dentro de ella diferentes facies. Citan, además de la gohetita y, hematites como componentes principales, la magnetita, óxidos complejos de Mn con Fe, K, Ba, Pb, Zn, tales como psilomelano, criptomelano, polianita,

pirolusita, calcofanita, coronadita, heterolita. Entre los sulfatos citan la anglesita, jarosita y alunita (además de otros sulfatos comunes, tales como yeso, baritina); y entre los carbonatos, siderita, cerusita, smithsonita.

KAGER (1980) aporta nuevos datos sobre la mineralogía del gossan, refiriéndose a ella como paragénesis de «óxidos-hidróxidos-sulfatos y fosfatos». Refiriéndose concretamente al gossan del yacimiento de Los Blancos, cita la presencia de fosfatos y fosfosulfatos como la arrojadita ( $\text{NaKCa}_2(\text{Fe, Mn})_3(\text{PO}_4)_4$ ), la svanbergita ( $\text{SrAl}_3\text{PO}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$ ) y la hinsdalita ( $(\text{Pb, Sr})\text{Al}_3\text{PO}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$ ).

En el trabajo de AMORÓS, LUNAR y TAVIRA (1981), se estudia la mineralogía y geoquímica del gossan de Río Tinto y se compara con el gossan de los yacimientos de La Unión.

Aun reconociendo la gran importancia de estos trabajos, consideramos que aún nos falta un conocimiento preciso de la naturaleza y características de algunas fases minerales portadoras de metales de interés económico. Por ello hemos considerado de interés profundizar algo más en este conocimiento, dado este tipo de asociaciones minerales, pueden constituir en el futuro un importante recurso minero. Teniendo esto en cuenta, en este estudio se ha prestado atención prioritaria a la localización y descripción de las especies minerales portadoras de plata.

## 2. Metodología de estudio

El estudio mineralógico y geoquímico del gossan se ha realizado sobre muestras de las canteras S. Valentín, Tomasa y Los Blancos (fig. 1). La caracterización de los minerales de la serie isomorfa de la jarosita, principales minerales portadores de la plata, se ha realizado mediante difracción de Rayos X, ya que ópticamente no se pueden definir los términos de esta serie. Con dicha técnica se han estudiado sistemáticamente las muestras correspondientes a la cabeza del proceso de tratamiento y las que corresponden al residuo de este proceso.

El método de difracción tiene resolución máxima de un 1 por 100, y por tanto para concentraciones bajas de un determinado elemento no puede identificarse la fase correspondiente. Esta limitación en el método experimental obligó a reali-

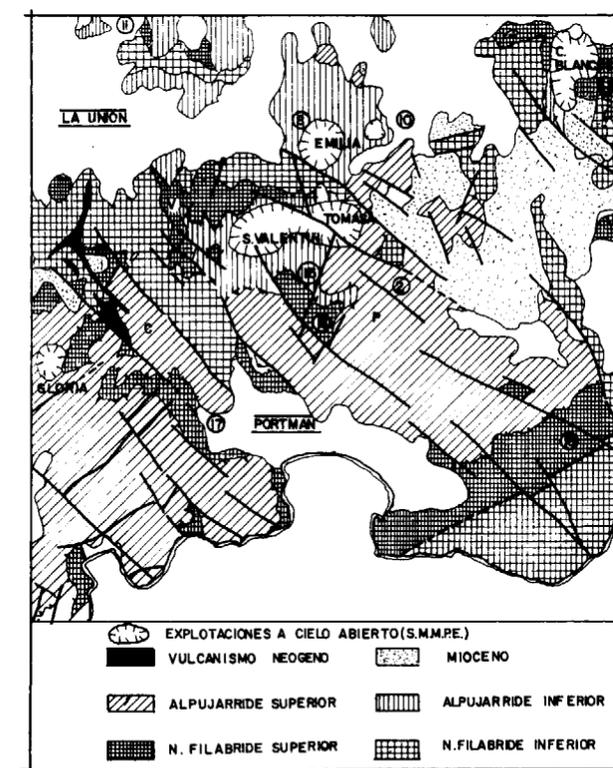


Figura 1.—Esquema de situación y esquema estructural de la zona.

zar un concentrado previo de las muestras mediante separación magnética. Las muestras de granulometría de 0,1 a 0,2 mm. fueron separadas en tres fracciones de acuerdo a su comportamiento magnético (alto, medio y bajo). La separación magnética se ha realizado en un aparato Electro-Dimont Frantz isodinámico con las siguientes condiciones: ángulo de pendiente de 25°, 30° y 35°, e intensidades de 0,15, 0,25 y 0,5 Amp. De esta manera se consigue un enriquecimiento de los minerales portadores de la plata, que fundamentalmente se separan en la fracción intermedia, o magnética, los cuales posteriormente se caracterizaron por difractogramas.

El análisis químico de las muestras se realizó con un espectrofotómetro de absorción atómica, determinándose Fe, Pb, Zn y Ag. Los análisis fueron realizados por el Centro de Estudios y Análisis Mineralógicos de la SMMPE en Portman, Cartagena.

### 3. Los cuerpos mineralizados y su contexto geológico

La Sierra de Cartagena pertenece a las cordilleras Béticas, y más concretamente a la zona Bética propiamente dicha o zona interna, caracterizada por una estructura de capas superpuestas de origen alpino, diferenciadas por un grado decreciente de metamorfismo de abajo arriba, y que se conocen con los nombres de complejo Nevado-Filábride, Alpujarride y Maláguide, en este orden de abajo arriba. En la Sierra de Cartagena aparecen representados únicamente los complejos Nevado-Filábride y Alpujarride. (Ver PAVILLON, 1968, 1969, 1972; EGELER, 1969; ALLABERT, 1973; ESPINOSA-GODOY et al., 1974, etc.).

Dentro del Nevado-Filábride se distinguen dos unidades: Inferior de edad paleozoica, y Superior de edad permo-triásica y triásica. Asimismo, el Alpujarride está compuesto, de acuerdo con ESPINOSA et al. (1974) y OEN et al. (1975) por una unidad Alpujarride Inferior y una unidad Alpujarride Superior (fig. 2). Una tercera Alpujarride, «unidad de Garguel» (OVEJERO et al., 1973) aparece encima de las anteriores en algunas partes de la Sierra, si bien no se ha conservado en el área central donde están situados los depósitos minerales que nos ocupan, por lo que no aparece reflejada en la columna de la figura 2. Una serie transgresiva Neógena cubre las citadas unidades alpinas.

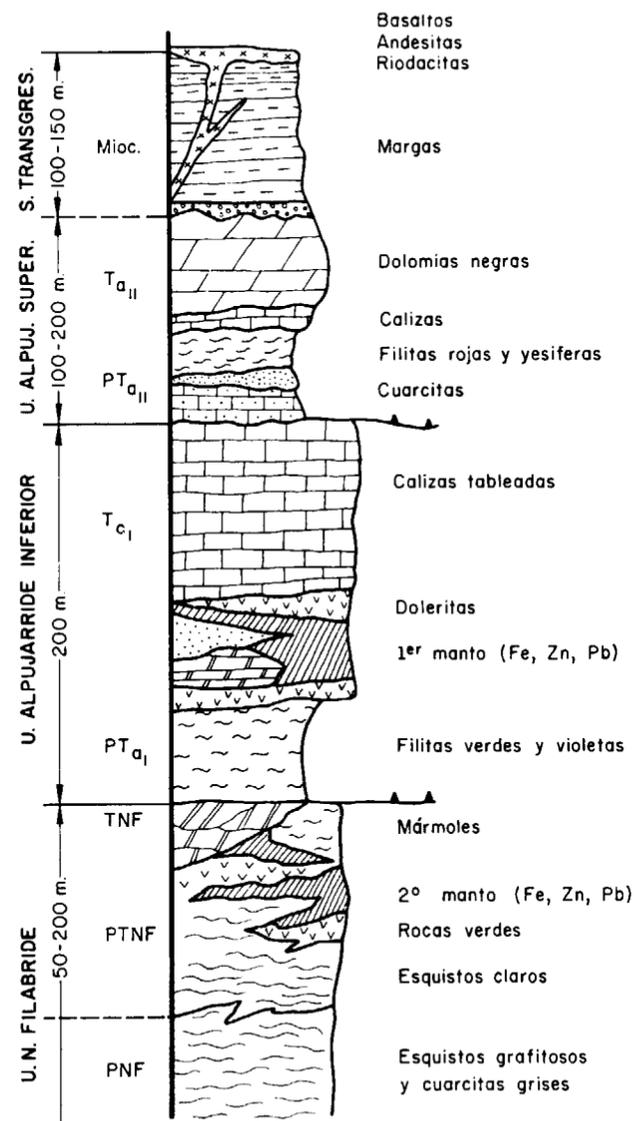


Figura 2.—Columna litoestratigráfica.

Los depósitos minerales principales, masivos y estratiformes, que han dado lugar a las grandes explotaciones a cielo abierto de esta zona reciben el nombre de «mantos». De acuerdo con ALLABERT (1973), OEN, FERNÁNDEZ y MANTECA (1975), y OVEJERO, JACQUIN y SERVAJEAN (1976) se distinguen dos tipos de «manto» por su posición tecto-estratigráfica:

Manto superior o primer manto, que aparece en la unidad Alpujarride Inferior a la base del paquete carbonatado y en asociación a rocas bási-

cas doleríticas. Su carácter geométrico es intermedio entre equidimensional y estratiforme, y puede alcanzar grandes espesores, próximos a los 100 metros (ver también PAVILLON, 1969).

Manto inferior o segundo manto, que aparece en la unidad Nevado-Filábride Superior, y también, por lo general, en asociación a rocas verdes. Tiene un carácter estratiforme y su potencia media es del orden de 10 m.

Partes importantes de estos depósitos de sulfuros son aflorantes o poseen un débil recubrimiento, por lo que el desarrollo de los fenómenos de oxidación ha sido muy importante. Las características climáticas e hidrogeológicas de la zona han favorecido estos procesos, alcanzando la oxidación a veces gran profundidad bajo la superficie, dando lugar a una espesa «montera» o «gossan» cubriendo los sulfuros, y en algunas zonas reemplazándolos totalmente.

Los fenómenos de oxidación se han desarrollado principalmente en los depósitos del área central (S. Valentín-Emilia-Tomasa), más profundamente desmantelados por la erosión, y como es natural se hallan más desarrollados los depósitos de primer manto.

#### 3.1. La mineralización primaria (o de sulfuros)

Los «mantos» de la Sierra de Cartagena, presentan dos tipos de asociaciones minerales primarias:

Paragénesis 1: Asociación sulfuros-carbonatos-sílice.

Paragénesis 2: Asociación greenalita (y clorita)-magnetita-sulfuros-carbonatos-sílice.

Ambos tipos de asociaciones se presentan indistintamente tanto en el primero como en el segundo manto (OEN, FERNÁNDEZ y MANTECA, 1975).

La paragénesis 1, a la que corresponde, por ejemplo, el yacimiento de Los Blancos, consta de acuerdo con OEN et al. (1975) de: galena, blenda, pirita, marcasita y localmente pirrotina, como sulfuros principales, y como accesorios, calcopirita, arsenopirita, tetraedrita y estannita. Entre los carbonatos se encuentra principalmente la siderita, con variedades conteniendo Zn y Mn.

La paragénesis 2, desarrollada principalmente en los depósitos de la zona San Valentín-Tomasa, está constituida como minerales predominantes

por la greenalita (FRIEDRICH, 1962) y la clorita. Sigue en abundancia la magnetita. Los sulfuros aparecen diseminados dentro de la matriz de greenalita, galena, blenda, pirita, marcasita, calcosina, tetraedrita y estannina. Entre los carbonatos, al igual que en la paragénesis 1, predomina la siderita y variedades de ésta conteniendo Zn y Mn. La sílice aparece bajo forma de ópalo y calcedonia, fundamentalmente.

La composición química media correspondiente a estas paragénesis se puede ver en la tabla I.

**TABLA I**  
Composición química media correspondiente a la paragénesis 1 y 2

	Paragénesis 1	Paragénesis 2
SiO <sub>2</sub> ... ..	40%	45
Fe ... ..	20	35
MgO+CaO ... ..	5	3
S ... ..	20	3
Pb ... ..	1,5	1
Zn ... ..	3,0	1,5
Ag ... ..	20 ppm	15 ppm

#### 3.2. La plata en la mineralización de sulfuros: forma mineralógica y su distribución.

Los sulfuros encierran un contenido medio en Ag entre 15 y 20 ppm. Este contenido metal está contenido mayoritariamente en la galena; con todo, una cantidad significativa de Ag aparece contenida en sulfuros accesorios, como la tetraedrita, mineral que se presenta como inclusiones en los distintos sulfuros. En los sulfuros de la cantera Las Blancos, se ha encontrado tetraedrita conteniendo una ley de 25 por 100 de Ag, según los análisis de microsonda (J. A. LÓPEZ y M. FERNÁNDEZ, 1980, informes inéditos).

Las leyes de plata en los sulfuros presentan una dispersión importante, en buena medida paralela a la dispersión propia de las leyes de Pb, estando ambas fuertemente correlacionadas: coeficiente de correlación Ag—Pb=0,89 (ver figura 3).

#### 4. La mineralización secundaria o del gossan

Esta mineralización se caracteriza por la asociación de óxidos, hidróxidos y sulfatos, y ha sido

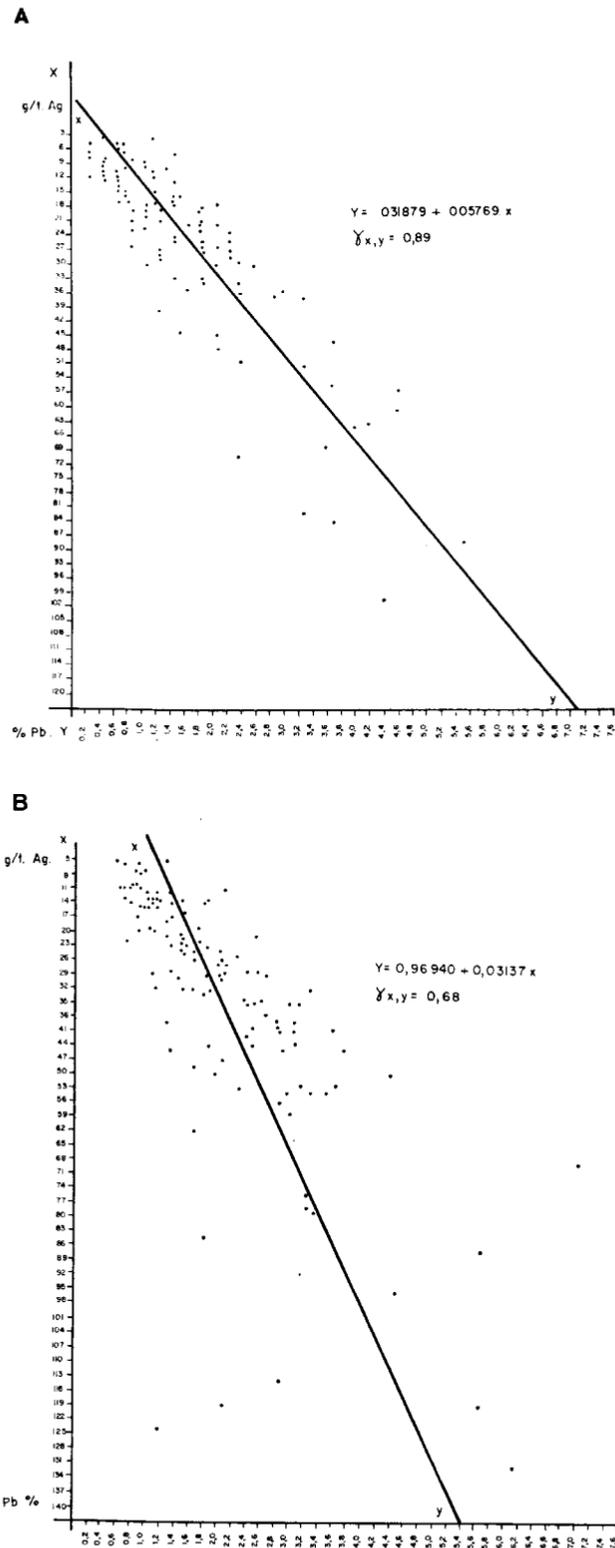


Figura 3.—A-Correlación Ag/Pb en sulfuros. B-Correlación Ag/Pb en óxidos.

descrita por OEN et al. (1975) como paragénesis 3. En esta llamada paragénesis 3, dichos autores incluyen, además de las monteras de oxidación de los depósitos tipo manto, otro tipo particular de montera desarrollada a partir de las mineralizaciones volcánicas neógenas, que se desarrollaron localmente en la zona central de la sierra (La Crisoleja) (ver figura 2). El presente trabajo se ocupa únicamente de los gossan de los «mantos». En cuanto al último tipo de gossan citado de características específicas y diferenciadas, ha sido estudiado mineralógicamente por KAGER (1980), además del trabajo ya citado de OEN et al.; y otros estudios se hallan en curso A. ARRIBAS y J. A. LÓPEZ-GARCÍA.

La mineralogía de las zonas oxidadas de los yacimientos Los Blancos, Emilia, San Valentín y Tomasa es muy semejante.

Aparecen como minerales principales la gohetita, hematites y sílice; y en menor proporción minerales del grupo de la jarosita, junto con carbonatos y minerales arcillosos. Entre los minerales arcillosos, OEN et al. (1975) citan la vermiculita, metahalloysita y dickita. Como minerales accesorios aparecen la magnetita, yeso, anglesita, cerusita, querargirita y algunos sulfuros (pirita, blenda, galena, calcosina).

Contiene también una serie de óxidos complejos de Mn, con Fe, K, Ba, Pb, Zn, como psilomelano, criptomelano, pirolusita, calcofanita, coronadita, heterolita (OEN et al. 1975). Según KAGER (1980), en los óxidos de Los Blancos aparecen también fosfatos y fosfosulfatos como la arrojadita, svanbergita, hinsdalita.

La composición química media correspondiente a los óxidos de la zona S. Valentín-Tomasa es la siguiente:

SiO <sub>2</sub>	41 %
FeO <sub>3</sub>	42 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,90 %
MgO+CaO	0,70 %
S	0,80 %
Pb	2,0 %
Zn	0,25 %

Una variante de esta composición química, se presenta en los óxidos desarrollados sobre los contactos entre rocas carbonatadas y los bordes laterales de acuñamiento de los mantos. Estos óxidos, en cuya constitución aparecen abundantes

carbonatos (calaminas), se caracteriza por un predominio del Zn sobre el Pb (Zn 2,50 %, Pb 0,30 %), y un contenido muy bajo en Ag 5 ppm. En las zonas centrales del manto de los óxidos masivos este predominio está incluido.

En relación con la constitución química de la mineralización primaria de procedencia (paragénesis 2), se puede apreciar un empobrecimiento en sílice, Mg, Ca, S y Zn (para los óxidos masivos centrales), así como un enriquecimiento en óxidos de Fe, alúmina, Pb y Ag (concentración residual).

En los óxidos que aparecen en la periferia de los mantos, desarrollados sobre rocas carbonatadas, se ha producido un enriquecimiento en Zn, cuya eliminación de la zona central del gossan ha sido muy intensa.

Descripción de las especies minerales

Dada la importancia de los minerales del grupo de la jarosita, éstos serán tratados en el apartado siguiente.

GOHETITA.—Es un mineral principal en todas las muestras estudiadas. Tiene varias formas de presentarse. Aparece en forma de texturas coloidales típicas de las zonas de lixiviación, formando secuencias de crecimiento concéntricas con los minerales del grupo de la jarosita y hematites (figura 4). Otras veces rellena grietas y fisuras en los minerales de la ganga, y también aparece en forma masiva cementando granos idiomorfos de cuarzo y carbonatos.

HEMATITES.—Es un mineral muy abundante, generalmente presenta texturas concéntricas que indican un modo de formación coloidal. Forma también texturas bandeadas o granos de tamaño variado, incluidos generalmente en gohetita. A veces estos granos son pseudomorfos de pirita, intercrecidos con minerales de la jarosita (fig. 5).

MAGNETITA.—Este mineral, en las canteras S. Valentín y Tomasa es un constituyente principal dentro de las menas metálicas. En las zonas oxidadas la magnetita generalmente se presenta transformada en hematites, con gran desarrollo de cristales idiomorfos (fig. 6).

PIRITA.—Generalmente aparece como mineral accesorio en forma de pequeños granos redondeados incluidos en los óxidos de hierro. Son restos que han resistido a los procesos de alteración.

ESFALERITA.—Mineral muy escaso que se presenta formando pequeños granos, incluidos en los óxidos de hierro, como restos de los procesos de alteración.

CALCOSINA.—Es un mineral accesorio. Posiblemente es un producto de reemplazamiento de pirita o calcopirita, que ha permanecido sin alterar en el gossan.



Figura 4.—NP×100. Luz reflejada. Gohetita con textura coloidal (gris claro) con bandas concéntricas de jarosita (negro) y hematites (blancos). Obsérvese la jarosita masiva en la parte superior de la microfotografía. Cantera S. Valentín.

Figura 5.—NP×200. Luz reflejada. Alternancia de hematites (blanco) y jarosita (gris claro). Obsérvese las formas idiomorfas de la hematites. Cantera Tomasa.

Figura 6.—NP×100. Luz reflejada. Magnetita (gris claro) transformándose en hematites (blanco). Obsérvese el buen desarrollo de los cristales de magnetita. Cantera Tomasa.

Figura 7.—NP×100. Luz reflejada. Jarosita masiva (gris claro) y gohetita coloidal (blanco) cementando a la ganga constituida por cuarzo idiomorfo y clorita (gris oscuro). Los Blancos.

carbonatos (calaminas), se caracteriza por un predominio del Zn sobre el Pb (Zn 2,50 %, Pb 0,30 %), y un contenido muy bajo en Ag 5 ppm. En las zonas centrales del manto de los óxidos masivos este predominio está incluido.

En relación con la constitución química de la mineralización primaria de procedencia (paragénesis 2), se puede apreciar un empobrecimiento en sílice, Mg, Ca, S y Zn (para los óxidos masivos centrales), así como un enriquecimiento en óxidos de Fe, alúmina, Pb y Ag (concentración residual).

En los óxidos que aparecen en la periferia de los mantos, desarrollados sobre rocas carbonatadas, se ha producido un enriquecimiento en Zn, cuya eliminación de la zona central del gossan ha sido muy intensa.

#### *Descripción de las especies minerales*

Dada la importancia de los minerales del grupo de la jarosita, éstos serán tratados en el apartado siguiente.

**GOHETITA.**—Es un mineral principal en todas las muestras estudiadas. Tiene varias formas de presentarse. Aparece en forma de texturas coloidales típicas de las zonas de lixiviación, formando secuencias de crecimiento concéntricas con los minerales del grupo de la jarosita y hematites (figura 4). Otras veces rellena grietas y fisuras en los minerales de la ganga, y también aparece en forma masiva cementando granos idiomorfos de cuarzo y carbonatos.

**HEMATITES.**—Es un mineral muy abundante, generalmente presenta texturas concéntricas que indican un modo de formación coloidal. Forma también texturas bandeadas o granos de tamaño variado, incluidos generalmente en gohetita. A veces estos granos son pseudomorfos de pirita, intercrecidos con minerales de la jarosita (fig. 5).

**MAGNETITA.**—Este mineral, en las canteras S. Valentín y Tomasa es un constituyente principal dentro de las menas metálicas. En las zonas oxidadas la magnetita generalmente se presenta transformada en hematites, con gran desarrollo de cristales idiomorfos (fig. 6).

**PIRITA.**—Generalmente aparece como mineral accesorio en forma de pequeños granos redondeados incluidos en los óxidos de hierro. Son restos que han resistido a los procesos de alteración.

**ESFALERITA.**—Mineral muy escaso que se presenta formando pequeños granos, incluidos en los óxidos de hierro, como restos de los procesos de alteración.

**CALCOSINA.**—Es un mineral accesorio. Posiblemente es un producto de reemplazamiento de pirita o calcopirita, que ha permanecido sin alterar en el gossan.

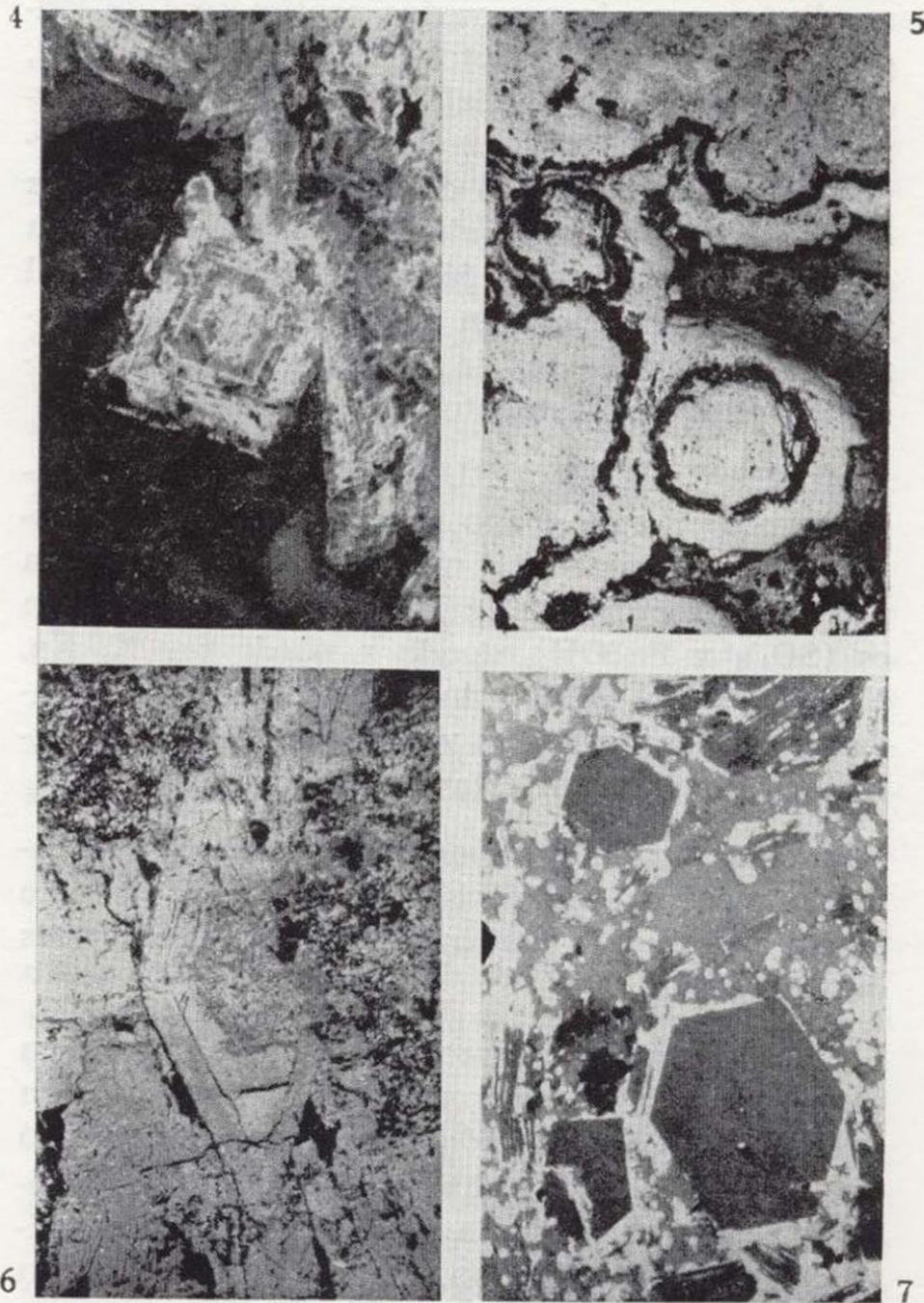


Figura 4.—NP×100. Luz reflejada. Gohetita con textura coloidal (gris claro) con bandas concéntricas de jarosita (negro) y hematites (blancos). Obsérvese la jarosita masiva en la parte superior de la microfotografía.

Cantera S. Valentín.

Figura 5.—NP×200. Luz reflejada. Alternancia de hematites (blanco) y jarosita (gris claro). Obsérvese las formas idiomorfas de la hematites. Cantera Tomasa.

Figura 6.—NP×100. Luz reflejada. Magnetita (gris claro) transformándose en hematites (blanco). Obsérvese el buen desarrollo de los cristales de magnetita. Cantera Tomasa.

Figura 7.—NP×100. Luz reflejada. Jarosita masiva (gris claro) y gohetita coloidal (blanco) cementando a la ganga constituida por cuarzo idiomorfo y clorita (gris oscuro). Los Blancos.

**GALENA.**—La galena es un mineral muy escaso en estas zonas oxidadas. Únicamente se ha encontrado algún grano de tamaño reducido incluido en los óxidos de hierro.

**ANGLESITA Y CERUSITA.**—Son minerales accesorios, si bien localmente pueden ser minerales principales que se han formado como producto de meteorización de la galena, a la que reemplazan a favor de los bordes de grano. La anglesita es particularmente abundante, en cristales bien desarrollados que alcanza varios centímetros de longitud en matriz de gohetita. La anglesita aparece, en muchos casos, parcial o totalmente transformada en cerusita (aun conservado su hábito externo). El análisis químico de una serie de cristales de anglesita da unos valores de Pb que oscilan entre el 69 por 100 y el 66 por 100, en función del grado de transformación anglesita-cerusita. Generalmente, los cristales de anglesita y cerusita presentan unos revestimientos de gohetita.

**MINERALES DEL GRUPO DE LA JAROSITA.**—Incluimos en este grupo plumbojarosita, argentojarosita y natrojarosita, minerales que pertenecen a la serie isomorfa de la jarosita. Su composición es  $(SO_4)_2 \times Fe_3(OH)_6$  donde x puede ser K, Na,  $NH_4$ , Ag y Pb. Estos minerales son menos abundantes que la hematites y son los principales portadores de plata en estas zonas oxidadas.

La caracterización de estos minerales se ha realizado mediante difracción de Rayos X, ya que ópticamente no se pueden identificar los términos de esta serie.

Estos minerales aparecen en algunos casos en concentraciones inferiores al poder de resolución del método de difracción, por lo que se trabajó con los concentrados obtenidos después de someter a las muestras a ensayos de separación magnética. En esta separación, como ya se indicó en el epígrafe 2, se obtienen tres fracciones: alto magnetismo, medio magnetismo, bajo magnetismo. En la fracción de magnetismo medio se concentran los minerales del grupo de la jarosita, algo de gohetita y querargirita. En esta fracción, además, las proporciones de plomo y plata son elevadas. En la fracción de magnetismo alto se concentra gohetita y hematites y la relación entre el contenido en plomo y plata es inferior que en el caso anterior. Por último, en la fracción menos magnética se concentran los minerales de la ganga y en ella la proporción de plomo y plata vuelven a dismi-

nuir notablemente con respecto a la fracción magnética.

Plumbojarosita, natrojarosita y argentojarosita fueron identificados por difracción de Rayos X en las fracciones enriquecidas en jarosita (magnetismo medio). La primera especie es la más abundante.

Los minerales del grupo de la jarosita tienen varias formas de presentarse: unas veces aparecen bordeando a los granos de la ganga (fig. 7); otras veces se presentan en forma masiva cementando a los restantes minerales. Forma también texturas coloidales con secuencia de crecimiento concéntricas con gohetita (fig. 5) y texturas bandeadas (fig. 8). A veces en estas bandas se puede observar una gradación de jarosita a hematites, lo que puede indicar un carácter de formación anterior para aquel mineral. También se ha observado a este mineral formando agregados intercrecidos con hematites (fig. 9).

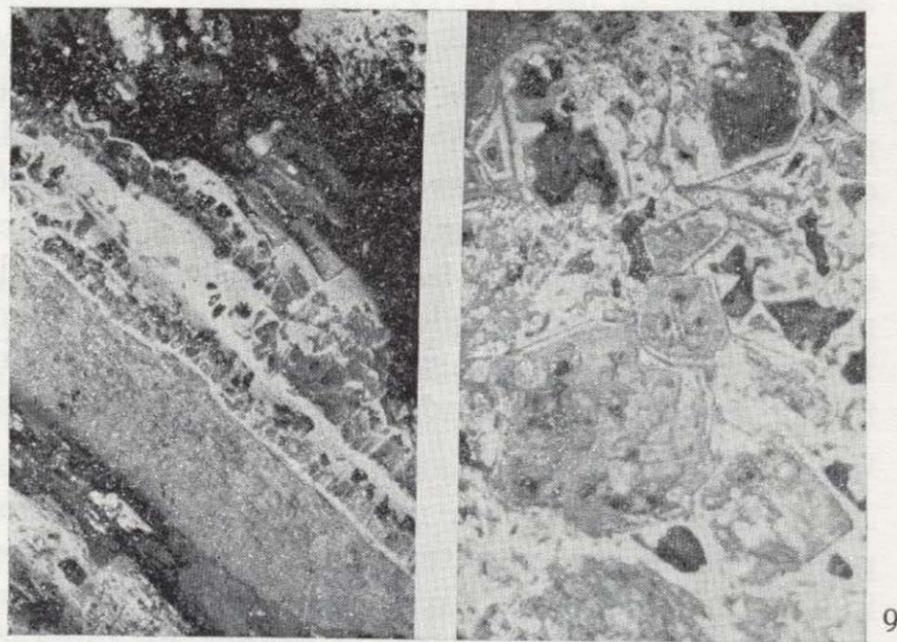


Figura 8.—NP×100. Luz reflejada. Textura bandeada que presentan la gohetita (gris claro) y la jarosita (gris oscuro).

El mineral más claro es hematites. Cantera Tomasa. Figura 9.—NP×200. Luz reflejada. Agregados de jarosita (gris oscuro) rodeados de bandas concéntricas de gohetita (gris claro) intercrecidos con hematites (blanco).

Las muestras con mayor contenido en plomo y plata fueron seleccionadas para investigar, mediante scanning, cómo se encuentran estos elementos. En cuanto a la plata, se ha podido comprobar que su concentración en la jarosita es casi puntual, no presentando una distribución homogénea.

**GALENA.**—La galena es un mineral muy escaso en estas zonas oxidadas. Únicamente se ha encontrado algún grano de tamaño reducido incluido en los óxidos de hierro.

**ANGLESITA Y CERUSITA.**—Son minerales accesorios, si bien localmente pueden ser minerales principales que se han formado como producto de meteorización de la galena, a la que reemplazan a favor de los bordes de grano. La anglesita es particularmente abundante, en cristales bien desarrollados que alcanza varios centímetros de longitud en matriz de gohetita. La anglesita aparece, en muchos casos, parcial o totalmente transformada en cerusita (aun conservado su hábito externo). El análisis químico de una serie de cristales de anglesita da unos valores de Pb que oscilan entre el 69 por 100 y el 66 por 100, en función del grado de transformación anglesita-cerusita. Generalmente, los cristales de anglesita y cerusita presentan unos revestimientos de gohetita.

**MINERALES DEL GRUPO DE LA JAROSITA.**—Incluimos en este grupo plumbojarosita, argentojarosita y natrojarosita, minerales que pertenecen a la serie isomorfa de la jarosita. Su composición es  $(SO_4)_2 \times Fe_3(OH)_6$  donde x puede ser K, Na,  $NH_4$ , Ag y Pb. Estos minerales son menos abundantes que la hematites y son los principales portadores de plata en estas zonas oxidadas.

La caracterización de estos minerales se ha realizado mediante difracción de Rayos X, ya que ópticamente no se pueden identificar los términos de esta serie.

Estos minerales aparecen en algunos casos en concentraciones inferiores al poder de resolución del método de difracción, por lo que se trabajó con los concentrados obtenidos después de someter a las muestras a ensayos de separación magnética. En esta separación, como ya se indicó en el epígrafe 2, se obtienen tres fracciones: alto magnetismo, medio magnetismo, bajo magnetismo. En la fracción de magnetismo medio se concentran los minerales del grupo de la jarosita, algo de gohetita y querargirita. En esta fracción, además, las proporciones de plomo y plata son elevadas. En la fracción de magnetismo alto se concentra gohetita y hematites y la relación entre el contenido en plomo y plata es inferior que en el caso anterior. Por último, en la fracción menos magnética se concentran los minerales de la ganga y en ella la proporción de plomo y plata vuelven a dismi-

nuir notablemente con respecto a la fracción magnética.

Plumbojarosita, natrojarosita y argentojarosita fueron identificados por difracción de Rayos X en las fracciones enriquecidas en jarosita (magnetismo medio). La primera especie es la más abundante.

Los minerales del grupo de la jarosita tienen varias formas de presentarse: unas veces aparecen bordeando a los granos de la ganga (fig. 7); otras veces se presentan en forma masiva cementando a los restantes minerales. Forma también texturas coloidales con secuencia de crecimiento concéntricas con gohetita (fig. 5) y texturas bandeadas (fig. 8). A veces en estas bandas se puede observar una gradación de jarosita a hematites, lo que puede indicar un carácter de formación anterior para aquel mineral. También se ha observado a este mineral formando agregados intercrecidos con hematites (fig. 9).

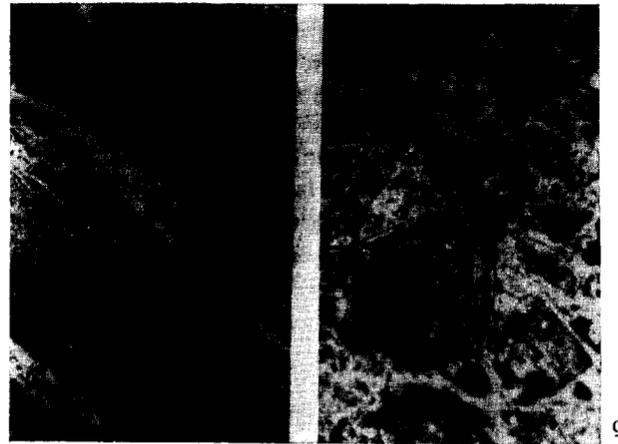


Figura 8.—NP×100. Luz reflejada. Textura bandeada que presentan la gohetita (gris claro) y la jarosita (gris oscuro). El mineral más claro es hematites. Cantera Tomasa.  
Figura 9.—NP×200. Luz reflejada. Agregados de jarosita (gris oscuro) rodeados de bandas concéntricas de gohetita (gris claro) intercrecidos con hematites (blanco).

Las muestras con mayor contenido en plomo y plata fueron seleccionadas para investigar, mediante scanning, cómo se encuentran estos elementos. En cuanto a la plata, se ha podido comprobar que su concentración en la jarosita es casi puntual, no presentando una distribución homogénea.

La asociación jarosita-gohetita es más frecuente que la jarosita-hematites en la mayoría de las muestras. En muchos casos, además, se puede observar que se depositan hematites en una primera fase, seguida de deposición intermitente de jarosita y gohetita, lo cual probablemente indica varias fases de mineralización.

Que la asociación jarosita-gohetita es más frecuente que la de jarosita-hematites ha sido ya apuntado en muchos depósitos de sulfuros (BROWN, 1971). La génesis de la zonación jarosita-gohetita ha sido interpretado por KELLY y GODDARD (1969) y SAAS et al. (1965) y confirmado por BROWN (op. cit.) como consecuencia de las actividades de  $H^+$ ,  $SO_4^{2-}$  y  $K^+$ . El aumento de las actividades de estos iones (como consecuencia de una concentración o disolución) para un Eh y una actividad de  $Fe^{2+3+}$  dado, causan la precipitación de uno u otro.

La gohetita o hematites son minerales estables en un amplio intervalo de valores de Eh y pH, pero la jarosita se favorece en condiciones ácidas, pH 3 y oxidantes (BROWN, J. B., 1971). La jarosita, no obstante, según este autor, puede persistir fuera de su campo de estabilidad bien debido a una persistencia de condiciones áridas, o bien a una reacción muy lenta de jarosita-gohetita. En general, la existencia de jarosita en el gossan es debido a uno de estos dos factores, pues la circulación del agua después de su precipitación causaría su disolución. La acción de estas aguas sobre el gossan, mezcla de aguas de los ríos, de lluvia y en parte subterránea y con valores de pH entre 5 y 8, tiende a la sustitución de jarosita-gohetita, citada por algunos autores como BLANCHARD (1968) y TUELL (1926). También sería la causa de la pequeña proporción de jarosita, inferior en general al 10 por 100 en estas zonas.

En cuanto al problema de las sustituciones de  $(Na^+, Pb^{2+}$  y  $Ag^+)$  dentro de los sulfatos complejos, en las zonas de oxidación, según HENDRICKS (1937), la jarosita tiene una estructura que permite gran posibilidad de sustituciones isomórficas. Además, en esta estructura, debido a la semejanza de radios iónicos entre  $Na^+=0,98 \text{ \AA}$ ,  $Ag^+=1,20 \text{ \AA}$  y  $Pb^{2+}=1,32 \text{ \AA}$ , hay gran posibilidad de cambio isomórfico y por tanto no se debe definir los términos genéricos «plumbojarosita-argentojarosita y natrojarosita».

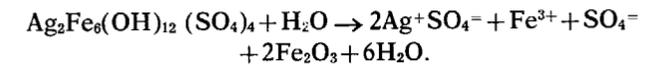
En la tabla II se presentan las dimensiones a y c de las celdillas de esta especie, recopiladas por

**TABLA II**  
**Dimensiones de a y c de la jarosita, argentojarosita, plumbojarosita y natrojarosita**

Minerales	Dimensiones		c/a
	a	c	
Jarosita ... ..	7,20	17	2,16
Argentojarosita ... ..	7,22	16,4	2,27
Natrojarosita ... ..	7,18	16,3	2,27
Plumbojarosita ... ..	7,20	33,6	4,67

HENDRICKS (1937). La semejanza entre la relación c/a, es una indicatriz de las amplias posibilidades de sustitución isomorfa en esta serie.

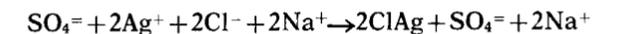
Asimismo, las posibilidades de formación de querargirita (A. MAY et al., 1973) son las siguientes: Por encima de 350° C la argentojarosita se descompone según la siguiente reacción:



A mayor temperatura, el sulfato férrico se transforma en hematites, con desprendimiento de  $SO_3$ . A temperaturas superiores a 800° C la hematites reacciona con disoluciones de sulfato de plata, según la siguiente ecuación:



Si estas soluciones se encuentran en la zona de oxidación con otras soluciones conteniendo cloruros, pueden formar cloruros compuestos como la querargirita:



BATEMAN (1957) señala como característica la formación de querargirita en zonas de oxidación en climas áridos y próximos al mar, circunstancias en las que se encuadran precisamente los depósitos de la Sierra de Cartagena.

*La plata en las mineralizaciones del gossan: su distribución.*

Los minerales oxidados encierran un contenido muy variable en Ag, y la dispersión de leyes que encontramos es mayor que en la mineralización de sulfuros, análogamente a lo que ocurre con el Pb. En la figura 10 se muestra la distribución

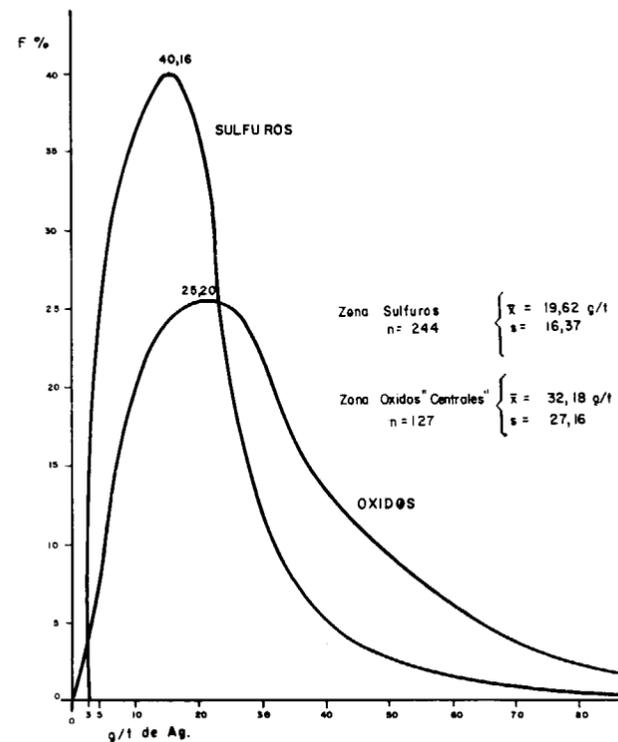


Figura 10.—Distribución de frecuencia de leyes de Ag.

de frecuencias de leyes de Ag en zonas oxidadas y en zonas de sulfuros. Parece claro que a lo largo del proceso de gossanización se produce la removilización de este elemento, seguida de concentraciones locales. La ley media Ag de la zona oxidada estudiada es netamente superior a las zonas de sulfuros del área, lo que parece hablar a favor de un proceso de concentración residual, a partir de un volumen mineralizado originalmente mayor que el de el actual gossan.

La plata en estas zonas oxidadas hemos podido comprobar que se encuentra principalmente asociada a los minerales de la serie de la jarosita. Además, como mineral accesorio, portador de Ag, se encuentran la querargirita, si bien localmente este mineral puede pasar a ser mineral principal, originando importantes anomalías puntuales (cartera S. Valentín). Por otra parte, la galena residual que queda, conlleva lógicamente su parte proporcional de Ag.

En general, en las zonas oxidadas, la variación de la ley de Ag es paralela al Pb, lo cual no significa necesariamente que ambos metales formen especies mineralógicas comunes. Es verdad que

existen minerales portadores de Ag y Pb (plumbojarosita), pero también estos metales se encuentran en especies distintas.

La correlación Ag—Pb es relativamente débil en comparación con la existente en la mineralización primaria de sulfuros. En la figura 10 se muestra el ajuste de una recta a las nubes de puntos Ag/Pb, de ambas asociaciones minerales. Vemos que mientras en los sulfuros la relación Ag/Pb se mantiene, relativamente, dentro de un intervalo, en los óxidos puede variar ampliamente debido a la presencia de especies minerales específicas de cada uno de ambos metales.

### 5. Comparación con otros gossan

La mineralogía y geoquímica del gossan de Fe, Pb, Zn de La Unión, presenta características comparables con otras zonas oxidadas, como, por ejemplo, el gossan de Río Tinto, Huelva, (AMORÓS et al., 1980).

Los minerales de la jarosita presentan texturas semejantes a las descritas en dicho trabajo y tienen un modo de formación semejante. También en el gossan de Río Tinto se ha podido determinar que, en general, los términos plumbojarosita, argentojarosita son los más abundantes. Y que estos minerales se concentran en fracciones intermedias en la separación magnética.

La importancia de las jarositas en ambos casos como minerales portadores de plata induce a pensar que un estudio sistemático de estas formaciones puede tener importancia económica grande.

### BIBLIOGRAFIA

- ALLABERT, J.: *La province plombo-zincifere de Cordilleres betiques (Espagne Meridionale). Essai typologique.* These, Université de Nancy, I, 148 p. (1973).
- AMORÓS, J. L.; LUNAR, R., y TAVIRA, P.: *Jarosite: A silver bearing of the gossan of Rio Tinto (Huelva) and La Unión (Cartagena, Spain).* Mineralium Deposita (1981).
- BASILIO TRÍAS, A.: *Memoria acerca de las minas de plomo argentífero y de zinc: Iberia, Montserrat, M.ª de los Angeles y Santa Catalina. Situado en el Cabezo de la Raja (S. E. de Cartagena).* Editado en Cartagena, 74 pp. (1883).
- BATEMAN, A. M.: *Yacimientos minerales de interés económico.* Ed. Omega, 975 pp. (1957).

- BLANCHARD, R.: *Interpretation of leached out crops*, 196 pp. Nevada Bureau of Mines Bull., 26 (1968).
- BROWN: *Jarosite-goethite stabilies at 25° C.* IATM Mineralium Deposita, 6, pp. 245-252 (1971).
- EGLER, C. G., and SIMON, O. S.: *Sur la tectonique de la zone bétique: Koninkl. Nederlanse Akad. Wetensch. Verh Ard Natuurk ser. 1 v. 25, núm. 3, 90 pp.* (1969).
- ESPINOSA-GODOY, J.; MARTÍN-VIVALDI, J. M., y PÉREZ ROJAS, A.: *Mapa Geológico de España 1:50.000, Hojas 977, Cartagena, y 978, Llano el Beal.* Inst. Geol. y Minero, España, Madrid (1974).
- FRIEDRICH, G.: *Über ein dem Greenalit maestebendes Mineral der Serpentinegruppe ans den subvulkanischen-hydrothermalen erzvorkommen der Sierra de Cartagena in Spanien.* Beitr. Mineralogie Petrographie, v. 8, pp. 189-198 (1962).
- FRIEDRICH, G.: *Lagerstättenkundliche Untersuchungen an den Erzvorkommen der Sierra de Cartagena in Spanien.* Geol. Jahrb Beiheft 59, 108 pp. (1964).
- FRIEDRICH, G.; SCHACHNER, D., and NIELSEN, H.: *Schwefelisotopen-Untersuchungen an sulfiden ans den Erzvorkommen der Sierra de Cartagena in Spanien Geochim et Cosmochim. Acta v. 28, pp. 683-698* (1964).
- GRAESER, S., and FRIEDRICH, G.: *Sur Frage der Alterstellung und genese der Blei-zink vorkommen der Sierra de Cartagena in Spanien Mineralium deposita.* V. 5, pp. 365-374 (1970).
- GUARDIOLA, R.: *Estudio metalogénico de la Sierra de Cartagena.* Inst. Geol. España Mem., v. 53, 564 pp. (1927).
- HENDRICKS, S. B.: *The crystal structure of alunite and jarosite.* Am. Min., 22, pp. 773-784 (1937).
- KAGER, D. C. A.: *Mineralogical investigations on sulfides, Fe-Mn-Zn-Mg-Ca-Carbonates, greenalite and Associated minerals in the Pb-Zn deposits in the Sierra de Cartagena, Province of Murcia, S. E. Spain thesis University.* Amsterdam, GUA paper of geology series 1, núm. 12 (1980).
- KELLY, W. C.; GODDAR, E. N.: *Telluride ores of Boulder Country, Colorado Geological Society of America Mem., 237 pp.* (1969).
- LÓPEZ GARCÍA, S. A., y LUNAR, R.: *Mineralogía de los yacimientos de Buen Consejo y Los Blancos. Sierra de Cartagena. Murcia.* II Reunión de la SEM, en prensa (1980).
- MAY, A.; SJOBERG, J. J., and BOGLIN, E. G.: *Synthetic argentojarosited: physical properties and thermat behaviur.* Am. Min. 58, 936-941 (1973).
- OEN, I. S.; FERNÁNDEZ, J. C., y MANTECA, J. I.: *The Leadzinc and associated ores of La Union. Sierra de Cartagena. Spain.* Econ. Geol., v. 70, pp. 1259-1278 (1975).
- OEN, I. S.; KAGER, P., and KIEFT: *Hawleyte and greenolite in ores from Los Blancos. Sierra de Cartagena, Spain.* Neues fahrh. Mineralogie Monatsh 11, pp. 507-513 (1974).
- OEN, I. S.; VITERWIFK, B. H., and VOERMANS, F. M.: *Bertrandite and Be enrichment in Greenalitic Pb-Zn ores Sierra de Cartagena, Spain.* Petrologie, v. 1, pp. 121-124 (1975).
- OEN, I. S.; WINDT, C. J.; WINNUST, T., and KAGER, P.: *Epigenetic lead-zinc mineralization in Miocene Pebbly Mudstones, Sierra de Cartagena, Spain.* Mineralium Deposita, v. 10, pp. 362-373 (1975).
- OVEJERO, G.; JACQUIN, J. P., y SERVAJEAN, G.: *Les mineralisations et leur contexte geologique dans la Sierra de Cartagena (Sud-Est de L'Espagne).* Bull. Soc. Geol. France (7), t. XVIII, pp. 613-633 (1976).
- PAVILLÓN, M. J.: *Les mineralisations plombo-zinciferes de Carthagene (Cordilleres Betiques, Espagne). Un exemple d'heritages sucessifs en metallogenie.* Mineralium Deposita, v. 4, pp. 368-385 (1969).
- PAVILLÓN, M. J.: *Remarques a propos de la note de H. Urban.* Mineralium Deposita, v. 4, pp. 412-414 (1969).
- PAVILLÓN, M. J.: *Paleogeographies, volcanismes, structures mineralisations plombo-zinciferes et heritages dans l'Est des Cordilleres Betiques (zones internes).* These Université de Paris, 623 pp. (1972).
- PILZ, R.: *Die Erzlagerstätten von Cartagena in Spanien.* Zeitschr. prakt. Geologie, v. 16, pp. 177-190 (1908).
- ROLANDI, B., and TEMPLADO, D.: *Catálogo de criaderos de zinc del distrito minero de Murcia.* Bol. oficial Minas y Metalurgia, núm. 134, pp. 599-648; núm. 135, pp. 677-723; núm. 136, pp. 751-797.
- SAAS, E.; NATHAN, Y., y NISSENBANM, A.: *Mineralogy of certain pyrite, concretions from Israel and. Their alteration products.* Min. Mag. 35, pp. 84-87 (1965).
- URBAN, H.: *Neue Untersuchungsergebnisse zur genese der in ostliche Teil der erzprovinz von Cartagene (Spanien) gelegenen Blei-zinkerz vorkommen.* Mineralium Deposita, v. 3, pp. 162-170 (1968).

Recibido: Febrero 1981

## Pulimento de áridos carbonatados en capas de rodadura.

### Parte I: Parámetros petrográficos.

Por J. ALONSO (\*) y M. MONTOTO (\*)

#### RESUMEN

Se ha estudiado el compartamiento de diversos materiales carbonatados, calizas y dolomías, en su utilización como áridos en capas de rodadura en carretera.

Sus coeficientes de pulimento acelerado se han interpretado en función de sus características petrográficas, obteniéndose una correlación satisfactoria para la suma ponderada de residuo insoluble, porosidad y carbonato secundario. Se corrobora el mal comportamiento como áridos de rodadura de los materiales calcáreos, mejorándose dicho comportamiento en caso de coexistir diversos parámetros petrográficos (presencia de cuarzo, poros, laminaciones penetrativas).

El coeficiente de pulimento acelerado, que constituye una medida del comportamiento antideslizante en carretera, puede predecirse a partir de observaciones sencillas y ensayos elementales.

#### ABSTRACT

The behaviour of some Spanish calcareous roadstones, limestones and dolomites, has been studied.

Their polishing stone value, in terms of their petrographic character, has been interpreted, and satisfactorily correlated to the ponderal weight sum of insoluble residue, porosity and secondary carbonate. The general inability of calcareous materials as roadstones has been confirmed, but they present a given ability when some petrographic parameters coexist: presence of quartz, penetrative laminations, porosity.

The polishing stone value, a practical guide to the nonskidding road behaviour, can be predicted by means of simple petrographic observations and easy tests.

#### INTRODUCCION

Los áridos rocosos que forman la capa de rodadura de las carreteras, sufren una evolución en su comportamiento, que ha sido estudiada experimentalmente, MACLEAN y SHERGOLD (1958), UBACH y SALINAS (1971), HARTLEY (1974), SALINAS *et al* (1978). Así, durante los periodos iniciales de su puesta en servicio suelen mostrar buen comportamiento frente al pulimento; sin embargo, en tiempos muy cortos, respecto a la durabilidad de las carreteras, evolucionan a valores bajos que pueden favorecer o dificultar el deslizamiento de vehículos, en especial en condiciones de pavimento mojado con formación de «película de agua».

Estos valores finales guardan relación con la naturaleza petrográfica de sus áridos, y su evolución posterior ya es muy lenta, en ocasiones con inversiones estacionales. En este sentido las calizas son las rocas que presentan mayores problemas de deslizamiento, y el objetivo de este trabajo es analizar las características petrofísicas de los materiales carbonatados que influyen en su comportamiento antideslizante, cuando son utilizados como áridos en las capas de rodadura de las carreteras.

Se trata de disponer de una serie de criterios, lo más elementales posibles, a la hora de prospectar áridos naturales, así como de establecer las características que debe poseer un árido ideal.

(\*) Departamento de Petrología, Facultad de Ciencias. Universidad de Oviedo.

#### CARACTERISTICAS DEL ENSAYO Y DE LAS MUESTRAS

##### Ensayo de Pulimento Acelerado de los áridos

MACLEAN y SHERGOLD (1958) desarrollaron un ensayo de laboratorio simulando condiciones reales para predecir el comportamiento de los áridos frente al deslizamiento en carretera. En sus trabajos y posteriores puede verse la validez de este ensayo, por lo que se ha generalizado en Europa occidental como norma obligatoria en el control de calidad, que en España corresponde a la norma NLT-174/72 del Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo, «José Luis Escario» del Ministerio de Obras Públicas.

Este ensayo se realiza por medio de una máquina que consta de dos ruedas, figura 1; la inferior es la motriz y en su periferia lleva adosadas las probetas de árido, figura 2; la rueda superior es un neumático que apoya con una determinada carga y al cual se suministra abrasivo. El ensayo



Figura 1.—Máquina de Pulimento Acelerado.

Figura 2.—Probetas de áridos utilizados en el ensayo.

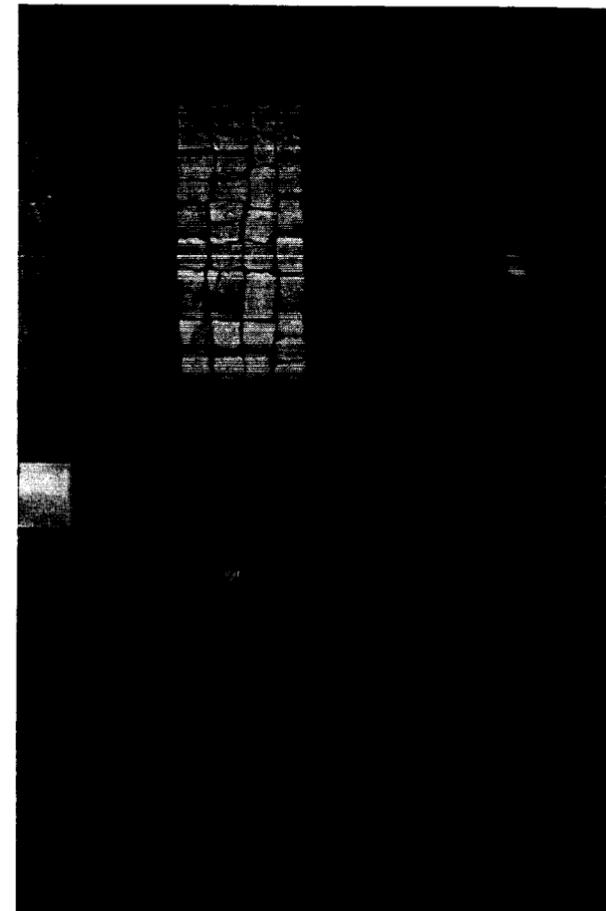


Figura 3.—Péndulo de fricción.

consiste en realizar un primer ciclo de pulimento con abrasivo grueso durante 3 horas, y un segundo ciclo con abrasivo fino durante otras 3 horas.

Los valores de resistencia al deslizamiento se toman sobre cada probeta con el péndulo de fricción, norma NLT-175/73, figura 3. Se realizan medidas iniciales (0 horas), después del primer ciclo (3 h), y finales (6 h). Estas últimas son las que miden el pulimento alcanzado por los áridos, y se denominan «coeficiente de pulimento acelerado» o abreviadamente CPA. Este mismo péndulo es el que se utiliza en carretera para medir el pulimento de los áridos «in situ».

Por medio de este ensayo estandarizado desaparece la aleatoriedad de los factores externos que intervienen en el pulimento de los áridos, obte-

## CARACTERISTICAS DEL ENSAYO Y DE LAS MUESTRAS

### Ensayo de Pulimento Acelerado de los áridos

MACLEAN y SHERGOLD (1958) desarrollaron un ensayo de laboratorio simulando condiciones reales para predecir el comportamiento de los áridos frente al deslizamiento en carretera. En sus trabajos y posteriores puede verse la validez de este ensayo, por lo que se ha generalizado en Europa occidental como norma obligatoria en el control de calidad, que en España corresponde a la norma NLT-174/72 del Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo, «José Luis Escario» del Ministerio de Obras Públicas.

Este ensayo se realiza por medio de una máquina que consta de dos ruedas, figura 1; la inferior es la motriz y en su periferia lleva adosadas las probetas de árido, figura 2; la rueda superior es un neumático que apoya con una determinada carga y al cual se suministra abrasivo. El ensayo

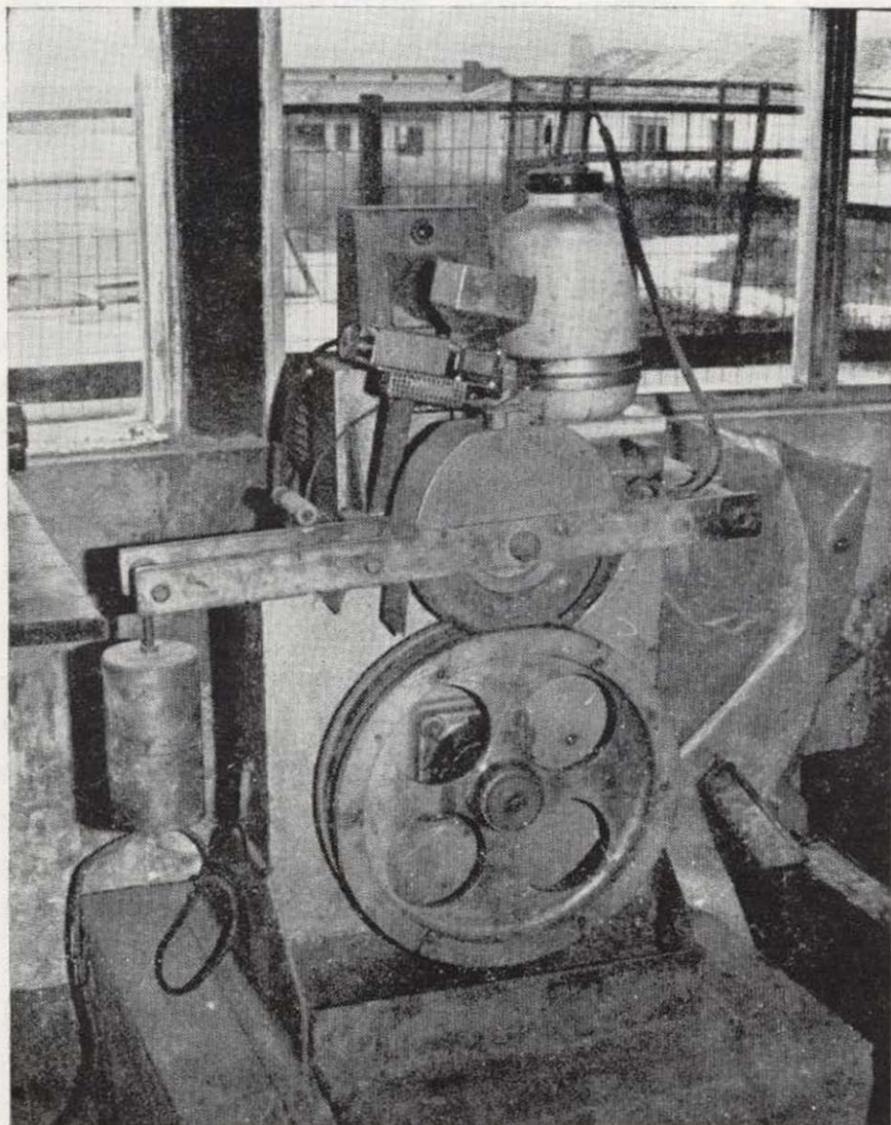


Figura 1.—Máquina de Pulimento Acelerado.

Figura 2.—Probetas de áridos utilizados en el ensayo.

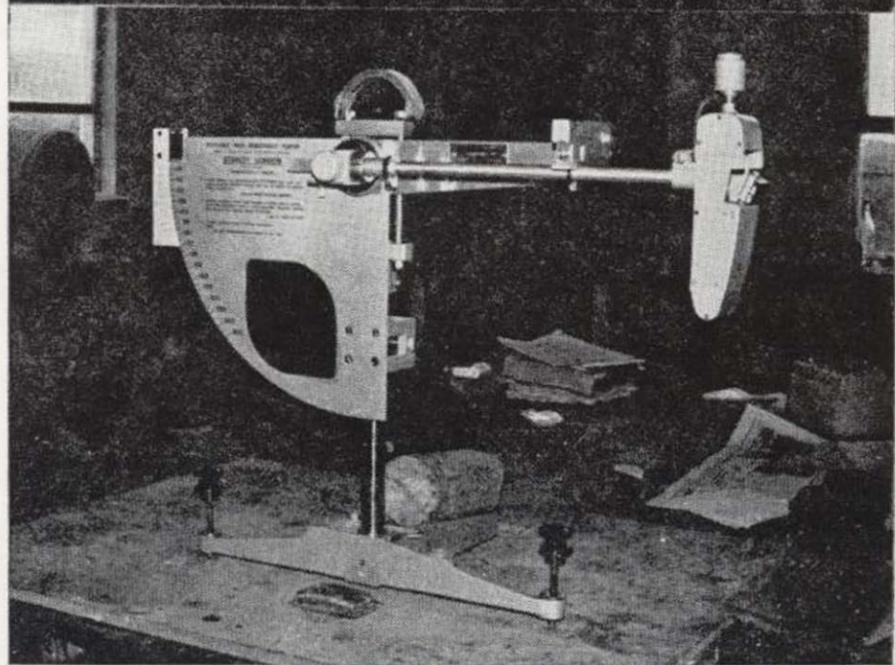
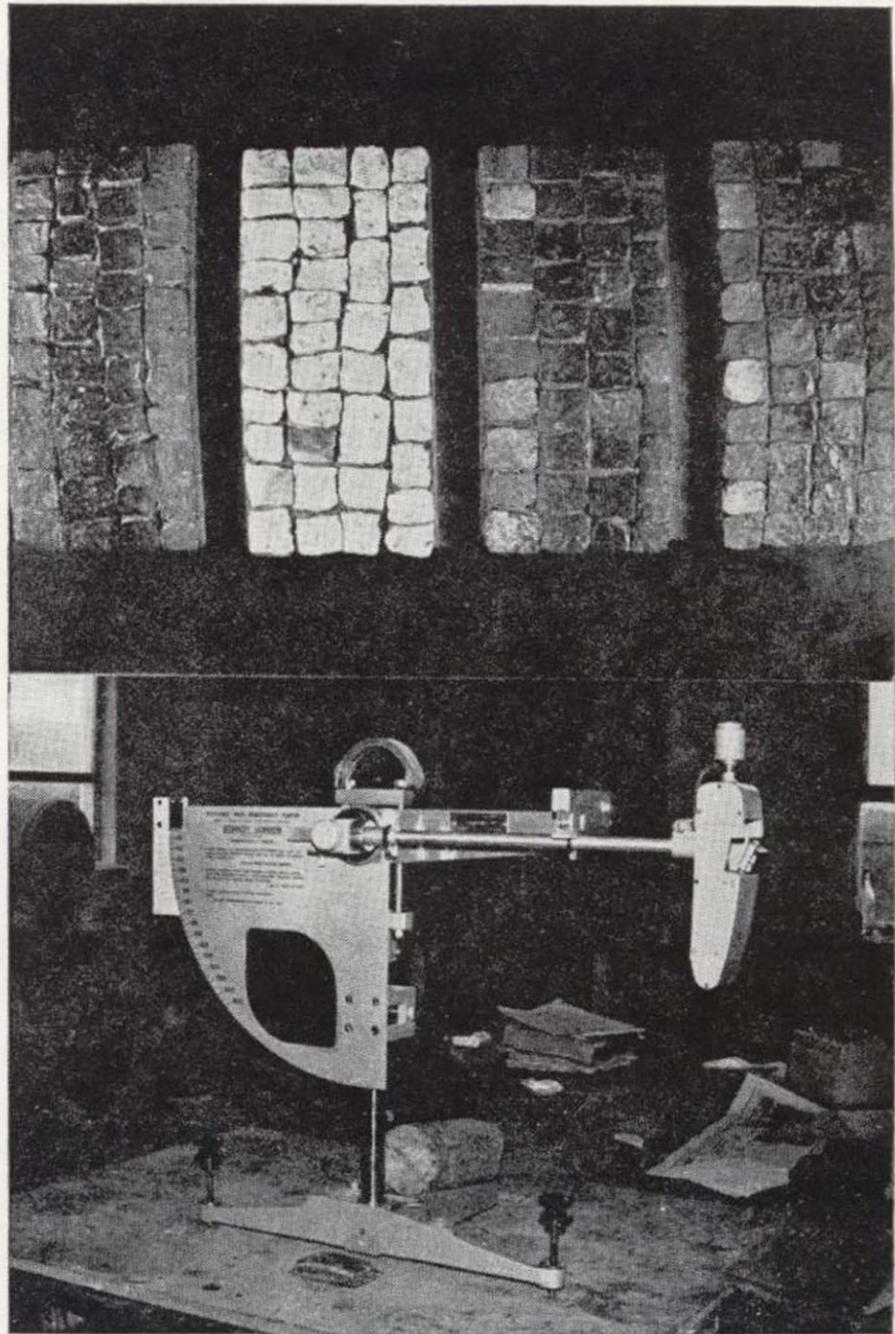


Figura 3.—Péndulo de fricción.

consiste en realizar un primer ciclo de pulimento con abrasivo grueso durante 3 horas, y un segundo ciclo con abrasivo fino durante otras 3 horas.

Los valores de resistencia al deslizamiento se toman sobre cada probeta con el péndulo de fricción, norma NLT-175/73, figura 3. Se realizan medidas iniciales (0 horas), después del primer ciclo (3 h), y finales (6 h). Estas últimas son las que miden el pulimento alcanzado por los áridos, y se denominan «coeficiente de pulimento acelerado» o abreviadamente CPA. Este mismo péndulo es el que se utiliza en carretera para medir el pulimento de los áridos «in situ».

Por medio de este ensayo estandarizado desaparece la aleatoriedad de los factores externos que intervienen en el pulimento de los áridos, obte-

niéndose por consiguiente una medida de la susceptibilidad al pulimento de un determinado material rocoso.

**Muestras ensayadas**

Se han estudiado 12 muestras carbonatadas, 8 calizas y 4 dolomías, como puede verse en la tabla I; la mayoría se han extraído de canteras de la zona centro asturiana correspondiente a distintas edades geológicas, así como una caliza miocénica de la meseta norte, figura 4. En general, todas son rocas muy puras en cuanto a su contenido de terrígenos o mezcla de carbonatos.

**TABLA I**

*Relación de muestras estudiadas*

Muestra A.	Dolomía secundaria. Villapérez (Oviedo).
Muestra B.	Caliza devónica. San Esteban de Guimarán.
Muestra C.	Dolomía oolítica liásica. Peón.
Muestra D.	Dolomía liásica. Gijón.
Muestra E.	Caliza carbonífera. Villapérez (Oviedo).
Muestra F.	Caliza pontiense. Villanubla (Valladolid).
Muestra G.	Caliza oolítica liásica. Colunga.
Muestra H.	Caliza liásica. Villaviciosa (Aguiera).
Muestra I.	Caliza liásica. Salcedo.
Muestra J.	Caliza liásica. Villaviciosa (Rodiles).
Muestra K.	Caliza devónica. Santiago de Ambas.
Muestra L.	Dolomía liásica. Peón.

Entre las calizas, cuatro son jurásicas, tres de ellas de la misma edad y con la misma textura —calizas lodosas más o menos fosilíferas— y con pequeñas diferencias en porosidad y residuo inso-

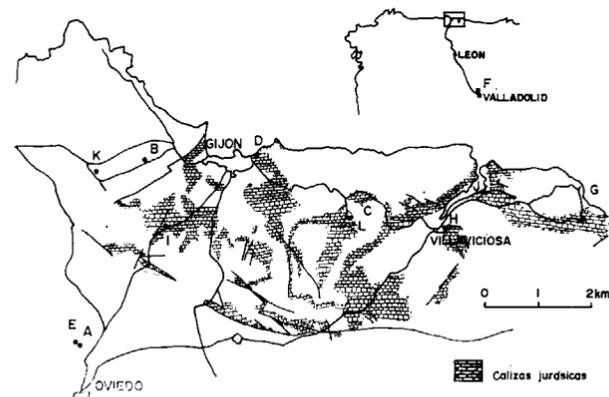


Figura 4.—Localización de las muestras.

luble; la cuarta es un «grainstone», predominando los restos fósiles bien redondeados y calibrados, y presentando algo de cuarzo detrítico y autígeno.

Otras dos calizas son devónicas, una es una «mudstone» con algo de cuarzo tamaño fino, y la otra es cristalina pero con «sombras» de restos fósiles redondeados. También se ha ensayado una caliza cristalina homogranular laminada del carbonífero, y la miocénica que es una «dispellets» con grandes poros.

Tres dolomías corresponden a niveles jurásicos, dos de ellas son cristalinas, siendo una homogranular de grano fino y la otra heterogranular con «sombras» de ooides y elevada porosidad; la tercera es una dolomicrita bandeada y algo alterada. Finalmente hay una dolomía secundaria de grano predominantemente grueso y con grandes poros, encontrada dentro de la caliza carbonífera.

**Características Petrofísicas Analizadas**

Para cada una de las muestras se han considerado datos relacionados con su yacimiento, o «datos de campo» (edad, buzamiento, alteración, homogeneidad) y «petrográficos macroscópicos» (color, topografía de las superficies de fractura, estructura, cristalinidad); todos los cuales representan observaciones elementales y que de influir en el comportamiento van a ser de sumo interés en la prospección de áridos.

En el «estudio microscópico» se ha observado la textura, y en especial el tamaño de grano, ya que su influencia en la susceptibilidad al pulimento es discutida (KNILL, 1960; SALINAS, 1969). También se ha observado la composición mineralógica, incluyendo la presencia del ión Fe<sup>2+</sup> en las redes de los carbonatos.

Todas estas características petrográficas presentan el inconveniente de ser cualitativas, por lo que se han cuantificado algunos parámetros referentes a «composición química» (residuo insoluble, contenido en CaO y MgO) y «propiedades físicas» (porosidad), correlacionándolos siempre con la observación petrográfica.

Finalmente, se ha obtenido la susceptibilidad al pulimento de sus áridos, según el ensayo mencionado, realizándose normalmente tres probetas por muestra, siendo el CPA la media aritmética de esos tres valores.

**RESULTADOS OBTENIDOS**

**Valoración del Ensayo de Pulimento Acelerado**

En la figura 5 se ha representado el valor medio y el rango de variación de los coeficientes de resistencia al deslizamiento a las 0, 3 y 6 horas de ensayo, apareciendo ordenadas las muestras en abscisas según valores crecientes de este último coeficiente, conocido como CPA.

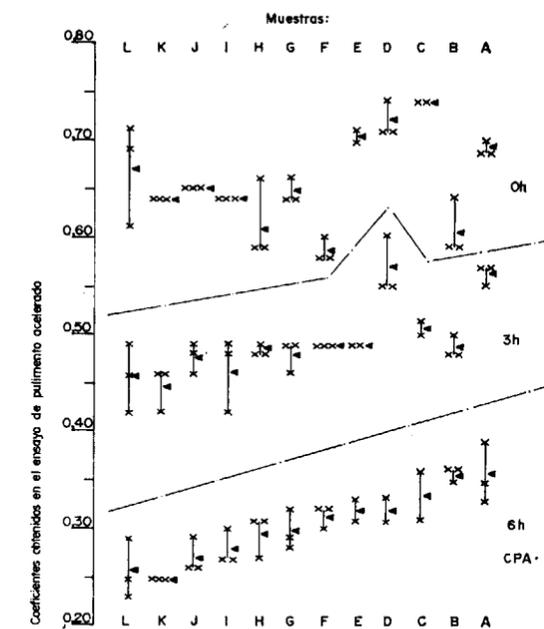


Figura 5.—Ensayo de Pulimento Acelerado. Coeficientes individuales para cada probeta (x) y valores medios (▲) de cada una de las 12 muestras de 0,3 y 6 horas de ensayo.

Puede observarse la evolución en cada muestra, y como los valores iniciales no condicionan los finales. Destaca la poca diferencia de CPA que existe entre las distintas muestras, y atendiendo a los valores absolutos todas estas rocas presentan mal comportamiento frente al deslizamiento.

Observando la evolución que tiene lugar en cada ciclo, parece existir relación entre el tamaño de grano de la roca y el del abrasivo utilizado, de forma que cuanto más se parecen la evolución es mayor. Este puede ser un dato a tener en cuenta al comparar los valores de CPA obtenidos en laboratorios y los obtenidos en carretera en condiciones reales.

**Correlación entre el CPA y los Datos Petrofísicos**

Se ha analizado la influencia de cada parámetro, teniendo en cuenta todos los demás. Los datos más importantes se muestran en la tabla II.

«Datos de campo»: No son significativos. Así, la edad de la formación rocosa, sus características de emplazamiento, presencia de bandeados, etcétera, no parecen influir en su comportamiento.

«Aspecto macroscópico»: Constituye un conjunto de observaciones significativo. Así, son factores positivos la existencia de poros o de una laminación penetrativa. Existen otros parámetros que aparecen más o menos enmascarados, pero en cualquier caso puede afirmarse que su influencia, de existir, es muy pequeña; uno de estos es la rugosidad —asociada a rocas granudas o cristalinas groseras— siendo las rocas masivas microcristalinas las que proporcionan peores comportamientos; otro es la presencia de vetas o de restos fósiles. El color de la roca no es nada significativo.

«Observación microscópica»: De escaso interés. El tipo de textura deposicional no muestra la menor influencia en el comportamiento; así, no resultan significativos los oolitos o restos fósiles, como ya se ha indicado.

Un parámetro cuya influencia es discutida es el grado de recristalización; teniendo en cuenta que esta supone un aumento del tamaño de los cristales y una pérdida de porosidad, es posible que la influencia positiva que pueda tener el aumento de tamaño de grano se contrarreste con la negativa debida a la pérdida de porosidad; esto explica la dificultad de valorar este parámetro, aunque en cualquier caso su influencia va a ser pequeña. Otro caso diferente es la dolomitización, que normalmente conlleva un aumento de porosidad, siendo un factor indiscutiblemente positivo.

«Residuo insoluble»: Es un parámetro fundamental. El factor principal es el porcentaje de granos de cuarzo tamaño arena fina, ya que —de acuerdo con HOSKING— los mejores comportamientos corresponden a esos tamaños de grano. El porcentaje total de residuo insoluble no es muy significativo.

Otro factor discutido es la influencia del Mg

TABLA II  
Características petrográficas en relación con el CPA

CPA	Muestra	Aspecto macroscópico	Textura microscópica	Residuo insoluble	Carbonato secund.	Porosidad
0.35	A. —	Dolomía cristalina. Ma-siva. Grandes poros.	Cristalina heterogran. 100 µm/1 mm.	0,6 %, arcilloso.	8,7 %, cal. en geodas. 10,9 %, dol. 60 µm/500 µm.	3,9 % poros: 100 µm/mm.
	B. Devón.	Caliza microcristalina. Masiva. Vetas.	Mudstone 5 µm/fósiles.	4,0 %, bituminoso cuarzo: 60 µm.		0,6 %
	C. Lías	Dolomía granuda. Ma-siva. Poros.	Cristalina heterogran. 60 µm/ooides (350 µm).	1,0 %, bituminoso.	0,0 %, cal.	4,6 % poros: 60 µm.
	D. Lías	Dolomía microcristalina. Masiva a lamina-da. Poros.	Mudstone 12 µm.	2,2 %, arcilloso algo de cuarzo.	7,4 %, cal. intersticial.	8,7 % poros: 100 µm.
	E. Carb.	Caliza cristalina. Nada. Poros. Vetas.	Lami-Cristalina homogran. 60 µm.	0,5 %, bituminoso.	6,3 %, dol. Fe <sup>2+</sup> 0,6 % en vetas.	
	F. Mioc.	Caliza microcristalina. Masiva. Grandes poros.	Pack., dispellets. 1 µm/pell. (200 µm).	1,2 %, arcilloso algo de cuarzo.	3,5 %, dol.	2,4 % poros: 350 µm.
0.30	G. Lías	Caliza granuda. Masiva. Vetas.	Grain., oobioespar. 500 µm granos y cristales.	2,4 %, bituminoso cuarzo: 30 µm/500 µm.	0,9 %, dol.	3,0 %
	H. Lías	Caliza microcristalina. Masiva a bandeada. Vetas.	Mudstone 15 µm/fósiles.	5,0 %, bituminoso.	7,2 %, dol. 20 µm.	1,5 %
	I. Lías	Caliza microcristalina. Masiva a bandeada. Vetas.	Mudstone 15 µm/fósiles.	2,0 %, bituminoso.	0,9 %, dol. 100 µm.	1,5 %
	J. Lías	Caliza microcristalina. Masiva a bandeada. Vetas.	Mudstone 15 µm/fósiles.	2,1 %, bituminoso.	2,7 %, dol. 20 µm.	0,5 %
	K. Devón.	Caliza microcristalina. Masiva. Muchas vetas. Recristalizada.	Cristalina 45 µm/ooides (500 µm).	0,5 %, bituminoso.	3,4 %, dol.	0,2 %
0.25	L. Lías	Dolomía microcristalina. Masiva. Vetas.	Cristalina 12 µm/40 µm.	1,8 %, bituminoso.	4,7 %, cal. en vetas.	2,4 %

o de la dolomita en las calizas. También es difícil de valorar, pero puede asegurarse que de existir va a ser pequeña. Algunas de las rocas donde mejor se observan los cristales de dolomita son las calizas jurásicas, y son de las que presentan peores comportamientos.

«Porosidad»: También es un parámetro importante. Podemos ver cómo el porcentaje guarda buena correlación con el CPA, siempre que no destaque otro parámetro fundamental, y cómo dentro de los mismos niveles de porosidad influye el tamaño de los poros, presentando mejores resultados los macroscópicos.

**Prioridad y Peso de los Parámetros**

Del análisis anterior y de acuerdo con datos

conocidos, se deduce que el parámetro principal es el porcentaje de cuarzo tamaño arena. Así, para poder esperar resultados aceptables en este tipo de rocas se necesitan porcentajes de cuarzo superiores al 5 por 100, siendo el tamaño óptimo alrededor de las 200 µm.

Más o menos con el mismo peso influye la porosidad, y posiblemente valen las mismas consideraciones para el tamaño de los poros. Ahora bien, la porosidad es un factor negativo frente a otras cualidades que deben de poseer los pavimentos, por lo que no están permitidos valores superiores al 5 por 100.

Dentro de las características texturales sólo puede asegurarse la influencia positiva de una laminación bien definida. El contenido en dolomita de las calizas o viceversa, así como el tamaño



**CONCLUSIONES**

Se puede predecir el CPA, y por tanto el comportamiento frente al deslizamiento en carretera de áridos de naturaleza carbonatada, a partir de observaciones elementales y ensayos sencillos.

En primer lugar interesa observar el aspecto de la muestra de mano, valorando positivamente la presencia macroscópica de granos de cuarzo, de poros, o de laminaciones bien definidas.

Esta observación puede completarse con los porcentajes de cuarzo —fácil de obtener a partir del residuo insoluble— y de poros, cuya suma influye más o menos linealmente en el comportamiento estudiado, dentro del intervalo de valores considerados. Podemos mejorar esta correlación teniendo en cuenta las observaciones texturales, como presencia de laminaciones, el tamaño de cuarzos y poros, o la presencia de carbonatos secundarios.

Dado el mal comportamiento general de estas rocas, interesa que presenten el máximo de factores positivos, para empezar a esperar valores que puedan ser aceptables frente al pulimento.

**AGRADECIMIENTOS**

Al Laboratorio Regional de Materiales, de la Jefatura de Obras Públicas de Oviedo, por la realización de los ensayos de pulimento acelerado.

**BIBLIOGRAFIA**

BRITISH STANDARDS INSTITUTION: *Determination of the polishedstone value.* BS 812/1960, 71-78.

FOURMAINTRAUX, D.: *Interprétation mineralogique de la résistance au polissage des roches.* Proceeding 1st Int. Congress of the Int. Ass. of Eng. Geology, 1, Paris, 344-355 (1970).

HARTLY, A.: *A review of the geological factors influencing the mechanical properties of road surface aggregates.* Q. Jl. Engng. Geol., 7, 69-100 (1974).

KNILL, Dc: *Petrographical aspects of the polishing of natural roadstones.* J. Appl. Chem., 10, 28-35 (1960).

Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo «José Luis Escario», Madrid. Normas de ensayo: Pulimento acelerado de áridos, NLT-174/72. Coeficiente de resis-

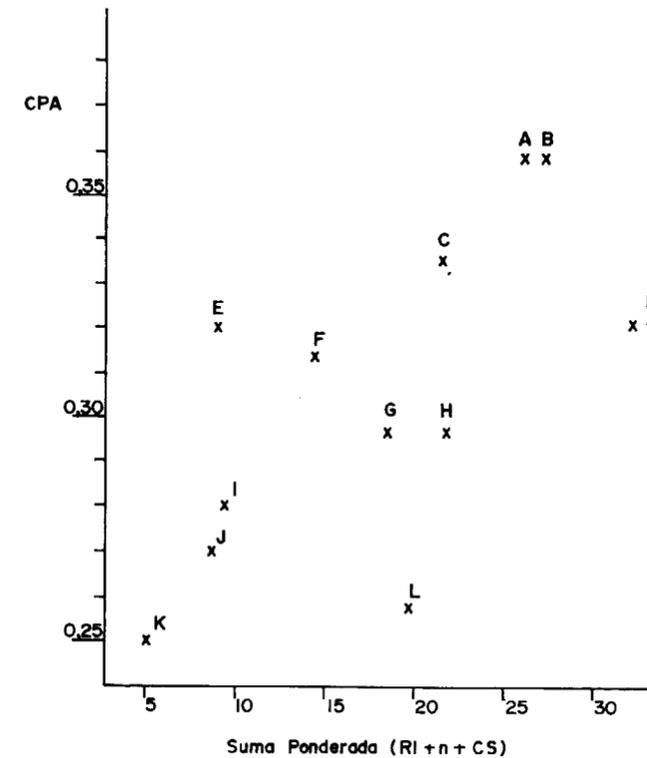


Figura 6.—Correlación entre el coeficiente de pulimento acelerado (CPA) y la suma ponderada de los porcentajes de residuo insoluble (RI), porosidad (n) y carbonato secundario (CS).

de los cristales, pueden ser factores positivos, pero de mucha menor importancia.

Todos estos factores actúan conjuntamente, por lo que de alguna manera deben sumarse. Se ha ensayado esto teniendo en cuenta la influencia de la dureza mineral y en concreto del contraste de dureza (FOURMAINTREAU, 1970; TOURENQ, 1981; SCHROEDER, 1978) como causa del comportamiento estudiado. Así, se atribuye a cada mineral su valor de dureza Mohs, considerando a los poros como componentes de dureza nula; entonces se obtiene un nuevo parámetro de sumar los porcentajes de residuo insoluble, porosidad y carbonato secundario, previamente afectados de un coeficiente igual al contraste de dureza que representen frente al carbonato principal o base. De esta forma se obtiene una correlación mucho mejor que con cualquier parámetro individual, como puede verse en la figura 6, y hay que tener en cuenta que aun quedan parámetros a considerar —difíciles de cuantificar— como la presencia de laminaciones.

- tencia al deslizamiento con el péndulo RRL, NLT-175/73.
- MACLEAN, D. J., and SHERGOLD, F. A.: *The polishing of roadstones in relation to their selection for use in road surfacings*. J. Inst. Highw. Engrs., 6 (3), 163-177 (1959).
- SALINAS, J. L.: *Influencia mineralógico-textural en el pulimento de los áridos calizos*. Bol. Lab. Transp. y Mec. Suelo, 72, 41-73 (1969).
- SALINAS, J. L.: *Recomendaciones para una normalización del estudio petrológico de los áridos*. Bol. Lab. Transp. y Mec. Suelo, 100, 105-124 (1973).
- SALINAS, J. L.: *El deslizamiento en carretera y su problemática*. Bol. Lab. Transp. y Mec. Suelo, 115, 37-52 (1976).
- SALINAS, J. L.; UBACH, A., and MONTOTO, M.: *Practical correlations between petrographic characteristics and physical properties of roadstones*. III Cong. Int. Ass. Engng. Geology, II, Madrid, 288-306 (1978).
- SCHROEDER, Ch., and VANDEN, Ph.: *Recherches de géologie de l'ingénieur sur les granulats routiers de nature sédimentaire*. Engng. Geol., 12, 49-72 (1978).
- TOURENO, C., et FOURMAINTRAUX, D.: *Propriétés des granulats et glissance routière*. Lab. Cent. des Pont. Chauss., 51, Paris, 61-69 (1971).
- UBACH, A., y SALINAS, J. L.: *Estudio del comportamiento de los materiales pétreos frente a los ensayos normalizados para su valoración como para carreteras*. I Cong. Hispano-Luso-Americano de Geol. Econom., 5, Madrid-Lisboa, 219-237 (1971).
- WEBER, J.: *Exigences pétrographiques pour les matériaux destinés à la confection des revêtements de chaussées*. Strasse and Verkehr 9, 446-452 (1968).
- WILLIAMS, A. R., and LEES, C.: *Topographical and petrographical variation of road aggregates and the wet skidding resistance of tyres*. Q. Jl. Engng. Geol., 2, 217-236 (1970).

Recibido: Octubre 1981.

## INFORMACION

### Las aguas minerales de España, su industrialización (1)

Por Juan Manuel LOPEZ DE AZCONA (2)

#### 1. DEFINICION

Las definiciones oficiales de las aguas mineromedicinales y de las termales, pueden considerarse recientes, consecuencia de la dificultad de definir las primeras, fácil para las segundas, por asentarse en una función física, basada en un concepto introducido en la década de los sesenta.

En el Decreto-Ley (1928, abril 25), conocido como «Estatuto sobre la explotación de manantiales de aguas minero-medicinales», no se menciona definición alguna. La primera aparece por Decreto (1967, septiembre 21) de aprobación del «Código alimentario», donde define el agua mineral como «La de origen natural y pureza microbiológica, que tenga propiedades curativas, en razón de las cuales haya sido declarada de utilidad pública». Además de no concretar esta definición, remite al Estatuto balneario, donde se regula su declaración de utilidad pública sin definirla. En este Código dan entrada a un concepto nuevo, el de «agua de mesa», definido como «El agua mineral, cuando se presenta al consumo en recipiente cerrado, rotulado y precintado».

En la Ley de Minas actual (1973, julio 21), en su título IV, las aguas minerales aparecen divididas en tres clases:

- a) Mineromedicinales. «Las alumbradas natural o artificialmente, que por sus características y cualidades sean declaradas de utilidad pública».
- b) Minerindustriales. «Las que permitan el aprovechamiento racional de las sustancias que contengan».
- c) Termales. «Aquellas cuya temperatura de surgencia sea superior en 4 °C a la media anual del lugar donde alumbra».

(1) Conferencia pronunciada en Luchón (1981, octubre, 16) en la Reunión sobre «Aguas termominerales» organizada por la Sociedad de Geología del Sureste de Francia.

(2) Presidente de la Comisión para el estudio de las aguas mineromedicinales.

La definición de esta última es la establecida por la Comisión Internacional de la carta de las aguas minerales y termales de Europa y de los países mediterráneos, donde representaba a España, y que aporté al ponente de dicha ley, para mantenernos dentro del criterio europeo, y fácil de aplicar en la práctica, por ser función de la medida de una constante física, la temperatura.

Los investigadores en el campo de las aguas minerales, como el Dr. Francisco Ribas del Castillo, Médico de Cámara de S. M. y Catedrático de vísperas de medicina en la Universidad Complutense, ya las consideraba como fármaco (1679, agosto 4), en el prólogo a la obra de Limón Montero (1-1) cuando decía: «No será error, ni necesidad, el decir desde hoy que la salud de los hombres se sustenta en el agua, o por el agua, pues queda calificada por medicina para todas las dolencias». En la censura de esta obra (1679, agosto 1), por el Canónigo de la Santa Iglesia Catedral de Cuenca, Dr. Francisco Benito Colodro, decía: «Asunto tan poco hablado de los escritores castellanos, en agravio de la abundancia de prodigiosas fuentes y saludables baños con el que la naturaleza ha enriquecido nuestra España», deducimos un retraimiento en la época, para entrar a fondo en el tema.

Esta imagen del agua mineromedicinal, se la completó durante el siglo XVIII con el concepto de: «además de las singulares virtudes tenidas como simples, se le añaden otras particularidades por la Naturaleza, tomadas de las entrañadas de la tierra».

Inspirados aparentemente en el pensamiento anterior, se establecieron con carácter privado una serie de definiciones, y consideramos como una de las más acertadas la del Dr. San Román (1945), en su tratado de Hidrología Médica (1-2): «Son las aguas de origen natural, que por sus propiedades químicas, físicas y biológicas especiales, están dotadas de poder curativo y profiláctico». Considerada esta definición correcta desde el punto de vista clínico, es incompleta para el geólogo, minero, físico, químico, etc. Estos científicos desean se concrete su presentación en el terreno, manera de surgir, composición química, características físicas...

## 2. DATOS HISTORICOS

## 2-a) Antecedentes

La referencia escrita más antigua sobre las aguas mineromedicinales de España es (2-1) del siglo I, debida al gaditano Columela, y la de acceso más fácil al investigador consideramos la de Cayo Plinio (0023-0079) (2-2), obra iniciada en el año 71, o sea, dos años antes de su designación (0073) como Cuestor y Procurador del Erario de la Bética, por ello tuvo oportunidad de recopilar datos muy interesantes de la Península Ibérica, con más carácter descriptivo que investigador. En esta magnífica obra narrativa aparecen muchas inexactitudes, aclaradas con numerosos escolios aportados por el Licenciado en Medicina Gerónimo de la Huerta, en la magnífica traducción iniciada en 1599 y publicada en Madrid (1629), añadiendo a los 37 libros, dos de su aportación, titulados «Medicinas de aquatiles» y «Demás cosas de aquatiles». Describe los establecimientos más frecuentados durante los primeros años de nuestra era, principalmente los termales, siendo la aportación más completa la de la Bética.

Durante la ocupación romana (220 a. C.-420 d. C.), fue raro el manantial termal inadvertido por el invasor; los estudiaron detenidamente y realizaron interesantes obras de captación y beneficio. Como anécdota relacionada con esta actividad, relatamos una referente a los manantiales de Panticosa. En el año 1951 nos encargó la propiedad del establecimiento un estudio de sus manantiales, desde los puntos de vista del caudal para su incremento y de pureza de sus aguas para mejora de la calidad. Al pasar (septiembre, 8 a 10) entre la capilla y la zapatería, apreciamos un intenso calor húmedo, con las correspondientes señales de ácido sulfhídrico en las paredes de ambos edificios. Indicamos en nuestro informe la oportunidad de perforar un pozo en aquel lugar, y, en efecto, se encontró un brocal romano perfectamente conservado y una serie de monedas del Emperador (0014-0037) Tiberio, acuñadas en la ceca de Zaragoza, por lo que al nuevo manantial, inaugurado durante la temporada de 1954, le dieron el nombre de este segundo emperador romano. Carentes de antecedentes, comprobamos había sido enterrado por un alud durante la época romana, después de la utilización de sus aguas en tratamientos de piscina, con la particularidad de estas aguas sulfhídricas de superar sus 2,1 l/s, los 50 °C, mientras que la de mayor termalidad de los cuatro manantiales en explotación era la del San Agustín, con 31,1 °C.

Esta aptitud para la explotación de fuentes y baños, procede de la idea de brotar el agua para beneficio del hombre, reflejada en la obra de Plinio (2-2): «¿Quién de los mortales podrá enumerar todas las excelencias del agua, sin que al considerarlas deje de temblar? Porque nada puede alcanzar lo infinito». Establecieron criterios termalistas, duración de veintidós días el tratamiento, época y manera de administrarlo. Los tratamientos crenoterápicos impartidos eran completos: baños de piscina, de tina, duchas, infusiones, exudaciones en estufas secas y húmedas, fricciones, masajes, aromatizaciones.

Omitiendo las ocupaciones alanas, vándalas, godas y visigodas, sin florecimiento de la industria balnearia, llegamos a la árabe (0720-1492), promotora de su segundo

esplendor. En esta época se dieron casos en apariencia anómalos, como durante el reinado (1065-1109) de Alfonso VI, conquistador de Toledo (1085, mayo 25), la orden de destrucción de todos los baños ubicados en su reino, por creer con fundamento grande eran causa del afeminamiento y cobardía experimentada por algunos españoles contemporáneos. De esta destrucción se salvaron los que continuaban en poder de los moros, como los baños de Sacedón (Guadalajara) y los de Alhama de Granada, quienes los frecuentaban y estimaban. Esta decisión real, por razones morales, fue comentada (1530) por Martineo Sígulo (2-3).

Las primeras disposiciones intervencionistas españolas en la industria balnearia son, desde el punto de vista moral y de las buenas costumbres, y datan del siglo XII, en el «Fuero de Teruel» (2-4), con establecimiento de reglas para los baños de Ledesma, Cuenca y Plasencia. En el de Cáceres, siglo XIII (2-5), se detalla el uso para hombres y mujeres, castigando a los bañistas, usuarios de los baños, cuando utilizaban los reservados para el otro sexo. Simultáneamente fijaba las obligaciones de bañeros y bañeras.

Después de varias disposiciones, se va orientando administrativamente la explotación de los establecimientos balnearios, hasta la petición del Real Consejo Superior de Sanidad, base del R. D. (1816, junio 29) del Rey (1813-1833) Fernando VII (1784-1833), donde establece la función del Médico Director, actualmente integrados en el Cuerpo de Médicos de Baños, en apariencia a extinguir. La inspección de los manantiales, desde el punto de vista sanitario, es de la competencia de los Inspectores o Delegados provinciales de Sanidad. Los manantiales, como fuentes de riqueza mineral, pertenecen a la Jurisdicción de Minas, en su doble aspecto de perímetro de protección y concesión, con el fin de garantizar la mejor explotación.

En general, la intervención administrativa, tanto de los establecimientos balnearios como en las factorías de envasado, es múltiple; además de los organismos mencionados, figuran entre otros los de Hacienda, Comercio, Trabajo.

## 2-b) Bibliografía

En la redacción de informaciones históricas, sobre los manantiales mineromedicinales españoles, iniciamos las consultas con la obra de Plinio (2-2), continuamos con la de Limón (1-1). De éstas pasamos a consultar las del siglo XVIII, en el que se inició una amplia gama de publicaciones; cronológicamente merecen destacarse: la de Rodrigo y Andueza (1713) (2-7), obra muy completa sobre los prodigiosos baños de Thyermas, la de Sande y Lago (2-8), con dos ediciones (1717 y 1729), donde dedica un capítulo a los «baños y fuentes medicinales que en el recinto de España se hallan». Dedicó GARMA y SALCEDO (1783), en el tomo (2-9), primero de su Historia, los capítulos V y XVIII, a los minerales y aguas minerales. En la traducción que hizo GARCÍA VÁZQUEZ (1752) de la obra del Profesor Laureano Heister, le añadió en el tomo 11 (2-10) un capítulo sobre las principales aguas medicinales de España. Dejó escrito CLAVERA (1721-1788) una obra (2-11) sobre las fuentes de Aragón y otros reinos. Llegamos a la obra fundamental de este siglo, la de GÓ-

MEZ DE BEDOYA, primera enciclopedia hidrológica mineral de España (lástima quedase sin finalizar por fallecimiento del autor (1765), en sus dos tomos (2-12), de los seis programados, relata minuciosamente los conocimientos de aquella época sobre 214 manantiales de España.

Durante el siglo XIX, fueron numerosísimas las obras publicadas con carácter general, así como específicas de muchos manantiales. La más completa de este siglo es la magistral obra de consulta bibliográfica (2-13) de MARTÍNEZ DE LA REGUERA (1892) en dos tomos. Es de carácter general minero, y por ello comprende las aguas mineromedicinales, la bibliografía de MAFEI y RUA (2-14), muy minuciosa y bien ordenada (1870).

## 2-c) Cartografía

A mediados del siglo XIX se inicia sistemáticamente la cartografía balnearia de España, muchos de sus ensayos quedaron inéditos, y entre los publicados merecen citarse por orden cronológico: El Atlas de TORRES VILLEGAS (1852), con un mapa dedicado a las aguas minerales de España (2-15) a escala del orden 1/3.750.000. La geografía de GÓMEZ RANERA (1858) contiene un mapa de aguas minerales (2-16). De esta época es el mapa de BUSQUE y TORRO (2-17). El primer mapa balneario con caracteres, tipo de las aguas y variedad de explotación es de GARCÍA LÓPEZ (1867) dibujado minuciosamente por su hijo (2-18), en él se incluyen los establecimientos portugueses y los franceses situados al sur de la línea Dax-Toulouse-Montpellier.

Con los datos del Ministerio de Fomento, se publicó el primer mapa oficial (2-19) de los manantiales mineromedicinales de España, debido a BOTELLA (1822-1899), donde recopila los datos de 175 declarados de utilidad pública y 370 clandestinos. También incluye los portugueses y 65 franceses de la vertiente norte de los Pirineos.

En guías y anuarios balnearios, se fueron reproduciendo o acoplando variantes de este mapa, siendo los más completos el editado con la información del Instituto Geológico y Minero (1947) a escala 1/1.500.000, recopilado por ORTÍ y MELIÁN (2-20) y el que dimos a la imprenta (1963), con datos actualizados (1962, diciembre 31) (2-21).

## 3. DENOMINACION

Múltiples causas influyeron en la denominación de las aguas mineromedicinales en España. Las declaradas oficialmente, o con su consideración, desde el establecimiento de la legislación, es del orden de las 250. Las existentes pasan de las 2.000. Muchas de éstas no llegaron a tener carácter oficial, por tres circunstancias: reducido caudal, falta de recursos económicos, desconocimiento de la legislación. Como ejemplo, tenemos las aguas mineromedicinales de Galicia, donde estudiamos detenidamente las oficiales y las clandestinas. Consignábamos en una publicación sobre las de Pontevedra (3-1), la existencia en la provincia de cuarenta grupos de manantiales, de los cuales sólo nueve eran oficiales: Caldas de Cuntis (La Virgen, El Castro), Caldas de Reyes (Acuña, Dávila), Caldas de Túy, Catoira, Loujo, Mondariz (PEINADOR, DEL VAL). Las 31 restantes eran clandestinas.

La mayoría de las denominaciones de los manantiales se deben a los condicionamientos siguientes: toponimia, descubrimiento, efectos, circunstancias, utilización, marianos.

## 3-a) Toponimia

Consideramos muy estrecha la relación entre las denominaciones de los manantiales de aguas mineromedicinales y la toponimia de su ubicación.

La voz «caldas», utilizada vulgarmente para los baños de aguas minerales calientes, denomina a tres agrupaciones de población con sus tres parroquias, y a 13 entidades (cuatro villas, cuatro lugares, tres aldeas, un caserío, una ciudad), la mayoría de promoción romana; la de «caldelas» lo es de cinco núcleos de población (tres aldeas, un lugar, un caserío); la de «baños» de cuatro colectividades todas parroquias y 49 entidades (11 balnearios, 10 caseríos, nueve aldeas, ocho villas, ocho lugares, dos barrios, una ciudad); la de «bañuelos» de tres entidades (dos lugares, una villa). La voz «balneario» denomina a cuatro entidades balnearias y a un barrio, el de Valderrulde (León); la de «fuente» a 10 entidades colectivas y 384 de población, de las cuales 100 son municipios. Entre éstas, se encuentran «Fuencaliente» (una entidad colectiva, 10 singulares), «Fuensanta» (10 entidades), «Fuente Caliente» (una entidad), «Fuente Santa» (tres entidades), «Fuente de la Salud» (tres entidades). La de «pozo» a 84 entidades de población (15 municipios) y la de «pozuelo» a 20 entidades, de ellas 13 municipios. Algunas de estas denominaciones toponímicas son consecuencia de una tradición de siglos en el uso de sus aguas mineromedicinales o simplemente subterráneas, motivo frecuente en épocas remotas para la promoción de núcleos de población, donde se disponía de agua de buena calidad, en unas ocasiones como fármaco y en otras como alimento.

No se conoce ninguna entidad con la voz «termas», por haberse utilizado para denominar los baños públicos de los romanos, como ocurre con el establecimiento denominado «Termas de Lugo», origen de la actual capital de provincia. En el año 1201 fundó el Rey (1196-1213) Pedro II de Aragón, el pueblo de «Tiermas» (Zaragoza), cerca del río Aragón, a media legua de los manantiales sulfhídricos mesotermales de su nombre, hoy inundados por el embalse de Yesa.

La voz árabe «alhama» figura en la cartografía española en cuatro municipios y una villa, e incluso algunos ríos, como el de la provincia de Segovia, en los Castellares, con un manantial de agua sulfhídrica de los dos que lo originan y el de la provincia de Granada, por recibir las aguas de los Baños de Graena. Entre los pleonasmos mineromedicinales de origen árabe, figuran el de Baños de Alhanuth (Almería) y Baños de Alhama (Zaragoza).

## 3-b) Descubrimiento

El descubrimiento está relacionado con la denominación del manantial, unas veces por el ser que lo detectó, como la Fuente del Toro de la Villa del Molar (Madrid), donde se abandonó un toro enfermo sin esperanza de curación, con la suerte de encontrarlo el vaquero re-

puesto a los pocos días y en condiciones de reincorporarlo a la vacada; episodios análogos se pueden citar de la Fuente del Caballo (Toledo), de la Fuente del Buitre (Albacete). Al nombre del descubridor, la Fuente de Municio (Ávila), la de Bernardo Esteban (Badajoz), o a sus apodos, como la Fuente Clacheta (Navarra), la Pelaya (Madrid). Según la tradición, destaca el eponímico Pozo de San Vicente Ferrer, de Alcaraz de Huete (Cuenca); el pozo estaba cubierto de inmundicias, al paso del Santo con sus discípulos, en un momento en que por el asfixiante calor se vieron obligados a beber dicha agua. Invoca el Santo al Altísimo y el pozo queda limpio, con la virtud de sanar a los animales ponzoñosos.

### 3-c) Efectos

Fue frecuente la designación de los manantiales por el efecto producido en los pacientes, muchas de ellas recordadas con estelas romanas, como la Fuente de la Piedra (Málaga), aplicada por los pacientes con cólicos renales; el Pozo del Aceite (Palencia), por dejar untuosa la piel; Fuente de las Cámaras (Madrid), por su efecto en las opilaciones; y análogamente las Fuentes de la Sarna (Orense), de los Ojos (Orense), Lombricera (Salamanca), denominada también Antiverminosa, de las Siete Hogazas (Madrid) por el apetito producido con su ingestión. Como consecuencia de los efectos saludables, muchos manantiales se denominaron Fuente de la Merced, Fuente Santa, Fuente Gloriosa y en algunos casos con adición del patrono invocado para la curación, como la Fuente de Santa Lucía (La Coruña), con efectos destacados sobre los ojos.

Cuando existen dos o más manantiales con temperatura diferente, es corriente diferenciarlos con las denominaciones de «frío» y «caliente».

### 3-d) Circunstancias

Varios manantiales tienen fenómenos de intermitencia, íntimamente ligados a su emisión de gases, origen de los nombres de Mentirosa y Burlona (Cuenca), Loca (Cáceres), Burraca (Cuenca), Hinchona (Oviedo), Hervideros de San Vicente (Zamora).

La Productora de Piedras (Madrid), por engendrar sedimento calizo; de Los Jacintos (Toledo), por la roca inmediata; Yesera (Huesca), por los terrenos yesíferos inmediatos. Denominaciones relacionadas con el punto de ubicación son las Barrosas (Burgos), Regajo (Ciudad Real), Montanillas (Madrid). El nombre de Fuente Vella (Castellón) por ser la más vieja, y el de Fuente de la Tenería (Madrid), por su aplicación como curtiente.

El sulfhídrido de las aguas da lugar a las denominaciones de Fuente Podrida (Logroño), Hedionda (Málaga), Hedentina (Ávila).

Durante el siglo XIII se dio a la fuente mineral de Gaztelu (Navarra) la denominación de Fuente de Cambó, por creer era análoga a la sulfhídrica explotada por los romanos en Cambo les Bains.

Por la hora de acudir al tratamiento, es la denominación de la Aurora (Guadalajara); por la concurrencia, de los Caballeros (Madrid); del Gato (Madrid); Fonte do Asneiro (Coruña); de los Asnos (Cuenca). Por los cultivos inmediatos, de los Puerros (Cáceres); por la arboleda,

del Fresno (Ciudad Real); por los alcornos, la del Corcho (Badajoz). Por la carencia de olor y sabor, Sosa (Palencia); el sabor a hierro, Herrumbrosa (Cádiz) y del Hierro (Orense); por su sabor, Amarga (Cádiz); carácter hialino, la Clara (Ciudad Real). Muchas fuentes utilizadas por diferentes monarcas en la curación de sus dolencias recibieron el sobrenombre de Fuente Real, en general, complemento del anterior.

### 3-e) Utilización

La utilización de los manantiales con fines clínicos dio lugar a la denominación de Alhama, Baño, Calda. Como ejemplo del primero está Alhama de Aragón (Zaragoza), en la antigua ciudad romana de Bibilistanos. El Ayuntamiento de Fuencaliente (Ciudad Real) toma el nombre del Manantial Fuen Calda. En Orense, un barrio se denomina Burgas por los manantiales hipertermales, la villa de Alange (Badajoz) por el manantial descubierto por los romanos. El de Alhama la Seca procede de la desaparición de un venero hipertermal, producida por un seísmo. Los Baños de Almedina o aguas divinas (Almería), fueron explotados por romanos y árabes y dieron nombre durante el siglo XVIII a un barrio de esta capital, y análogamente a las entidades de población en las provincias de Ciudad Real y Jaén. En la entidad Boñar o Caldas de Boñal (León), su nombre deriva de «balneum» y existen sus correspondientes baños romanos. Múltiples ejemplos existen de Caldas, Caldelas, etc.

### 3-f) Denominaciones Marianas

España puede considerarse como país rico, tanto en advocaciones marianas, aplicadas a la designación de más de dos docenas de manantiales, como en relatos marianos relacionados con fuentes. Entre las advocaciones, figuran Nuestra Señora de la Fuencisla (Segovia), derivado de Fons-Stillans; Nuestra Señora de la Fuensanta (Córdoba, Albacete); Nuestra Señora de la Fuente Santa (Segovia); por haberse encontrado un cirio encendido (1580) en las inmediaciones de la Fuente de Nuestra Señora del Henar en Cuéllar (Segovia), se la denominó Fuente del Cirio. Muchas Vírgenes se encontraron en manantiales utilizados como fármacos o alimento, como Nuestra Señora de Roncesvalles (Navarra), Nuestra Señora de la Gracia de Caudete (Albacete), Nuestra Señora de Valvenera (Rioja). Relacionados con manantiales hipertermales son Nuestra Señora de las Caldas (Santander y Lérida), Nuestra Señora de los Baños (Ciudad Real), en el pasaje conocido por Fuente Calda de Nuestra Señora. Los Baños de Fortuna (Murcia), se denominaron de Santa María de los Baños.

## 4. COMPOSICION Y CLASIFICACION

### 4-a) Antecedentes

El buen paladar de los romanos le permitió a Plinio escribir, cuando residía en la Bética: «El agua saludable ni ha de tener color, olor ni sabor», criterio introducido

en la legislación española por R. O. del Ministerio de Fomento (1914, mayo 30) e incumplido en muchas circunstancias, al igual que en la mayoría de los países. Los primeros análisis de las aguas minerales realizados en España datan del siglo XVIII; estamos en el comienzo de la química analítica, pocos son los elementos conocidos, ampliado a fines de dicho siglo, con los tres descubiertos por los españoles, platino, volframio, vanadio, considerablemente aumentados en la segunda mitad del XIX por varios científicos del mundo, al descubrir el análisis espectroquímico (1859) y de una manera extraordinaria con el incremento de los trasuránidos en las últimas décadas.

En los tiempos primitivos, seguían dos criterios para establecer la calidad de las aguas; las condiciones de alumbramiento y su composición. Durante el siglo XVII, se consideraba partícipe de las condiciones de purísima si además de carecer de sabor, color y olor, era muy diáfana, transparente y delgada, y evaporada al fuego lento no dejaba remanente grueso, y si previamente se filtraba, no dejaba residuo alguno. Las clasifica LIMON MONTERO (1-1) (1697) en potables y minerales. Potable, dulce o simple, aquella que no tiene calidad especial comunicada por los minerales de la tierra y se utiliza como alimento. Mineral de terma o universal, aquella que recibió de los minerales alguna virtud extraña y se utiliza como medicamento.

Las minerales se dividían en aquella época según dos criterios:

1.º Por la composición; encuadradas en ocho clases fundamentales: azufrada, salitosa, aluminosa, salada, ferruginosa, betunosa, obituminosa, de mina de cobre.

2.º Por la temperatura, en cinco grados, desde el 1.º o frías, al 5.º, correspondiente a las que «es insufrible meter la mano».

### 4-b) Composición

En el siglo XVIII los facultativos españoles consideraban desdoro aconsejar las aguas, por un capricho sancionado por el vulgo, sin conocer su composición. Deseaban saber los elementos contenidos en las aguas para dispensarlas a sus pacientes. Los químicos se consideraban impotentes para aclarar el contenido en las aguas. Sólo disponen de la razón y la experiencia, y tras muchas horas de laboratorio y años de práctica, comenzaron a establecer criterios para identificar su contenido.

En el comienzo del siglo XIX, se inician los análisis sistemáticos cualitativos de estas aguas y dan los primeros pasos cuantitativos. El análisis espectroquímico se introduce (1865) en Santiago de Compostela (4-1), para efectuar análisis cualitativos de las aguas minerales gallegas, e inmediatamente identificar en ellas rubidio, estroncio y litio.

Los análisis de radiactividad de las aguas mineromedicinales los inicia (1903) José Muñoz del Castillo, continuados sistemáticamente en el Instituto de Radiactividad (4-2) por Díaz de Rada, quien determinó las radiactividades fija e inducida de todos los establecimientos en explotación.

El análisis químico mineral de estas aguas se desarrolló en diversos establecimientos oficiales, y hoy se efectúan

fundamentalmente en los laboratorios del Instituto Geológico y Minero, en los organismos bromatológicos y en las delegaciones provinciales de sanidad; en estos últimos también se efectúan los biológicos.

Con ocasión del Congreso Luso Español de Hidrología Médica (1947), dimos cuenta (4-3), en el Discurso de Clausura, de los 36 elementos encontrados con nuestra técnica espectroquímica analítica, en la mayor parte de las 146 muestras de aguas minerales analizadas de la Península Ibérica, fácil de superar en la actualidad, por los nuevos descubrimientos físicos y perfeccionamientos en el instrumental, con aumento de sensibilidad, precisión y rapidez.

La obligatoriedad del análisis químico se estableció en el Reglamento de Aguas (1868, marzo 1); en su artículo 8.º dispone: Que una comisión permanente de la Real Academia de Medicina haga o rectifique los análisis de las aguas minerales. En el Estatuto Balneario (1928, abril 25) y en su artículo 66, se fija un plazo de diez años para repetir los de los manantiales en explotación, en muestras captadas por la Jefatura Provincial de Sanidad y el Distrito Minero.

Además de la obligación del análisis, es necesario establecer las normas analíticas, para evitar resultados diferentes, entre laboratorios prestigiosos. Para solventar esta diferencia en los análisis de las aguas naturales continentales se creó la adecuada Comisión, que ya publicó 41 determinaciones (4-4) y (4-5).

Surgen problemas conflictivos, entre los ministerios de Comercio y Sanidad, debido a que en algunos manantiales se aprecian con el tiempo diferencias superiores a las tolerables, por utilizar diferentes técnicas analíticas, entre el efectuado en un determinado momento y el utilizado para la declaración de utilidad pública o el último oficial. En varias ocasiones, intervinimos profesionalmente en estos litigios y generalmente la diferencia era debida a una deriva en la composición química del agua, función del tiempo transcurrido desde el análisis anterior, proceso hidrológico del año, circunstancias térmicas del manantial, etc., es decir, a un proceso geoquímico natural y no a un fraude.

Uno de los casos de mayor influencia de la temperatura ambiente en la composición, puede ser el de Carabaña (Madrid), de uso frecuente en dermatología y veterinaria, y entre ellos el manantial de Santa Marta, con surgencia del agua a 14 °C y una concentración en sulfato sódico de 137 g/dm<sup>3</sup>. Esta agua mana saturada de sales y cuando la temperatura ambiente desciende de los 14 °C, se forma un depósito de sulfato sódico descahidratado, quedando el agua con una concentración inferior en sulfatos (4-6).

Como ejemplo de la influencia de unas obras de captación mal dirigidas en la composición de las aguas, es típico el del manantial de Los Barrancos de Valdemorillo (Madrid), citado en las obras de hidrología balnearia como uno de los de más actividad del mundo; el valor de la inducida era de 219 pCi/l, con el reducido caudal de 0,13 l/m, una mineralización de 0,5 g/l y 15,5 °C de temperatura de emergencia. Este reducido caudal, imposibilitaba su explotación industrial, y los propietarios promovieron unas obras para su incremento, objetivo logrado al alcanzar 1,2 l/m, conservar la potencia radiactiva del manantial, pero con la reducción de la radiactividad unitaria a la novena parte, e importantes variaciones en su

composición; debido según pudimos comprobar al incremento del caudal, con otro inmediato subterráneo, de origen diferente.

Son frecuentes variaciones de composición, cuando se mezclan las aguas de varios manantiales del mismo establecimiento, a pesar de la prohibición del artículo 69 del Estatuto. Hay casos de enlace por un acueducto, de dos manantiales declarados de utilidad pública, como las del Balneario de Requejo en Villaza (Orense) y uno de Verín (Orense), con 8 km. de largo, cruce del río Támega, instalación aprobada oficialmente. En el agua varían con el tiempo y el transporte por el acueducto sus condiciones fisicoquímicas y su composición. Este tipo de conducciones no deben salir del predio balneario, cuando el agua se considera como fármaco, pudiendo tolerarse únicamente, cuando se considera como alimento o agua de manantial para mesa, siempre después del análisis en la planta de envasado.

#### 4-c) Clasificación

El grupo de aguas naturales, conocido vulgarmente como minerales, explotadas por técnicas mineras, se puede subdividir en cuatro subgrupos:

1. Mineroindustriales.
2. Mineromedicinales.
3. Potables de mesa.
4. Hipertermales.

4-c-1. Con carácter general, las aguas con un residuo superior a 15 g/l, pueden considerarse mineroindustriales, aptas para su explotación mineralúrgica, como las múltiples explotaciones de sal común, por disolución natural y evaporación al sol, existentes en varios puntos de la Península Ibérica, típicas por sus técnicas primitivas.

Dentro de este subgrupo, podían considerarse varias mineromedicinales declaradas de utilidad pública, como la mencionada del Pozo Santa Marta de Carabaña, reconocida también como mineromedicinal en Francia (1885, junio 7 y 1890, agosto 21), en sus ocho manantiales. Se trata de una explotación natural por disolución, de una importante masa de sulfato sódico, ubicada en la fase evaporítica basal del mioceno, recubierta por formaciones miocenas posteriores y el cuaternario. El agua infiltrada en las capas superiores, incrementa su temperatura durante el descenso, favoreciendo la disolución de la glauberita, thenardita y mirabilita. Otro ejemplo típico de agua poco profunda, declarada de utilidad pública, es la hipersalina de Loeches (Madrid).

4-c-2. Las aguas mineromedicinales comprenden en general las procedentes de manantiales naturales, con propiedades terapéuticas reconocidas verificadas e informadas, por la correspondiente Academia Nacional de Medicina, o el organismo correspondiente de Sanidad y son consideradas entre los fármacos naturales.

Estas aguas rebasan en muchos casos las tolerancias de color, sabor y olor, e incluso pueden tener partículas en suspensión. Algunas veces son sometidas a manipulaciones de filtrado, extracción de gases de algunos elementos químicos, con su posterior adición, e incluso en algunos casos, son gaseadas con aportaciones externas. Todas las

manipulaciones, salvo el filtrado, deben figurar en los marbetes. No hay disposición sobre la datación de su envase. Muchas rebasan en su residuo seco el límite de potabilidad de 0,7 g/l, e incluso, el tolerable de 1,5 g/l. En España se aceptan las clasificaciones establecidas por la OMS, reproducidas en el Código Alimentario (D. 1967, agosto 18).

4-c-3. Las aguas potables de mesa son las naturales, con las condiciones de potabilidad fijadas en las disposiciones correspondientes de los organismos alimentarios, envasadas al pie de manantial sin manipulación alguna.

4-c-4. Entre las termales, declaradas de utilidad pública, de utilización muy frecuente en España, la de mayor temperatura de emergencia es la granítica de Caldas de Montbuy (Barcelona), con temperaturas máximas de 71 °C, procedentes de un almacén de 125 °C, alimentado por el Montseny, con un tiempo de residencia de cincuenta años y posibilidades de surgencia si se efectúan captaciones adecuadas entre 110 y 120 °C.

Parte de estas aguas termales pueden pasar a ocupar un puesto preferente (ley 1980, noviembre 5), dentro de los denominados recursos minerales energéticos, como también puede serlo su inmediato de La Garriga Samalus (Barcelona), con manifestaciones de 60 °C, temperatura de almacén de 100 °C, la misma procedencia del Montseny y treinta años de residencia.

En varios de estos manantiales hipertermales los caudales son considerables, el sobrante de los establecimientos es suministrado a los vecinos con fuentes públicas, como ocurre con las procedentes del macizo granítico gallego de las Burgas de Orense, con más de 60 °C, y las de Caldas de Reyes (Pontevedra), superiores a los 46 °C.

## 5. EXPLOTACION

### 5-a) Antecedentes

El número de establecimientos balnearios en actividad en España pasó de unos 150 a principios de este siglo a 90 en la actualidad, con tendencia al descenso, y más de 300 manantiales en actividad. Con ocasión de la publicación del Estatuto Balneario (D. L. 1928, abril 25), se confirmaron como de utilidad pública 85 establecimientos con dirección médica y 79 sin dicha dirección. Están autorizados unos treinta manantiales para envasado de sus aguas, sin ser de utilidad pública (D. 1972, octubre 26), destinadas a la venta como aguas naturales de mesa por tener únicamente el carácter de alimento.

Durante nuestras visitas a la mayor parte de establecimientos balnearios de la Península Ibérica, vimos el cambio experimentado en el concepto de estación termal, desde la clientela de principios de siglo, donde acudían los clientes como a un centro de reposo, principalmente políticos, financieros y nobles, e incluso en los españoles fronterizos con Portugal, como en Mondariz (Peinador, hoy en ruinas), los destacados monárquicos del país vecino, con ideales restauradores, al actual, de centros de curación y prevención.

Donde se ha fomentado el turismo, como La Toja (Pontevedra), prototipo de aguas mineromedicinales con torón, e instalaciones de primera categoría, discotecas, casino, complejos deportivos, para hacer grata la estancia

y atracción del turismo, la industria termal y sus derivados mineralúrgicos, apreciados internacionalmente, ocupan un papel secundario.

En los recorridos por los manantiales, apreciamos una relación íntima con los rasgos geológicos y fundamentalmente con los tectónicos por la surgencia superficial del agua, después de recorridos a veces largos y complejos. Las grandes fallas sólo marcan las líneas probables de los afloramientos, con la manifestación de las aguas minero medicinales en los cruces con otras posteriores de menor importancia, de finales del terciario o del cuaternario, promoviendo este rejuvenecimiento la surgencia.

De los análisis sistemáticos de 146 aguas mineromedicinales peninsulares, tanto de los elementos básicos como de 14 en pequeñas cantidades (5-1), pudimos apreciar una diferencia considerable en la composición, entre las procedentes de macizos graníticos o formaciones paleozoicas, salvo el caso de algunas superficiales, aunque famosas, como puede ser la ferruginosa de los Baños de Incio (Lugo), con las surgentes en formaciones terciarias de origen continental. Aquéllas afloran por procesos tectónicos de rejuvenecimiento, éstas lo son entre materiales litológicos superficiales de permeabilidad diversa, constituyentes del terreno a través del cual circulan, brotando cuando un accidente topográfico pone al descubierto el estrato impermeable sobre el que circulan.

Los mayores contenidos en gas carbónico, como las del Campo de Calatrava (Ciudad Real), proceden de una zona eruptiva basáltica moderna, donde son muy frecuentes los manantiales carbónicos, algunos con caudal hídrico grande, con desprendimiento directo y burbujeo intenso, de cantidades enormes de gas y muy pobres en residuo seco. Las del norte del Duero, en Portugal y Galicia, con contenido elevado de carbónico, están íntimamente relacionadas con fallas penetrantes en el macizo granítico y paleozoico. La de mayor contenido de carbónico libre en Galicia es la granítica de Cabreiroa (Orense, con 1.063 cm<sup>3</sup>/l de CO<sub>2</sub>). Las carbonatadas catalanas, se ubican principalmente en las fracturas situadas al este del distrito eruptivo de Olot (Gerona).

En las aguas circulantes por los terrenos yesíferos, se aprecia un incremento en los sulfatos y sulfuros cálcicos, como las de Valdeganga (Cuenca) y la de Vallequillas (Madrid), con sus 2 g/l del sulfato cálcico, ambas del mioceno. En Santander, alineados según la gran falla O-E, entre la Cordillera Cantábrica y el mar, jalonando un largo manchón triásico, afloran varios manantiales salinos, como los de Cabezón de la Sal (Santander), y algunos de estos cloruradosódicos, con caudales importantes, como son los de La Hermida (Santander), con 7.000 l/s y 0,6 g/l de residuo seco, Caldas de Besaya (Santander), con 900 l/s y 3 g/l y Puente Viesgo (Santander), con 944 l/s y 1,3 g/l.

Como ejemplo de grandes trastornos tectónicos, se puede presentar el grupo de manantiales mesotermales de Alhama de Aragón (Zaragoza), con falla afectando desde los niveles albenses a los pisos más altos del Cretácico Superior, e incluso niveles del Eoceno Inferior, sensiblemente concordantes con la formación secundaria. Esta fractura da lugar entre otros accidentes topográficos a la Serrata de los Cabezos, de dirección NO-SE, muy escarpada con predominio de los materiales calizomargosos, interrumpida bruscamente por la llanura miocena continental al O. A esta alineación la corta en di-

rección normal el río Jalón, dando lugar a un desfiladero, donde se ponen al descubierto los efectos de la fractura, elevadora de las capas calizas cretácicas hasta la vertical, colocadas a tope contra otras contemporáneas, plegadas aparatosamente. Consecuencia de estos movimientos tectónicos son una serie de manantiales de caudal muy abundante, con temperaturas superiores a los 33 °C, y contenidos importantes de cloruros, sulfatos y bicarbonatos cálcicos y sódicos.

Entre las oligometálicas, principalmente en los terrenos graníticos, existen varios manantiales en explotación. De este grupo, la de menor residuo seco 0,05 g/l es la mesotermal de Boñar (León).

Como radiactiva con radón más típica, es la mencionada de Los Barrancos de Valdemorillo (Madrid), y con torón la del Fernando de La Toja (Pontevedra), ambas íntimamente relacionadas con las formaciones graníticas.

### 5-b) Tratamiento balneario

De los 100.000 agüistas nacionales, en todos los establecimientos legales de España, sólo en dos se rebasan los 6.000 anuales: Lanjarón (Granada) y Cestona (Guipúzcoa). Según nuestra opinión, el nivel bajo de pacientes es debido a dos causas, poco entusiasmo de los Licenciados en Medicina por estos tratamientos, y carencia de la Hidrología Médica, como asignatura fundamental en la licenciatura. Hemos observado que más del 50 por 100 de los enfermos acuden a las aguas por iniciativa propia, después de consultar a su médico, en algunos casos, sobre el efecto en la salud de una temporada de aguas.

En algunos establecimientos el número de pacientes se encuentra limitado por la capacidad de pernoctación hotelera, como el caso de Solan de Cabras (Cuenca), donde su número llega al millar, por considerar sus propietarios antieconómica la ampliación del número de camas. Sólo acude una clientela fija, o algunos nuevos por información de los resultados obtenidos por pacientes de las temporadas anteriores, con demanda de plazas de pernoctación en enero o febrero. En él continúa el envase con floreciente demanda e incremento anual.

Destacamos que la mayoría de los establecimientos balnearios son de propiedad familiar, con inversiones cuantiosas del patrimonio familiar, enterradas en obras y mejoras de las instalaciones, difíciles de compensar económicamente, con el incremento del coste de la mano de obra, impuestos y complicaciones administrativas. La concurrencia durante el mes de agosto es pletórica y de los extranjeros que nos visitan, no llegan a 15.000 los que acuden a nuestros balnearios. La explotación hay que promocionarla con inteligencia y agrado y esto sólo se consigue con inversiones importantes, realizadas con ayuda del estado, con interés bajo y plazo largo de amortización, y con termalismo social en las épocas de demanda baja.

Es necesario tener en cuenta otros dos aspectos: caudal reducido de los manantiales y actividades de establecimientos clandestinos. El caudal reducido de un establecimiento balneario no permite en muchos casos atender directamente a los clientes; es necesario disponer de un depósito donde se acumule el agua manada durante las horas de descanso. Visitamos fuera de España un establecimiento en la orilla norte de la desembocadura del

Tajo, donde se hacía propaganda a base de aguas radiactivas de origen inducido y por su reducido caudal daban tratamientos por la mañana y acumulaban las aguas durante la tarde y noche; con ello la radiactividad había descendido considerablemente, por ser el período de semi-desintegración del radón de 3,85 días. Entre los mesotermales de caudales mayores, destaca el grupo de manantiales de Alhama de Aragón (Zaragoza); ellos alimentan cuatro establecimientos balnearios, los hoteles de éstos y un lago deportivo con 28.000 m<sup>2</sup>, teniendo sólo el manantial de la cascada un caudal de 267 l/s.

A todos los establecimientos que lo necesiten se les deben facilitar medios científicos, técnicos y económicos para efectuar sus estudios geofísicos, geológicos y labores mineras, conducentes al incremento de caudal y mejora de la calidad de las aguas.

Es considerable el número de establecimientos con tratamientos y envase sin inspección ni vigilancia alguna. Este fenómeno ya se observa en la Monografía editada por el Ministerio de Fomento (1892), donde Botella (5-2) censó más de mil manantiales mineromedicinales en activo, de los cuales no llegaban a 200 los oficiales. Fenómeno análogo comprobamos personalmente en Galicia, región de España donde esta anomalía es más acentuada, además del estudio de la provincia de Pontevedra (3-1), en la provincia de La Coruña (5-3) encontramos 62 establecimientos en actividad, de los cuales sólo son cuatro los oficiales: Arteijo, Santa María de los Angeles, Carballo Viejo y Carballo Nuevo.

#### 5-c) Establecimientos minerometalúrgicos

En este grupo se pueden considerar dos aspectos, dentro de la decena de balnearios dedicados a actividades mineralúrgicas. Aquellos que sus aguas son prototipo para obtener productos dermatológicos o cosméticos, como es el caso de Carabaña (Madrid), con activo preparado de sales y jabones. Los que tienen las industrias derivadas de las aguas, como un complemento del establecimiento balneario, aunque tengan merecida fama internacional, entre los que figuran por su calidad y presentación La Toja (Pontevedra) y Archena (Murcia).

#### 5-d) Envasado

Debido a la continua disminución mundial en la calidad del agua natural denominada potable, se disparó la demanda del agua de garantía, incrementando considerablemente el número de establecimientos balnearios, donde pasó el envase de ser una industria complementaria y accidental, a ser una faceta principal e incluso única, con supresión de los tratamientos clásicos, considerados anteriormente como actividad básica. Otras de las causas de este incremento son el aumento del nivel de vida, el poder adquisitivo de su población y la tendencia de muchos consumidores, a elegir el agua mineral embotellada, en lugar de otras bebidas clásicas, o elaboradas por las grandes marcas comerciales internacionales.

Dos clases de aguas son envasadas, las de utilidad pública consideradas como fármaco, aunque la mayoría también se pueden usar como alimento, con la obligación de contener el análisis químico en su marbete proceden-

tes de noventa manantiales, y las denominadas aguas de mesa, utilizadas sólo como alimento, con prohibición de figurar el análisis, elaboradas en treinta establecimientos.

### 6. LEGISLACION

#### 6-a) Antecedentes

La legislación sobre balnearios y aguas mineromedicinales (1874, mayo 12) fue actualizada con el D. L. (1928, abril 25) conocido como Estatuto sobre la explotación de manantiales de aguas mineromedicinales, quedando definidos los pasos a seguir para el funcionamiento correcto de la industria hidromineral.

El estatuto da entrada a un principio nuevo, la asignación de la propiedad del manantial oculto al descubridor, en lugar de al dueño del terreno, como disponía la legislación derogada, admitiendo la posibilidad, si bien condicionada, limitada y plena de garantías, de que el propietario de un predio haya de tolerar, con la indemnización adecuada, las investigaciones geológicas que un tercero solvente científicamente pretenda realizar en él. Otro aspecto nuevo es la objetividad de la utilidad pública de un manantial, sólo afecta a la fuente y no a la persona solicitante.

Establece el estatuto para los manantiales de utilidad pública una «zona de explotación» y un «perímetro de protección»; aquélla la fija en un cuadrado de 300 m. de lado, cuyo centro es el manantial, donde el dueño construirá ampliamente dependencias y parques y salvaguardará la integridad de su fuente. El segundo se tramita con un informe redactado por dos ingenieros, uno de minas y otro geólogo, donde se razona sobre el plano geológico que debe adjuntarse, las razones de los límites de este perímetro. En esta fijación, de la que en varias ocasiones fuimos ponente, se solían presentar dificultades, en grupos de establecimientos antiguos, con manantiales a distancias reducidas entre sí, siendo el criterio general, de acuerdo con el estatuto, cuando las distancias eran inferiores a 300 m, dividir a prorrato el perímetro general del grupo, asignando a cada uno la porción equivalente de perímetro independiente.

El primer paso de toda tramitación era la declaración de utilidad pública, requisito previo e indispensable a base de un expediente sobre calidad del agua, aforo y memoria clínica. Esta condición también era necesaria para los manantiales dedicados únicamente a envasado del agua. Toda agua envasada debe tener una marca, adecuadamente registrada, distintivo del manantial, fuente o pozo de donde proceden las aguas, la cual debe figurar en el marbete, junto con el análisis, procedencia y fecha de declaración de utilidad pública, y la denominación de la naturaleza química de las aguas.

Otra de las novedades del estatuto fue el establecimiento cada década de una visita de inspección por los organismos competentes de sanidad y minas, con dictámenes sobre estado sanitario, aforo y composición. También por primera vez se estableció la obligatoriedad del embotellado dentro del establecimiento (art. 69), incumplida en varias ocasiones.

#### 6-b) Actual

Distinguiremos tres apartados:

1. Aguas mineromedicinales.
2. Potables de manantial.
3. Termales.

6-b-1. La actual Ley de Minas (1973, julio 2), clasifica los recursos naturales en tres secciones, e incluye en la segunda las aguas minerales y las termales, con la particularidad de pasar a ser bienes de dominio público, cuya investigación y aprovechamiento podrá asumir directamente el Estado o ceder. Establece tres clases de aguas minerales:

- a) Mineromedicinales.
- b) Mineroindustriales.
- c) Termales.

Los expedientes tramitados por los organismos mineros, en los casos de aguas mineromedicinales y en las termales destinadas a usos terapéuticos, requiriendo como paso previo la condición mineral, con un informe vinculante de los organismos de sanidad, en orden a la indicación de utilizar las aguas para los fines previstos. Junto con la documentación de petición, proyecto general de aprovechamiento, se designará y justificará el perímetro de protección necesario para la garantía del acuífero en cantidad y calidad. Dentro del perímetro, está prohibido para otras entidades la realización de actividades perjudiciales al normal aprovechamiento de las aguas. La realización de obras subterráneas por otros requiere el consentimiento de las autoridades mineras provinciales.

Son varios los organismos oficiales con relación directa en las actividades balnearias, de ellos dos son las fundamentales, los de Minas y los de Sanidad. En todo lo referente a la explotación del manantial, desde el punto de vista de recurso natural, e incluso su beneficio, como puede ser la preparación de productos derivados de sus sedimentos y residuos, cosméticos, jabones, pomadas, fármacos y envasado, corresponde al primero. Se ocupan los de sanidad de una utilización dentro de las normas sanitarias, e incluso cuenta con un cuerpo de Médicos de Baños, con ingreso congelado desde hace varias décadas, motivo de polémicas frecuentes entre ellos y la propiedad balnearia. Dentro de Sanidad figura la «Junta asesora balnearia», consultiva para temas con ella relacionados. Existe también la «Comisión para el estudio de los manantiales mineromedicinales», que presidimos, la cual con carácter gratuito efectúa y publica todos los años el estudio de un grupo de manantiales, desde los puntos de vista: histórico, geológico, analítico mineral y biológico, vegetal, clínico, industrial. Hasta la fecha se han realizado y publicado los de: Caldeas de Túy (1968), Cuntis (1974), Caldeas de Montemayor (1975), Corconte (1977), Ledesma (1977), Solán de Cabras (1978), Lanjarón (1980), Carabaña (1981). Está preparado para publicar el de Alhama de Aragón (1982) y en estudio el de Caldeas de Montbuy, para publicar en 1983.

6-b-2. El aumento continuo de productos bebibles envasados, y la insuficiencia de las declaradas oficialmente de utilidad pública para abastecer el mercado nacional, dentro de un adecuado rendimiento económico, obligó al legislador a crear la modalidad conocida por «agua pota-

ble de manantial», cuya captación y envasado está regulado por decreto (1972, octubre 28), con los procesos de conducción, depósito, tratamientos, distribución, cierre y precintado de los recipientes.

Un criterio muy acertado es no incluir en este concepto los manantiales con un caudal inferior a 15.000 l/día, con aforo oficial dentro de cada uno de los doce meses del año, para que la explotación sea rentable. Además de todos los requisitos para la concesión de esta industria, se incluye desde el punto de vista sanitario un mapa altimétrico con indicación en un círculo de 500 m. de radio, con centro en el manantial, las fosas sépticas, pozos negros, tierras de cultivo y en general cuanto pueda ser causa de contaminación dentro de este perímetro.

6-b-3. Por ley (1980, noviembre 5), se modificó la de minas, en el sentido de crear una sección denominada D, con los minerales energéticos, incluyendo los recursos geotérmicos y fijó las peculiaridades propias para la tramitación de los permisos de investigación y explotación. Con este criterio y el adelanto de las técnicas para aprovechar económicamente fuentes energéticas de temperatura baja, se aprecia la posibilidad de que en las zonas de algunos manantiales famosos e incluso clausurados, como son entre otros: Almagro (Ciudad Real), Arnedillo (Logroño), Burgas de Orense, Caldeas de Besaya (Santander), Caldeas de Cuntis (Pontevedra), Caldeas de Malabella (Gerona), Caldeas de Montbuy (Barcelona), La Garriga (Barcelona), La Hermida (Santander), La Toja (Pontevedra), Ledesma (Salamanca), Panticosa (Huesca), Santiago de Caldeas (Orense), Sierra Alhamilla (Almería), Villavieja de Nules (Castellón), después de efectuados estudios adecuados de aumento de caudal y mejora térmica del agua, pasen sus acuíferos a clasificarse en la sección D por ser rentable su aprovechamiento energético.

### 7. SITUACION ACTUAL

La industria de aguas mineromedicinales y de mesa presenta diferentes aspectos según sus actividades.

#### 7-a) Balnearias

Dada la ubicación de los balnearios, en general en sitios distantes de núcleos importantes de población, requieren por parte de la entidad propietaria la promoción de residencias hoteleras adecuadas. También es necesario disponer de caudal, equipos para tratamientos variados y personal especializado suficiente para cubrir las necesidades de la industria, con la máxima comodidad para los pacientes, deseosos del alivio y curación de gran cantidad de enfermedades.

En los países con termalismo social, fuera del máximo de temporada, se logra una mayor ocupación hotelera y mayor concurrencia a los tratamientos. Hemos apreciado en los Baños de Ledesma (Salamanca), propiedad de la «Caja de Jubilaciones y Subsidios de la Minería Asturiana», donde la Caja practica su propio termalismo social, una ocupación hotelera, durante la temporada de cuatro meses cercana al 100 por 100.

Entidades tan famosas y magníficamente montadas

como de las mejores de Europa, los Baños de Panticosa (Huesca), con una cota de 1.636 m. y un censo de 700 bañistas, cerró por el tremendo costo de la mano de obra y sus cargas sociales en una entidad de población del Pirineo, donde toda la vida se paralizaba durante nueve meses (20 septiembre-20 junio), montando completamente todas las actividades, incluso servicios de teléfono, correo y telégrafo, oficios, seis hoteles, etc. Muchas veces hemos pensado en la posibilidad de que le diesen un doble carácter termal y montaño, incluso con la posibilidad de utilizar el abundante caudal de sus aguas a más de 50 °C como energía para el caldeo de los edificios. Recordemos como balneario activo de montaña el de Chillán, en plena Cordillera Andina, sin los atractivos del español.

En la «Carta del Termalismo», promulgada en La Toja (Pontevedra) (1976), se establecía el derecho, reconocido por la OMS, de usar gratuitamente las curas termales como servicio social del estado. Dar entrada en la seguridad social a los tratamientos hidrológicos, termales y balneoterápicos sería un paso importante para mejora de nuestra industria balnearia y al mismo tiempo descargaría otros servicios de la seguridad social. También son necesarios los créditos a interés bajo y plazo largo para mejora y ampliación de sus instalaciones y la promoción de nuestros establecimientos balnearios, por parte de los organismos turísticos, tanto en España como en el extranjero.

#### 7-b) Balneario e industrias mineralúrgicas

Como indicamos anteriormente, en una decena de balnearios hay montadas industrias mineralúrgicas, derivadas del agua mineral y sus residuos. Siempre son industrias complementarias, mantenedoras de puestos fijos de trabajo durante la temporada baja, e incluso durante todo el año. Gracias a la acertada dirección y eficacia comercial de las mismas, su consumo se extiende por España y el extranjero.

#### 7-c) Envasado y balnearia

Aguas con envase inicial a base de atender compromisos con su clientela, imposibilitada de acudir en temporada, o con deseos de continuar los tratamientos fuera de temporada, han logrado una demanda extraordinaria, y hemos comprobado su importancia económica fundamental en algunos de estos establecimientos.

#### 7-d) Envasado

Cada día es mayor la demanda de aguas envasadas, de las clasificadas como minerales y de las de mesa, siendo floreciente la industria cuando tiene una buena organización comercial y dispone de medios rápidos de distribución durante todo el año. La demanda se incrementa por momentos por pérdida de calidad de las aguas suministradas a las poblaciones, aumento del nivel de vida de los ciudadanos e incremento del turismo interior y exterior.

#### 8. BIBLIOGRAFIA

- 1-1. LIMÓN MONTERO, Alfonso: *Espejo cristalino de las aguas de España*. Alcalá, 1697, 432 pp. Reedición facsímil por I. G. M. E. Madrid, 1979.
- 1-2. SANROMÁN ROUYER, José: *Hidrología Médica*. Barcelona y Buenos Aires, 1945, 402 pp.
- 2-1. COLUMELA, L. J.: *Moderato*. De Rústica. Siglo I.
- 2-2. PLINIO SEGUNDO, Cayo: *Historia Natural*. Traducción del Licenciado Gerónimo Huerta, 2 tomos, Madrid, 1629.
- 2-3. MARTINEO SINGULO, Luciano: *Comentarios Ordenanza Alfonso VI*, 1530.
- 2-4. Alfonso II de Aragón: *Fuero de Teruel*, 1176, octubre 1.
- 2-5. Alfonso IX de León: *Fuero de Cáceres, ¿1229? confirmado por Fernando III*, 1231, marzo 12.
- 2-6. Isabel la Católica: *Ordenanza para el buen uso de los Baños de Graena*, 1495, marzo 24.
- 2-7. RODRÍGUEZ Y ANDUEZA, Manuel: *Libro de los prodigiosos Baños de Thyermas*. Pamplona, 1713, 316 pp.
- 2-8. SANDE Y LAGO, Fernando: *Compendio de Albeiteria*. Madrid, 1717, 339 pp. y segunda edición Madrid, 1729.
- 2-9. GARMA Y SALCEDO, Francisco Xavier: *Teatro universal de España*, 4 tomos. Madrid, 1738-1751.
- 2-10. HEISTER, Laureano: *Compendio de la medicina práctica*. Traducción de José García Vázquez, 2 tomos. Madrid, 1752.
- 2-11. CLAVERA, Francisco: *Disertación sobre varias fuentes y otras cosas pertenecientes a la Historia Natural y Medicina, no solamente del Reino de Aragón, sino de otros países*. Siglo XVIII.
- 2-12. GÓMEZ DE BEDOYA, Pedro: *Historia Universal de las fuentes minero-medicinales de España*, 2 tomos. Santiago, 1764. Madrid, 1765.
- 2-13. MARTÍNEZ DE LA REGUERA, Leopoldo: *Bibliografía Hidrológica-Médica Española*, tomo I, 3.145 citas de impresos, 856 pp. Madrid, 1892. Tomo II en dos partes manuscritas 3589 citas, 1896 y 1897.
- 2-14. MAFEI Y RAMOS, Eugenio, y RÚA FIGUEROA, Ramón: *Apuntes para una biblioteca española. Bibliografía Mineral Hispano-Americana*, 2 tomos. Madrid, 1871 y 1872, segunda edición facsímil. León, 1970, 4.996 citas.
- 2-15. TORRES Y VILLEGAS, Francisco José: *Cartografía hispano-científica o sea, los mapas españoles en que se presenta España bajo todas sus diferentes fases*. Madrid, 1852, 2 tomos, 25 mapas, 480 pp.
- 2-16. GÓMEZ RANERA, Alejandro: *España geografía, estadística y administración*, 196 pp. y un mapa. Madrid, 1858.

- 2-17. BUSQUE Y TORRO, Sebastián: *Mapa de las fuentes minerales de España*, 66 x 45 cm.
- 2-18. GARCÍA LÓPEZ, Antonio: *Mapa balneario de España*, 65 x 45 cm. Madrid, 1867.
- 2-19. BOTELLA Y HORNOS, Federico de: *Mapa balneario de España*, 100 x 70 cm., Madrid, 1892.
- 2-20. ORTÍ SERRANO, Carlos, y MELIÁN ABAJO, Félix: *Mapa de los manantiales mineromedicinales de España*. Escala 1/1.500.000. Inst. Geol. y Minero de España. Madrid, 1947.
- 2-21. LÓPEZ DE AZCONA, Juan Manuel: *Las aguas minero-medicinales y su industrialización*. R. Acad. Farmacia. Madrid, 1963, 58 pp., 1 mapa.
- 3-1. LÓPEZ DE AZCONA, Juan Manuel: *Las aguas minero-medicinales de la provincia de Pontevedra*. Not. y Com. Inst. Geol. y Min. de España, XLI, 18 pp. y 4 láminas, 1956.
- 4-1. CASARES RODRÍGUEZ, Antonio: *Descubrimiento de los dos nuevos metales, rubidio y cesio, en varias aguas minerales gallegas*. Los Progresos de las Cien. Ex. Fís. y Nat., XVI. Santiago, 16 febrero 1866.
- 4-2. DÍAZ DE RADA, Faustino: *Relación de varios manantiales españoles, cuya radiactividad ha sido estudiada en el Instituto*. Bol. Inst. Radiac., XV, 1923, pp. 51 a 54.
- 4-3. LÓPEZ DE AZCONA, Juan Manuel: *Discurso clausura primer Congreso Luso-español de Hidrología Médica*. Lisboa, 1947, pp. 33 a 42.
- 4-4. Varios: *Análisis de aguas naturales*. Madrid, 1975, 150 pp.
- 4-5. Varios: *Análisis de aguas naturales continentales*. Madrid, 1980, 170 pp.
- 4-6. LÓPEZ DE AZCONA, Juan Manuel: *Consideraciones sobre el grupo de manantiales de Carabaña*. Anal. R. Acad. Farm., 1891, XLVII, pp. 313 a 326.
- 5-1. LÓPEZ DE AZCONA, Juan Manuel: *Composición elemental por métodos espectroquímicos de aguas medicinales de la Península Ibérica*. Not. y Com. Inst. Geol. y Min. de España, XVII, 1947, 12 pp., 1 mapa.
- 5-2. BOTELLA Y DE HORNOS, Francisco de: *Monografía de las aguas minerales y termales de España*. Ministerio de Fomento. Madrid, 1892, 14 pp.
- 5-3. LÓPEZ DE AZCONA, Juan Manuel: *Las aguas minero-medicinales de la provincia de La Coruña*. Primer Congreso Luso-Español de Hidrología Médica. Lisboa, 1947, pp. 132 a 142.

## Noticias

### EN EL YACIMIENTO GEOTERMICO DE «TRES CANTOS» (MADRID): 50 LITROS POR SEGUNDO DE AGUA A 80° C.

El Comisario de la Energía y Recursos Minerales, Luis Magaña, acompañado por el Director General de Minas, Adriano García Loygorri, realizó una visita de trabajo para inspeccionar el sondeo previo que se desarrolla para la puesta en marcha del yacimiento geotérmico de «Tres Cantos». En esta visita estuvieron acompañados por el Director del Instituto Geológico y Minero de España, Mariano Ricardo Echevarría, y el Presidente de la Empresa Nacional Adaro, Juan Antonio Gómez Angulo.

La Ciudad Satélite de Tres Cantos dispondrá en un futuro próximo, para su aprovechamiento, de un caudal de agua de 50 litros/segundo a una temperatura de 78-80°, gracias a un primer sondeo efectuado en esta zona por el Instituto Geológico y Minero de España, dentro del área geotérmica de la cuenca terciaria de Madrid, descubierto por el citado Instituto y la Empresa Nacional ADARO.

Este yacimiento, integrado en la denominada cuenca geotérmica de Madrid, en la que se están perforando sondeos de investigación y previos a la puesta en explotación, pueden tener un volumen de recursos suficientes para atender las necesidades de agua caliente y calefacción doméstica, así como calefacción de edificios administrativos, escuelas, etc., y para calefacción de invernaderos.

En la zona en la que actualmente se están realizando pruebas de producción se han encontrado reservas de agua caliente, a la temperatura señalada, entre los 2.000-2.500 metros de profundidad en una formación de arenas y areniscas. Este agua es susceptible de aprovechamiento para abastecer a la población del complejo urbano de Tres Cantos. A través de un sistema de recuperadores de calor, se comunicará la temperatura de este agua a la de utilización urbana, reinyectándose posteriormente al yacimiento una vez enfriada y estableciendo un ciclo de duración prácticamente ilimitado. Cada conjunto de dos sondeos —«doble»— del sistema servirá para abastecer una media de 3.500 viviendas, con una población aproximada entre 15.000 y 20.000 personas, representando un ahorro energético de unas 5.000 toneladas equivalentes de petróleo año.

De ser posible la puesta en explotación de todos los recursos de agua caliente de la cuenca terciaria de Madrid, se podrá llegar a satisfacer las necesidades de una población del orden de 350.000 personas, fundamentalmente en áreas de expansión de la capital.

Los trabajos de investigación y aprovechamiento de la cuenca geotérmica de Madrid se inscriben dentro de un plan de investigación a nivel nacional de recursos geotérmicos, bajo las directrices de la Dirección General de Minas, que forman parte del programa de investigación de nuevas energías del Plan Energético Nacional. El desarrollo de este Plan corre a cargo del Instituto Geológico y Minero de España y de la Empresa Nacional ADARO.

Las principales actuaciones dentro del Plan Nacional de Aprovechamiento de Recursos Geotérmicos, se extienden a áreas de Madrid, Cataluña, Región Sureste, Galicia, Cuenca del Duero, Canarias y Norte de Aragón.

Las experiencias desarrolladas en estas cuencas, siguiendo el ejemplo de otros países, han permitido obtener recursos caloríficos de origen natural a precios competitivos con los combustibles tradicionales.

### SIMPOSIO SOBRE PROSPECCION DEL CARBON, CELEBRADO EN OVIEDO: GARCIA LOYGORRI: «EL PLAN NACIONAL DE INVESTIGACION DEL CARBON HA DADO COMO RESULTADO CUBICAR 140 MT DE CARBON.»

La cubicación de 60 millones de toneladas de hulla en Asturias y Córdoba, y de unos 80 Mt en Mallorca, Teruel y Granada son los resultados obtenidos por los trabajos realizados dentro del Plan Nacional de Investigación del Carbón, según datos ofrecidos por Adriano García Loygorri en el acto de clausura del simposio sobre prospección del carbón celebrado en Oviedo. De los resultados anteriormente citados se exceptúa el yacimiento descubierto en Ganzo de Limia, todavía no evaluado en su totalidad.

El simposio sobre prospección del carbón atrajo a especialistas de todo el mundo y estuvo organizado por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la

Universidad de Oviedo, con el patrocinio del IGME, Colegio de Ingenieros de Minas del Noroeste, Colegio de Ingenieros Técnicos de Minas de Asturias y Galicia, Empresa Nacional ADARO de Investigaciones Mineras, Husosa y Fundación Gómez Pardo.

En el acto de clausura se leyó el discurso de Adriano Loygorri, director general de Minas, quien no pudo asistir. Su intervención se refirió al Plan de Investigación del Carbón, en aspectos referentes a financiación, proceso de investigación, cubicaciones en marcha y resultados obtenidos.

### INVENTARIO NACIONAL

Inventario Nacional de recursos de carbón ocupó la primera parte del discurso de Adriano García Loygorri, quien manifestó:

«El Inventario, cuyo resumen fue publicado a principios de 1979, ha pretendido salvar el inconveniente principal de falta de homogeneidad en los criterios de evaluación —de que adolecía buen número de las cubicaciones de recursos y reservas que se habían realizado anteriormente—, para proporcionar una visión conjunta del potencial carbonífero nacional.»

«Esta concepción del Inventario, junto con la introducción, para la clasificación de los recursos, de los términos "Muy probables", "Hipotéticos", "Adicionales", etc., en lugar de los tradicionalmente usados en España de reservas "seguras", "probables" y "posibles", y del concepto de "economicidad", obliga a un manejo cuidadoso de las cifras obtenidas, sobre todo en orden a deducir consecuencias acerca de la eventual vida de las cuencas estudiadas.»

Luego se refirió, concretamente, al Plan Nacional de Investigación del Carbón, del que hizo una exposición de objetivos.

Los objetivos buscados en el Plan Nacional de Investigación del Carbón se pueden concretar de la forma siguiente:

«En el subsector de las hullas y antracitas, la investigación geológico-minera se dirige fundamentalmente al estudio de las cuencas de existencia ya conocida, de forma que se puedan definir en ellas nuevas áreas explotables y se evalúen las que previamente alcancen a tener tal consideración. El descubrimiento de cuencas hoy ignoradas presenta un grado de probabilidad poco alentador en función de que, al estar habitualmente afectadas por una tectónica violenta, sus capas se hallan frecuentemente aflorantes y, por ello, no han pasado ignoradas, mientras que, en las zonas cubiertas por formaciones geológicas más modernas, el posible acusado espesor de éstas y la fuerte tectonización hacen difícil y aventurada la localización y evaluación de nuevos yacimientos. Por el contrario, en el caso de los lignitos, al no incidir de modo generalizado las circunstancias anteriores, son de mayor interés las acciones cuyo objetivo sea el hallazgo de recursos desconocidos. En conjunto, y como objetivo ideal a conseguir, la investigación geológico-minera podría proponerse aumentar la actual cubicación de las reservas en unos 520 Mt, para 1990.»

«Sobre esta base, las acciones relativas a las hullas y antracitas se vienen desarrollando en las formaciones carboníferas que, cubriendo una extensión estimada de

100.000 hectáreas, se consideran, en principio, de posible interés, en función del volumen potencial de sus recursos, de la viabilidad económica de su beneficio, de las calidades del carbón, del balance oferta-demanda de la zona de influencia y, finalmente, del nivel de conocimiento geológico existente.»

«Por lo que se refiere a lignitos, el atractivo de esta materia prima ha crecido de modo importante como consecuencia de su buen aprovechamiento en centrales térmicas, considerándose en el Plan una superficie de unos 54.000 kilómetros cuadrados, que totalizaba el conjunto de áreas a analizar, actualmente reducida aproximadamente a la mitad, en función de los estudios básicos ya efectuados.»

Finalmente detalló las tres etapas en las que se desarrollaría la investigación geológico-minera:

«Primera. Exploración o reconocimiento de zonas potencialmente interesantes para la determinación de áreas que puedan llegar a constituir verdaderos yacimientos.»

«Segunda. Prospección o estudio de áreas con carbón para localizar yacimientos explotables y determinar sus recursos y reservas.»

«Tercera. Evaluación o estudio de detalle de los yacimientos explotables, de forma que la definición y cubicación de las capas y zonas a beneficiar permitan programar las acciones futuras de aprovechamiento del yacimiento, prolongándose en una asistencia geológica a la producción para alcanzar un adecuado aprovechamiento de los resultados obtenidos.»

### FINANCIACION

Relativo a la financiación, García Loygorri señaló:

«Por lo que se refiere a la financiación de las inversiones previstas, se estima que, por una parte, dado el carácter infraestructural de algunas actividades y, por otra, a causa del riesgo inherente a todas ellas, deberán tener un apoyo muy importante del estado las relativas a Exploración y Prospección General.»

«Las etapas de Prospección avanzada y Evaluación presentan un riesgo decreciente a medida que se avanza en las actividades de investigación, por lo que la participación estatal debe ir dando paso progresivamente a la inversión empresarial. Así, se estima que ésta constituirá, respectivamente para el período 1985-90, el 15 por 100 de la inversión total en prospección avanzada y, aproximadamente del orden del 35 por 100 de la total correspondiente a evaluación. En ambas etapas, la financiación estatal deberá ser recuperada con cargo a las producciones obtenidas en la medida en que las investigaciones se vieran culminadas con resultados positivos.»

«La aplicación de los criterios esbozados para el cálculo de inversiones y del esquema de financiación expuesto ha conducido a estimar una inversión global del orden de 4.800 millones de pesetas para investigación geológico-minera en el territorio nacional, en el cuatrienio 1981-1984, y de unos 18.000 millones de pesetas desde 1981 a 1990.»

### ESTUDIOS EN CURSO

La parte correspondiente a estudios y proyectos en marcha, ocupó la mayor extensión de la intervención de

García Loygorri, discurso leído por Fernando Vázquez Guzmán, del Instituto Geológico. En este apartado, García Loygorri dio detalles de las investigaciones en marcha. Entre otras cosas manifestó:

«Al IGME se le asignaron preferentemente las etapas primeras y más generales de la investigación de yacimientos, encomendándose a ENADIMSA las labores de prospección de minas y de valoración de reservas. Los correspondientes servicios de ambas entidades han sido reestructurados, a fin de adecuar los medios humanos y técnicos a las necesidades del Plan de Investigación y a la eficacia de su cumplimiento. Asimismo el IGME ha adquirido una participación del 20 por 100 en el capital social de ENADIMSA, lo que, unido a la existencia de un Comité de Supervisión en el seno del Ministerio de Industria y Energía —que aprueba los proyectos presentados y controla el desarrollo de los mismos—, asegura la necesaria coordinación entre ambos Organismos.»

«Con este planteamiento, se está consiguiendo una cada vez más activa participación de la iniciativa privada, siendo ya numerosos los acuerdos de participación con diferentes Empresas en el campo de la investigación geológica-minera.»

«Entre los diferentes trabajos, que se extienden ya prácticamente a todo el territorio nacional, realizados o en curso, sobre las cuencas y yacimientos de carbón, cabe destacar los siguientes:

— «Como proyectos de *infraestructura básica*, los estudios de Correlación Geológica de Series Carboníferas en el N. O., la realización de hojas geológicas del Mapa Geológico Nacional (MAGNA) que incluyen áreas carboníferas y la elaboración de Mapas de Síntesis de la cartografía geológica existente, a escala 1:200.000. Se ha iniciado también la actualización del Inventario Nacional de Recursos de Carbón, confiéndole un carácter más dinámico que, con ayuda de la informática, le permita estar permanentemente al día.»

— «Incluido en la etapa de *exploración general*, se encuentra el proyecto de Exploración de Cuencas Lignitíferas, cuyos trabajos se han extendido ya a Burgos, Soria, Teruel, Lérida, Mallorca, diversas áreas subpirenaicas y pirenaicas, Cordillera Ibérica, Jaén, Málaga, Huelva, Cuenca y Granada. En particular, es digna de mención por la posible importancia del descubrimiento, la investigación que se está realizando sobre los lignitos pardos de Ginzo de Limia (Orense).»

— «La etapa de prospección incluye un buen número de proyectos, pudiéndose citar las zonas siguientes:

- En Asturias, Área de Viñón-Libardón; área de La Justa-Aramil; Cuenca de Quirós y Cuenca carbonífera de Cerredo, así como áreas de San Fernando —Pontones, Narcea y Teverga— Puerto Ventana.
- En León-Palencia, La Cuenca de San Emiliano; El Bierzo sobre las áreas de Torrebrambre y alto Bierzo; Cuencas de Valderrueda-Guardo-Cervera y Villablino.
- En el Sur de España, área de Espiel (Córdoba); Cuenca de Bienvenida (Badajoz) y Áreas de Antolín-Belmez y San Antonio (Córdoba).
- En Teruel, áreas de Andorra y Foz-Calanda; Castellote; Norte de Andorra; Esteruel-Gargallo-Alcaine y Utrillas.

- En Cataluña, Cuencas de Tremp-Montsech; Cajigar y San Lorenzo de Morunys-Tuixent.
- En Baleares, áreas de Júpiter y Sineu.»

— «Por lo que a *evaluación* se refiere, los trabajos realizados o en curso afectan a las provincias de Oviedo, con los proyectos de Pontones, Minas de Figaredo, Pozo Candín, HULLASA y Tineo; León, con la evaluación de Sabero; Córdoba, con las de Guadiato, la Castellana-Langreo y San Ricardo; Ciudad Real, con la de Puertollano; Granada, con las de Arenas del Rey y Padul; Teruel, con las diversas áreas de Utrillas, y Baleares, con las de Lloseta y Consell-Binisalem.»

RESULTADOS

Por último, García Loygorri se refirió al capítulo de resultados obtenidos durante la vigencia del citado Plan. Señaló los que ya están cubiertos y otros pendientes de evaluación definitiva, como es el caso del yacimiento de lignito de Ginzo de Limia, en la provincia de Orense. García Loygorri, a través de su interlocutor, dijo:

«Como mero indicador de resultados, se puede señalar que, aun cuando muchos de los trabajos se hallan todavía en desarrollo, las investigaciones emprendidas por el Estado han permitido ubicar hasta el presente unos tonelajes nuevos, no contemplados en el Inventario de Recursos Nacionales de Carbón, de unos 60 Mt. de hullas y antracitas en Asturias y Córdoba, y de unos 80 Mt. de lignitos en Mallorca, Teruel y Granada, sin contar los recursos descubiertos en la provincia de Orense, cuya exploración y determinación de calidades se encuentra aún en fase de ejecución.»

«Además, estos resultados se ven complementados por otras actividades de la iniciativa empresarial, que han dado lugar también a la localización de nuevos recursos en la provincia de León (hulla), Puentes de García Rodríguez (lignito pardo) y en menor cuantía en Castellón (lignito negro).»

«Por lo que al esfuerzo económico realizado se refiere, el IGME y ENADIMSA, para acciones de investigación geológico-minera en el interior, han contado con unas dotaciones de más de 2.300 MPTA. durante el trienio 1979-1981, con cargo a los Presupuestos Generales del Estado, en proyecto de cooperación. La participación empresarial ha supuesto una inversión conjunta valorada en unos 600 millones de pesetas, para el conjunto del citado trienio.»

«Como perspectivas de futuro, la investigación de yacimientos de hulla y antracita, en proyectos inmediatos, se localiza en determinadas áreas de Asturias (Norte y Sur de la Cuenca Central, Cuencas del Narcea, Quirós-Teverga, Villabona), León (Bierzo-Villablino) y Cuencas del Norte de León), Palencia (Guardo, Barruelo), Córdoba (Peñarroya-Espiel) y Ciudad Real (Puertollano), así como en otras de menor entidad.»

PERSPECTIVA MUNDIAL DEL CARBON

En las próximas dos décadas se espera que el carbón cuyo uso se estancó en el decenio de los sesenta y declinó en la década pasada, ofrezca el aporte más importante al

crecimiento de la oferta energética mundial. Las proyecciones de la demanda mundial de carbón señalan que la misma aumentará de 36 millones de b/d de petróleo equivalente en 1979, a 68 millones de b/d de petróleo equivalente en el año 2000; es decir, a una tasa de crecimiento anual del 3 por 100.

Se calcula que de las principales regiones consumidoras, los aumentos en la demanda del carbón del Extremo Oriente y de los Estados Unidos serán los más importantes, con tasas anuales del 5 por 100 y del 4 por 100, respectivamente. Para Europa, se ha proyectado un menor crecimiento anual de la demanda, a una tasa del 2,5 por 100.

Se prevé que el uso del carbón en las economías de planificación centralizada presente un incremento inferior al 2 por 100 anual.

La demanda de carbón para la industria y otros usos directos, que había declinado durante muchos años, ha comenzado a crecer recientemente. Se calcula que el uso directo del carbón en la industria de aquí al año 2000 crecerá a una tasa del 6 por 100 anual. Las industrias que están instalando nuevas plantas de vapor y de calefacción ven cada vez más en el carbón una alternativa frente a los otros energéticos.

Aunado a estos usos tradicionales, se espera que para la última parte del decenio actual se incrementará la conversión del carbón a gases sintéticos o combustibles líquidos. Junto con los esquistos bituminosos, el carbón se convertirá en uno de los principales factores del crecimiento de la industria de los combustibles sintéticos en los Estados Unidos, Brasil y otros países, ya sea como insumo o como combustible. La cantidad de carbón utilizada hoy en día en la producción de combustibles sintéticos es mínima, pero para el año 2000 cerca del 10 por 100 de la demanda mundial de carbón podría estar destinada a esta rama.

Las principales restricciones en el uso del carbón continuarán surgiendo a partir de las preocupaciones ambientales. Ciertos reacomodos en los objetivos energéticos y ambientales serán necesarios para alcanzar los niveles proyectados de utilización del carbón.

Se prevé que la participación de las economías de planificación centralizada en la oferta total de carbón disminuirá a lo largo del período estudiado, pasando de más de un 50 por 100 en 1979 a un 40 por 100 en el año 2000. Aun así, se calcula que las exportaciones netas de carbón de dichas economías al resto del mundo se verán más que duplicadas durante los próximos veinte años.

Los Estados Unidos continuarán siendo el principal productor mundial de carbón; su proporción de la oferta mundial aumentará de un 23 por 100 en 1979 a un 28 por 100 en el año 2000. Se calcula que la producción europea de carbón crecerá muy poco durante el período, a pesar de una mayor utilización del combustible en los sectores industrial y eléctrico. La participación europea en la oferta mundial disminuirá de un 12 por 100 en 1979 a un 8 por 100 en el año 2000. Las importaciones cubrirán en un 75 por 100 el crecimiento de la demanda europea de carbón, pues la producción interna sólo abastecerá cerca de un 60 por 100 de la demanda para el año 2000, comparado con un 80 por 100 en 1979.

La capacidad productiva para la exportación de África del Sur, Australia, Colombia, los Estados Unidos y las economías de planificación centralizada se incrementará

y se anticipan aumentos en la cantidad de carbón comercializado internacionalmente. Se espera que el comercio marítimo casi se cuadruplique, pues pasará de 160 millones de toneladas de carbón lavado equivalente en 1979 (aproximadamente 2 millones de b/d de petróleo equivalente), a más de 600 millones de toneladas (cerca de 8 millones de b/d de petróleo equivalente) para el año 2000. Por ello habrá una necesidad considerable de expandir las instalaciones portuarias y de transporte.

CRECIMIENTO DE LA DEMANDA ANUAL DE CARBON 1965-2000 (en %)

	1965-1973	1973-1979	1979-2000
TOTAL ... ..	1.0	2.5	3.0
Metalurgia ... ..	1.0	1.7	2.0
Energía eléctrica ... ..	4.1	4.8	3.3
Industrial y otros ... ..	(5.0)	(4.8)	4.6
Carbón para combustibl. sintéticos. Mundial, excluyendo las economías de planificación centralizada ... ..	—	—	20.6
Economías de planificación centralizada ... ..	2.3	3.5	1.8

SEGUN LA OIT, EN LOS PROXIMOS AÑOS: SE DOBLARA EL NUMERO DE MINEROS

El continuo aumento del precio del petróleo en el curso de la última década, en carácter limitado de las reservas de «oro negro» y los problemas cada vez más arduos vinculados al desarrollo de la energía nuclear han activado el interés de los países industrializados y del tercer mundo por el carbón. Se calcula, en efecto, que este mineral asegura el 20 por 100 de las necesidades energéticas mundiales en el año 2000.

Una nueva industria del carbón, casi completamente mecanizada, está imponiéndose en el sediento mundo de las energías alternativas. Para aumentar la producción y alcanzar los niveles exigidos por los consumidores, la producción deberá pasar de unos 3 a 5,6 millones de toneladas anuales. Ello supone también el incremento de la mano de obra empleada en este sector, según señala un amplio informe preparado por la OIT y estudiado por las 21 delegaciones que participaron estos días en la undécima reunión del Comité del Carbón de este organismo.

Según la secretaría de la Oficina Internacional del Trabajo, el número de trabajadores pasaría de 4,7 millones a 8,4 millones a finales de siglo. Sin embargo, no se trata sólo de un aumento numérico. El minero de antes, con su lámpara y su pico, es una especie en vías de desaparición, que da paso a una nueva casta de tecnócratas altamente calificados e incluso provistos de títulos universitarios.

PROGRESIVA MECANIZACION

La explotación del carbón —que siempre ha sido un oficio duro— continúa presentando peligros a pesar de las nuevas técnicas que permiten mejorar la seguridad de las

minas. La extracción mecanizada puede agravar los riesgos y a veces crear otros nuevos.

El grisú y el polvo de carbón, peligrosamente tóxico e inflamable, causa de la neumoconiosis, son dos de los peligros tradicionales que —si nos atenemos a un informe preparado con motivo de la undécima reunión de la comisión del carbón de la OIT—, han sido agudizados por la mecanización.

Las potentes máquinas modernas reducen el carbón a bloques más pequeños, lo que aumenta la concentración del polvo en el aire. Por otra parte, la mayor explotación de tajos largos ha aumentado la producción incidente de grisú. Además, la mecanización intensiva hace más frecuentes la aparición súbita de este gas, lo cual puede provocar catástrofes.

No obstante, una colaboración más estrecha entre la dirección y los mineros ha permitido, a la larga, mejorar la seguridad.

#### MENOS ACCIDENTES

Las estadísticas mencionadas en el informe hacen aparecer un descenso de los accidentes mortales en los principales países productores de carbón. Sobre todo son los accidentes graves, debido a los incendios, los que han podido limitarse por una detección rápida, una mejor vigilancia y la presencia en el terreno de medios de lucha contra el fuego.

La incidencia de la neumoconiosis es todavía muy alta, pero se observa también un mejoramiento progresivo de la situación, gracias a la vigilancia médica, al control frecuente de la concentración de polvo en los lugares de trabajo y al suministro de máscaras filtrantes a los mineros.

El informe destaca que actualmente el mayor número de accidentes sobrevienen durante las operaciones de transporte, el riesgo de desprendimientos, en otro tiempo el más temido, ha disminuido apreciablemente desde que se recurre a la fortificación mecanizada de los túneles y al empernado de los techos.

La extracción se ha mecanizado en la mayoría de los países desarrollados. Sin embargo, esta transformación es menos rápida en las operaciones de transporte, en las cuales el informe preconiza la introducción de sistemas automatizados.

#### FONDOS MARINOS: NUEVO «EL DORADO»

Sumergido en el fondo de los acéanos, un nuevo «El dorado» atrae hoy a codiciosos mineros que han abandonado el pico y la pala tradicionales para utilizar verdaderos «robos» en la cosecha de los llamados «nódulos polimetálicos».

Los países en desarrollo, es decir, los pobres del mundo, tratan por los medios de defenderse de la avaricia de las poderosas multinacionales de las naciones industrializadas, listas ya para iniciar la cosecha de los metales marinos.

En Nueva York, en Washington, en Nueva Delhi, o en Lima, la batalla por las riquezas que duermen en los fondos marinos alcanza ribetes dramáticos.

En esta ocasión, los exploradores no caminan desorien-

tados como los españoles en la búsqueda del mítico «Eldorado». Este nuevo «Eldorado» existe, en forma de depósitos minerales que cubren millones de millas cuadradas de la superficie de los suelos marinos.

Los minerales marinos se han detectado en todos los acéanos, pero han sido particularmente estudiados en el Océano Pacífico Norte, en las paradisíacas islas Hawai y entre éstas y la costa americana. En algunas de estas zonas, hay densidades minerales de 10 kilogramos por metro cuadrado.

Sólo en el Pacífico se ha calculado que existen un billón y medio de toneladas de manganeso, suficientes para 400.000 años. Además, los nódulos, que contienen también níquel, cobre, hierro, cobalto, se forman ininterrumpidamente al ritmo de diez millones de toneladas por año.

Cuatro quintas partes de los minerales del planeta, de los hidrocarburos, del carbón, de las sustancias químicas, del hidrógeno, del oxígeno y de las formas de vida por conocer deben estar bajo el agua, prácticamente intactos desde las más remotas épocas geológicas.

A nadie escapa que los países que exploten estos yacimientos controlarán el mercado de metales, en un momento en que se advierte que entre los años 1990 y 2000 habrá escasez en las fuentes tradicionales proveedoras de minerales en tierra continental.

En base a este sombrío futuro, la explotación de minerales de los fondos marinos ha pasado de ser una posibilidad remota para convertirse en una necesidad.

La ciencia y la tecnología modernas permiten la posibilidad de explotar tales ingentes yacimientos, pero únicamente el puñado de grandes potencias industriales tiene los recursos suficientes para ello.

En la actualidad cuatro consorcios están invirtiendo millones de dólares en los estudios de factibilidad: Kennecott, Ocieen Mining Associates, Ocean Minerals Company y Ocean Management INC.

Estos consorcios poderosísimos están integrados por importantes multinacionales de Estados Unidos, Gran Bretaña, Japón, Canadá, Bélgica, Holanda, Alemania Occidental, es decir, las grandes potencias industriales occidentales.

Los consorcios proyectan utilizar distintos métodos de cosecha de los nódulos polimetálicos, la mayoría accionados por control remoto, y que van desde una máquina extractora de la «Lockheed» a un tractor de los fondos marinos.

En resumen, la fase inicial del desarrollo tecnológico para la explotación de los minerales marinos está concluida y todo induce a pensar que para el año 1990 el costo de extracción de minerales esenciales «será mayor en la tierra que en los fondos marinos».

#### INFORME

Dentro del ámbito de actuaciones del Instituto Geológico y Minero de España durante 1980 tuvo una importante parcela lo relativo a Aguas Subterráneas y Geotécnica, problema el primero de especial trascendencia en estos días. Extraído de la Memoria del IGME, dedicada al año 1980, publicamos como INFORME lo que dicho organismo ha realizado en estos campos.

#### AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOTECNIA

Las actuaciones en Aguas Subterráneas se encuadran en tres programas de ámbito nacional:

- Programa de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS).
- Programa de Estudios para el Control y Gestión de Acuíferos (PECGA).
- Programa de Abastecimiento a Núcleos Urbanos (PANU).

#### PROGRAMA DE ABASTECIMIENTO A NUCLEOS URBANOS (PANU)

Hecho singular durante 1980 fue la persistente sequía que azotó a numerosas regiones españolas, situación que hizo que en varias provincias se declarara situación de «alerta roja» que obligó a poner en marcha una serie de actuaciones de máxima urgencia para afrontar las situaciones más críticas, entre las que se encontraban las del suministro de agua a los núcleos urbanos.

En un gran número de casos, agotadas las reservas de los embalses de superficie que habitualmente suministran a los núcleos de población, hubo que recurrir a la búsqueda de nuevos recursos en el único lugar donde se encuentran: los embalses subterráneos.

Ahora bien, esta actuación extraordinaria no fue un hecho aislado, ya que se enmarcó en la labor continuada que desde mediados de 1975 viene realizando el IGME, mediante el Programa de Abastecimiento a Núcleos Urbanos (PANU).

El PANU surgió como continuación del Plan de Urgencia de Abastecimiento por Aguas Subterráneas desarrollado en 1975, que tenía por objeto hacer frente a la grave situación de los abastecimientos públicos de agua que, también por entonces, un acentuado ciclo seco había producido en un importante número de municipios españoles.

Los estudios de planificación hidráulica iniciados en 1970 por el IGME con el Programa de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS) que tenía como objetivo dotar al país de la infraestructura hidrogeológica de que carecía, permitiendo establecer la capacidad aproximada de los embalses subterráneos.

Seguidamente se planificó la investigación a partir de grandes proyectos de varios años de duración que tenían como unidad de estudio las grandes cuencas hidrográficas de las que ya se han investigado las del Guadalquivir, Segura, Júcar, Guadiana, Sur, Islas Baleares, Duero y Ebro, y se investigan las del Tajo y del Norte.

Los resultados obtenidos van a permitir una planificación adecuada de los recursos hidráulicos de cada cuenca. Al mismo tiempo, los planes hidrogeológicos, por cuencas, será elemento fundamental para la integración que se pretende con el Plan Hidráulico Nacional.

La creación de esta infraestructura hidrogeológica, desarrollada por el IGME ha coadyuvado a que las aguas subterráneas, sean tenidas cada vez más en cuenta en esa planificación hidráulica.

Estos estudios de planificación y otros complementarios, como el del Programa de Estudios para Gestión y Conservación de Acuíferos permitieron que el Programa de Abastecimiento de Núcleos Urbanos (PANU) obtuviera resultados espectaculares.

De cualquier manera, la irregularidad de nuestro clima y la escasez de recursos de nuestra economía obligan a aplicar los que tenemos con un criterio de ahorro y eficacia. En el caso del agua, la decisión parece clara: resolver los posibles problemas teniendo en cuenta todos los recursos disponibles tanto superficiales como subterráneos, para elegir la solución más eficaz de acuerdo con las necesidades planteadas y las disponibilidades económicas.

#### PROGRAMA DE INVESTIGACION DE AGUAS SUBTERRANEAS (PIAS)

Se han llevado a cabo estudios de infraestructura hidrogeológica en las Cuencas del Norte, Tajo, Guadalquivir, Alto Júcar, Ebro y Pirineo Oriental, con un total de 35.975 kilómetros cuadrados de cartografía hidrogeológica a escala 1:200.000 y 1:50.000, incluida la evolución de recursos subterráneos y el montaje de sistemas de vigilancia.

En los trabajos de las Cuencas del Norte destacan los estudios realizados en la provincia de Oviedo, habiéndose extendido la investigación a un total de 1.850 km<sup>2</sup>. Se han inventariado 874 puntos acuíferos; se han tomado 319 muestras de agua y se han efectuado 104 medidas de aforo de ríos y manantiales. Igualmente se han efectuado los correspondientes estudios hidrogeológicos e hidrométricos, los de gestión y conservación de acuíferos, los de planificación hidrogeológica, así como actuaciones especiales para el Mapa de Orientación al Vertido en la zona central de Asturias.

Por último, se han efectuado estudios especiales de asesoramiento y de sondeos para abastecimiento urbano.

En la cuenca del Duero se han desarrollado los estudios de control y conservación de acuíferos, los de planificación hidrogeológica, los de actualización de balances y otros estudios especiales y de asesoramiento sobre calidad de aguas subterráneas, riego con aguas residuales y bombeos de ensayo, así como diversos estudios y sondeos para abastecimiento urbano.

En la Cuenca del Tajo, que tiene a Madrid como gran condicionante, se han estudiado con distinta intensidad todos los sistemas acuíferos incluidos en la Cuenca, habiéndose realizado cartografía hidrogeológica de unos 6.740 kilómetros cuadrados a escala 1:50.000.

La cuenca se caracteriza por una alta complejidad hidrogeológica, tanto desde el punto de vista de utilización del agua, como de la distribución especial de recursos. Como puntos singulares se encuentran el abastecimiento a Madrid y el Trasvase Tajo-Segura, temas que en cierto modo condicionan la planificación hidroca de toda la cuenca.

En la Cuenca Alta del Guadiana se efectuaron las operaciones periódicas de control de acuíferos dentro de los estudios de gestión y conservación de los mismos. En los trabajos para actualización de balances se ha realizado una encuesta sobre la explotación de aguas subterráneas en Ciudad Real dada la vital importancia que el sistema de la llanura manchega representa tanto por las posibilidades de regulación del río Guadiana como para el propio desarrollo económico-social de la provincia.

Por último, se han continuado las actuaciones especiales en materia de protección de la calidad de las aguas subterráneas y estudios para abastecimiento urbano.

En la Cuenca del Bajo Guadalquivir hay que destacar

el estudio hidrogeológico de la Sierra de Grazalema en colaboración con la Excm. Diputación Provincial de Cádiz.

Aunque la finalidad inmediata ha sido la resolución de problemas de abastecimiento público, el estudio realizado ha permitido fijar las bases infraestructurales para posteriores investigaciones que permitan conocer las posibilidades de regulación de este acuífero cárstico. Es importante esta cuestión, si se tiene en cuenta que los recursos de que dispone el Plan de Abastecimiento a la Bahía de Cádiz empiezan a ser insuficientes. Para paliar esta insuficiencia se está estudiando la posibilidad de trasvasar aguas de la Cuenca del Guadiaro (excedentario) al Guadalete. La posibilidad de regulación del macizo cárstico de la Sierra de Grazalema y alrededor, podría resolver de forma satisfactoria el problema planteado.

También hay que destacar el estudio especial del manto acuífero de Chipiona, a petición del IRYDA, en relación con el proyecto de riego con aguas superficiales procedentes del Guadalete, del triángulo Rota-Sanlúcar-Chipiona.

En la Cuenca del Alto Guadalquivir, además de los trabajos de gestión y conservación de acuíferos y estudios para el abastecimiento urbano a petición de la Comisaría de Aguas del Guadalquivir se inició el estudio de actualización del balance de la Vega de Granada y se realizaron dos informes de asesoramiento al Gobierno Civil de Granada en relación a una posible afección a un manantial público.

En las Cuencas Sur Occidental (Málaga) y Oriental (Almería) se han realizado las operaciones periódicas de control de acuíferos y entre los informes vinculantes efectuados destaca uno a la Inspección Regional de Andalucía Oriental sobre la repercusión de las nuevas explotaciones del IRYDA en el Campo de Dalías.

Igualmente, hay que destacar los trabajos del Plan Hidrogeológico para la planificación provincial de Almería en el que se han presentado planos a escala 1:500.000 del Mapa de Sistemas Acuíferos, el Mapa Litológico y el Mapa de Calidad, aportando también como documentos de trabajo los siguientes: informe sobre revisión de la problemática en la utilización de los recursos de la provincia, actuaciones para la definición de los recursos de aguas subterráneas en la provincia, confección de 47 fichas sobre los trabajos del IGME y su valoración y relación de proyectos y estudios del IGME sobre aguas subterráneas, comentando su contenido y valoración actual; relación de actividades previstas o en curso de realización por el Instituto para el bienio 80/81 con anterioridad a los trabajos de planificación.

En la Cuenca Baja del Segura, además de los trabajos habituales en todas las cuencas se han llevado a cabo una serie de estudios climatológicos e hidrológicos de la cuenca y de la costa de Alicante, así como un estudio para el equipamiento de manantiales en la provincia de Alicante.

Igualmente, se ha realizado con carácter exhaustivo el estudio de las demandas de agua para la agricultura en la región murciana, fruto de lo cual ha sido el establecimiento por términos municipales, el inventario de los regadíos en dicha región. Este inventario ha dado origen al «Mapa de Regadíos de la provincia de Murcia» y al estudio «Necesidades hídricas de los cultivos de la región murciana».

En las Cuencas Altas del Júcar-Segura destaca la publicación en 1980 del «Informe final de la Investigación Hi-

drogeológica en las Cuencas Altas del Júcar y del Segura», que consta de 17 volúmenes.

Asimismo se ha editado bajo el título «El Sistema Hidrogeológico de Albacete (Mancha Oriental) sus recursos en aguas subterráneas, su utilización actual y posibilidades futuras», un resumen actualizado de la investigación en la unidad norte que constituye tanto por sus recursos como por sus posibilidades de utilización el área de mayor interés entre todas las estudiadas.

Por último, también hay que señalar el estudio hidrogeológico previo del Mesozoico de la provincia de Cuenca, correspondiente al sistema acuífero número 18 integrado en la Cuenca del Júcar en su tramo de cabecera. La investigación ha cubierto una superficie aproximada de 3.000 kilómetros cuadrados.

Los estudios realizados hasta ahora tienen un carácter previo y de iniciación a la investigación hidrogeológica, la cual permitirá, en un futuro, evaluar los recursos hidráulicos subterráneos y disponer de una infraestructura hidrogeológica que permita aconsejar con rapidez sobre los posibles problemas de abastecimiento urbano y regadío que se planteen.

El Informe final constará de una Memoria general con mapas y anejos de inventario de puntos acuíferos.

En la Cuenca Media y Baja del Júcar, además de los trabajos normales se han realizado diversos estudios especiales para protección de la calidad de las aguas subterráneas y otros de asesoramiento a organismos públicos titulados: «Informe sobre la ubicación del perímetro de protección para la captación de aguas de la industria carbónica levantina», tres informes para la Delegación de Industria de Castellón entre los que destaca la síntesis hidrogeológica de la provincia de Castellón y otros dos informes a la Comunidad de Regantes de San Pedro de Chivas.

Igualmente se han realizado varios estudios especiales para la Diputación de Castellón sobre la situación de los abastecimientos urbanos y sobre la problemática de las aguas subterráneas de la provincia.

Por último, hay que destacar también el Estudio de Seguimiento y Control de Abastecimiento a la IV Planta Siderúrgica Integral de Sagunto.

En la Cuenca del Ebro han continuado los trabajos de infraestructura hidrogeológica en la Laguna de Gallocanta, redactándose un informe de dos tomos: uno de Memoria y Planos y otro de Inventario que es de una importancia decisiva en el equilibrio ecológico de la citada laguna.

Asimismo se han redactado otros informes de infraestructura hidrogeológica sobre la Sierra del Solorio, la Cubeta de Oliete, la Depresión de Calatayud-Montalbán, la zona de Quiles-Jalón y el Sinclinal de Jaca.

Además se han efectuado estudios especiales y de asesoramiento para el IRYDA y para la Diputación General de Aragón relativo esto último a un estudio sobre el valle del Jiloca.

En la Cuenca del Pirineo Oriental, destaca el informe sobre la Cuenca del río Gayá, cuyo objetivo fundamental ha sido determinar de una forma cuantitativa las demandas y recursos existentes en el área.

El conocimiento del área ha permitido realizar una serie de informes encaminados a resolver los problemas de abastecimiento en aquellos Municipios, que el estudio detectaba como deficitarios en su consumo.

En las Islas Baleares, como consecuencia de los estudios de control y conservación de acuíferos se han realizado 980 informes vinculantes de acuerdo con las disposiciones legales sobre ejecución de nuevos alumbramientos y ampliación de los ya existentes en la provincia de Baleares y otros sobre vertederos de residuos sólidos, uno de ellos sobre la ubicación del vertedero para mancomunar la zona oeste de Mallorca, realizado en colaboración con el Consell General Interinsular.

En las Islas Canarias hay que destacar la creación de la Subcomisión Provincial de Gobierno para la coordinación en la Administración del Estado de todas las acciones relativas al tema del agua en la provincia de Las Palmas.

Conviene señalar también el estudio hidrogeológico de la zona Norte de Tenerife, con el que se ha pretendido determinar la geometría y potencia de «El Mortalón» y sus implicaciones en la hidrogeología y circulación de las aguas subterráneas en esa zona.

#### ESTUDIOS PARA EL CONTROL Y CONSERVACION DE ACUIFEROS

Durante 1980 han proseguido estas actividades con el establecimiento de la red piezométrica nacional de medición periódica de niveles, con lo que se obtienen los mapas piezométricos, de variación de niveles, etc.

Entre las actividades regionales más importantes hay que señalar la elaboración de 1.009 informes vinculantes, de ellos 980 en Baleares; 29 en la Cuenca del Guadalquivir; 13 informes varios sobre perímetros de protección, vertederos, etc., y los trabajos correspondientes al control de acuíferos, cuyo resumen es el siguiente:

Se han publicado también informes, mapas y hojas y se han introducido en el ordenador 26.000 medidas y análisis de puntos acuíferos, piezómetros y calidad de aguas.

#### PROTECCION DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS

Aparte del control de calidad realizado en las redes de vigilancia se han realizado los siguientes estudios y trabajos:

- Estudio de metodología de protección de los sondeos de abastecimiento urbano frente a la contaminación.
- Publicación de los primeros informes generales de calidad del agua subterránea en las Cuencas del Guadiana, Sur, Segura, Júcar e Islas Baleares.
- Publicación de 12 mapas de orientación al vertido de residuos sólidos.
- Preparación de 12 maquetas de mapas a publicar en 1981.
- 21 informes sobre ubicación de vertederos, cementerios, balsas de residuos, etc.
- Seis estudios especiales sobre intrusión del agua del mar en: Campo de Dalías, Plana de Vinaroz-Peñíscola, Plana de Oropesa-Torreblanca, Plana de Gandía-Denia-Jávea, Plana de Castellón, Llano de Palma (Mallorca).
- Ocho estudios especiales sobre temas varios: riegos con aguas residuales, casos de contaminación, metodología de protección de sondeos, etc.

#### ESTUDIOS PARA INVESTIGACION HIDROGEOTERMICA

Han continuado los proyectos de años anteriores y se han iniciado otros para investigar la posibilidad de utilización de esta fuente de energía complementaria que alcanza hoy gran desarrollo en numerosos países, debido que sus costes de explotación son inferiores a los de las energías fósiles. En los últimos años se ha desarrollado espectacularmente el aprovechamiento de acuíferos con agua a poco más de 50°C (baja entalpía), calentados por un gradiente geotérmico normal en países geológicamente análogos al nuestro.

También han de evaluarse las posibilidades de las zonas con potencial para la producción de aguas de alta temperatura o alta entalpía, ligadas a zonas volcánicas.

Los estudios geotérmicos han sido los siguientes:

- Estudio de las manifestaciones termales de Galicia para su posible explotación como recursos geotérmicos.
- Estudio de los materiales de la Cuenca Oriental del Duero, susceptibles de constituir acuíferos profundos capaces de ser soporte de energía geotérmica de baja entalpía.
- Estudio geotérmico preliminar de las provincias de Castellón, Valencia y Alicante.
- Estudio y desarrollo de nuevas técnicas geofísicas y geoquímicas en investigación geotérmica, aplicadas a las depresiones de Olot y La Selva (Gerona). Metodología de evaluación de yacimientos en entalpía media.
- Estudio de posibilidades de explotación de energía geotérmica en almacenes profundos en baja y media entalpía del territorio nacional.
- Se han continuado diversos estudios en las Islas Canarias, para conocer su potencial geotérmico; en especial en las islas de Gran Canaria y Lanzarote.
- Detección y análisis de manifestaciones termales en depresiones terciarias del Sureste.
- Estudio geotérmico del Campo de Nijar (Almería).
- Estudio de las manifestaciones termales de Ciudad Real.
- Realización de sondeos para medida de gradientes en las Cuencas del Duero, Tajo y Guadiana.
- Microfilmación de expedientes con datos de interés geotérmico del archivo de puntos de agua.

#### GEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA

Durante 1980 la sección de Cartografía Geotécnica y Estudios Especiales realizó 2.330 metros lineales de sondeos, 230 m/3 de calicatas, 216 ud. de pocillos, 6 ud. de voladuras, cinco meses de equipos de Geofísica y 6 ud. de sondeos sísmicos de refracción.

En trabajos de laboratorio se han realizado un total de 1.050 ensayos y cuarenta días de campo para toma de datos.

En cuanto a las actividades realizadas, abarcaron:

- Mapas de riesgos naturales con problemas de inestabilidad de suelos.
- Mapas geocientíficos del medio natural.

- Estudios geotécnicos y geofísicos para aplicación de proyectos de ordenación urbana.
- Labores de reconocimiento geomecánico.
- Readaptación de balsas y escombreras al medio ambiente.
- Programa de Geología Territorial y Ambiental.
- Investigación de la Gestión y el Tratamiento de los Residuos Sólidos en España.

#### CONTROL DE VERTIDOS DE RESIDUOS URBANOS

Los objetivos del estudio son, además de la corrección del impacto de los residuos en el medio ambiente, el conocimiento detallado de los vertidos de residuos urbanos y el conocer las posibilidades de aprovechamiento energético de los residuos industriales producidos en las provincias de Madrid y colindantes.

Los trabajos desarrollados con la colaboración de ENADIMSA han consistido en el desarrollo de la cartografía de base, obtención de documentación y recogida de información en el campo.

El inventario piloto experimental de residuos industriales susceptible de aprovechamiento energético, se ha efectuado en la provincia de Guadalajara y comprende la localización de puntos de producción, industriales, agropecuarios y forestales y sus posibilidades energéticas. Dada la amplitud de residuos producidos, tanto urbanos

como industriales, no parece aventurado adelantar el gran interés que tiene el continuar estos estudios.

#### MECANICA DE ROCAS Y SUELOS

En Mecánica de Rocas y Suelos se han realizado las siguientes actividades:

- Confección de normativas sobre los efectos dinámicos ocasionados por la voladura de rocas, para determinar las características geomecánicas.
- Estudio de los problemas de estabilidad planteados por las balsas y escombreras en la minería del carbón.
- Determinación de parámetros elásticos de rocas ígneas con vistas al análisis de vibraciones.
- Nuevos métodos para el cálculo de probabilidades de rotura de un talud.
- Métodos empleados en el diseño de excavaciones a cielo abierto.
- Recopilación de criterios establecidos en EE. UU. para el emplazamiento de centrales nucleares.
- Reconversión de desechos minerales carboníferos.
- Definición de parámetros geoambientales.
- Establecimiento de una red de medición y análisis de vibraciones ocasionadas por voladuras industriales en rocas ígneas.
- Estudios geotécnicos para la implantación de estaciones de inspección técnica de vehículos.
- Estudios del medio natural en zonas deprimidas.

## Notas bibliográficas

### ESTRATIGRAFIA

11748. **Estratificaciones cruzadas deformadas, Triásico del borde sureste de la Meseta Ibérica.** FERNANDEZ, J. *Estud. Geol.* (1980), 36, núm. 3-4, pp. 237-245, esp., res. ing., ref. (16), bibl. IGME.

\* Estructura sedimentaria, Estructura intraformacional, Pliegue, Pliegue flujo, Liquefacción, Estratificación entrecruzada, Arenisca, Trías, Alcaraz, Infantes, La Carolina, Bailén, Linares, Santisteban del Puerto, Provincia Jaén, Provincia Albacete, Provincia Ciudad Real, Macizo Ibérico.

11749. **Los materiales del Mioceno Superior de la Cuenca de Ronda, Málaga.** SERRANO LOZANO, F.

*Estud. Geol.* (1980), 36, núm. 3-4, pp. 231-236, esp., res. ing., ref. (9), bibl. IGME.

\* Mioceno sup., Fauna específica, Fauna foraminífero, Paleogeografía, Formación del Tajo, Formación de Setenil, Formación de El Gastor, Formación de La Mina, Formación de Las Mesas, Ronda, Provincia Málaga, Zona Bética, Cuenca Guadalquivir.

11750. **Tidal sedimentation in the transgressive cycle of the lower Ordovician in the eastern Sierra de Guadarrama, Central Spain.** BISCHOFF, L.; GURSKY, H. J., y WILLNER, A. P.

*Estud. Geol.* (1980), 36, núm. 3-4, pp. 221-229, ing., res. esp., ref. (24), bibl. IGME.

\* Ordovícico sup., Sedimentación intertidal, Medio intertidal, Trasgresión, Cuaternario, Litofacies, Estructura sedimentaria, Paleogeografía, Sierra de Guadarrama Oriental, Hercínico Central, Provincia Madrid, Provincia Guadalajara.

11690. **Las pinturas rupestres esquemáticas del Abrigo de «La Higuera»; Otiñar, Jaén.** CARRASCO RUS, J. y CASTANEDA NAVARRO, P.

*Archivo de Prehistoria Levantina* (1981), 16, pp. 319-342, esp., bibl. IGME.

\* Lugar arqueológico, Neolítico, Caliza, Dolomía, Jurásico, Karst, Erosión eólica, Otiñar, Abrigo de la Higuera, Provincia, Jaén.

12045. **O Sinclinal Paleozoico de Esposende (Porto) - Seguros (Salamanca): O troço entre a Mazofa e o Satao (Portugal Central).** REGENCIO, C. A., y PORTUGAL, M.

6.ª Reunión sobre geología del Oeste peninsular (1981), port., bibl. IGME.

\* Ordovícico, Pliegue, Pliegue isoclinal, Cuarcita, Micaesquisto, Discordancia, Grauwaca, Pelita, Conglomerado, Porto, Portugal.

12050. **Estudio geológico estructural de la Sierra de Francia (Provincias de Salamanca y Cáceres).** MACAYA, J. 6.ª Reunión sobre geología del Oeste peninsular (1981), esp., bil. IGME.

\* Cámbrico, Ordovícico, Discordancia, Orogenia hercínica, Pliegue, Tectónica superpuesta, Provincia Salamanca, Provincia Cáceres.

12069. **Microfósiles de las calizas precámbricas de Córdoba (España).** LIÑAN, E., y SCHMITT, M.

*Temas geológico-mineros. 1.ª Reunión sobre la geología de Ossa-Morena* (1980), pp. 171-194, esp., res. ing., fra., ref. (24), bibl. IGME.

\* Antecámbrico, Caliza, Estromalotites, Oncolite, Cianofita, Anatomía, Biofacies, Biomicrita, Provincia Córdoba.

12070. **Problemática paleontológica del límite precámbrico-cámbrico en España.** PEREJON, A.

*Temas geológico-mineros. 1.ª Reunión sobre la geología de Ossa-Morena*, (1980), pp. 197-199, esp., bibl. IGME.

\* PICG, Antecámbrico, Cámbrico, Límite estratigráfico, Fauna específica, España.

### GEOMORFOLOGIA

11723. **Observaciones morfológicas de la expedición al Diran Peak (Karakorn).** MARTINEZ DE PISON, E.

*Bol. R. Soc. Geogr.* (Madrid), (1979), 115, núm. 1-12, pp. 115-190, esp., bibl. IGME.

\* Macizo montañoso, Glaciar, Morfología glaciar, Depósito glaciar, Erosión glaciar, Morrena, Valle glaciar, Cono deyección, Superficie erosión, Pie-de-monte, Diran Peak, Kora Korum.

11724. **Geomorfología del entorno de Madrid.** SANZ DONAIRE, J. J.

*Bol. R. Soc. Geogr.* (1979), 115, núm. 1-12, pp. 53-83, esp., ref. (117), bibl. IGME.

\* Síntesis bibliográfica, Geomorfología, Depresión, Arenisca, Periglacial, Glaciar, Superficie erosión, Piedemonte, Horst, Cono deyección, Cono aluvión, Terraza, Provincia Madrid.

## GEOLOGIA MARINA

11689. **Anuario de mareas 1982.** INSTITUTO HIDROGRAFICO DE LA MARINA.

*Anuario mareas* (1981), pp. 1-135, esp., bibl. IGME.  
\* Dato, Marea, Previsión, Tabla de datos, 1982, España, Portugal, Canarias, Ceuta, Guinea Ecuatorial, Sahara.

## GEOLOGIA DEL INGENIERO

11389. **Ayudas del Estado a la minería del carbón en los países de la CEE y en España.**

*Carbunión* (1981), núm. 2, pp. 1-54, esp., bibl. IGME.  
\* Carbón, Política estado, Subvención, Investigación, Carbón coke, Carbón vegetal, Mano de obra, Almacenaje, Seguridad, Alemania, Bélgica, Francia, España, Inglaterra.

11406. **Protección del medio ambiente: Enmiendas anexas del Convenio sobre prevención de contaminación del mar.** MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA.

*Legis. Ind.* (1980), pp. 2483-2489, esp., bibl. IGME.  
\* Contaminación, Agua mar, Legislación, Protección medio ambiente, Incineración en el mar, España.

11422. **Emisarios submarinos.** DIEZ GONZALEZ, J. J. *Rev. Obras Públicas* (1981), núm. 3.191, pp. 247-254, esp., bibl. IGME.

\* Contaminación, Agua mar, Agua contaminada, Dilución, Estudio impacto medio, Trabajo, Modelo matemático.

11442. **El beneficio de los minerales.** BLAZY (PERRE). *El beneficio de los minerales* (1980), pp. 15-470, esp., bibl. IGME.

\* Tratado, Mineralurgia, Teoría, Instrumentación.

11461. **Estudio prospectivo de minerales y rocas industriales, 6 Ordenación Territorial Española y la explotación de rocas y minerales industriales.** IGME.

*Estudio prospectivo de minerales y rocas industriales.* Informe 10.632 (1980), pp. 78-98, esp., bibl. IGME.

\* Planificación, Planificación Regional, Legislación, Política estado, Desarrollo, España.

11484. **Influencia de la génesis, mineralogía y fábrica en las propiedades geotécnicas de los suelos volcánicos de La Laguna (Tenerife).** Tesis Doctoral. GONZALEZ DE VALLEJO, L.

*Influencia de la génesis, mineralogía y fábrica en las propiedades geotécnicas de los suelos volcánicos de La Laguna (Tenerife).* Tesis Doctoral (1979), pp. 1-267, esp., ref. (85), bibl. IGME.

\* Suelo, Roca volcánica, Estructura suelo, Petrofábrica, Propiedad geotécnica, Tesis, Canarias, Tenerife.

11487. **Propiedades geotécnicas.** GONZALEZ DE VALLEJO, L.

*Influencia de la génesis, mineralogía y fábrica en las propiedades geotécnicas de los suelos volcánicos de La Laguna (Tenerife)*, (1979), pp. 181-267, esp., bibl. IGME.

\* Suelo, Roca volcánica, Propiedad geotécnica, Granulometría, Límite Atterberg, Deformación, Compresión, Compresión oedométrica, La Laguna, Canarias, Tenerife.

11605. **Gestión de residuos sólidos.** TECNICA Y SERVICIOS URBANOS, S. A.

*Gestión de residuos sólidos* (1981), esp., ref. (265), bibl. IGME.

\* Monografía, Desecho sólido, Desecho doméstico, Vertedero, Vertedero controlado, Reciclaje, Legislación, Financiación, Coste, Subvención, España.

11679. **Evolución de residuos de plaguicidas organoclorados en partes acreas del capsicum annuum L. I. Frutos.** ALONSO-ALLENDE, A.; LAENCINA, J.; ORTUÑO, A., y ABRISQUETA, J. M.

*An. Edafol. Agrobiol.* (1980), 39, núm. 7-8, pp. 1219-1228, esp., res. ing., ref. (6), bibl. IGME.

\* Contaminación, Pesticida, Agricultura, Variación temporal, Lindano, DDT, DDE, Toxafeno, Lorca, Provincia Murcia.

11703. **Las corrientes del Estrecho de Gibraltar como una importante fuente de energía. Ampliación del esquema sobre un proyecto para su aprovechamiento. Nuevas perspectivas para instalaciones maremotrices.** CAÑADA GUERRERO, F.

*Bol. Geol. Min.* (1981), 92, núm. 2, pp. 51-60, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Corriente, Instalación marina, Central eléctrica, Vía comunicación, Energía, Producción, Mapa batimétrico, Estrecho de Gibraltar, Mar de Alborán.

11720. **La acción de las Comunidades Europeas en materia de Gestión de residuos. Las tecnologías limpias y la eliminación de los residuos tóxicos y peligrosos.** KELIN, L.

*Bol. Inf. Medio Ambiente* (1981), núm. 18, pp. 27-34, esp., bibl. IGME.

\* Desecho industrial, Desecho agrícola, Desecho urbano, Polución, Prevención, Gestión, Programa, CEE.

11721. **El Superfondo. La respuesta de los EE. UU. al problema de los residuos tóxicos.** PIZZUTO, J. A.

*Bol. Inf. Medio Ambiente* (1981), núm. 18, pp. 11-19, esp., bibl. IGME.

\* Desecho industrial, Desecho agrícola, Desecho urbano, Legislación, Financiación, Estados Unidos.

11883. **Estudios sobre la contaminación y depuración del agua.** INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE.

*Memoria-Resumen Actividades Inst. Nac. Ciencias Medio Ambiente* (1981), pp. 78-83, esp., bibl. IGME.

\* Agua superficial, Depuración, Cloro, Alga, Informe actividad.

11885. **Balance hidro-salino del Ebro.** INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE.

*Memoria-Resumen Actividades Inst. Nac. Cienc. Medio Ambiente* (1980), pp. 107-108, esp., bibl. IGME.

\* Ribera, Calidad agua, Salinidad, Informe actividad, Provincia Zaragoza, Provincia Tarragona, Cuenca Ebro.

11886. **Niveles de contaminación en el Coto Doñana y Monte de el Pardo.** INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE.

*Memoria-Resumen Actividades Inst. Nac. Cienc. Medio Ambiente* (1980), pp. 50-53, esp., bibl. IGME.

\* Contaminación, Hidrocarburo, Mercurio, Huevo, Aves, Informe actividad, Doñana, Monte de El Pardo, Provincia Huelva, Provincia Madrid.

11887. **Estudio de la contaminación de la ría del Guadalquivir en el tramo comprendido entre Alcalá del Río y la corta de la Isleta.** INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE.

*Memoria-Resumen Actividades Inst. Nac. Cienc. Medio Ambiente* (1980), pp. 47-50, esp., bibl. IGME.

\* Ribera, Contaminación, Ion cloruro, Fosfato, Azote, Mar, Informe actividad, Río Guadalquivir, Provincia Sevilla, Provincia Huelva.

11888. **Estudio de la contaminación del río Guadamar y su zona de influencia por residuos de industrias mineras y agrícolas.** INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE.

*Memoria-Resumen Actividades Inst. Nac. Cienc. Medio Ambiente* (1980), pp. 43-47, esp., bibl. IGME.

\* Informe actividad, Ribera, Contaminación, Metales pesados, Sustancia no metálica, Depuración, Río Guadamar, Provincia Huelva.

11895. **El problema de la minería en el medio ambiente urbano.** FOWKE, N., y DEPLEDGE, D.

*Minerpress* (1981), núm. 60, esp., bibl. IGME.  
\* Mina, Estudio impacto medio, Planificación urbana, Nueva Zelanda.

11918. **Ayer y hoy. Eniwetok, todo un símbolo.** USBIGAI, M.

*Rev. Geogr. Univ.* (1981), pp. 69-85, esp., bibl. IGME.  
\* Radioactividad, Contaminación, Protección medio ambiente, Depuración, Eniwetok, Micronesia.

11919. **Influencia de la naturaleza mineralógica de las adiciones en el comportamiento de la pasta endurecida del cemento Portland II. Ensayos de rotura a compresión.** SORIANO CARRILLO, J.

*Rev. Obras Públicas* (1981), núm. 3.195, pp. 577-584, esp., ref. (16), bibl. IGME.

\* Ensayo laboratorio, Compresión, Resistencia mecánica, Resistencia compresión, Cemento industrial, Montmorillonita, Arcilla mineral, Sepiolita.

11935. **Aplicación del Krigeage a la estimación de niveles piezométricos.** CHICA, M.; FERNANDEZ RUBIO, R.; PULIDO, A., y YAGUE, A.

*Tecniterrae* (1981), 7, núm. 40, pp. 72-78, esp., res. fra. ing., ref. (4), bibl. IGME.

\* Piezometría, Geoestadística, Tratamiento dato, Modelo matemático, Error, Krigeage.

11936. **La aridez y el balance de agua en la costa mediterránea andaluza.** FRONTANA, J., y RODRIGUEZ MARTINEZ, F.

*Tecniterrae* (1981), 7, núm. 40, pp. 62-71, esp., res. ing., ref. (14), bibl. IGME.

\* Caudal agua, Meteorología, Precipitación atmosférica, Evaporación, Sequía, Andalucía.

## PALEONTOLOGIA DE LOS INVERTEBRADOS

11700. **Proplina yochelsoni n. sp. Primer monoplacophoro del Cámbrico Inferior español.** GIL CID, M. D.

*Bol. Geol. Min.* (1981), 92, núm. 3, pp. 26-32, esp., res. ing., ref. (1 p.), bibl. IGME.

\* Síntesis bibliográfica, Monoplacophora, Taxón nuevo, Fauna Trilobite, Arenisca, Cámbrico Inferior, Corte geológico, Proplina yochelsoni n. sp., Cortijos de Malagón, Provincia Ciudad Real.

11705. **Los Trilobites Agnósticos del Cámbrico Inferior y Medio de España.** GIL CID, M. D.

*Bol. Geol. Min.* (1981), 92, núm. 2, pp. 21-36, esp., res. fra., ref. (34), bibl. IGME.

\* Síntesis bibliográfica, Trilobite, Cámbrico Inf., Cámbrico Medio, Condylopyge rex, Peronopsis fallax, Ciceragnostus westergardi, Leiagnostus resectus, Peronopsella, Serrodiscus speciosus, Delgadella souzai, Calodiscus schuterti, España.

11744. **Modelos cuantitativos en biostratigrafía: Aplicación al Dogger de Belchite, Zaragoza.** SEQUEIROS, L.

*Estud. Geol.* (1980), 36, núm. 3-4, pp. 275-279, esp., res. ing., ref. (11), bibl. IGME.

\* Fauna específica, Fauna ammonite, Contaminación, Bajocense, Belchite, Provincia Zaragoza.

11745. **Pseudogrammoceras (Hildoceratacea, Ammonoidea) del Toarciense Medio y Superior de las Cordilleras Béticas, Andalucía, España.** GARCIA GOMEZ, R., y RIVAS, P.

*Estud. Geol.* (1980), 36, núm. 3-4, pp. 263-274, esp., res. ing., ref. (15), bibl. IGME.

\* Perisphinctida, Hildocerataceae, Concha, Toarciense, Pseudogrammoceras, Alamedilla, Provincia Granada.

## PALEONTOLOGIA DE LOS VERTEBRADOS

11707. **Los mamíferos de las Cuencas de Cardanya y Seu d'Urgell (Depresiones pirenaicas) y sus yacimientos; Vallesense Medio-Superior.** GOLPE POSSE, J. M.

*Bol. Geol. Min.* (1981), 92, núm. 2, pp. 1-10, esp., res. fra., ref. (1 p.), bibl. IGME.

\* Fauna mamífero, Mioceno sup., Vallesense, Sedimentación pantano, Medio pantano, Cuenca Cardanya, Cuenca Seu d'Urgell, Provincia Barcelona.

11713. **Fahlbuschia Crusafonti Nva. sp. Cricetido nuevo del Astarociense Superior del Vallés-Penedés.** AGUSTI, J.

*Bol. Inf. Inst. Prov. Paleontolog. Sabadell* (1978), 19, números 1-2, pp. 63-68, esp., res. fra., bibl. IGME.

\* Taxón nuevo, Myomorpha, Mandíbula, Biometría, Mioceno Sup., Provincia Barcelona.

11715. **Insectívoros del Paleógeno de España: Erinacelidos.** GIBERT, J.

*Bol. Inf. Inst. Prov. Paleontolog. Sabadell* (1978), 19, núm. 1-2, pp. 48-51, esp., ref. (4), bibl. IGME.

\* Insectívoro, Diente, Mandíbula, Biometría, Oligoceno Medio, Eoceno Sup., Erinaceidas, Galerix, España.

11716. **Los Astrágalos y calcáneos del género Palaeotherium (Palaeotherium Perissodactyla) del yacimiento Ludense de Roc de Santa (área del Noguera Pallaresa).** CASANOVAS, M. L.

*Bol. Inf., Inst. Prov. Paleontolog. Sabadell* (1978), 19, núm. 1-2, pp. 41-47, esp., res. cat., ref. (8) bibl. IGME.

\* Hippomorfa, Cráneo, Biometría, Eoceno Sup., Ludense, Palaeotherium, Astrágalos, Calcáneo, Provincia Gerona.

11717. **Síntesis de la disbrució dels Rinocerotíds fòssils a las conques Valles-Penedes.** SANTAFE, J. V.

*Bol. Inf., Inst. Prov. Paleontol. Sabadell* (1978), 19, números 1-2, pp. 34-40, cat., bibl. IGME.

\* Ceratomorfa, Mioceno Superior, Distribución temporal, Rhinocerotidae, Aceratherium, Brachypoterium, Dromoceratherium, Provincia Barcelona.

11718. **Presencia del género Minostonix Pilgrim, 1926, en el Vallesense Superior de Terrasa (Barcelona, Cuenca del Vallés).** GOLPE, J. M.

*Bol. Inf. Inst. Prov. Paleontol. Sabadell* (1978), 19, número 1-2, pp. 28-33, esp., res. cat., frac., ref. (2), bibl. IGME.

\* Sniformes, Mioceno Superior, Vallesense, Diente, Esqueleto, Biometría, Microstonix, Tarrasa, Provincia Barcelona.

11719. **Campanyes de Morella.** SANTAFE, J.

*Bol. Inf. Inst. Prov. Paleontol. Sabadell* (1978), 19, números 1-2, pp. 26-27, cat., bibl. IGME.

\* Dinosauria, Ornithisridia, Síntesis bibliográfica, Esqueleto, Diente, Iguanodom, Morella, Provincia Castellón.

\* Síntesis bibliográfica, Acuífero, Primario, Orogenia hercínica, Aloctonia, Autoctonia, Despegue, Geometría, Cabalgamiento, Pliegue falla, Falla horizontal, Microtectónica, Mapa geológico, Manto del Esla, Provincia León, Región Cantábrica.

11712. **Propuesta de un nuevo modelo tectónico general para las Cordilleras Béticas.** JEREZ MIR, F.

*Bol. Geol. Min.* (1981), 92, núm. 1, pp. 1-19, esp., res. fra., ref. (35), bibl. IGME.

\* Teoría, Tectónica, Geología estructural, Estratigrafía, Unidad estratigráfica, Mapa geológico, Zona prebética, Zona subbética.

11746. **La neotectónica del norte de la depresión de Granada.** SANZ DE GALDEANO, C.

*Estud. Geol.* (1980), 36, núm. 3-4, pp. 255-261, esp., res. ing., ref. (12), bibl. IGME.

\* Neotectónica, Depresión, Microtectónica, Paleogeografía, Plioceno Sup., Pleistoceno, Holoceno, Provincia Granada, Zona Bética.

11747. **Las grandes estructuras neotectónicas de la Cuenca Cenozóica de Madrid.** MARTIN ESCORZA, C.

*Estud. Geol.* (1980), 36, núm. 3-4, pp. 247-273, esp., res. ing., ref. (29), bibl. IGME.

\* Neotectónica, Tectónica cobertura, Red fractura, Lineamiento, Estructura arqueada, Fosa tectónica, Pleistoceno, Fotogeología, Fotointerpretación, Provincia Madrid, Cuenca Tajo.

12008. **Localización y estudio de un afloramiento básico efusivo de la Sierra de la Paramera, Avila (Sistema Central Español).** UBANELL, A. G., y ROSALES, F.

*6.ª Reunión sobre geología del Oeste peninsular* (1981), esp., ing., bibl. IGME.

\* Roca volcánica, Neck, Geocronología, Orogenia hercínica, Provincia Avila.

12009. **Significado tectónico de los principales sistemas de diques en un sector del Sistema Central Español.** UBANELL, A. G.

*6.ª Reunión sobre geología del Oeste peninsular* (1981), esp., bibl. IGME.

\* Dique, Lineamiento, Quimismo, Geocronología, Sistema Central, Hercínico Central.

12010. **Características principales de la fracturación tardihercínica en un segmento del Sistema Central Español.** UBANELL, A. G.

*6.ª Reunión sobre geología del Oeste peninsular* (1981), esp., bibl. IGME.

\* Fractura, Orogenia hercínica, Falla, Orientación, Geocronología, Provincia Madrid, Provincia Segovia, Provincia Avila, Hercínico Central.

12015. **Las bandas de rocas miloníticas del sector de Santa María de la Alameda (Sistema Central Español).** ALVARO, M., y PEINADO, M.

*6.ª Reunión sobre geología del Oeste peninsular* (1981), esp., bibl. IGME.

\* Milonita, Foliación, Esquistos, Cizallamiento, Tectónica superpuesta, Hercínico Central, Provincia Madrid.

12024. **La Tectónica Hercínica de cabalgamientos en el sistema Central Español.** CAPOTE, R.; CASQUET, C., y FERNANDEZ CAPALS, M. V.

*6.ª Reunión sobre geología del Oeste peninsular* (1981), esp., bibl. IGME.

\* Cabalgamiento, Orogenia hercínica, Tectónica superpuesta, Metamorfismo regional, Geotermometría.

12034. **Superposición de zonas de cizalla en la formación de las grullas (Grupo de Aruaga, anticlinorio Badajoz-Córdoba).** CHACON, J.

*6.ª Reunión sobre geología del Oeste peninsular* (1981), esp., bibl. IGME.

\* Milonita, Cizallamiento, Falla, Tectónica superpuesta, Provincia Badajoz.

12043. **La estructura del anticlinorio de Olla de Sapo en la región de Huelva (extremo oriental del Sistema Central Español).** GONZALEZ LODEIRO, F.

*6.ª Reunión sobre geología del Oeste peninsular* (1981), esp., bibl. IGME.

\* Anticlinorio, Cabalgamiento, Provincia Guadalajara.

12052. **Rocas cataclásticas en los gneises ocelares: Análisis Estructural y cinemático al S de Robledo (Cordillera Central).** MARTIN ESCORZA, C.

*6.ª Reunión sobre geología del Oeste peninsular* (1981), esp., bibl. IGME.

\* Milonita, Microtectónica, Gneis, Provincia Madrid.

12055. **El borde de la zona de transición entre las sierras de Gredos y Guadarrama (Sistema Central Ibérico): Evolución Morfotectónica reciente.** PEDRAZA, J.

*6.ª Reunión sobre geología del Oeste peninsular* (1981), esp., bibl. IGME.

\* Roca cristalina, Roca sedimentaria, Discontinuidad horizontal, Falla, Falla deslizamiento, Cabalgamiento, Hercínico central, Cuenca Tajo.

12062. **Consideraciones estratigráficas y tectónicas en Sierra Morena Occidental.** APALATEGUI, O.

*Temas geológico-mineros. 1.ª Reunión sobre geología de Ossa-Morena* (1980), pp. 23-41, esp., res. ing., ref. (22), bibl. IGME.

\* Orogenia hercínica, Tectónica tangencial, Tectónica superpuesta, Pliegue, Pliegue tumbado, Cabalgamiento, Aloctonia, Hercínico Sur, Provincia Badajoz, Provincia Huelva.

12073. **Evolución tardihercínica de un área situada al NW de la Provincia de Sevilla.** SIMANCAS, J. F.

*Temas geológico-mineros. 1.ª Reunión sobre la geología de Ossa-Morena* (1980), pp. 237-260, esp., res. ing., ref. (15), bibl. IGME.

Orogenia hercínica, Tectónica superpuesta, Fractura, Falla, Microtectónica, Magmatismo, Provincia Sevilla, Hercínico Sur.

## HIDROLOGIA

11725. **Características hidrológicas generales del entorno de Madrid.** MARTINEZ ALFARO, P. E.

*Bol. R. Soc. Geogr.* (Madrid) (1979), 115, núm. 1-12, pp. 54-52, esp., ref. (25), bibl. IGME.

\* Ciclo agua, Balance agua, Precipitación atmosférica, Evapotranspiración, Escorrentía, Provincia Madrid.

11741. **El hombre y la biosfera. 2. El patrimonio geofísico b/ el Agua.**

*El Campo* (1981), núm. 81, pp. 50-55, esp., bibl. IGME.

\* Agua disponible, Recursos agua, Agricultura, Industria, Urbanismo, Contaminación, Mundo.

11809. **El análisis económico en la planificación de regadíos.** MILLA, A.

*Hidrología* (1981), núm. 32, pp. 93-94, esp., ing., bibl. IGME.

\* Planificación cuenca, Planificación, Irrigación, Ciencia económica, Previsión, España.

11810. **La utilización de sistemas de riego tecnificados en Canarias, una vía hacia la disminución de las tensiones hidroeconómicas.** MEDINA SAN JUAN, J. A.

*Hidrología* (1981), núm. 32, pp. 91-92, esp. ing., bibl. IGME.

\* Ciencias económicas, Gestión recursos agua, Irrigación, Agricultura, Canarias.

11811. **Evolvente de la máxima precipitación localizada yugoslava frente a la mundial de distintas duraciones.** MARKOVIC, R. D.

*Hidrología* (1981), núm. 32, pp. 89-90, esp., ing., bibl. IGME.

\* Lluvia, Ecuación matemática, Precipitación máxima, Yugoslavia, Mundo.

11812. **La contaminación de las aguas subterráneas en España.** LLAMAS, M. R., y CUSTODIO, E.

*Hidrología* (1981), núm. 32, pp. 87-88, esp., ing., bibl. IGME.

\* Contaminación, Acción preventiva, Agua subterránea, España.

11813. **Experiencias y comparación de rendimiento entre regadíos convencionales y utilización de técnicas de aspersión convencional, aspersión mecanizada y goteo.** LUJAN, J.

*Hidrología* (1981), núm. 32, pp. 84-86, esp., ing., bibl. IGME.

\* Planificación, Irrigación, Recurso agua, Previsión, Año 2000.

11814. **Panorámica actual del abastecimiento y depuración de aguas en España.** LOPEZ DE VELASCO, A.

*Hidrología* (1981), núm. 32, pp. 82-83, esp., bibl. IGME.

\* Planificación, Política estado, Gestión recurso agua, Depuración, Aducción agua, 1965-1968, Abastecimiento, España.

11815. **Ordenación agrohidrológica de cuencas.** LOPEZ CADENAS DE LLANO, F.

*Hidrología* (1981), núm. 32, pp. 80-81, esp., ing., bibl. IGME.

\* Planificación, Ordenación cuenca, Agricultura, Previsión.

11816. **Asesoramiento sobre riego para optimación del cultivo de maíz, utilizando datos de información rutinaria.** LOMAS, J.

*Hidrología* (1981), núm. 32, p. 79, esp., ing., bibl. IGME.

\* Climatología, Evaporación, Irrigación, Optimización, Agricultura, Israel.

## PALEOBOTANICA

11714. **La flora miocénica de las cuencas pirenaicas catalanas.** SANZ, A.

*Bol. Inf. Inst. Prov. Paleontolog. Sabadell* (1978), 19, números 1-2, pp. 52-62, esp., res. cat., fra., ref. (6), bibl. IGME.

\* Cyymospermae, Miomocotydoneae, Dicotyledoneae, Yacimiento fosilífero, Mioceno, Inventario, Cataluña.

## TECTONICA

11711. **La estructura del manto del Esla (Cordillera Cantábrica, León).** ARBOLEYA, M. L.

*Bol. Geol. Min.* (1981), 92, núm. 1, pp. 19-41, esp., res. ing., bibl. IGME.

11817. **Programas informales como componente esencial de la formación y educación en los recursos hidráulicos.** LAL, U. B., y BANERGI, J.  
*Hidrología* (1981), núm. 32, pp. 77-78, esp., ing., bibl. IGME.  
 \* Enseñanza, Hidrogeología, Programas informales.
11818. **Evaluación de los recursos hidráulicos de Haryana.** KUMAR, R., y SINGH, J.  
*Hidrología* (1981), núm. 32, p. 76, esp., bibl. IGME.  
 \* Recurso agua, Agua disponible, Demanda, Previsión, 2000, Haryana.
11819. **Administración de los recursos de agua en Jordania.** KILANI, A.  
*Hidrología* (1981), núm. 32, pp. 74-75, esp., ing., bibl. IGME.  
 \* Planificación, Previsión, Gestión recurso agua, 2000, Jordania.
11820. **Evaluación de recursos hidráulicos con relación a las futuras necesidades de riego del tramo de canal Sirhind en Punjab, India.** KHEPAR, S. D.; SINGH, S. R.; SINHA, B. K., y KAUSHAL, M. P.  
*Hidrología* (1981), núm. 32, pp. 72-73, esp., ing., bibl. IGME.  
 \* Recurso agua, Demanda, Agricultura, Previsión, Canal Sirhind, Punjab.
11821. **Método del balance de energía como base científica de mejora.** KHARCHENKO, S. I.; ROO, S. S., y VOLKOV, A. S.  
*Hidrología* (1981), núm. 32, pp. 70-71, bibl. IGME.  
 \* Humedad suelo, Régimen hidrológico suelo, Balance agua, Energía, Irrigación.
11822. **Aumento del agua freática en la cuenca Wadi Hanifa.** KALTHAM, M. S., y TUBAISHY, S.  
*Hidrología* (1981), núm. 32, p. 69, esp., ing., bibl. IGME.  
 \* Alimentación artificial, Depuración, Agua contaminada, Afluente, Acuífero, Cuenca Wadi Hanifa, Arabia Saudita.
11823. **Asignación actual de los recursos de agua por islas y sectores del archipiélago canario y la proyección de la demanda para el año 1995.** JIMENEZ SUAREZ, J.  
*Hidrología* (1981), núm. 32, pp. 67-68, esp., ing., bibl. IGME.  
 \* Gestión recursos agua, Recurso agua, Demanda, Previsión, 1995, Canarias.
11824. **Evaluación de la precipitación sobre islas pequeñas. El caso de Menorca, Baleares.** JANSÁ CLAR, A.  
*Hidrología* (1981), núm. 32, pp. 65-66, esp., ing., bibl. IGME.  
 \* Precipitación atmosférica, Recurso agua, Balance agua superficial, Método estadístico, Isla Menorca, Baleares, Menorca.
11825. **Historia, desarrollo y perspectivas de las Ciencias del Agua.** INSTITUTO HIDROLOGIA.  
*Hidrología* (1981), núm. 32, p. 64, esp., ing., bibl. IGME.  
 \* Búsqueda científica, Búsqueda en curso, Perspectivas, Hidrogeología.
11826. **Análisis estocástico de los caudales del río.** IBIDAPO-OBE, O.  
*Hidrología* (1981), núm. 32, pp. 61-63, esp., ing., bibl. IGME.  
 \* Modelo físico, Proceso estocástico, Hidrometría, Caudal río.
11827. **Balance de recursos y necesidades en la situación actual y en el año 2000, en la cuenca del río Maipo, Chile.** HERRERA, F., y RIVERA, S.  
*Hidrología* (1981), núm. 32, pp. 58-60, esp., ing., bibl. IGME.  
 \* Recurso agua, Demanda, Rivera, Previsión, Río Maipo, 2000, Chile, Santiago.
11828. **Indices hidrológicos, hidráulicos y socioeconómicos para estimación de daños de sequías y máximas crecidas.** HERAS, R.  
*Hidrología* (1981), núm. 32, p. 57, esp., ing., bibl. IGME.  
 \* Previsión, Catástrofe natural, Acción climática, Desertificación, Climatología, Hidrogeología, Índice climático.
11829. **Importancia de la informática y la utilización de modelos en hidrología para estudio de recursos hidráulicos a distintos niveles y etapas.** HERAS, R.  
*Hidrología* (1981), núm. 32, pp. 55-56, esp., ing., bibl. IGME.  
 \* Modelo, Geología matemática, Hidrogeología, Recurso agua.
11830. **Importancia de la formación y especialización en el campo de las Ciencias del Agua.** HERAS, R.  
*Hidrología* (1981), núm. 32, pp. 53-54, esp., ing., bibl. IGME.  
 \* Enseñanza, Enseñanza superior, Hidrogeología.
11831. **Explotación y planificación de recursos hidráulicos en islas volcánicas.** HERAS, R.  
*Hidrología* (1981), núm. 32, p. 52, esp., ing., bibl. IGME.  
 \* Gestión recurso agua, Planificación, Recursos agua, Canarias.

*La inversión  
requiere un buen proyecto*



**intecsa**

INTERNACIONAL DE INGENIERIA  
Y ESTUDIOS TECNICOS S. A.

2 MAR. 1984



## EN PROSPECCION DE RECURSOS NATURALES

- \* GEOLOGIA
- \* AGUAS SUBTERRANEAS
- \* EXPLORACION MINERA
- \* EXPLORACION PETROLERA
- \* SONDEOS
- \* ROCAS INDUSTRIALES
- \* GEOTERMIA
- \* GEOTECNIA
- \* GEOFISICA
- \* LABORATORIOS



**Compañía  
General de  
Sondeos, S.A.**

OFICINAS CENTRALES: Corazón de María, 15 - Tel. 416 85 50\* - MADRID-2  
Portal de Castilla, 46 - Tel. 22 36 04\* - VITORIA

LABORATORIOS: San Roque, 3 - Majadahonda (MADRID)