

7/15-3-1

En este número:

- Argumentos para establecer la estructura del sector del pico de Pedraforca a partir del análisis comparativo del Cretácico de este macizo con el de la región de Sallent (Pirineo catalán).
- Revisión de la Colección de Arqueociatos del Museo del Instituto Geológico y Minero de España. Addenda.
- Paleosuelos de los piedemonte villafranquienses y de las terrazas pleistocenas de la región del valle del Henares-Alto Jarama.
- Precisiones sobre los límites de la secuencia deposicional de Jaca. Evolución de las facies desde la base de la secuencia hasta el techo de la arenisca de Sabiñánigo.
- Filones wolframíferos ligados al batolito adamellítico de Trujillo (Cáceres, España).
- Precisiones sobre el funcionamiento del sistema kárstico del Barranco de Peñalba a partir de los caudales clasificados del Manantial de Iturriotz (Vizcaya) en los ciclos 1983-84 y 1984-85.
- Aplicación de las técnicas de modelado e inversión sísmica a la prospección de carbón. Ejemplo de una cuenca española.
- Características mineralógicas y geoquímicas de las pizarras de la vertiente meridional de la Zona Cantábrica (NO de España).

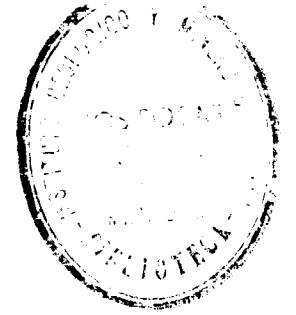
REVISTA BIMESTRAL DEL IGME FUNDADA EN 1874

T. XCVIII, Primer Fascículo, Enero-Febrero 1987

boletín geológico y minero

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





Boletín Geológico y Minero

Tomo 98

Fascículo I

Enero - Febrero 1987

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

SUMARIO

Geología	J. ULLASTRE, M. DURAND-DELGA y A. MASRIERA: Argumentos para establecer la estructura del sector del pico de Pedraforca a partir del análisis comparativo del Cretácico de este macizo con el de la región de Sallent (Pirineo catalán)	3
	A. PEREJÓN: Revisión de la Colección de Arqueociatos del Museo del Instituto Geológico y Minero de España. Addenda.	23
	J. GALLARDO, A. PÉREZ-GONZÁLEZ y J. BENAYAS: Paleosuelos de los piedemonte villafranquienses y de las terrazas pleistocenas de la región del valle del Henares-Alto Jarama	27
	E. REMACHA, P. ARBUÉS y M. CARRERAS: Precisiones sobre los límites de la secuencia deposicional de Jaca. Evolución de las facies desde la base de la secuencia hasta el techo de la Arenisca de Sabiñánigo	40
Minería	J. GUIJARRO GALIANO, J. MONSEUR LESPAGNARD, A. GUTIÉRREZ MAROTO y J. A. MEDINA NÚÑEZ: Filones wolframíferos ligados al batolito adamellítico de Trujillo (Cáceres, España)	49
Aguas subterráneas	F. GARCÍA-LATORRE, J. CRUZ-SANJULIÁN y V. IBARRA-LOZANO: Precisiones sobre el funcionamiento del sistema kárstico del Barranco de Peñalba a partir de los caudales clasificados del manantial de Iturriotz (Vizcaya) en los ciclos 1983-84 y 1984-85	58
Geotecnia	J. L. PLATA TORRES: Aplicación de las técnicas de modelado e inversión sísmica a la prospección de carbón: Ejemplo de una cuenca española	69
Estudio de minerales y rocas	M. GUTIÉRREZ CLAVEROL y J. L. TAMARGO: Características mineralógicas y geoquímicas de las pizarras de la vertiente meridional de la Zona Cantábrica (NO de España)	82
Información	J. M. LÓPEZ DE AZCONA: Mineros destacados del siglo XVIII. José Duro y Garcés (1796-1855). Adjudicación de la cátedra de Química docimástica	100
	MARÍA SOLEDAD RELANZÓN: La minería española en la Edad Moderna. Una aproximación a su estudio. Fasc. I	104
	Noticias y Notas bibliográficas	133

DIRECCION, REDACCION Y PUBLICACION

Ríos Rosas, n.º 23 - 28003-Madrid
Teléfono 441 70 67

ADMINISTRACION, DISTRIBUCION Y SUSCRIPCION

Doctor Fleming, 7, 2.º - 28036-Madrid
Teléfono 250 02 03

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

**CENTRO 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

Amígdalas rellenas de clorita y cristal de augita en el cual el fenómeno de cloritización respeta la macla en reloj de arena, en una roca espilitica de Guernica (Vizcaya)

Foto del Dr. J. Guijarro (Universidad Autónoma de Madrid)

Depósito legal: M. 3.279 - 1958
ISSN 0366 - 0176
NIPO 232 - 87 - 001

Imprenta IDEAL, S. A. - Chile, 27 - Telef. 259 57 55 - 28016-MADRID

Argumentos para establecer la estructura del sector del pico de Pedraforca a partir del análisis comparativo del Cretácico de este macizo con el de la región de Sallent (Pirineo catalán)

Por J. ULLASTRE (*), M. DURAND-DELGA (**) y A. MASRIERA (***)

RESUMEN

Argumentos estratigráficos y cartográficos nos llevan a rechazar el carácter alóctono del macizo del Pedraforca. De hecho, este sector reproduce la estructura que se observa en la región de Sallent-Coll de Nargó, al O de la falla del Segre.

En las dos regiones se opone un compartimento N, en el cual el Cretácico Inferior, muy desarrollado, reviste una facies Urgoniense, a un compartimento S, donde el Cretácico Superior reposa directamente, en discordancia, sobre el Lias-Dogger. En la charnela E-O que media entre los dos compartimentos (tanto de Sallent a Coll de Nargó como de Aspar a Saldes) tienen lugar, durante el Mesozoico y el Paleoceno, movimientos diferenciales que traducen la existencia de un accidente fundamental en el zócalo subyacente (antes del despegue, en el Eoceno, de la cobertera sudpirenaica en relación al zócalo de la zona axial): la potente sedimentación del Malm y del Cretácico Inferior se localiza al N de este accidente E-O; por contra, los depósitos senonienses presentan su máxima potencia al S del mismo. En fin, se observan al nivel de este accidente diferentes discordancias: a) durante el Senoniense Superior; b) antes de la deposición de brechas rojas del Maestrichtiense Superior continental («Garumnien- se» de los autores); c) durante el depósito de estas brechas.

En la región de Sallent es seguro que se pasa progresivamente de un compartimento N (con Urgoniense) a un compartimento S (sin Urgoniense). En el flanco S del pico de Pedraforca, un análisis detallado permite llegar a la misma conclusión, a pesar de la existencia de algunas fracturas subverticales.

El cabalgamiento del bloque con Urgoniense del Pedraforca sobre el Cretácico Superior es, no obstante, cierto en su borde N y en su punta E. Nosotros lo atribuimos a un empuje horizontal hacia el ENE que llevó la cuña con Urgoniense a embutir el Cretácico Superior circundante y a sobreponerse a él.

Sin poner en duda el carácter alóctono del conjunto del Mesozoico de la zona sudpirenaica central, nosotros estimamos que la parte oriental de ella, al E del Segre (zona del Pedraforca s. l.), ha ocupado su actual posición gracias a importantísimos desplazamientos horizontales sinistros globalmente dirigidos del O hacia el E.

Palabras clave: Tectónica alpina. Estratigrafía del Cretácico. Movimiento del Cretácico Superior y del Paleoceno. Fallas con salto horizontal longitudinal. Pirineo catalán. Región de Sallent. Macizo del Pedraforca.

RÉSUMÉ

Des arguments stratigraphiques et cartographiques nous amènent à rejeter le caractère allochtone du massif de la Pedraforca. En fait, ce secteur reproduit la structure que l'on observe dans la région de Sallent-Coll de Nargó à l'W de la faille du Segre.

Dans les deux régions s'opposent en effet un compartiment N, dont le Crétacé Inférieur, très développé, revêt un faciès Urgonien, et un compartiment S, où le Crétacé Supérieur repose directement, en discordance, sur le Lias-Dogger. A la charnière E-W des deux compartiments (de Sallent à Coll de Nargó comme d'Aspar à Saldes) se sont produits, au cours du Mésozoïque et du Paléocène, des mouvements différentiels, traduisant l'existence d'un accident fondamental dans le socle sous-jacent (avant le décollement, à l'Eocène, de la couverture sud-pyrénéenne par rapport au socle de la zone axiale): la puissante sédimentation du Malm et du Crétacé Inférieur est localisée au N de cet accident E-W; inversement, les dépôts sénoniens présentent leur maximum de puissance au S du même accident. On observe enfin à hauteur de celui-ci des discordances: a) intra-Sénonien Supérieur; b) avant

(*) Ronda San Pedro, 50 (Barcelona).

(**) Correspondiente de la Academia de Ciencias de París, Profesor emérito de la Universidad Paul Sabatier de Toulouse.

(***) Museo Municipal de Geología (Barcelona).

le dépôt des brèches rouges du Maestrichtien Supérieur continental («Garumnien» des auteurs); c) durant le dépôt de ces brèches.

Dans la région de Sallent, on est certain que les deux compartiments N (à Urgonien) et S (sans Urgonien) passent progressivement l'un à l'autre. Au flanc S du Pic de la Pedraforca, une analyse détaillée aboutit à la même conclusion, malgré la présence de quelques fractures sub-verticales.

Le chevauchement du bloc à Urgonien de la Pedraforca sur le Crétacé Supérieur est cependant certain sur son bord N et à sa pointe E. Nous l'expliquons par une poussée horizontale du coin à Urgonien vers l'ENE, l'amenant à emboutir et à surmonter le Crétacé Supérieur qui l'entourne.

Sans mettre en doute le caractère allochtone de l'ensemble du Mésozoïque de la zone sud-pyrénéenne centrale, nous considérons que la partie orientale de ce dernier, à l'E du Sègre (zone de la Pedraforca s. l.), a occupé son actuelle position grâce à de très importants déplacements horizontaux sénestres, globalement dirigés de l'W vers l'E.

Mots clés: Tectonique alpine. Stratigraphie du Crétacé. Mouvements du Crétacé Supérieur et du Paléocène. Coulissements horizontaux. Pyrénées catalanes. Région de Sallent. Massif de la Pedraforca.

INTRODUCCION

La serie alóctona despegada mesozoico-eocena de la unidad sudpirenaica central constituye al E del accidente del Segre el «manto del Pedraforca», de origen N, definido por SÉGURET (1972). En una nota anterior (MASRIERA y ULLASTRE, 1981) pusimos en duda este origen y también la superposición anormal de todo el conjunto alóctono al E del Segre sobre la serie del Cadí y del Port del Comte y por tanto su carácter de «manto».

Así pues, nosotros hablaremos (como en otros trabajos) de «zona tectónica del pico de Pedraforca» *sensu lato* de ASTRE (1925) o simplemente *zona del Pedraforca* para designar esta porción de unidad sudpirenaica central (incluyendo el Port del Comte en ella) que suponemos trasladada hacia el SE primero y rechazada después hacia el NE, determinando cabalgamientos más o menos extensos (figs. 1 y 10). En otros artículos discutiremos las relaciones entre la serie del Cadí y la zona del Pedraforca y el problema de sus desplazamientos.

En la presente nota nos limitaremos, pues, a la problemática que presenta el sector montañoso que constituyendo la parte NO de la zona del Pedraforca se extiende desde Tuixent y Fornols al O hasta el pico de Pedraforca al E. A este sector, de unos 15 Km. de largo en el sentido E-O y de 3 a 5 Km. de ancho, lo llamaremos *conjunto Pollegons-Clotaron-Puig Galliner* (los Pollegons son las dos puntas que forman la cumbre del célebre Pedraforca). Este conjunto se caracteriza por una potente serie carbonatada del Malm y del Cretácico Inferior (PEYBERNES, 1976), que se desconoce en el resto de la zona del Pedraforca, donde diferentes términos del Cretácico Superior se presentan discordantes sobre el Lías-Dogger.

La originalidad litoestratigráfica (presencia de un potente Urgoniense) del conjunto Pollegons-Clotaron-Puig Galliner y la presencia de contactos anormales a su alrededor ha llevado a los autores, después de SÉGURET (1972), a admitir que este conjunto constituye un elemento alóctono particular superpuesto al Cretácico Superior de la zona del Pedraforca, la cual para estos autores constituye a su vez un manto totalmente superpuesto al Eoceno de la serie del Cadí y del Port del Comte. Así, en la reconstrucción generalmente admitida hasta ahora, este manto tendría su origen en el despegue de una parte de la cobertera de la zona axial que habría pasado por encima de la serie del Cadí, globalmente de N a S. En cuanto al elemento del manto que contiene el Urgoniense (nuestro conjunto Pollegons-Clotaron-Puig Galliner) para los autores provendría de más lejos aún, habiendo recorrido el trayecto más largo antes de alcanzar su posición actual en aparente superestructura.

Sobre el mapa de GUÉRIN-DESJARDINS y LATREILLE (1961), el único detallado que se ha publicado interesando la región sudpirenaica entre el Segre y el Llobregat, reposan todas las interpretaciones estructurales posteriores. Nosotros (J. U. y A. M.) hemos revisado la cartografía del Pedraforca entre el meridiano de Gòsol y el de Saldes, de lo cual ha resultado que si bien por su borde N el pico de Pedraforca cabalga las unidades septentrionales, el análisis de su flanco S lleva a poner formalmente en duda su origen lejano.

El análisis de este flanco es sin duda difícil, por ser muy abrupto, por la abundancia de vegetación y derrubios y por estar afectado por algunas fracturas, siendo por tanto propenso a la discusión; de ahí que nos hayamos visto obligados a describir el sector de Sallent-Coll de Nargó, que

al O de la falla del Segre presenta en condiciones mucho más claras una disposición de los terrenos cretácicos comparable a la que supusimos debía tener el flanco S del pico de Pedraforca. Es justo señalar que una tal correspondencia había sido ya señalada por GUÉRIN-DESJARDINS y LATREILLE (1961).

LOS TERRENOS CRETACICOS DE LA REGION DE SALLENT

Este sector se halla a unos 40 kilómetros al OSO del Pedraforca (fig. 1). En él, a lo largo de una decena de kilómetros de O a E, los terrenos más septentrionales del Maestrichtiense-Paleoceno (1), bajo una facies continental de limos arenosos, conglomerados y brechas con cemento rojo, for-

man una estrecha franja que se sigue desde Sallent hasta más allá del valle del Segre (fig. 2).

Las capas de esta franja se apoyan al N (fig. 3) contra el Senoniense Inferior y el Cenomano-Turonense que recubren la serie carbonatada del Malm-Cretácico Inferior del anticlinal de Boixols-Montanissell, que en la región de Sallent muestra en su núcleo los niveles del Lías-Dogger e incluso del Trías inyectado a lo largo de accidentes E-O; más al N el estrecho sinclinal de Organyà contiene los mismos términos del Cretácico Superior en continuidad aparente sobre el Cretácico Inferior.

Al S de la franja en cuestión, el Maestrichtiense continental, de facies lagunar y continental esencialmente margo-limosa, ocupa el eje del sinclinal disimétrico que dibuja la potente serie marina del Cretácico Superior de Valldarques.

a) El sinclinal de Valldarques

En su flanco S muestra la sucesión de cinco términos, aparentemente concordantes:

1. Calizas cenomano-turonenses (CT) y calizas arenosas del Coniaciense-Santoniense (CS), transgresivas sobre las dolomías del Dogger que forman parte del basamento jurásico de la Sierra d'Aubens, el cual cabalga hacia el S las escamas de Peramola donde el Jurásico con bolsadas de bauxitas es fosilizado por el Campano-Maestrichtiense también transgresivo, con mediación o no de niveles arenosos santonienses? (fig. 3).
2. Potente serie margo-calcárea y calcárea (CS-CM) del Senoniense Inferior y Medio (ver *infra*).
3. Barras de calizas con *Orbitoides* y/o *Hippurites radiosus* (CM, a, fig. 2), del Campaniense Superior-Maestrichtiense (Sallent); margo-calizas y areniscas (cf. «arenisca de Areny», CM, b, fig. 2) coronando el Senoniense marino.
4. Margo-calizas con Ostrácodos, margas con lignitos, calizas con Carófitas, margas limosas y arenosas abigarradas, y, algunas veces, calizas con Cianofíceas. Este término (Mc), que en la parte baja admite algún episodio marino con *Ostreas* o *Miliólidos* (Les Masies), equivale al Rognaciense de Provenza.

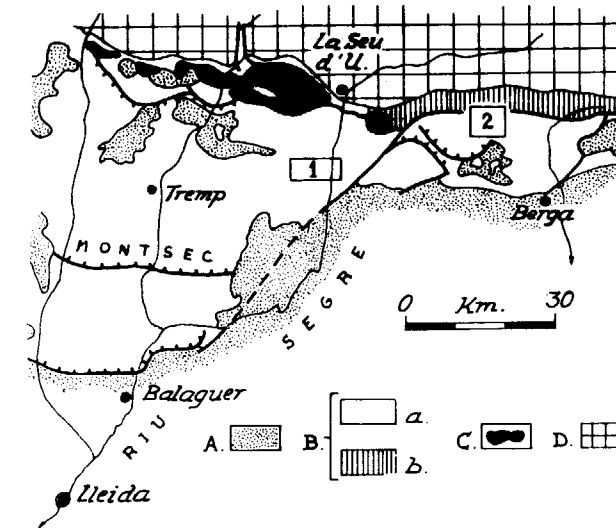


Figura 1.—Grandes unidades tectosedimentarias del Pirineo catalán y situación de los esbozos geológicos de Sallent-Coll de Nargó 1 y del pico de Pedraforca 2.

A) Terrenos sin y postectogénesis pirenaica. B) Terrenos mesozoicos y terciarios anteriores a la tectogénesis pirenaica: a) terrenos plegados y en su mayor parte despegados a nivel del Trías; b) cobertera autóctona de la zona axial pirenaica (serie del Cadí). C) Paleozoico de la zona de los Nogueras. D) Materiales hercinianos de la zona axial.

(1) Sobre el límite entre Maestrichtiense continental y Paleoceno en el seno de los terrenos llamados «garumnenses» véanse los trabajos de MASRIERA y ULLASTRE (1983) y de FEIST y COLOMBO (1983).

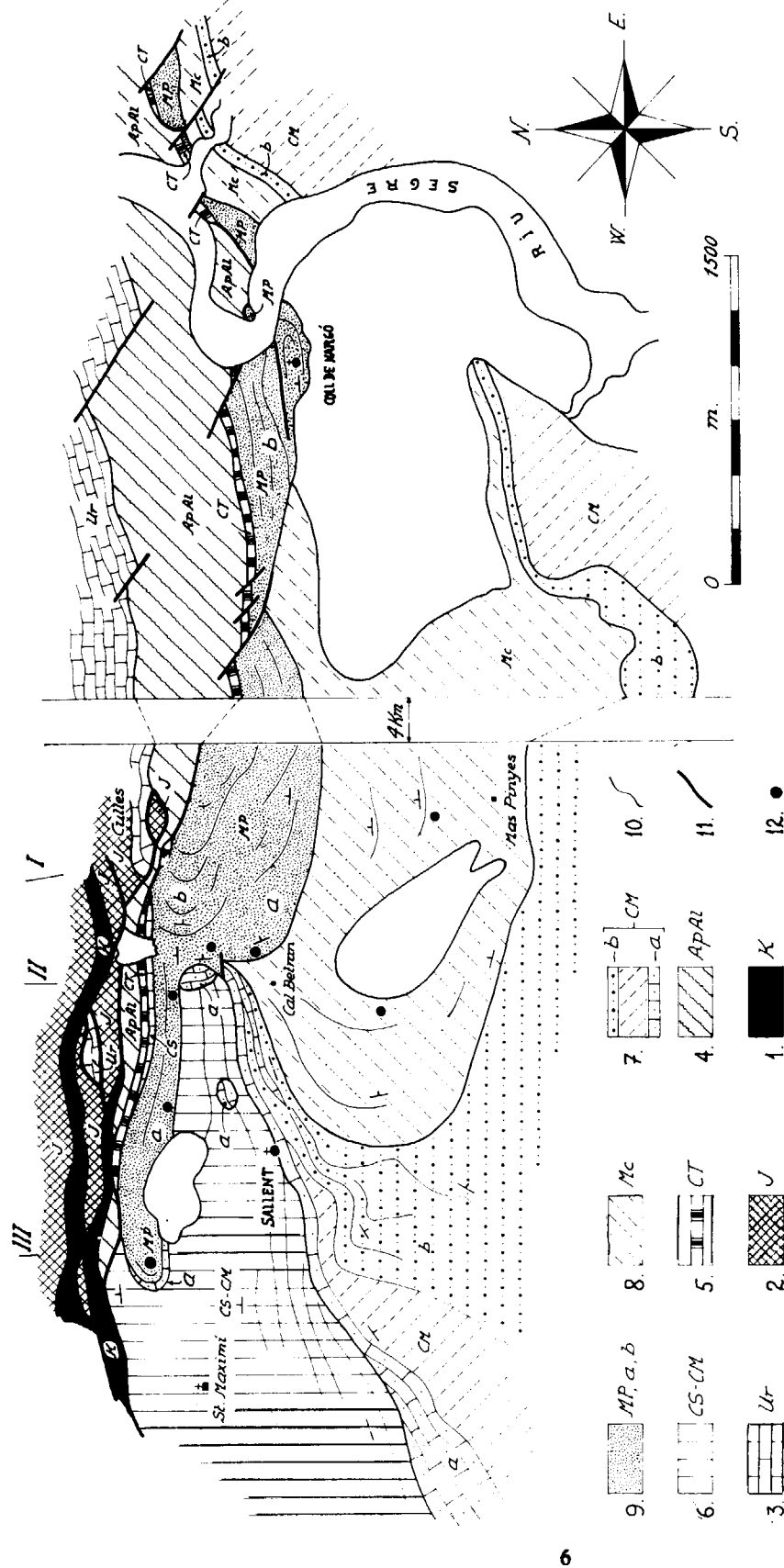


Figura 2.—Esbozo geológico de la franja senoniano-paleocena de Sallent - Coll de Nargó, dibujado sobre fotos aéreas no restituídas. 1.—K, Keuper; margas abigarradas, yesos y carniolas. 2.—J, Jurásico indiferenciado: calizas en lajas, brechas dolomíticas, calizas y margas fosilíferas, dolomías oscuras. 3.—Ur, Urgo-aptiense: calizas masivas con Orbitolinas y Florídeas. 4.—ApAl, Aptiense-Albiense Inf.: margo-calizas. 5.—CT, Cenomaniense Sup.-Turonense: calizas con Preatveolinas en la base y calizas con Pitonellas en el techo. 6.—CS-CM, Coniaciense-Santonense y Campaniense-Maestrichtiense Inf.: calizas y margo-calizas, con Micrasters abundantes al N de Sant Maximí y con Globotruncanas del Campaniense Sup.-Maestrichtiense (cf. «arenisca de Areny») coronando el Senoniense marino. 7.—MP, Maestrichtiense continental: margo-calizas con Ostrácodos, margas con lignitos, calizas con Carófitas y/o Cianofíceas, margas limosas y arenosas abigarradas. 8.—Mc, Maestrichtiense marino: margo-calizas con Ostrácodos, margas con lignitos, con elementos mesozoicos y paleozoicos (Maestrichtiense); a) brechas inferiores, y conglomerados con *Microcodium* y Orbitolinas resedimentadas (Paleoceno). 9.—Contacto sedimentario entre unidades estratigráficas. 10.—Fallas y contactos mecánicos por despegue o por cabalgamiento. 11.—Huevos de Dinosaurios (nidos o fragmentos).

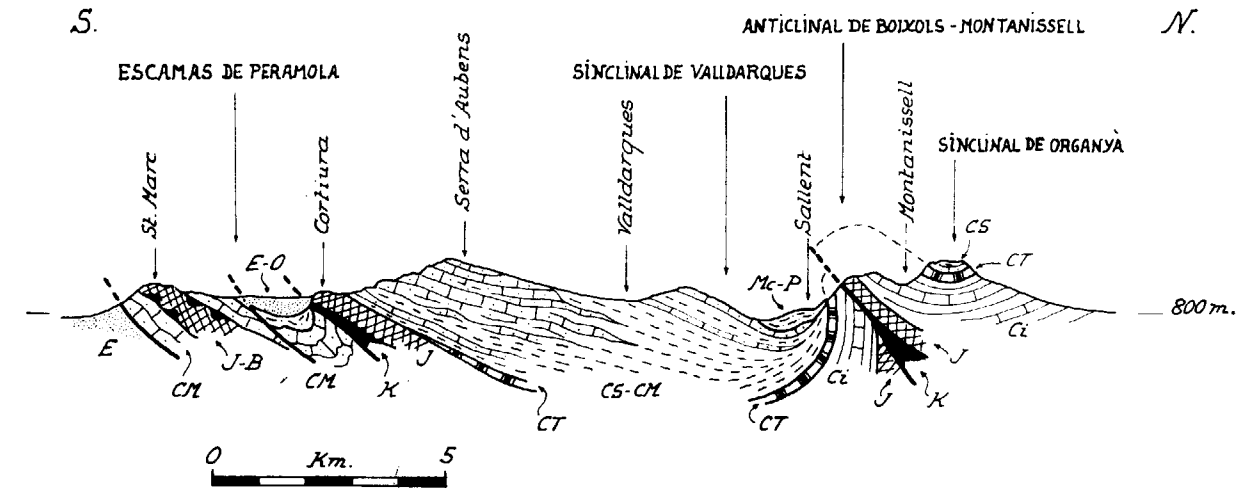


Figura 3.—Corte geológico esquemático indicando la división de la región sudpirenaica central en las proximidades del Segre en unidades estructurales y sedimentarias. K, Keuper; J, Jurásico; B, Bauxitas; Ci, Cretácico Inf.; CT, Cenomaniense Sup.-Turonense; CS, Coniaciense-Santonense; CM, Campaniense-Maestrichtiense; Mc, Maestrichtiense continental; P, Paleoceno; E, Eoceno; O, Oligoceno.

5. Limos arenosos, brechas y conglomerados con cemento rojo transgresivo (MP, fig. 2), que al N del sinclinal llegan a adosarse en discordancia contra la barra de calizas cenomano-turonenses. La base de este término está formada por brechas calcáreas inferiores y por conglomerados poligénicos con elementos mesozoicos y paleozoicos; su edad cretácica es indudable dado el hallazgo de huevos de Dinosaurios en nido (Sallent) (ULLASTRE y MASRIERA, 1983). Las brechas que vienen inmediatamente por encima (pico de Culles), esencialmente calcáreas y que en sus niveles más altos contienen pelitas y conglomerados con *Microcodium* y Orbitolinas resedimentadas (Coll de Nargó), son probablemente paleocenas (MASRIERA y ULLASTRE, 1983) (2).

(2) Mientras procedíamos a ultimar la redacción del presente trabajo se ha publicado un artículo de WILLEMS (1985) en el que se niega el carácter transgresivo de las brechas y conglomerados que nos ocupan, señalando un contacto por falla entre éstos y la barra cenomano-turonense. Sobre este asunto no estamos de acuerdo, pues si bien entre Sallent y Coll de Nargó hay puntos en que el citado contacto está mecanizado, en otros muchos su carácter sedimentario, como veremos, no ofrece dudas. Otra discrepancia con las opiniones de WILLEMS la tenemos en que este autor considera el episodio de conglomerados poligénicos con elementos paleozoicos (cf. sus

En el flanco N del sinclinal de Valldarques, el pueblo de Sallent se alza sobre las barras verticales de calizas recifales y areniscas del término 3. Estos niveles son ricos en *Hippurites radiosus* (3) (VIDAL, 1874), Orbitolinas, Coralaris, Braquiópodos, etc. Cerca de su base una intercalación margosa ha proporcionado algunas Globotruncanas y Ostrácodos atribuibles al Senoniense Superior (*Parakrithe* sp., *Krithe* sp. aff. *kriteformis*, *Oertliella* sp., *Xestoleberis* sp., *Spiroleberis* cf. *eximoides* Van Veen, *Mauritsina hieroglyphica* (Bosquet), *Neocythere* cf. sp. 1 Colin) (4) y un nannoplancton (*Micula staurophora*, *Watznaueria barneaesae*, *Pl. obscurus*) (5) poco significativo.

«conglomerados de Sallent») como un cambio lateral de facies de los niveles más bajos de nuestro término 4 (cf. su «unidad Posa»), negando así la existencia de un hiatus estratigráfico importante entre las calizas organógenas 3 (CM, a, in fig. 4) y nuestro término 5 (MP, a, in fig. 4). La posición estratigráfica de los conglomerados con elementos paleozoicos de Sallent defendida por nosotros se aprecia claramente desde el meridiano de Culles (fig. 4, I) hasta unos 2 Km. hacia el E.

(3) Forma maestrichtiense, según J. PHILIP (Marsella) (com. pers.).

Sobre el problema de la biozonación del Senoniense Superior ver: PONS (1982), NEUMANN y ROBASZYNSKI (1983), BILOTTE (1983), PHILIP y BILOTTE (1983).

(4) Según las amables determinaciones de J. F. BABINOT (Marsella).

(5) Amablemente determinado por H. FEINBERG.

Estas calizas 3, que aquí, en el pueblo de Sallent, son totalmente maestrichtienses según WILLEMS (1985) o por lo menos en su mayor parte según nuestra consideración, reposan en discordancia sobre la potente serie 2 del Senoniense Inferior y Medio, formando un ángulo de 10-15° entre Sallent y el N de Cal Betran; este ángulo es, sin embargo, de casi 90° en los afloramientos algo más septentrionales (fig. 4, II) donde las calizas organógenas 3 reposan horizontalmente sobre las margo-calizas 2 próximas a la vertical. Bajo la discordancia débil (fig. 4, II, punto 2) las margas 2 se han datado como del Campaniense Superior-Maestrichtiense Inferior por la presencia de *Globotruncana fornicata*, *G. linneiana*, *G. cf. patelliformis*, *G. stuartiformis*, *Stensioina pommerana*, etcétera (6).

Esta discordancia D1 (fig. 4), que fue reconocida por primera vez por GARRIDO-MEGÍAS y RÍOS (1972) («discordancia intracampaniense»), ha sido admitida también, recientemente, por WILLEMS (1985); en Montesquiu (NE de Tremp) se le atribuye una edad Campaniense terminal. Nosotros podemos decir que al E de Sallent se halla en el seno del Senoniense Superior, mas su edad exacta (Campaniense Superior o Maestrichtiense Inferior) no podemos precisarla.

La brusca flexión del término 2 y la ubicación del fenómeno al S inmediato del anticlinal de Boixols-Montanissell hace suponer un empuje diapírico del Triás yesoso subyacente. Este empuje podría ser la causa asimismo de los deslizamientos sinsedimentarios (*slumping*) que se observan en las margas 2 a un nivel estratigráficamente más bajo (Santoniense?) (fig. 4, II, punto 1) que nos ha proporcionado: *Globotruncana linneiana*, *G. cf. fornicata* (6) y un nannoplancton (*Eiffellites turriseiffellii*, *Cr. crenulatus*) (5) probablemente resedimentado.

b) La franja maestrichtiense-paleocena de Sallent-Coll de Nargó

Al ENE de Sallent, en el borde S de la franja, la base del término 5, de edad Maestrichtiense (ver *supra*), se halla subconcordante sobre el término 3; el término 4 está representado en este punto por unos pocos centímetros de caliza con

(6) Fauna cuidadosamente determinada por J. MAGNÉ (Toulouse).

Ostreas y margo-calizas grises. Así pues, al N de Cal Betran (fig. 4, II) las calizas 3 se reducen progresivamente de espesor y mediando una superficie ferruginosa (*hard-ground*) (fig. 4, II, punto 3) se hunden bajo las molasas maestrichtienses del término 5.

Yendo más al N, a poca distancia, se alcanza el borde septentrional de la franja en cuestión y al propio tiempo el flanco S, desplomado, del anticlinal de Boixols-Montanissell. En este lugar el terreno continental maestrichtiense-paleoceno, formado por una brecha con cemento rojo, se adosa verticalmente o en serie inversa a las calizas en bancos delgados de la base del término 2 (Senoniense Inferior). Al pie occidental del pico de Culles (1.330 m.) (fig. 4, I) estas calizas aparecen hendidas por grietas y oquedades rellenas de un material carbonatado rojo que constituye la matriz de las brechas y conglomerados maestrichtiense-paleocenos que se superponen a continuación. El accidente longitudinal —en cualquier caso mínimo— señalado por ROSELL (1967), SOUQUET (1967), (1984) y WILLEMS (1985) no existe en este punto, confirmándose así las observaciones al respecto hechas anteriormente (RÍOS, 1951; GARRIDO-MEGÍAS y RÍOS, 1972; PLAZIAT, 1972, 1984). Estas mismas brechas llegan a reposar en contacto sedimentario sobre calizas cuya edad cenomaniense ha sido probada.

Podemos pues afirmar que el conjunto litoestratigráfico continental cartografiado como del Maestrichtiense-Paleoceno (fig. 2) está en contacto estratigráfico con diversos términos del Cretácico Superior marino, sobre los dos bordes, N y S, de la franja que ocupa (fig. 4).

La discordancia intramaestrichtiense continental D2 y la pequeña discordancia maestrichtiense-paleocena D3 (fig. 4, I) no son más que, en gran medida, el resultado tardío de la fase campano-maestrichtiense anteriormente descrita.

Durante la deposición del Maestrichtiense continental y quizás de una parte del Paleoceno el substrato de la franja de Sallent-Coll de Nargó permaneció tectónicamente activo, de lo cual son testimonio dos hechos: 1.º, por el borde N la base de dicha franja está formada por una acumulación de brechas inferiores, groseras, de elementos calcáreos arrancados del Cretácico marino: este paleotalud de derrubios fosiliza la base de lo que había sido una ladera activa encarada al S

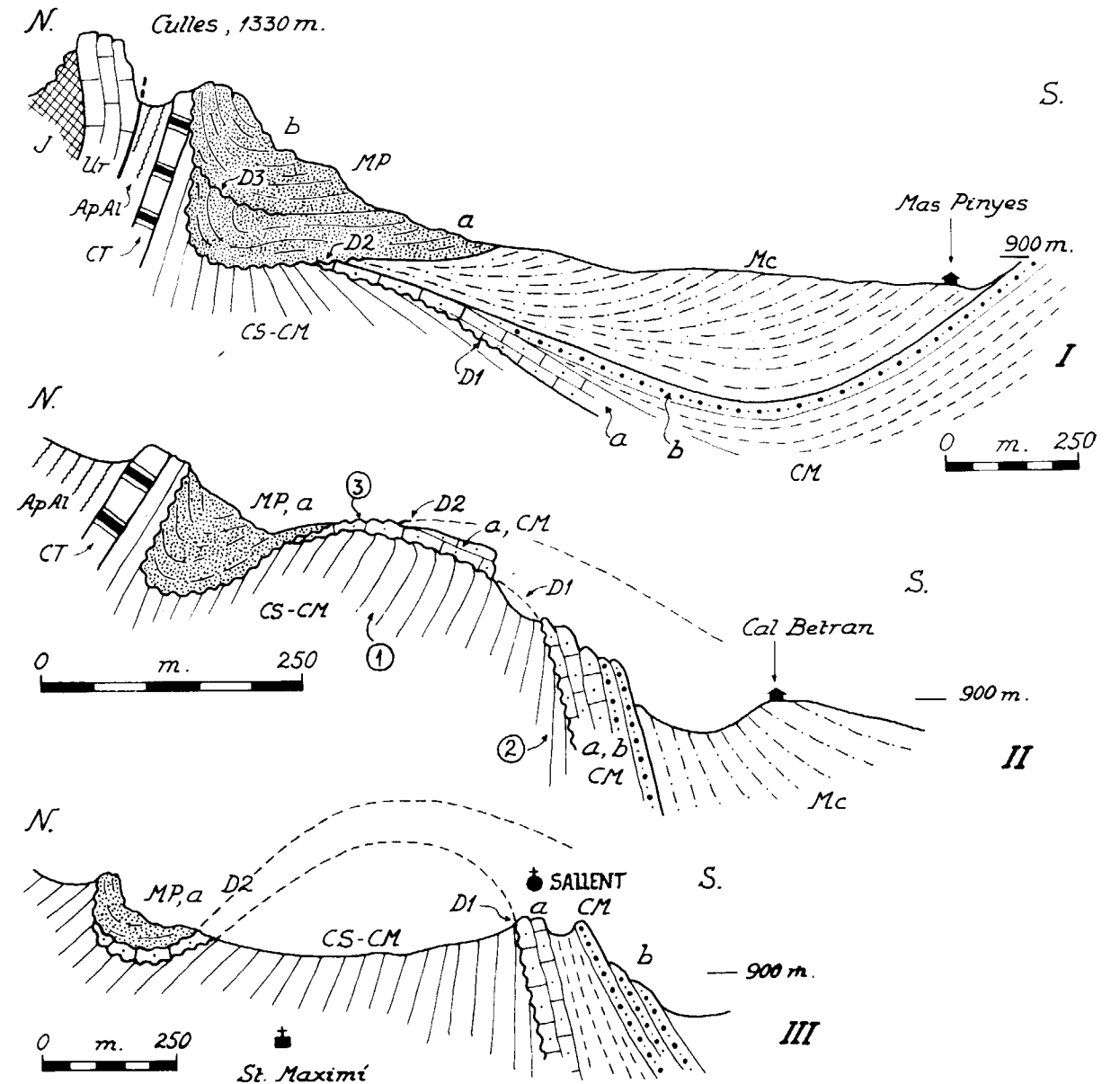


Figura 4.—Cortes seriados de E a O mostrando las discordancias intrasenonienses de la región de Sallent. Símbolos iguales a los de la fig. 2 (esbozo geológico). D1, discordancia del Campaniense Sup.-Maestrichtiense marino; D2, discordancia del Maestrichtiense continental; D3, discordancia maestrichtiense-paleocena. 1 y 2, Foraminíferos planctónicos (ver texto); 3, *hard-ground*.

(flanco meridional del pliegue de Boixols-Montanissell); 2.º, al SO de Culles el horizonte de conglomerados poligénicos con areniscas oscuras del Paleozoico, reposando en parte sobre las brechas inferiores, jalona la base de un episodio detrítico más reciente consistente en una enorme descarga de brechas superiores con grandes bloques calizos, parte de las cuales reposan en dis-

cordancia D3 sobre los conglomerados con elementos paleozoicos subyacentes a la vez que se adosan contra la vertiente doblándose en sinclinal (figura 4, I).

Estas brechas superiores, que quizás puedan ser ya paleocenas, muestran más al E, en el célebre corte de Coll de Nargó, limos arenosos ro-

jos con *Microcodium* y lechos de conglomerados con abundantes Orbitolinas resedimentadas del Aptiense Superior (*Mesorbitolina texana*) (7), cuyo origen está, necesariamente, en la denudación de las capas aptienses de Montanissell-Organyà, situadas más al N, en las cuales dicha especie es abundante (PEYBERNES, 1976).

Hasta aquí hemos expuesto las relaciones entre las diferentes formaciones cretácicas de la región de Sallent-Coll de Nargó; ahora veremos cómo este análisis se transforma en el hilo conductor que nos permitirá interpretar el flanco S del pico de Pedraforca.

LOS TERRENOS CRETACICOS DEL FLANCO SUR DEL PICO DE PEDRAFORCA

Aquí (fig. 5) —como en la región de Sallent— se oponen dos compartimentos que evolucionaron de modo distinto durante el Cretácico. En el compartimento S, que *grosso modo* tiene valor de sinclinal (sinclinal de Vallcebre-Molí de Gòsol, figura 6), vemos cómo la barra cenomaniense, base del Cretácico Superior margo-calizo de la Serra de Verd, yace discordante sobre el Dogger. El compartimento N corresponde a lo que hemos llamado conjunto Pollegons-Clotaron-Puig Galliner; se caracteriza por su potente masa carbonatada del Malm y del Cretácico Inferior (especialmente Urgoniense). Entre estos dos compartimentos, en el flanco S del pico de Pedraforca, a la altura de Aspar y más al O en dirección a Tuixent, es donde los autores posteriores a GUÉRIN-DESJARDINS y LATREILLE (1961) sitúan un contacto anormal subhorizontal estimando que el Cretácico Inferior y Superior septentrional, en su totalidad, reposa tectónicamente sobre el Cretácico Superior meridional.

El análisis de la vertiente meridional del pico de Pedraforca revela que, de hecho, el Urgoniense del compartimento N, con fuerte buzamiento al S, se hunde bajo el Cretácico Superior que a su vez

(7) Orbitolinas gentilmente determinadas por R. SCHROEDER (Frankfurt).

En Coll de Nargó no hemos encontrado Orbitolinas del Albiense Superior tal como indica SOUQUET (1967), p. 389; éstas, de existir, constituirían un problema puesto que en el Cretácico Inferior, que se halla inmediatamente al N, este terreno no está representado (PEYBERNES, 1976; página 367).

subyace bajo las brechas y conglomerados maestrichtiense-paleocenos (MASRIERA y ULLASTRE, 1983) de la región de Aspar-Coll de la Trapa (fig. 5), ambas formaciones con un buzamiento general también hacia el S. La relativa regularidad de la sucesión sólo se conserva en el meridiano de Aspar puesto que, hacia el E, la flexión de Aspar pasa a ser una falla, subvertical primero y cabalgante después, que altera el dispositivo (fig. 7).

Así pues, en el meridiano de Aspar se observa, en las condiciones que precisa el corte II de la figura 7, la serie siguiente:

1. Potente serie urgoniana (Ur) de los Pollegons, con las hiladas margosas de la Enforcadura en su parte intermedia (PREYBERNES, 1976).
2. Margo-calizas (Ap-Al) del Prat de Reo del Aptiense-Albiense Inferior?
3. Barra (CT) de calizas masivas en cuya base se hallan Prealveolinas del Cenomaniense Superior.
4. Serie (CS) de calizas y margo-calizas del Senoniense Inferior. Al E de la Roca Roja S (fig. 7, I, punto 1) contiene: *Hippurites matheroni*, *H. socialis* y *Praeradiolites toucasi* (Santoniense) (8).
5. Margo-calizas y margas azules con microfauna (ver *infra*) del Campaniense-Maestrichtiense Inferior (CM) formando el anticlinal que llamamos de Aspar-Coll de Jou.
6. Calizas organógenas (CM, a) con Orbitoides y/o *Hippurites radiosus*, presentes en el flanco N del anticlinal de Aspar-Coll de Jou y también en discordancia sobre las calizas del término 4. Areniscas calcáreas (0 a 2 m.) (cf. «arenisca de Areny») en el flanco S del anticlinal (CM, b) precediendo al Maestrichtiense continental de facies lagunar.
7. Margo-calizas (Mc) con Ostrácodos, margas con lignitos y calizas con Carófitas, margas y calizas con Cianofíceas, margas limosas y arenosas abigarradas. Los niveles basales de este término admiten algún episodio con Ostras (Rognaciense).
8. Limos arenosos, brechas y conglomerados

(8) Determinaciones debidas a la cortesía de J. M. PONS (Barcelona).

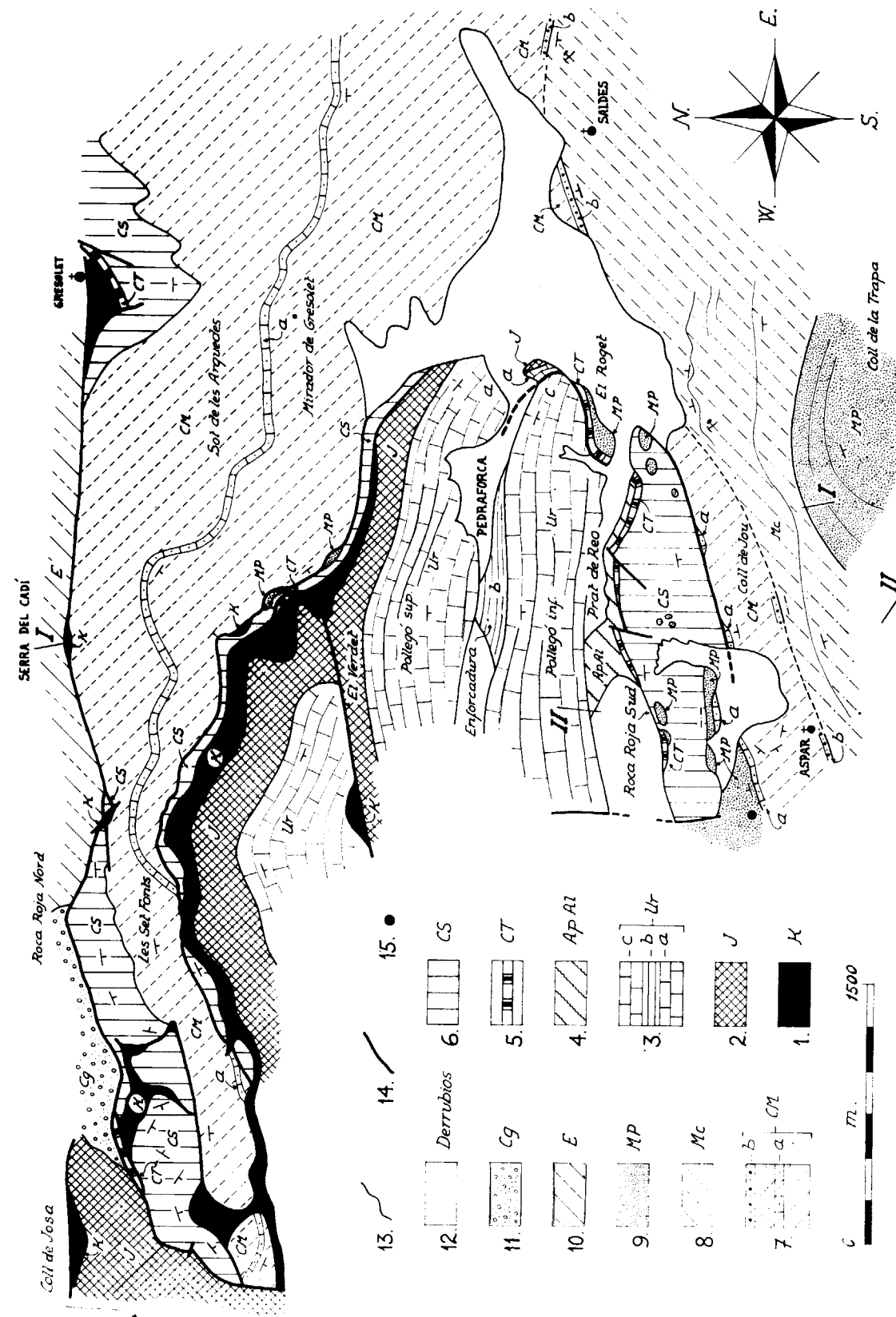


Figura 5.—Esbozo geológico del sector del pico de Pedraforca, dibujado sobre fotos aéreas no restituídas. 1.—K, Keuper (leyenda fig. 2). 2.—J, Jurásico indiferenciado (leyenda fig. 2). 3.—Ur, Neocomiense-Urgo-aptiense; a) calizas con *Mesorbitolina parva*; b) margo-calizas con Braquiópodos de la Enforcadura (Gargasiense); c) calizas con *Mesorbitolina texana* y Florideas. 4.—ApAl, Aptiense-Albiense Inf.?: margo-calizas del Prat de Reo. 5.—CT, Cenomaniense Sup.-Turoniense (leyenda fig. 2). 6.—CS, Coniaciense-Santoniense: calcarenitas con Miliólidos y eventualmente Rudistas; margo-calizas a menudo con Rudistas y Lacazinas. 7.—Campaniense-Maestrichtiense: calizas, margo-calizas y areniscas; calizas con Orbitoides y/o *Hippurites radiosus*; b) areniscas (cf. «arenisca de Areny») coronando el Senoniense marino. 8.—Mc, Maestrichtiense continental (leyenda fig. 2). 9.—MP, Maestrichtiense-Paleoceno: limos arenosos, brechas y conglomerados con cemento rojo, con huecos de Dinosaurios en la base, con *Microcodium* y Orbitolinas resedimentadas en los niveles altos. 10.—E, Eoceno medio: margas superiores de la serie del Cadí. 11.—Cg, Eoceno Sup.-Oligoceno: conglomerados poligénicos tipo Roca Roja N. 12.—Derrubios. 13.—Contacto sedimentario entre unidades estratigráficas. 14.—Fallas y contactos mecánicos por despegue o por cabalgamiento. 15.—Huevos de Dinosaurios (nidos o fragmentos).

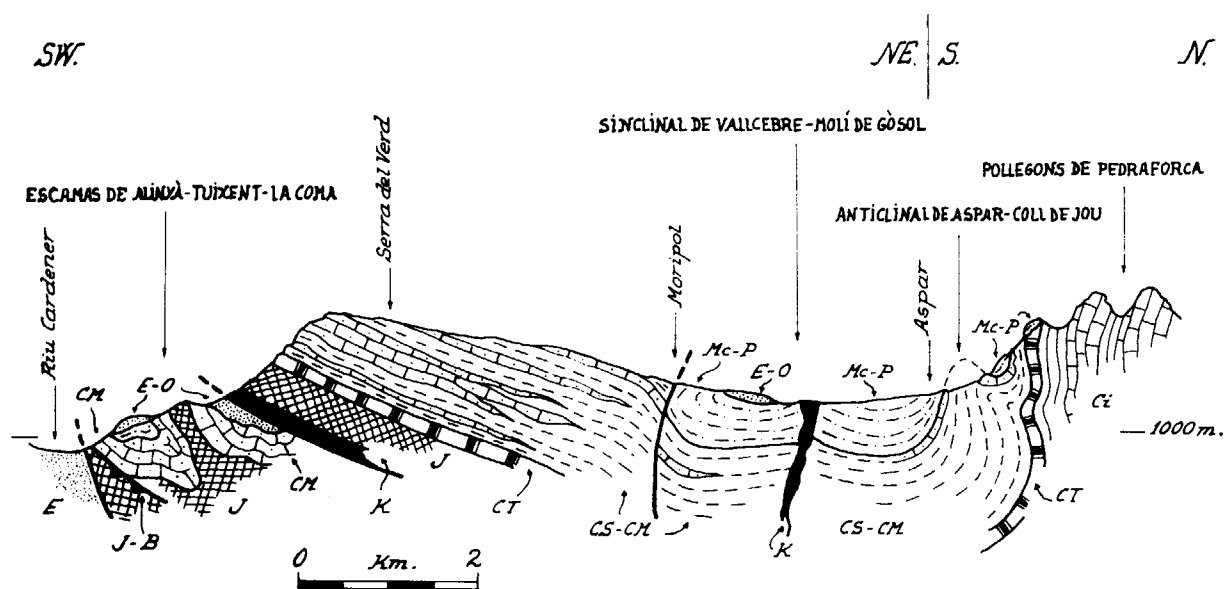


Figura 6.—Corte geológico esquemático indicando la división del sector O de la zona del Pedraforca en unidades estructurales y sedimentarias. Ver leyenda fig. 3.

con cemento rojo (MP) del Maestrichtiense-Paleoceno (restos de Dinosaurios en Aspar, ULLASTRE y MASRIERA, 1983; *Microcodium* y *Orbitolinas* resedimentadas en los niveles altos del Coll de la Trapa). Este término, hacia el S (Moripol) y hacia el E (Vallcebre), pasa, por cambio lateral de facies, a una serie formada por margas y areniscas rognacienses, «caliza de Vallcebre», margas con *Microcodium* (Vitrolliense) y calizas con *Physas* (Thanetiense?); este mismo término hacia el N es transgresivo sobre los términos 4 (Roca Roja S) o 3 (El Roget) (fig. 5) (MASRIERA y ULLASTRE, 1983).

Veamos a continuación cómo la vertiente S del pico de Pedraforca permite analizar las complejas relaciones que se aprecian entre algunos términos de la sucesión expuesta.

a) *El anticlinal de Aspar-Coll de Jou*

Entre el pueblo de Aspar y el Coll de Jou, subiendo en dirección NE, las margas (CM) del término 5 forman un anticlinal (fig. 7) que se ensancha hacia el SO, dirección en la cual su eje buza unos 50°. El flanco S del pliegue, fuertemente enderezado, muestra en aparente concordancia las areniscas 6 (cf. «arenisca de Areny»)

sobre las margas azules 5. En el núcleo replegado del anticlinal (fig. 7, I, punto 2) se encuentra *Globotruncana linneiana*, G. cf. *conica* (forma campaniense) y *Bolivina* gr. *incrassata* (especie característica del límite Campaniense-Maestrichtiense); y, a unos 15-20 m. por debajo de la barra caliza con *Orbitoides* del flanco N del anticlinal (figura 7, I, CM, a), *Siderolites calcitrapoides* (Campaniense Superior-Maestrichtiense Inferior) (6). Estas margas contienen también Ostrácodos (*Cytherella* spp., *Bairdia* spp., *Parakrithe* sp., *Kingmaina?* sp., *Xestoleberis* sp., *Trachyleberidea* aff. *corrosa*, *Oertliella* cf. *pulchra* Bab.) (4) y un nannoplancton (*W. barnesae*, *M. staurophora*, *E. turri-seiffellii*, *L. cayeuxii*) (5) que cabe suponerlos resedimentados. Por encima del nivel con *S. calcitrapoides* un lecho de pequeños cantos y *Ostreas* da paso a unos 15 m. de margas gruesas coronadas por la citada barra calcárea con *Orbitoides*.

Al O inmediato de Aspar, siguiendo la carretera de Gòsol, el flanco N del anticlinal en cuestión, por encima de las margas 5, muestra la siguiente sucesión; 1.º, olistostroma de bloques calizos englobados en una matriz margo-glaucóniosa (fig. 7, II, punto 3); 2.º, margas azules indatables con pasadas de margas gruesas en los niveles altos; 3.º, biohermes de *Hippurites radiosus* (ASTRE, 1932); 4.º, margas nodulosas con *Hippuritella lapeirou-*

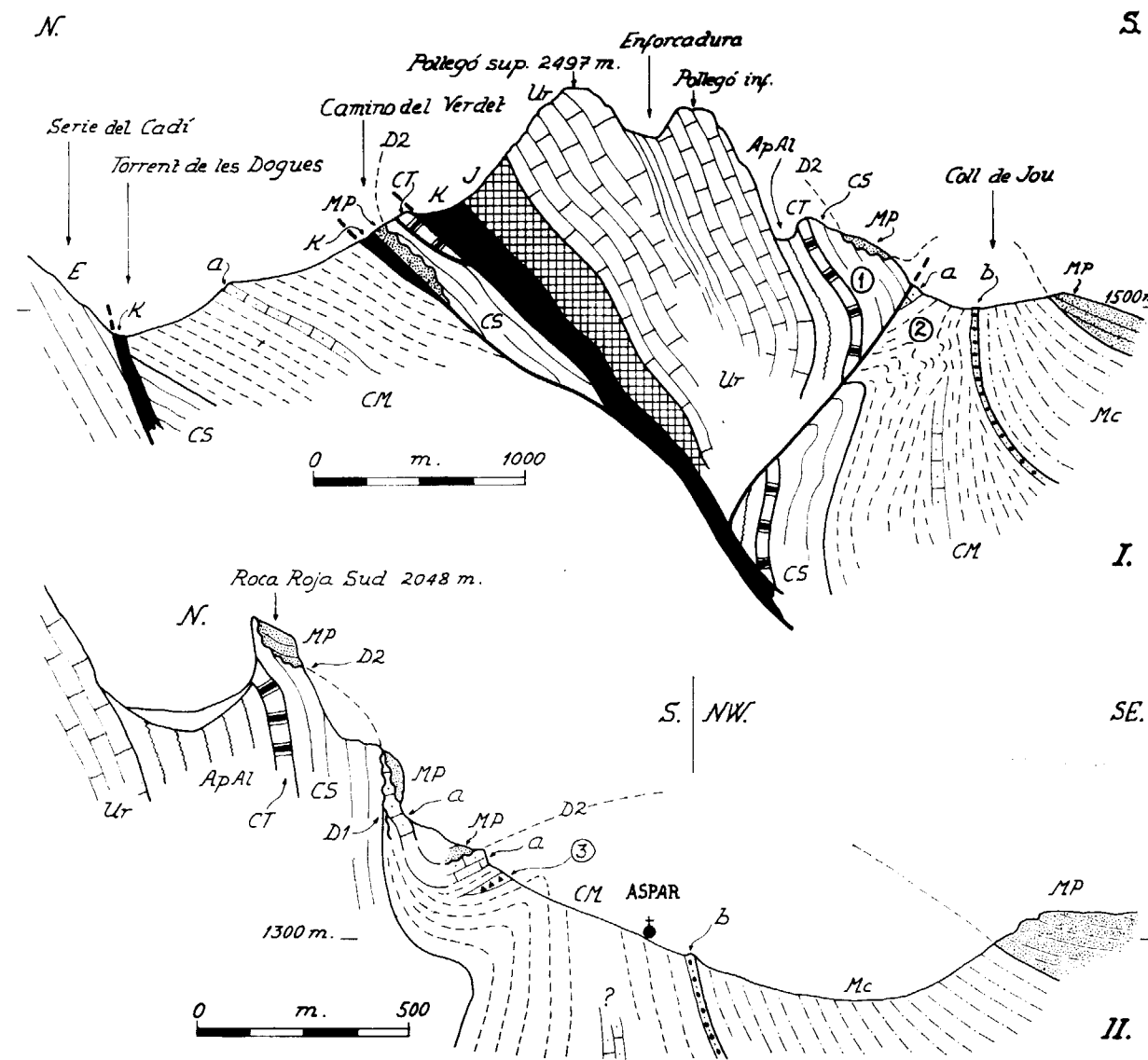


Figura 7.—Corte interesado las vertientes N y S del pico de Pedraforca (I) y corte detallado de la vertiente S en el meridiano de Aspar (II), en los cuales se reconocen las discordancias intrasenonienses señaladas en Sallent. Símbolos iguales a los de la fig. 5 (esbozo geológico). D1, discordancia del Campaniense Sup.-Maestrichtiense marino; D2, discordancia del Maestrichtiense continental. 1, Rudistas santonienses (ver texto); 2, Foraminíferos bentónicos y planctónicos (ver texto); 3, olistostroma.

sei (8) y margas grises con *Fascispira colomi*; todo bajo los limos y conglomerados rojos con fragmentos de huevos de Dinosaurios del término 8 (MP, fig. 7).

Así pues, en los lugares descritos se pasa de las margas azules del Campaniense-Maestrichtiense Inferior a capas maestrichtienses de naturaleza variable (areniscas, margas arenosas, calizas con

Orbitoides y con *Hippurites*) en aparente concordancia más con indicios de inestabilidad sedimentaria (lechos de cantos rodados, olistostroma).

b) *La discordancia del Campaniense Superior-Maestrichtiense*

Al N del anticlinal de Aspar-Coll de Jou un

examen meticoloso nos ha revelado que las llambrias de calizas 4 del Santoniense soportan en contacto estratigráfico las calizas maestrichtienses 6, con grandes *Hippurites radiosus* y Orbitoides (fig. 7, II, punto D1). La discordancia que separa esos dos términos corresponde, probablemente, a aquella que en Sallent se halla en las proximidades del límite Campaniense-Maestrichtiense (D1).

c) *La discordancia del Maestrichtiense continental*

El término 8 (tránsito del Maestrichtiense al Paleoceno), que en la región de Vallcebre está constituido por margas y areniscas rognacienses, «caliza de Vallcebre» y margas con *Microcodium*, se enriquece progresivamente en conglomerados a modo que se acerca a los relieves del Pedraforca en los que debe situarse su origen; prueba de ello la tenemos en las proximidades del Coll de la Trapa, donde las capas altas de este término son muy ricas en Orbitolinas resedimentadas (*Mesorbitolina parva*, *M. texana*) (7), idénticas a aquellas que se encuentran en los terrenos del Aptiense Superior del pico de Pedraforca (PEYBERNES, 1976) (cf. Coll de Nargó).

Recorriendo la vertiente S del Pedraforca, al N del anticlinal de Aspar-Coll de Jou, hemos constatado la presencia de residuos de un conglomerado con cemento rojo de elementos poco o nada rodados, en el cual no se hallan rocas posteriores al Senoniense; en él, a veces, cabe distinguir una parte inferior un poco caótica, de color claro, formada por elementos gruesos, y una parte superior de brechas con cemento rojo. Estos conglomerados, adosados a las llambrias, fosilizan el contacto entre calizas con *Hippurites radiosus* y calizas del Santoniense (ver *supra*).

Mucho más arriba, en la propia vertiente, la Roca Roja S constituye un gran cerro testigo de brechas del Maestrichtiense-Paleoceno (cf. Coll de la trapa) (y no del Eoceno Superior-Oligoceno como señalan GUÉRIN-DESJARDINS y LATREILLE, 1961) superpuestas al Santoniense 4; al O inmediato de este relieve estas mismas brechas se hallan directamente adheridas a las calizas cenomanienses 3 con *Prealveolinas* (fig. 5).

Resumiendo pues, aquí —como en la región de Sallent— las margas y areniscas que al S constituyen el Maestrichtiense continental más

alto, se enriquecen a modo que vamos hacia el N en descargas conglomeráticas de material procedente del Cretácico calcáreo más septentrional (en especial del Santoniense y del Urgoniense) para pasar finalmente a brechas con cemento rojo discordantes hasta sobre el Cenomaniense. Esta discordancia del Maestrichtiense continental D2 (fig. 7, II) reproduce exactamente el dispositivo analizado en Sallent.

CONSECUENCIA BASICA DEL ANALISIS PRECEDENTE

La estrecha franja E-O que, entre Sallent, Coll de Nargó y Canelles, separa dos compartimentos con series cretácicas muy diferenciadas (compartimento N con potente Malm y Cretácico Inferior neríticos seguidos en continuidad por el Cretácico Superior; compartimento S donde el Cenomaniense, base del Cretácico Superior, llega a yacer discordante sobre el Dogger) se encuentra con características prácticamente idénticas a la altura del macizo del Pedraforca. Cabe pues hablar de una *franja de Sallent a Aspar que, a modo de charnela, separa estos dos dominios paleogeográficos.*

Este resultado obliga a admitir que *el conjunto urgoniano Pollegons-Clotarons-Puig Galliner no constituye un elemento tectónico particular de origen lejano en superestructura en relación con el resto de la zona tectónica del Pedraforca.*

ESTRUCTURA DEL BLOQUE DE LOS POLLEGONS O PICO DE PEDRAFORCA

a) *Antecedentes y exposición general del problema*

El conjunto urgoniano Pollegons-Clotarons-Puig Galliner está formado por tres bloques separados por fallas y alineados de E a O. Los dos bloques occidentales (el de Puig Galliner al SE de Cornellana y el de Clotarons al E de Tuixent) cabalgan hacia el N el Eoceno de la serie del Cadí; el más oriental, es decir: el de los Pollegons o pico de Pedraforca, en cambio, está en contacto tanto por el N, el E, como por el S con el Cretácico Superior del dominio sin Urgoniense.

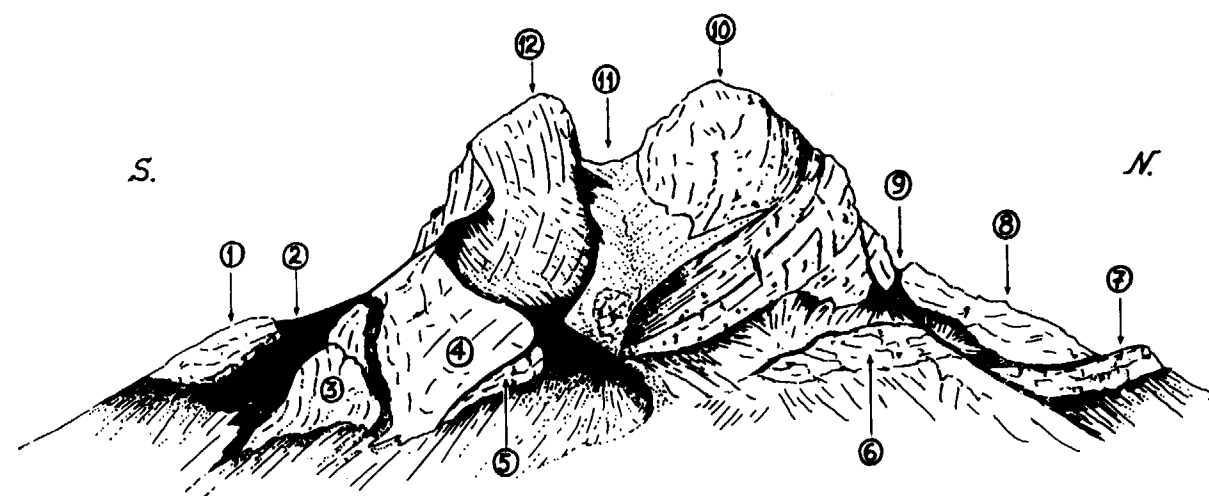


Figura 8.—El pico de Pedraforca visto desde el E.

1, brechas y conglomerados del Maestrichtiense-Paleoceno sobre Santoniense y Cenomaniense Sup. reposando todo en contacto normal sobre el Cretácico Inf. 2 del Prat de Reo; 3, El Roget: lámina de Cenomaniense Sup.-Turoniense fosilizada por las brechas y conglomerados del Maestrichtiense-Paleoceno; 4, Urgoniense del Pollegó Inf. (12) cabalgando una escama 5 formada por dolomías del Dogger y calizas del Pollegó Sup. (10), las cuales se doblan hacia el S (el accidente entre 4 y 5 cizalla las margo-calizas de la Enforcadura, 11); 6 y 7, escama invertida en la que está representada la misma sucesión que en 1 y 3, por abajo cabalga el Senoniense Sup. del Sot de les Arques y de Les Set Fonts y por encima es cabalgada por el Keuper-Jurásico-Cretácico Inf., que forman el Pollegó Sup. (10) y el contrafuerte 8, el cual está separado del Pollegó Sup. por el accidente de El Verdet (9).

En párrafos anteriores hemos insistido sobre el contraste estratigráfico y morfoestructural entre este conjunto con Urgoniano y los terrenos neocretácicos que lo enmarcan, especialmente por su extremo oriental; precisamente en este contraste, unido a la existencia de numerosos contactos mecánicos a su alrededor, está el origen de las diferentes interpretaciones tectónicas que a continuación resumiremos, haciendo especial referencia a cuanto concierne al bloque oriental o de los Pollegons.

ASTRE no analiza en particular la estructura profunda del pico de Pedraforca (ASTRE, 1936) sino solidariamente con la serie mesozoica circundante. Supone que esta serie se superpone total y tectónicamente, en virtud de un movimiento de S a N, a los conglomerados del Eoceno Superior-Oligoceno que afloran al N en el Collell (Roca Roja N) y que, según él, reaparecen en una ventana tectónica al S de Gòsol (ASTRE, 1924). La idea de la ventana tectónica es abandonada muy pronto por el propio autor (ASTRE, 1925).

ASHAUER (in ASHAUER y TEICHMÜLLER, 1935; lámina 5) interpreta el pico de Pedraforca como un pliegue isoclinal vergente al N, elevado, por

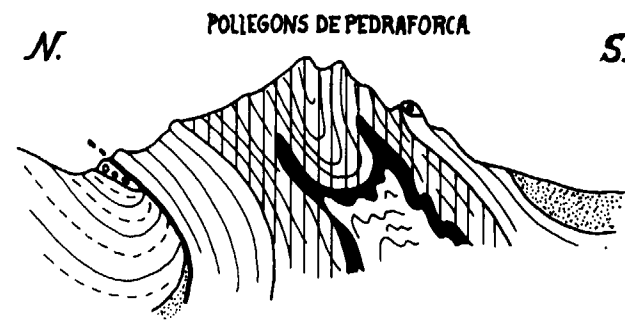
efecto de una extrusión *in situ*, entre el Cretácico Superior septentrional de Les Set Fonts y el meridional de Aspar (fig. 9).

LLOPIS-LLADÓ (1936), (1952) sostiene, salvo detalles, la idea de ASHAUER.

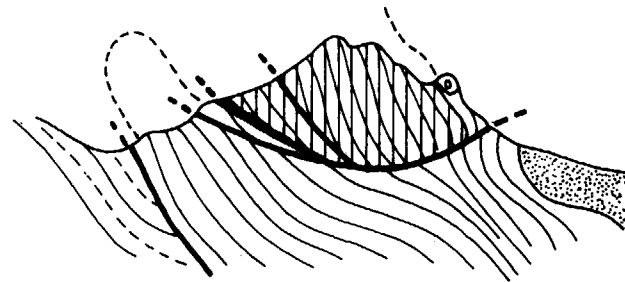
GUÉRIN-DESJARDINS y LATREILLE (1961) conciben el pico de Pedraforca como una unidad tectónica superior de origen cercano a partir de una charnela de pliegue inmergente, solidario con el bloque de Clotarons situado al O, volcado de N a S sobre el Senoniense de Les Set Fonts (fig. 9). Esto, a partir del establecimiento de una estratigrafía correcta y la eliminación del pretendido sinclinal de la Enforcadura.

Para SÉGURET (1972) todo el conjunto Pollegons-Clotarons-Puig Galliner constituye una unidad alóctona de origen lejano, de la cual los dos bloques orientales (Pollerons y Clotarons) reposan en toda su extensión, según un contacto anormal casi horizontal, sobre el Cretácico Superior de la unidad meridional (fig. 9) y el bloque de Puig Galliner descansa en contacto análogo sobre el Eoceno de la serie del Cadí.

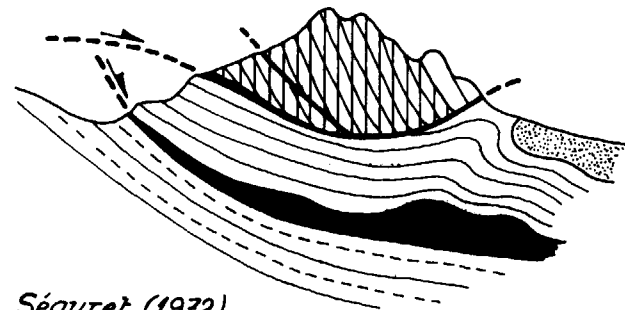
SOLÉ-SUGRAÑES (1973; fig. 4) hace una especie



Ashauer y Teichmüller (1935)



Guérin-Desjardins y Latreille (1961)



Séguret (1972)



Figura 9.—Principales interpretaciones propuestas anteriormente para explicar la estructura del pico de Pedraforca.

T, Triásico; J-Ci, Jurásico-Cretácico Inf.; Cs, Cretácico Sup. marino; Mc-P, Maestrichtiense continental-Paleoceno; E, Eoceno marino; O, Eoceno Sup.-Oligoceno continentales.

de sincretismo de las ideas de otros autores; de LLOPIS-LLADÓ conserva el sinclinal de la Enforcadura; de GUÉRIN-DESJARDINS y LATREILLE mantiene, para el bloque de los Pollegons, el carácter de unidad tectónica superior y la vergencia bila-

teral de la unidad subyacente, mas, sin embargo, olvida la escama en posición anormal del Cenomaniense-Santoniense que yace bajo el frente N de la serie Keuper-Cretácico Inferior del pico de Pedraforca; y, además, se adapta a la hipótesis general de SÉGURET.

Después de 1972 puede decirse que todos los autores adoptan, en líneas generales al menos, la idea aloctonista de origen lejano propuesta por SÉGURET (GARRIDO-MEGÍAS y RÍOS, 1972; GARRIDO-MEGÍAS, 1972; PEYBERNES, 1976; SOUQUET et al., 1977; BILOTTE, 1982; etc.). Sin embargo, de las soluciones dadas hasta el presente para resolver el problema estructural del pico de Pedraforca, la hipótesis de GUÉRIN-DESJARDINS y LATREILLE es la que mejor responde a sus atinadas observaciones estratigráficas y paleogeográficas generales, aunque con ella también subsisten problemas estratigráficos inadvertidos en la vertiente S que, unidos a detalles estructurales, especialmente de la terminación oriental, quizás la invaliden.

En efecto, ya hemos visto que en el meridiano de Aspar existen pruebas de continuidad sedimentaria, bien que interviniendo diferentes biseles debidos a discordancias, entre el Cretácico Inferior del bloque de los Pollegons y el Cretácico Superior meridional y que, aparte una fractura local, no existe ninguna superficie plana de cizallamiento, en contra de algunas propuestas anteriores.

No obstante, por el N y el NE (fig. 5 y fig. 7, I) el Triás que forma la base de la masa carbonatada del Jurásico-Eocretácico reposa en contacto anormal —mediando una lámina de Santoniense en posición también anormal— sobre el Cretácico Superior de Les Set Fonts al N y del Sot de les Arquedes al NE, que pertenece a la parte de la zona del Pedraforca sin Urgoniense.

Este Cretácico Superior, que se eleva en la escala estratigráfica tanto más cuanto más se va hacia el SE, se reúne progresivamente con el del flanco S del Pedraforca (Aspar) sin que ningún accidente tectónico evidente permita suponerlos separados (obsérvese en la fig. 5 cómo el nivel guía CM, b=cf. «arenisca de Areny», al NO de Saldes, cambia de rumbo para ir hacia Aspar). Así pues, el bloque con Urgoniense de los Pollegons aparece, cartográficamente, como una cuña hundida hacia el E en medio del Cretácico Superior que, a no más de 5 Km. al S, reposa directamente sobre el Triás-Lías.

A continuación trataremos de explicar esta paradoja a través del análisis de la zona entre Saldes, El Collell (Roca Roja N) y el Coll de Josa (O de Les Set Fonts).

b) Estructura del flanco N

Un corte pasando por el pico de Pedraforca (figura 5) muestra, de N a S y de abajo a arriba, las unidades siguientes, buzando entre 40° y 60° al S:

- Eoceno medio del Cadí yaciendo bajo los conglomerados discordantes eoceno-oligocénicos de la Roca Roja N.
- Cretácico Superior de Les Set Fonts (apéndice occidental del cuerpo de la zona del Pedraforca s. l.) formado por una lámina calcárea de Cenomano-Turonense (CT) y Santoniense (CS), más o menos envuelta de Triás, que se hunde bajo las margo-calizas campano-maestrichtienses (CM), dentro de las cuales una barra de caliza con Orbitoides (MC, a) constituye un nivel de referencia.
- Escama de Santoniense calizo.
- Unidad cabalgante del pico de Pedraforca formada por una lámina de Triás seguida de la serie carbonatada del Jurásico-Cretácico Inferior-Cretácico Superior.

El Santoniense de la escama C) localmente tiene: por encima calizas del Cenomano-Turonense y por debajo, en dos puntos, brechas con cemento rojo del Maestrichtiense-Paleoceno. Así pues, la escama C) se presenta como si se tratase de una serie invertida, estirada y laminada (fig. 7, I). Esta impresión se refuerza por el carácter normal, pero invertido, del contacto de las brechas maestrichtiense-paleocenas con las calizas santonienses. Esta disposición transgresiva, característica de la franja Sallent-Aspar, es conocida en el flanco S del pico de Pedraforca (unidad D). Luego, en conclusión, la escama C) es un elemento, tectónicamente inferior, a reunir con el bloque de los Pollegons (D), la cual podría tener el valor de flanco inverso de un anticlinal volcado hacia el NE y cuyo flanco normal estaría representado por la potente sucesión del pico de Pedraforca (D). La inversión de esta escama C) y su posición están de acuerdo con un empuje hacia el ENE.

La unidad D), por su parte, está descompuesta en dos imbricaciones separadas por la banda triásica de El Verdet. Esta disposición concuerda, igualmente, con un empuje relativo hacia el N.

El Cretácico Superior de Les Set Fonts (B) por su extremo O llega a ponerse en contacto con el Lías del bloque de Clotarons, elemento geográficamente mediano del conjunto urgoniense Pollegons-Clotarons-Puig Galliner. En las hipótesis de GUÉRIN-DESJARDINS y LATREILLE (1961) y SÉGURET (1972) el Cretácico Superior en este punto debería hundirse bajo el Lías del bloque de Clotarons. En realidad este contacto corresponde a una fractura subvertical NNE-SSO, localmente jalónada de Triás, que intersecciona oblicuamente todos los términos del Cretácico Superior de la unidad B). Las calizas santonienses del labio oriental se levantan en la dirección del accidente, lo cual significa que no se hunden bajo el Lías, subvertical, del labio O.

c) Perturbaciones estructurales de la terminación oriental

En el urgoniense del elemento cabalgante hemos observado dos anomalías: 1.ª, en la ladera S de la embocadura de la canal de Pedraforca las calizas con *Mesorbitolina texana* y Florídeas del Pollegó Inferior (fig. 5 Ur, punto c) son cizalladas según un plano subhorizontal y cabalgan directamente una lámina de calizas con *Mesorbitolina parva* y *Pseudochofattella cuvillieri* (9) (figura 5, Ur, punto a), que por su biofacies corresponden a las calizas del Pollegó Superior-Enforcadura; dicha lámina está superpuesta a su vez a un afloramiento de dolomías del Dogger-Malm Inferior; de este modo las margo-calizas gargasenses de la Enforcadura son en este punto truncadas y laminadas por el indicado cizallamiento; 2.ª, un poco más al S, en El Roget, una lámina vertical de calizas con *Prealveolinas* a la cual se hallan pegadas en contacto normal las brechas del Maestrichtiense-Paleoceno (fig. 5) (presumible continuación del Cretácico Superior del flanco S), se adosa por medio de una fractura subvertical al Urgo-aptiense del Pollegó Inferior; este accidente cizalla pues, por el O, las margo-calizas aptiense-albienses del Prat de Reo.

(9) Fauna determinada con diligencia por E. FOURCADE (París).

Estos dos accidentes conjugados cabe interpretarlos como si fuesen los efectos de un empuje, del OSO hacia el ENE, del bloque de los Pollegons contra el Senoniense de Saldes.

En las margo-calizas del compartimento cabalgado hemos visto que, si en el Mirador de Gresolet el rumbo de las capas es N 100°, a medida que vamos hacia el SE, siguiendo la carretera que va a Saldes, éstas giran progresivamente hasta tomar el rumbo N 140° antes de ocultarse bajo el manto de derrubios que desciende de la Enforcadura. Luego las capas maestrichtienses reproducen una parte de la curva del elemento cabalgante constituido por los Pollegons.

d) Hipótesis explicativa de la estructura

La estructura del bloque de los Pollegons o pico de Pedraforca no puede explicarse con las hipótesis anteriores. Las interpretaciones que sugieren una extrusión *in situ* de un bloque circunscrito a la masa urgoniana tienen el problema de que el dispositivo paleogeográfico correspondiente es inconcebible, por su estrechez y por su permanencia durante 50 M.a. Las interpretaciones que hacen «flotar» tectónicamente el macizo por encima del Cretácico Superior circundante, suponiendo un origen más o menos lejano, se enfrentan a la relación estratigráfica, entre Cretácico Inferior y Superior «alóctono» y Cretácico Superior «autóctono relativo», observada en el flanco S del pico de Pedraforca.

Nosotros proponemos una explicación de tipo aloctonista mas privilegiando los desplazamientos por fallas con salto horizontal longitudinal (*coulissage*), aunque poniendo como previo que un dominio N con Urgoniense se bisela bajo la franja de Sallent-Aspar para pasar a un dominio S sin Urgoniense (10) (fig. 10).

De este modo, una fractura, oblicua al alargamiento general E-O de las series sedimentarias, intersectaría al E el límite entre los dominios con y sin Urgoniense (fig. 11, I); la herencia de un accidente en dicha posición la tendríamos en el

(10) Una prueba de este rápido bisel la tenemos en la Serra de Turp (N de Cambrils), al SE de Coll de Nargó, donde entre el Cenomaniense con Prealveolinas y las dolomías del Dogger se intercalan margas con lignitos atribuibles al Cretácico Inferior (PEYBERNES, 1976; pp. 278 y 367).

contacto anormal del N del Pedraforca. Un desplazamiento sinistral primero, unido a un empuje relativo del OSO al ENE después, llevaría al bloque de los Pollegons a desplazarse hacia el NE, cabalgando así el Cretácico Superior de Les Set Fonts-Sot de les Arquedes, que habría permanecido relativamente fijo (fig. 11, II). Recordemos que a lo largo del accidente en cuestión se encuentran las trazas del flanco inverso, estirado y laminado, del elemento cabalgante. La anchura mínima del desplazamiento horizontal puede evaluarse en 5 Km.; por lo cual la terminación oriental del bloque de los Pollegons debería ser llevada hacia el O por lo menos hasta el actual meridiano de Gòsol.

La hipótesis formulada puede explicar también las perturbaciones señaladas en la terminación oriental del bloque de los Pollegons (ver *supra*).

No obstante, un problema subsiste: el de saber cómo se prolonga hacia el E la fractura N del Pedraforca. Suponemos que, por medio de un juego de rampas, ésta llega a ponerse paralela con las capas del Senoniense Superior, orientadas N 100° y muy enderezadas, del E de Saldes. Múltiples desplazamientos capa sobre capa absorberían progresivamente y de manera difusa una parte del desplazamiento de amplitud kilométrica del bloque de los Pollegons o pico de Pedraforca.

RECAPITULACION Y CONCLUSIONES GENERALES

Habiendo demostrado que las características de la estrecha franja E-O que, entre Sallent, Coll de Nargó y Canelles, separa dos compartimentos opuestos por la diferente representación de los terrenos cretácicos, se encuentran a la altura del pico de Pedraforca, de Gòsol a Saldes pasando por Aspar, podemos afirmar:

1.º Que esta oposición responde a movimientos esencialmente verticales de edad cretácica a lo largo de la línea Sallent-Aspar.

2.º Que el bloque de los Pollegons o pico de Pedraforca, y con él los dos bloques occidentales de Clotarons y Puig Galliner, recobran su posición lógica en el seno de la zona del Pedraforca, sin que sea preciso ver en ellos los restos de una unidad tectónica superior (*klippe*).

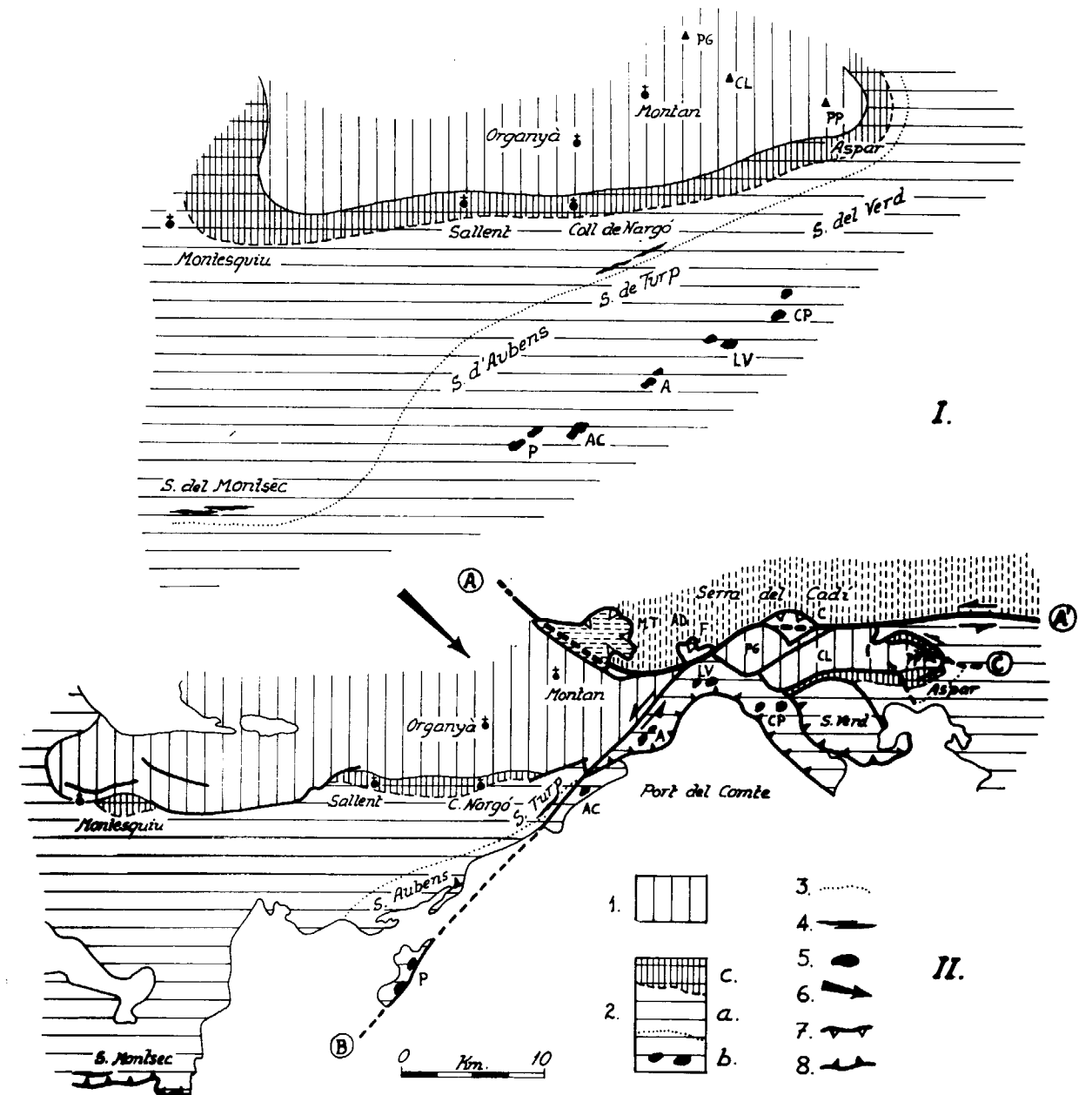


Figura 10.—Esbozo palinspástico (final del Cretácico-almores del Paleoceno) (I) y esbozo tectónico (estado actual) (II) de una parte de las regiones sudpirenaicas de Cataluña.

1.—Jurásico-Cretácico Inf. y Cenomaniense-Santonense. 2.—Cretácico Sup.-Paleoceno basal; a) serie «completa» sobre Cretácico Inf.; b) Cenomano-Turonense y/o Senoniense reposando sobre Jurásico (a veces con bauxitas); c) Senoniense Sup. reducido y Paleoceno basal sobre Cenomaniense-Santonense cobertera del Cretácico Inf. septentrional (franja charnela de Sallent a Aspar). 3.—Límite meridional aproximado del Cretácico Inf. 4.—Lignitos del Cretácico Inf. yaciendo bajo el Cenomaniense. 5.—Bauxitas bajo el Senoniense Sup. 6.—Sentido del desplazamiento general de la porción oriental de la unidad sudpirenaica central en relación a la serie autóctona del Cadí. 7.—Escamas arrastradas sobre el compartimento N durante el funcionamiento del accidente B. 8.—Principales cabalgamientos producidos durante el funcionamiento del accidente B.

A-A', «accidente del Cadí» (*sensu* GUÉRIN-DESJARDINS y LATREILLE, 1961): falla con salto horizontal longitudinal (*coulissage*) activa durante y después del desplazamiento general de la cobertera mesozoica en el sentido NO-SE; B, «accidente del Segre»: falla con salto longitudinal posterior a la transposición A-A'; C, «accidente N del Pedraforca»: falla con salto longitudinal que ha jugado durante y después de la transposición A-A'.

Las rayas discontinuas horizontales representan el Paleozoico-Permotrias del Montsec de Tost (MT) y las verticales la serie autóctona mesozoico-eocena del Cadí; figuran en blanco los terrenos terciarios.

Las escamas de Fornols (F) y del Cadinell (C) contienen Infralías y Senoniense, propios de la terminación occidental de la serie del Cadí (*cf.* Adraent, AD).

Bauxitas: P, Peramola; AC, Alinyà (Els Castellons); A, Alzina; LV, La Vansa; CP, Coll de Port.

PP, CL, PG: conjunto urgoniense Pollegons - Clotarons - Puig Galliner.

Esbozos elaborados a partir de los siguientes documentos: CLOSAS-MIRALLES (1952), ROSELL (1967), SOUQUET (1967), GUÉRIN-DESJARDINS y LATREILLE (1961), SOLÉ-SUGRAÑES y SANTANACH (1970), SÉGURET (1972), GARRIDO-MEGÍAS y RÍOS (1972), IGME (1971) y PEYBERNES (1976), complementados con observaciones e ideas propias.

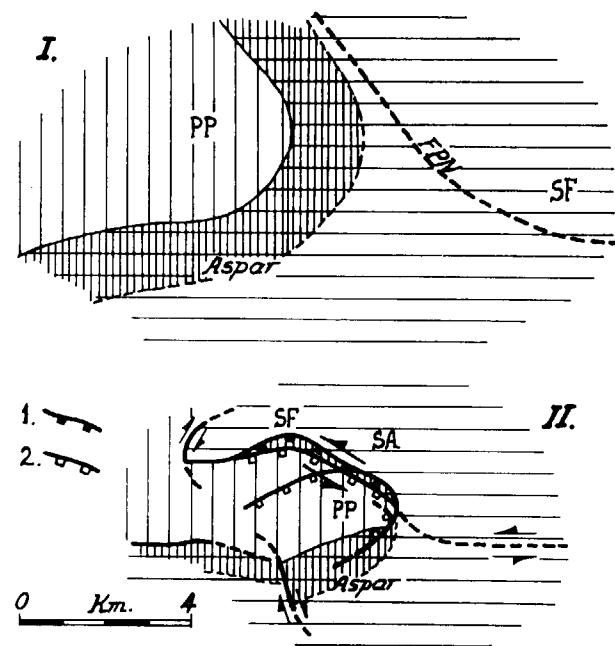


Figura 11.—Esbozo palinospástico (final del Cretácico-albores del Paleoceno) (I) y esbozo tectónico (estado actual) (II) del bloque de los Pollegons o pico de Pedraforca (PP) en relación con el Cretácico Sup. de Les Set Fonts (SF)-Sot de les Arquedes (SA); FPN, traza de la futura falla N del Pedraforca.

Para diferenciar los dominios estratigráficos se han utilizado los mismos símbolos que en la figura 10. 1.—Falla N del Pedraforca con salto kilométrico horizontal longitudinal (*coulissage*) y un salto hectométrico horizontal transversal (cabalgamiento). 2.—Cabalgamientos hectométricos interesando el compartimento con Urgoniense.

Por otra parte, en la interpretación estructural hemos dado preferencia a los desplazamientos siguiendo fallas con transposición horizontal longitudinal, para explicar la anómala posición del conjunto urgoniense Pollegons-Clotarons-Puig Galliner, en especial, y de toda la zona del Pedraforca a la cual dicho conjunto está ligado por razones estratigráficas; el «accidente del Cadí» (al que nos referimos en la fig. 10) podemos afirmar que tiene primordial importancia en este sentido, aunque los significativos análisis que tenemos hechos acerca de su geometría y de las relaciones tectosedimentarias entre serie del Cadí y zona del Pedraforca no hayan tenido cabida en el presente artículo.

Finalmente la historia de la terminación oriental de la cuenca cretácica sudpirenaica podemos resumirla en cuatro episodios:

1.º Del Jurásico Superior al Albiense Inferior los depósitos sedimentarios epicontinentales rellenan un «surco» subsidente en posición septentrional; en el cual se localiza en particular un potente Urgoniense. Durante este tiempo, el compartimento al S de la franja charnela de Sallent-Aspar debió estar más o menos emergido, karstificado y localmente fosilizado por bauxitas.

2.º La fase tectónica austriaca (antecenomanienese) trae consigo una relativa uniformización de las condiciones sedimentarias. Las calizas cenomanienses, inaugurando el ciclo sedimentario del Cretácico Superior, se depositan; al N en concordancia por encima del Albiense Inferior-Aptiense; al S en discordancia hasta sobre el Dogger. Más al S, no obstante, es el Senoniense quien fosiliza las bauxitas depositadas durante el episodio anterior. La subsidencia máxima durante el Senoniense se registra sin embargo en la parte septentrional del compartimento S.

3.º Una fase tectónica en las proximidades del límite Campaniense-Maestrichtiense conlleva la regresión de las aguas marinas del compartimento N. Entonces, en la franja de Sallent-Aspar, se depositan calizas recifales en discordancia hasta sobre las calizas del Santoniense. Luego, al S inmediato de esta franja, se depositan areniscas (cf. «arenisca de Areny») precediendo a los depósitos del Maestrichtiense continental.

4.º Nuevas pulsaciones tectónicas, afectando a la misma franja charnela de Sallent-Aspar, se producen hacia finales del Maestrichtiense y albores del Paleoceno. Los depósitos continentales de esta época, margo-limosos al S y concordantes respecto al Senoniense marino, se enriquecen hacia el N en conglomerados y luego en brechas de talud, las cuales fosilizan el borde de un paleorrelieve más septentrional. Estas brechas, discordantes sobre diferentes términos estratigráficos, llegan a reposar discordantes también sobre el Cenomaniense.

La permanencia de movimientos diferenciales entre una parte y otra de la franja charnela de Sallent-Aspar, del Malm al Paleoceno, a lo largo de más de 100 M.a., obliga a ver en ello el reflejo de un importante accidente de zócalo; bien que este accidente no se halla en la vertical de los actuales afloramientos, dada la traslación por despegue que ha experimentado la cobertera sedimentaria mesozoica y eocena antepriaboniense

por encima del substrato plástico que constituye el Trias sudpirenaico. La traza de dicho accidente en el zócalo debería buscarse en la actual zona axial de los Pirineos.

BIBLIOGRAFIA

- ASHAUER, H., y TEICHMÜLLER, R.: *Origen y desarrollo de las cordilleras variscas y alpidicas de Cataluña*. Publ. Alem. Geol. España, CSIC, t. 3, pp. 5-102. Traducción, de la edición original alemana, publicada en 1946 (1935).
- ASTRE, G.: *Sur les unités tectoniques des Sierras del Cadí, Port del Comte et de quelques massifs voisins (Pyrénées catalanes)*. C. R. Acad. Sc. Paris, t. 178, pp. 2106-2109 (1924).
- ASTRE, G.: *Sur les caractères d'ensemble de la zone tectonique de Pedraforca*. C. R. Som. Soc. Géol. France, 16 mars, pp. 82-84 (1925).
- ASTRE, G.: *Les faunes de Pachyodontes de la province catalane entre Segre et Freser*. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse, t. 64, pp. 31-154 (1932).
- ASTRE, G.: *Sur l'âge des Orbitolines de Pedraforca et sur la structure de ce pic*. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse, t. 69, pp. 115-122 (1936).
- BILLOTTE, M.: *Les séries sédimentaires du Mésozoïque de la nappe de la Pedraforca et de son autochtone (Tronçon Catalan-Pyrénées). Conséquences structurales*. Cuad. Geol. Iber., t. 8, pp. 1017-1025 (1982).
- BILLOTTE, M.: *Biozonation des séries de plate-forme du Sénonien et du Maastrichtien est-pyrénéen*. Géol. Méditerranéenne, t. 10, pp. 99-102 (1983).
- BILLOTTE, M.: *Le détroit des Aspres: nouvel élément de la paléogéographie est-pyrénéenne à la fin du Crétacé*. Strata, Toulouse, t. 1, pp. 23-31 (1984).
- CLOSAS-MIRALLES, J.: *Las bauxitas del NE de España*. C. R. Congr. Gol. Int. Alger, sect. 12, fasc. 12, pp. 199-223 (1952).
- COMBES, P. J.: *Recherches sur la genèse des bauxites dans le nord-est de l'Espagne, le Languedoc et l'Ariège (France)*. Mém. C. E. R. G. H., Montpellier, t. 3-4, 375 pp. (1969).
- DURAND-DELGA, M.: *Evolution récente des idées sur la structure alpine des Pyrénées*. Bull. techn. Elf-Aquitaine, Explor.-Production, núm. 106, pp. 1-11 (1983).
- FEIST, M., y COLOMBO, F.: *La limite Crétacé-Tertiaire dans le nord-est de l'Espagne, du point de vue des charophytes*. Géol. Méditerranéenne, t. 10, pp. 303-326 (1983).
- GARRIDO-MEGÍAS, A., y RÍOS, L. M.: *Síntesis geológica del Secundario y Terciario entre los ríos Cinca y Segre*. Bol. Geol. y Min. España, t. 83, pp. 1-47 (1972).
- GARRIDO-MEGÍAS, A.: *Sobre la colocación del manto de Pedraforca y sus consecuencias: una nueva unidad tectónica independiente, el manto del Montsec*. Bol. Geol. y Min. de España, t. 83, pp. 242-248 (1972).
- GUÉRIN-DESJARDINS, B., y LATREILLE, M.: *Étude géologique dans les Pyrénées espagnoles entre les ríos Segre et Llobregat (Provs. de Lérida et Barcelone)*. Rev. Inst. Français Pétrole, t. 16, pp. 922-940. Bol. Inst. Geol. y Min. España (1962), t. 73, pp. 329-369 (1961).
- IGME: *Mapa geol. España 1:200.000. Hoja 24, Berga* (1971).
- LLOPIS-LLADÓ, N.: *Sobre la geologia dels cims de Pedraforca i sobre la tectònica del Bergadà*. Butll. Inst. Cata. Hist. Nat., t. 36, pp. 34-61 (1936).
- LLOPIS-LLADÓ, N.: *Los relieves estructurales del alto valle del Llobregat*. Estudios geogr., núm. 46, pp. 73-142 (1952).
- MASRIERA, A., y ULLASTRE, J.: *Contribution des minéraux lourds à la lithostratigraphie du Crétacé terminal des Pyrénées catalanes et quelques conséquences paléogéographiques et tectoniques*. C. R. Acad. Sc. Paris, t. 293, série II, pp. 179-182 (1981).
- MASRIERA, A., y ULLASTRE, J.: *Hipótesis y problemas acerca del origen de las asociaciones de minerales pesados del Senoniense del Pirineo Catalán*. Cuad. Geol. Ibér., t. 8, pp. 949-963 (1982).
- MASRIERA, A., y ULLASTRE, J.: *Essai de synthèse stratigraphique des couches continentales de la fin du Crétacé des Pyrénées catalanes NE de l'Espagne*. Géol. Méditerranéenne, t. 10, pp. 283-290 (1983).
- MASRIERA, A., y ULLASTRE, J.: *Puntualización acerca de las relaciones entre el Eoceno marino de Montcalb-La Corriu, el de Sant Llorenç de Morunys y los conglomerados continentales encajantes (Pirineo catalán)*. Estudios geol., t. 41, pp. 385-390 (1985).
- MEGÍAS, A. G.: *Nueva hipótesis paleogeográfica sobre el Cretácico surpirenaico*. Cuad. Geol. Ibér., t. 8, pp. 1005-1015 (1982).
- NEUMANN, M., y ROBASZYNSKI, F.: *Tentative de comparaison entre la limite supérieure du Campanien stratotypique et la limite inférieure du Maastrichtien stratotypique*. Géol. Méditerranéenne, t. 10, pp. 73-79 (1983).
- PEYBERNES, B.: *Le Jurassique et le Crétacé inférieur des Pyrénées franco-espagnoles entre la Garonne et la Méditerranée*. Thèse Doct. Sc. Nat. Toulouse, 459 pp. (1976).
- PLAZIAT, J. C.: *Précisions nouvelles sur la position stratigraphique et structurale des conglomerats à ciment rouge de Coll de Nargó (Prov. de Lérida, Espagne)*. C. R. Acad. Sc. Paris, t. 274, série D, pp. 2431-2434 (1972).
- PLAZIAT, J. C.: *Le domaine pyrénéen de la fin du Crétacé à la fin de l'Eocène*. Thèse Doct. Sc. Nat. Paris-sud, t. III, pp. 1223-1229 (1984).
- PONS, J. M.: *Distribución de los rudistas (Bivalvia) del Cretácico Superior sudpirenaico*. Cuad. Geol. Ibér., t. 8, pp. 1027-1033 (1982).
- PHILIP, J., y BILLOTTE, M.: *Les Rudistes du Sénonien de la France. Précisions stratigraphiques sur le Dordonnien*. Géol. Méditerranéenne, t. 10, pp. 183-192 (1983).

- RÍOS, J. M.: *Análisis estratigráfico y tectónico de una parte del valle del Segre, en la provincia de Lérida (la zona de Coll de Nargó)*. Bol. Inst. Geol. y Min. España, t. 63, pp. 561-656 (1951).
- ROSELL, J.: *Estudio geológico del sector del Prepirineo comprendido entre los ríos Segre y Noguera Ribagorzana (Prov. de Lérida)*. Pirineos, núm. 75-78, pp. 1-225 (1967).
- SÉGURET, M.: *Etude tectonique des nappes et séries décollées de la partie centrale du versant sud des Pyrénées*. Publ. USTELA, Thèse Doct. Sc., Montpellier, série Géol. Struct., núm. 2 (1972).
- SOLÉ-SUGRAÑES, L., y SANTANACH, P.: *Nota sobre la escama de corrimiento del Montsec de Tost en el Prepirineo español (Prov. de Lérida)*. Acta. Geol. Hisp., t. 5, pp. 24-28 (1970).
- SOLÉ-SUGRAÑES, L.: *Algunos aspectos de la tectónica del Prepirineo oriental entre los ríos Segre y Llobregat*. Acta Geol. Hisp., t. 8, pp. 81-89 (1973).
- SOLÉ-SUGRAÑES, L.: *Discussion about the emplacement of some of the Southern Pyrenees nappes (Spain)*. Acta Geol. Hisp., t. 18, pp. 47-53 (1983).
- SOUQUET, P.: *Le Crétacé supérieur sud-pyrénéen en Catalogne, Aragon et Navarre*. Publ. Lab. Géol. Un. Toulouse, 529 pp. (1967).
- SOUQUET, P.: *Les cycles majeurs du Crétacé de la paléomarge ibérique dans les Pyrénées*. Strata, Toulouse, t. 1, pp. 47-70 (1984).
- SOUQUET, P.; PEYBERNES, B.; BILOTTE, M., y DEBROAS, E. J.: *La Chaîne Alpine des Pyrénées*. Géol. Alpine, t. 53, pp. 193-216 (1977).
- ULLASTRE, J., y MASRIERA, A.: *Le passage Crétacé-Tertiaire dans les régions sud-pyrénéennes de la Catalogne: données nouvelles*. Géol. Méditerranéenne, t. 10, pp. 277-281 (1983).
- VIDAL, L. M.: *Datos para el conocimiento del terreno garumnense de Cataluña*. Bol. Com. Mapa Geol. España, t. 1, pp. 209-247 (1874).
- WILLEMS, H.: *Marine uppermost Cretaceous and Garumnian facies in the region of Boixols-Coll de Nargó anticline (Prov. Lérida, Spain)*. Estudios geol., t. 41, pp. 17-24 (1985).

Recibido: Abril de 1986.

Revisión de la Colección de Arqueociatos del Museo del Instituto Geológico y Minero de España. Addenda.

Por A. PEREJON (*)

RESUMEN

Se estudia la muestra núm. 37 del Catálogo del Museo del Instituto Geológico y Minero de España, correspondiente a la Colección de Arqueociatos y aparecido con posterioridad a la revisión de dicha Colección. El fragmento contiene dos secciones correspondientes a los géneros *Aldanocyathus* y *Andalusicyathus*.

ABSTRACT

Present work undertakes the study of the sample n.º 37 of the Archaeocyatha collection from the Spanish Geological and Mining Museum. It was found after the revision of such collection. The sample contains two sections of the genera *Aldanocyathus* and *Andalusicyathus*.

INTRODUCCION

El ejemplar, como todos los de la colección, corresponde a un fragmento de caliza biogénica que incluye una parte de un cáliz de gran tamaño de la Clase Irregulares que presenta erosionadas parte de sus estructuras esqueléticas y la sección transversal de un cáliz de pequeño tamaño de la Clase Regulares. Para diferenciar los dos taxones los hemos numerado consecutivamente (fig. 1) y hemos añadido este dígito, entre paréntesis, al número del ejemplar.

SISTEMATICA

PHYLLUM ARCHAEOCYATHA BORNEMANN, 1884

Clase: REGULARES, VOLOGDIN, 1937

Orden: AJACICYATHIDA, R. BEDFORD & J. BEDFORD, 1939

Suborden: AJACICYATHIDA, R. BEDFORD & J. BEDFORD, 1939

Superfamilia: Ajacicyathacea, R. BEDFORD & J. BEDFORD, 1939

Familia: Ajacicyathidae R. BEDFORD & J. BEDFORD, 1939

Género *Aldanocyathus* VORONIN, 1971

Aldanocyathus sp.

Figs. 1 (2), 2

Material: Ejemplar núm. 37 (2). Sierra de Córdoba.

Descripción: Sección transversal erosionada de un cáliz de pequeño diámetro, con las murallas y los septos finamente perforados.

Dimensiones en milímetros: D 2,55, Int. 0,80, ds 0,25-0,35, N 13, IK 0,32. IC 1:3 a 1:2,5, RK 5. Muralla externa: n 4-6, Ø 0,075, l 0,050, e 0,025. Muralla interna: n 2, Ø 0,100, l 0,075, e 0,050. Septos: n 4-6, Ø 0,125, l 0,075, e 0,025.

Discusión: Por las características de las estructuras del cáliz, se incluye en el género *Aldanocyathus*, y por sus medidas y coeficientes está próximo a *A. carteretensis* (DEB., 1958), aunque por el momento no tenemos elementos suficientes para asignarlo a esta especie.

(*) U. E. I. de Paleontología, Instituto de Geología Económica. C. S. I. C. - U. C. M. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. 28040 Madrid. Teléfono 244 54 59.

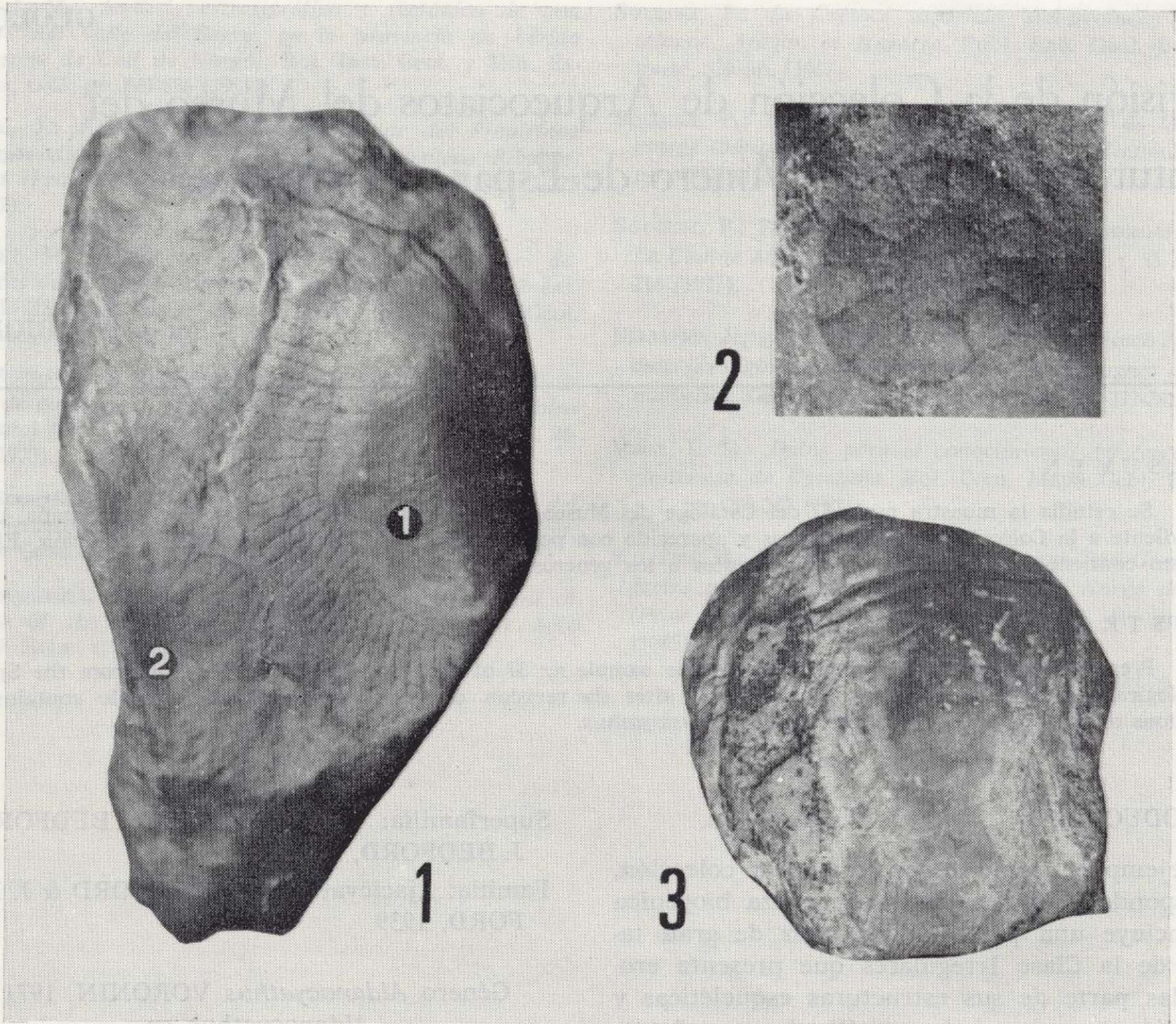


Figura 1.—1) *Andalusicyathus andalusicus* (SIM., 1939).
2) *Aldanocyathus* sp.

Ejemplar núm. 37, aspecto externo erosionado donde se puede observar las secciones de los dos cálices ($\times 4$). Córdoba, Las Ermitas. Cámbrico Inferior, Ovetiense Inferior. Zonas I-III de Arqueociatos (PEREJÓN, 1984 b).

Figura 2.—*Aldanocyathus* sp.

El mismo ejemplar. Sección transversal de 2 ($\times 10$). Córdoba, Las Ermitas. Cámbrico Inferior, Ovetiense Inferior. Zonas I-III de Arqueociatos.

Figura 3.—*Andalusicyathus andalusicus* (SIM., 1939).

El mismo ejemplar. Sección longitudinal oblicua de 1 ($\times 2$). Córdoba, Las Ermitas. Cámbrico Inferior, Ovetiense Inferior. Zonas I-III de Arqueociatos.

Distribución: ESPAÑA, Córdoba, Cerro de Las Ermitas. Cámbrico Inferior, Ovetiense Inferior, Zonas I a III de Arqueociatos.

Clase: IRREGULARES, VOLOGDIN, 1937

Orden: ARCHAEOCYATHIDA, OKULITCH, 1935

Suborden: ARCHAEOCYATHIDA, OKULITCH, 1935

Familia: Flindersicyathidae, R. BEDFORD & J. BEDFORD, 1939

Género *Andalusicyathus*, PEREJON, 1976
Andalusicyathus andalusicus (SIMON, 1939)

Figs. 1 (1), 3

Sinonimias (Ver PEREJON, 1984 b, p. 8).

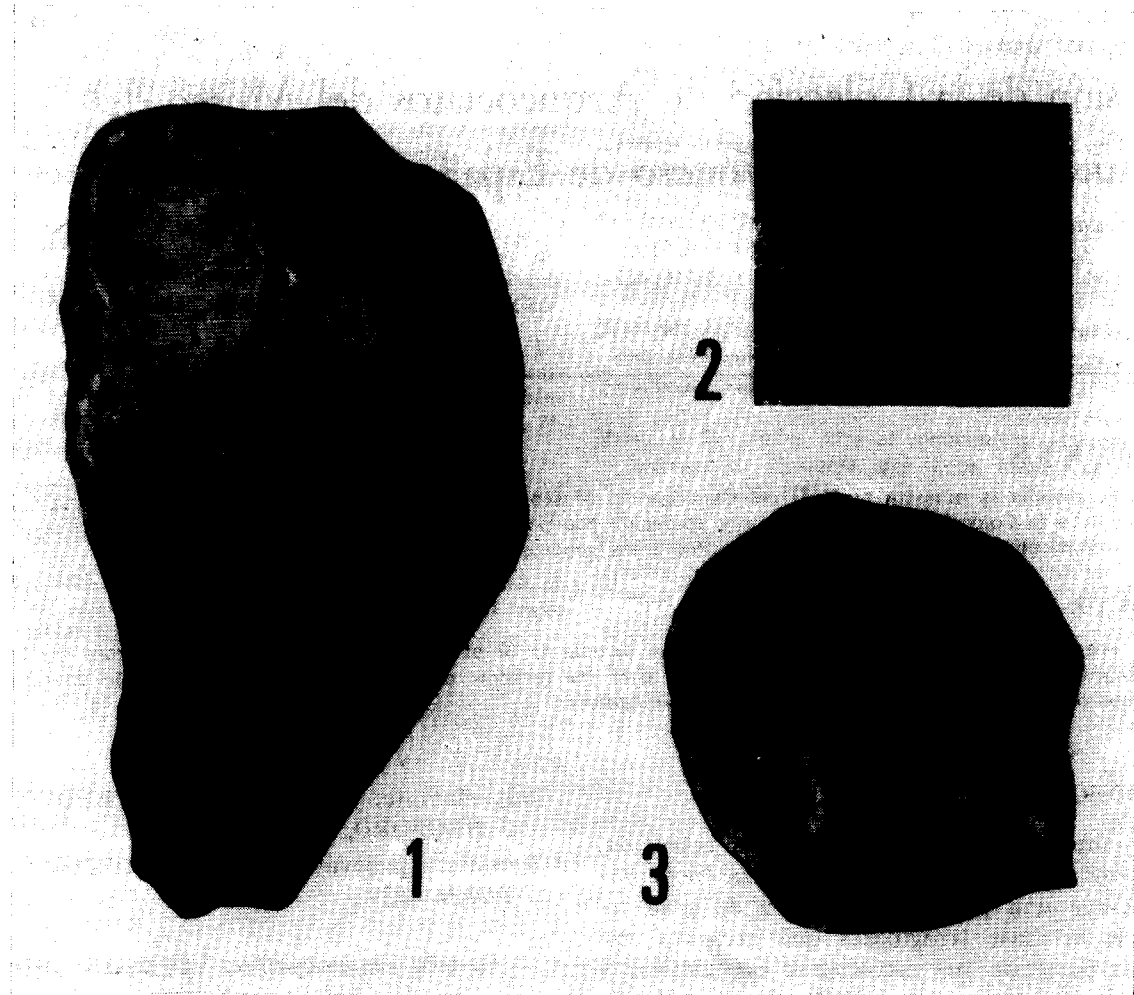


Figura 1.—1) *Andalusicyathus andalusicus* (SIM., 1939).
2) *Aldanocyathus* sp.

Ejemplar núm. 37, aspecto externo erosionado donde se puede observar las secciones de los dos cálices (×4). Córdoba, Las Ermitas. Cámbrico Inferior, Ovetiense Inferior. Zonas I-III de Arqueociatos (PEREJÓN, 1984 b).

Figura 2.—*Aldanocyathus* sp.

El mismo ejemplar. Sección transversal de 2 (×10). Córdoba, Las Ermitas. Cámbrico Inferior, Ovetiense Inferior. Zonas I-III de Arqueociatos.

Figura 3.—*Andalusicyathus andalusicus* (SIM., 1939).

El mismo ejemplar. Sección longitudinal oblicua de 1 (×2). Córdoba, Las Ermitas. Cámbrico Inferior, Ovetiense Inferior. Zonas I-III de Arqueociatos.

Distribución: ESPAÑA, Córdoba, Cerro de Las Ermitas. Cámbrico Inferior, Ovetiense Inferior, Zonas I a III de Arqueociatos.

Clase: IRREGULARES, VOLOGDIN, 1937
Orden: ARCHAEOCYATHIDA, OKULITCH, 1935
Suborden: ARCHAEOCYATHIDA, OKULITCH, 1935

Familia: Flindersicyathidae, R. BEDFORD & J. BEDFORD, 1939

Género *Andalusicyathus*, PEREJON, 1976
Andalusicyathus andalusicus (SIMON, 1939)
Figs. 1 (1), 3

Sinonimias (Ver PEREJON, 1984 b, p. 8).

CUADRO 1

I	DENOMINACION ORIGINAL	II	III	IV	DENOMINACION PROPUESTA
24	<i>Dictyocyathus sampelayanus</i>	-	-	4	<i>Andalusicyathus andalusicus</i>
25	<i>Archaeocyathus trachealis</i> <i>Dictyocyathus sampelayanus</i>	2	2	5	(1) <i>Aldanocyathus anabarensis</i> (2) <i>Dictyocyathus</i> sp. (3) <i>Cordobicyathus deserti</i> (4) <i>Andalusicyathus andalusicus</i> (5) <i>Coscinocyathus</i> sp.
26	<i>Archaeocyathus navarroi</i>	-	-	-	<i>Robustocyathus navarroi</i>
27	<i>Archaeocyathus marianus</i> <i>Dictyocyathus sampelayanus</i>	-	-	-	(1) <i>Aldanocyathus anabarensis</i> (2) <i>Dictyocyathus</i> sp.
28	<i>Archaeocyathus marianus</i> (<i>Coscinocyathus</i> y <i>Protopharetra</i>)	-	-	-	(1) <i>Andalusicyathus andalusicus</i> (2) <i>Aldanocyathus anabarensis</i> (3) <i>Aldanocyathus anabarensis</i> (4) <i>Aldanocyathus anabarensis</i>
29	<i>Archaeocyathus marianus</i>	-	-	6	<i>Andalusicyathus andalusicus</i>
30	<i>Archaeocyathus nodosa</i>	-	-	-	<i>Aldanocyathus valdegrajensis</i>
31	<i>Archaeocyathus ajax</i>	-	-	7	<i>Andalusicyathus andalusicus</i>
32	<i>Archaeocyathus infundibulum</i> <i>Archaeocyathus sellicksi</i>	5 4	3 6	8	(1) <i>Aldanocyathus anabarensis</i> (2) <i>Aldanocyathus anabarensis</i> (3) <i>Aldanocyathus valdegrajensis</i> (4) <i>Aldanocyathus</i> sp.
33	<i>Archaeocyathus aduncus</i>	1	1	9	<i>Coscinocyathus arcuatus</i>
34	<i>Archaeocyathus</i> aff. <i>profundus</i> <i>A. (Ethmophyllum) profundus</i>	3	5	10	(1) <i>Andalusicyathus andalusicus</i> (2) <i>Andalusicyathus andalusicus</i>
35	<i>Archaeocyathus sinuosus</i>	-	-	11	<i>Aldanocyathus pedrochei</i>
36	<i>Archaeocyathus sellicksi</i>	-	-	12	<i>Aldanocyathus</i> sp.
37	<i>Archaeocyathus retesepta</i>	-	-	13	(1) <i>Andalusicyathus andalusicus</i> (2) <i>Aldanocyathus</i> sp.

Relaciones entre las denominaciones originales de los ejemplares, las figuraciones y las determinaciones propuestas.

I. Número de orden de la colección. II. Número de la figura en la lámina II de HERNÁNDEZ SAMPELAYO (1933). III. Número de la figura en la lámina VI de HERNÁNDEZ SAMPELAYO (1935). IV. Número de la lámina en BADILLO (1959).

Holotipo: Senk. Mus. XXVI 173 a (sig. RICHTER), Tafel 5, figs. 1 y 2. SIMON, 1939. Las Ermitas, Córdoba, Cámbrico.
Material: Ejemplar núm. 37 (1).

Descripción: Fragmento incompleto y erosionado de un cáliz en el que se observan la porosidad de la muralla interna, la traza, en los planos transversal y longitudinal, de los septos, así como la distribución y tamaño de los poros, y los sinaptículos.

Dimensiones: En milímetros: D 13-16, Int. 2,3, ds 0,1-0,5, N ~ 56, IC 1:4,5 a 1:7, RK 3,4 a 4. Muralla externa (erosionada). Muralla interna: n 2-3, Ø 0,132, l 0,033-0,066, e 0,033 (espinas). Septos: n 6-8, Ø 0,25 x 0,40, l 0,05-0,10, e 0,05. Sinaptículos: n 0-3, e 0,05.

Discusión: Por sus características morfológicas, dimensiones y coeficientes, asignamos este ejemplar a la especie *andalusicus* que fue definida en la misma localidad tipo.

Distribución: ESPAÑA. Córdoba, Las Ermitas, Arroyo de Pedroche, Alcolea. Cámbrico Inferior. Ovetiense Inferior, Zonas I a III. Badajoz, Alconera. Cámbrico Inferior, Marianiense Inferior, Zonas VIII a X de Arqueociatos.

CONCLUSIONES

Con la descripción de estos dos taxones se completa la revisión de la Colección de Arqueociatos del Museo, que consta de catorce ejemplares numerados consecutivamente del 24 al 37, que procede del Cerro de Las Ermitas de Córdoba.

Su edad, PEREJON, 1984, sería Cámbrico Inferior, Ovetiense Inferior, Zonas I a III de Arqueociatos.

Las relaciones entre las denominaciones de los ejemplares, las figuraciones de los distintos autores y las determinaciones propuestas para cada uno de los taxones, se encuentran resumidas en el cuadro 1.

AGRADECIMIENTOS

Mi reconocimiento al Instituto Geológico y Mi-

nero de España, y al Dr. Indalecio Quintero, director de su Museo donde está depositada tan valiosa Colección. También a D. Eulogio Martín, que fotografió los ejemplares, y a Dña. Isabel Corchón, que realizó la mecanografía del trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- BADILLO, L.: *Catálogo de especies fósiles del Museo del Instituto Geológico y Minero de España*. 1. Cambriano. Not. Com. Inst. Geol. Min. España, 55, 71-124 (1959).
- BEDFORD, R. & BEDFORD, J.: *Development and classification of Archaeos (Pleospingia)*. Mem. Kyancutta Mus. 6, 67-81 (1939).
- BORNEMANN, J. G.: *Bericht über die Fortsetzung seiner Untersuchungen cambrischer Archaeocyathus - Formen und verwandter Organismen von der Insel Sardinien*. Z. Dtsch. Geol. Ges. 36 (3), 702-706 (1884).
- DEBRENNE, F.: *Sur les Archaeocyathe du Cambrien de Carteret (Manche)*. Bull. Soc. Géol. Fr., 6è sér., 8, 615-620 (1958).
- HERNÁNDEZ SAMPELAYO, P.: *El Cambriano en España*. Mem. XVI Congr. Geol. Inter. Inst. Geol. Min. España, 1-200 (1933).
- HERNÁNDEZ SAMPELAYO, P.: *Explicación del nuevo mapa geológico de España a escala 1:1.000.000. El Sistema Cambriano*. Mem. Inst. Geol. Min. España, 1, 291-528 (1935).
- OKULITCH, V. J.: *Cyathospongia. A New Class of Porifera to include the Archaeocyathinae*. Trans. R. Soc. Canada, Sér. 3, Sect. 4, 29, 75-106 (1935).
- PEREJÓN, A.: *Nuevas formas de Arqueociatos del Cámbrico inferior de Sierra Morena (II)*. Tecniterrae, 9, 7-24 (1976 a).
- PEREJÓN, A.: *Nuevos datos sobre los Arqueociatos de Sierra Morena*. Estudios Geol., 32 (1), 5-33 (1976 b).
- PEREJÓN, A.: *Revisión de la colección de Arqueociatos del Museo del Instituto Geológico y Minero de España*. Bol. Geol. Min., XCV-IV, 337-353 (1984 a).
- PEREJÓN, A.: *Bioestratigrafía de los Arqueociatos en España*. Cuad. Geol. Ibér., 9, 213-265 (1984 b).
- SIMON, W.: *Archaeocyathacea: I. Kritische Sichtung der Superfamilie*. II. *Die Fauna im Kambrium der Sierra Morena (Spanien)*. Abh. Senck. Nat. Ges., 448, 1-87 (1939).
- VOLOGDIN, A. G.: *Arqueociatos y los resultados de su estudio en la URSS*. Lab. Pal. Mosk. Gosud. Univ. Probl. Paleont., 2-3, 453-500 (en ruso) (1937).

Recibido: Mayo de 1986.

Paleosuelos de los piedemonte villafranquienses y de las terrazas pleistocenas de la región del valle del Henares-Alto Jarama

Por J. GALLARDO (*), A. PEREZ-GONZALEZ (**) y J. BENAYAS (***)

RESUMEN

Los trabajos realizados sobre algunos valles fluviales de la Meseta parecen poner de manifiesto que, en función de la litología de las cuencas, los suelos tienen rasgos hidromórficos o acumulaciones de carbonato cálcico. Sin embargo, en el valle del Henares existen zonas con rasgos hidromórficos entre las dominantes formaciones edáficas con horizonte cálcico o petrocálcico.

En este trabajo se describe y estudia una secuencia de suelos con rasgos hidromórficos desde las superficies villafranquienses situadas en el Alto Jarama hasta la terraza +36—40 m., de edad Pleistoceno Medio, en el valle del Henares. Estos suelos reflejan la compleja edafogénesis de ese período mejor que los que tienen horizontes cálcicos o petrocálcicos. Los procesos evolutivos de estos suelos indican un cambio climático progresivo desde condiciones más cálidas y húmedas en el Villafranquiense Inferior (?) y Medio a otras más secas, mediterráneas, en el Pleistoceno Medio. La secuencia de suelos establecida es: suelo ferruginoso (palexerult), suelo fersialítico ácido (palexeralf-rhodoxeralf) y suelo rojo fersialítico (rhodoxeralf-haploxeralf). Todos estos suelos han sufrido transformaciones debidas a procesos derivados de la aridificación climática, tales como: reducción de la argiluvación, segregación de sesquióxidos y calcificación.

ABSTRACT

The researches carried out on some valleys of the spanish Meseta seem to allow us to see that, according to the lithology of the catchment area, the soils have hydromorphic characteristics or accumulation of calcium carbonate. There are, however, in the Henares valley limited areas with hydromorphic characteristics among the predominant soils with calcic or petrocalcic horizons.

This paper studies a sequence of soils with hydromorphic features from the Villafranquiense surfaces (Alto Jarama) to the middle Pleistocene terrace +36—40 m of the Henares. These soils seem to show the complex pedogenesis of this period better than those which have calcic or petrocalcic horizons. The most important facts to draw attention to are that the climate has changed from hot and wet conditions to drier ones. The series or soils developed: ferruginous soil (palexerult), acid fersialitic soil (palexeralf-rhodoxeralf) and red fersialitic soil (rhodoxeralf-haploxeralf), have undergone transformations due to a group of processes linked to the climate more and more dry: reduction of clay illuviation, sesquioxides segregation and calcification.

INTRODUCCION

En la Meseta hay dos grupos de valles fluviales en relación con las características edáficas de los suelos desarrollados en sus terrazas:

— Valles con suelos que tienen horizontes cálcicos-petrocálcicos (PÉREZ-GONZÁLEZ et al., 1974; MEDINA, 1977; VAUDOUR, 1979).

— Valles con suelos que presentan rasgos hidromórficos (TORRENT, 1979; HERAIL, 1984).

Una rápida ojeada a la litología de las cuencas fluviales muestra que las del primero son ricas en elementos carbonatados y las del segundo en elementos silíceos. Cabría pensar por ello que la evolución de los suelos está condicionada, al menos en el primer caso, por el factor litológico. Pero en el valle del Henares, con cuenca caliza,

(*) Departamento de Química Agrícola y Geoquímica de la Universidad Autónoma. 28093 MADRID.

(**) Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas, 23. 28003 MADRID.

(***) Unidad Estructural de Investigación de Suelos. Instituto de Edafología y Biología Vegetal. C. S. I. C. 28006 MADRID.

existen zonas con rasgos hidromórficos entre las dominantes formaciones edáficas con horizontes cálcicos-petrocálcicos, desde la terraza de +36-40 metros hasta el nivel de la Raña del Casar de Talamanca, especialmente en su segmento meridional.

En este trabajo se estudia una secuencia de suelos con rasgos hidromórficos desde las terrazas medias y altas del valle del Henares, hasta los distintos niveles de la Raña y la Alta superficie de La Mierla (figs. 1 y 2), con objeto de determinar la sucesión cronológica de los procesos edáficos y sus condiciones ambientales, el carácter poligenético de los suelos y, en principio, la posibilidad de que hayan sido enmascarados los rasgos morfológicos de la compleja edafogénesis antigua por un proceso de calcificación relativamente reciente.

EL MEDIO FISICO: CLIMA Y GEOMORFOLOGIA

La región del Valle del Henares-Alto Jarama está situada al NE de Madrid (fig. 1). Se encuentra bajo condiciones climáticas mediterráneas, con largos y secos veranos (de 3 a 4 meses) y períodos fríos y húmedos en otoño e invierno. Los elementos climáticos muestran algunas diferencias entre los extremos norte y sur. En el primero (La Mierla), la precipitación media anual, 740 mm., casi dobla la del segundo (Alcalá de Henares), donde tan sólo es ligeramente superior a 400 mm. La temperatura media anual es, por el contrario, algo más baja en La Mierla (11,7° C) que en Alcalá de Henares (13,3° C). De acuerdo con el diferente volumen de precipitaciones el drenaje climático (DUCHAUFOR, 1977) es del orden de 250 mm. al norte de la zona y nulo en el sur.

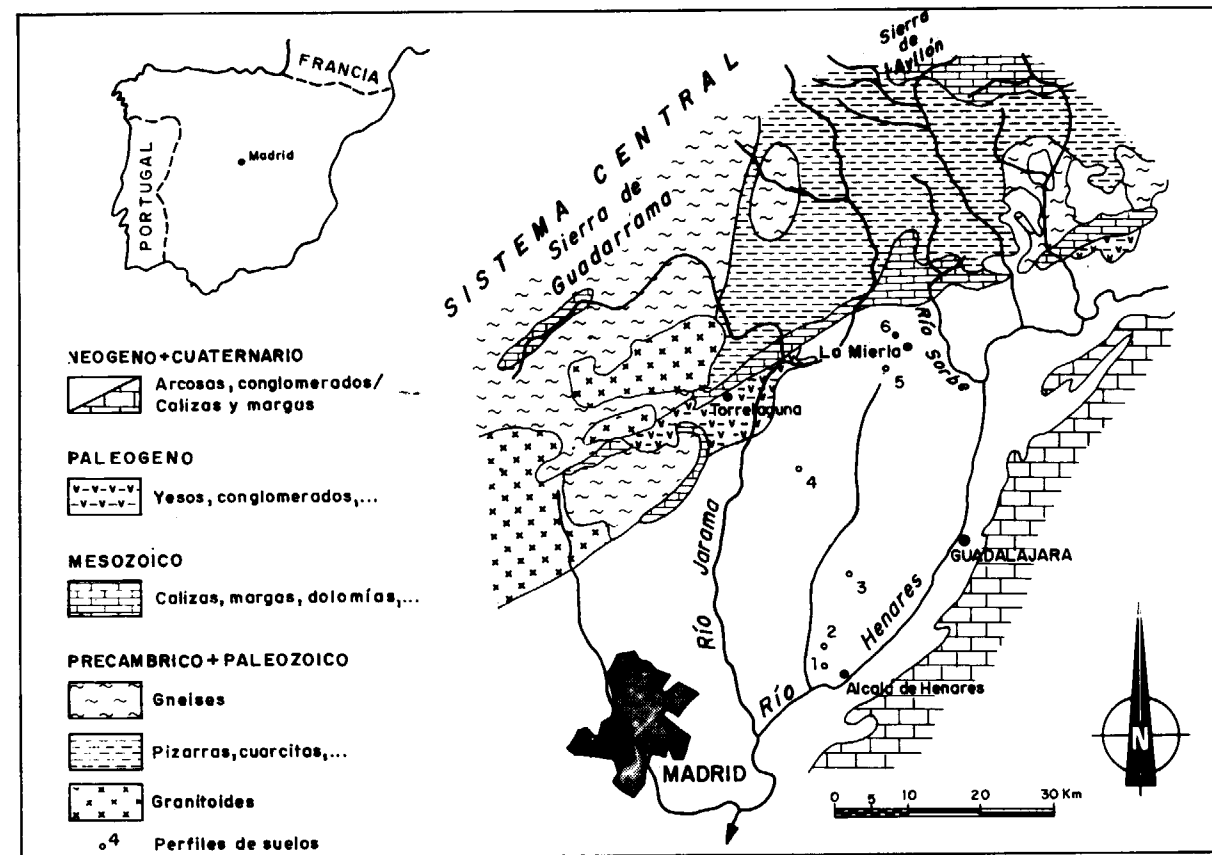


Figura 1.—Localización geográfica y geológica de los perfiles de suelos, en la región situada al NE de Madrid.

En estos sectores centrales de la Meseta se distinguen dos dominios morfoestructurales (fig. 1) bien diferenciados: La Sierra y la Depresión. El primero está constituido por un núcleo montañoso de rocas antiguas («Sistema Central») de composición granítico-metamórfica, con predominio en su apéndice oriental (Somosierra y Sierra de Avilón) de pizarras y cuarcitas de edad ordovícica y presencia de sedimentos detríticos pérmicos. Adosadas a su borde meridional afloran series marinas y continentales fracturadas y plegadas, de edad mesozoica y terciaria, compuestas litológicamente por dolomías, calizas, areniscas, conglomerados, yesos, etc. La Depresión está rellena por materiales neógenos detríticos continentales formados por arcosas, conglomerados y fangos que provienen de esos sectores del Sistema Central. Hacia las partes más internas y por cambio lateral, se depositaron facies químicas que pueden estar coronadas por las calizas lacustres del Páramo de la Alcarria.

En la Depresión (IGME, en prensa) la morfogénesis más reciente se caracteriza esencialmente por un modelado de erosión o de erosión-acumulación que arranca del Plioceno Superior. Superficies de colmatación de edad Neógeno Superior, apenas biseladas, por ejemplo, Superficie de La Mierla (fig. 2A), soportan suelos (perfil 6) muy evolucionados y forman en la actualidad las altas superficies divisorias de los ríos Jarama y Sorbe. Encajada en esas altas superficies e inclinada suavemente hacia el SSW, se desarrolla el piedemonte de la Raña (fig. 2A), glacis cubierto por aluvionamientos silíceos que proceden del segmento más oriental del Sistema Central. La Raña no forma, sin embargo, un único plano; una cartografía detallada ha permitido distinguir varios niveles que se corresponden además con estadios distintos de evolución de los suelos desarrollados sobre ellos (perfiles 4 y 5). Su edad podría representar el límite convencional Neógeno-Cuaternario, aunque también es posible una fecha algo más antigua, alrededor de los 2 m.a. (PÉREZ-GONZÁLEZ, 1982).

Las terrazas, muy bien desarrolladas en el valle asimétrico del río Henares (fig. 2B, perfiles 1, 2 y 3), forman un sistema escalonado de 22 plataformas aluviales, entre los +210 m. de altura relativa y el canal actual. Su cronología no está todavía bien establecida, pero es posible que al Pleistoceno Superior le correspondan dos niveles (+7.9 y +10-12 m.), al Pleistoceno Medio de nueve a diez (de +18 m. a +78 ó +94 m.) y al Pleisto-

ceno Inferior-Plioceno final (?) diez u once terrazas, hasta la de 210 m., situándose la Raña a +220-225 m.

Las características litológicas de la Raña y de las terrazas son semejantes aunque pueden establecerse algunas diferenciaciones petrológicas. La Raña, además de gravas de cuarcita y cuarzo que son los elementos mayoritarios, al igual que en el Henares, presenta, ocasionalmente, porcentajes significativos de pizarras. En cambio, en las terrazas del río Henares, se encuentran elementos calizos hasta la terraza de +108 m., provenientes en este sector del Páramo de la Alcarria. Los espesores de todos estos aluviones oscilan entre los 3 y 7 m.

CARACTERÍSTICAS MORFOLOGICAS DE LOS SUELOS

Los perfiles de los suelos correspondientes a la secuencia estudiada (fig. 3) presentan el siguiente conjunto de horizontes:

$A_{(1, 2 g)}$ $B_{t(g)}$ $B_{g(ca)}$ $NB_{t(ca)}$ $C_{(ca, g)}$

Los subíndices entre paréntesis indican que la propiedad edáfica que representan puede existir o no en el suelo según los casos. Los corchetes que engloban dos subíndices significan que el suelo muestra una o bien otra propiedad. El símbolo N se utiliza aquí para reflejar el hecho de que el horizonte al que se aplica conserva, en buena medida, características primarias, y, por tanto, que ha sido poco afectado por procesos posteriores.

Todos los suelos de la secuencia han sufrido procesos de erosión-sedimentación. El suelo del perfil 1 (fig. 3) fue erosionado hasta el horizonte IIBg; posteriormente recibió un aporte de materiales, seguramente restos de suelos de la terraza superior. En los otros suelos de la secuencia la erosión eliminó los horizontes A y la parte superior de los B; los horizontes A actuales deben proceder, tanto de la evolución reciente como de las removilizaciones locales de materiales.

La característica fundamental de los horizontes A de los perfiles 3, 4, 5 y 6 (fig. 3) es la presencia de nódulos negros, duros y esféricos, de hasta varios milímetros de diámetro, constituidos probablemente por hierro.

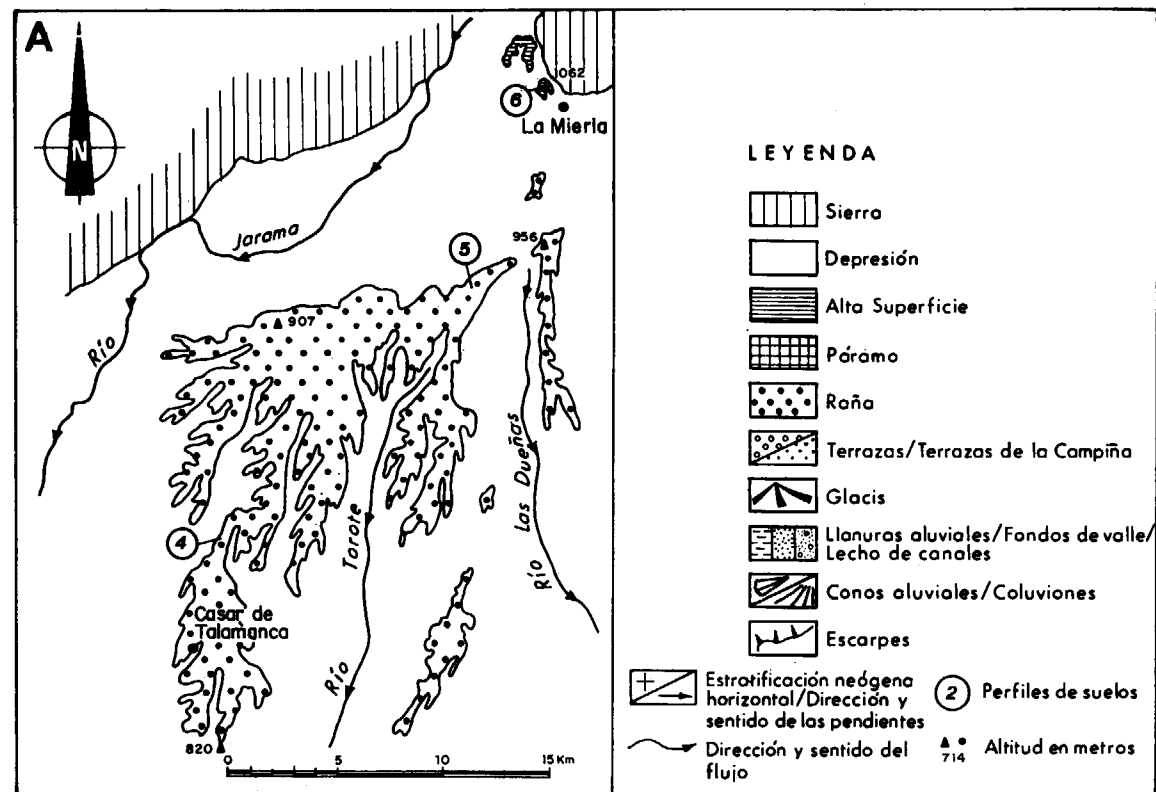
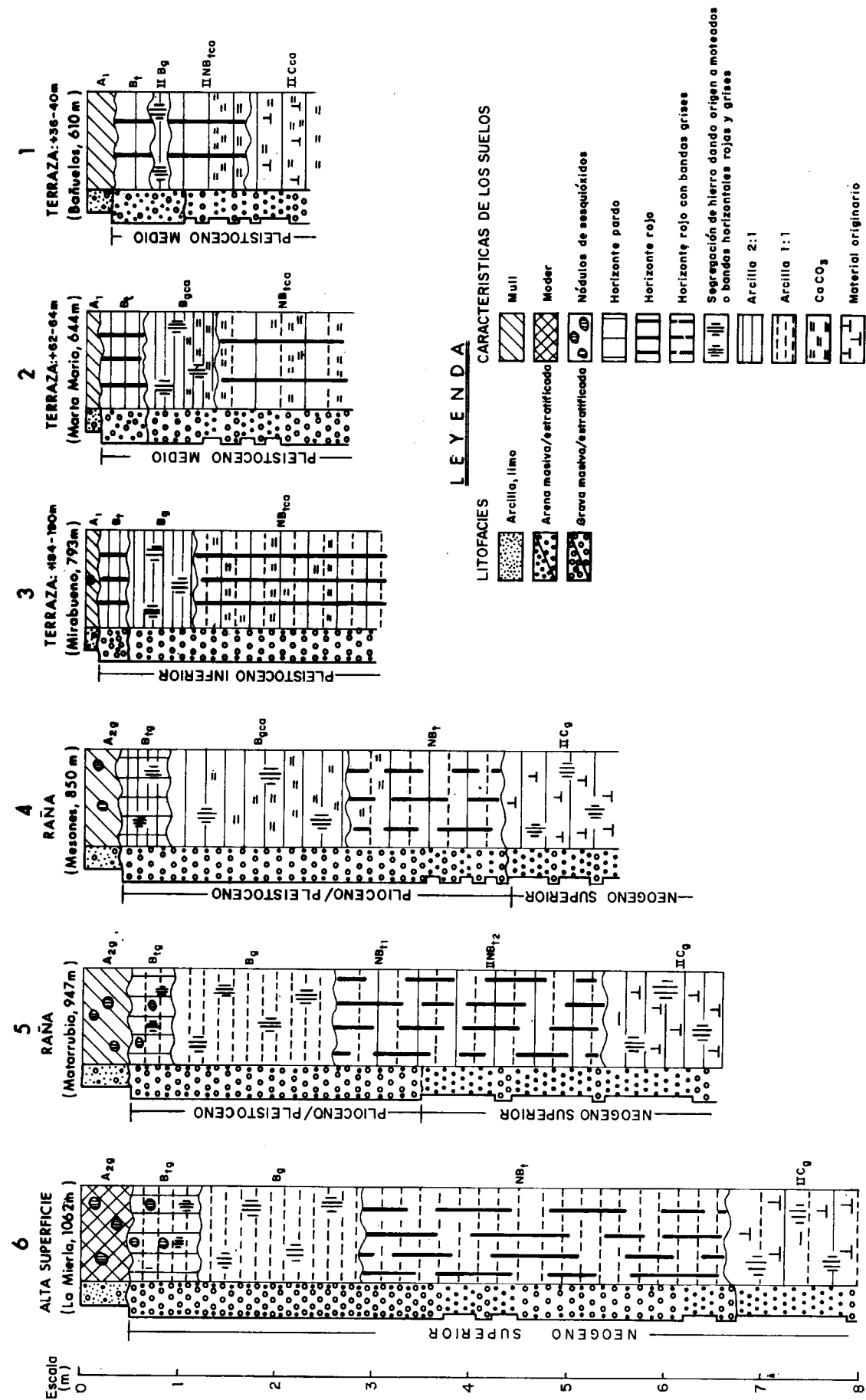


Figura 2.—Esquemas geomorfológicos y posición de los perfiles estudiados.



Figuras 3.—Representación de las características de los perfiles de la secuencia de suelos.

Debajo de los horizontes A todos los suelos poseen un horizonte de diagnóstico de tipo argílico (horizonte B), de espesor creciente a lo largo de la secuencia y constituido por tres subhorizontes: B_t o B_{tg} , $B_{g(ca)}$ y $NB_{t(ca)}$.

Subhorizonte B_t o B_{tg} : El primero (B_t), correspondiente a los perfiles 1, 2 y 3 (fig. 3), tiene color rojo (2,5 YR), salvo en el perfil 1 que es rojizo (5 YR), estructura poliédrica bien desarrollada y cutanes de arcilla, probablemente de presión; el segundo, (B_{tg}), propio de los perfiles 4, 5 y 6, presenta moteados de color pardo rojizo y gris, estructura también poliédrica bien desarrollada y cutanes de arcilla iluvial.

Subhorizonte $B_{g(ca)}$: La característica más destacable que presenta es la segregación del hierro, puesta de manifiesto por moteados o bandas alternantes fundamentalmente horizontales de colores rojo (2,5 YR 4/6 en el perfil 1 y 10 R 4/6 en los restantes) y gris (2,5 Y ó 5 Y, pero con tono, value, e intensidad, chroma, 6/2 en los perfiles 1, 2, 3 y 4 y 7/1 en los dos últimos). El contraste, nitidez y tamaño de las bandas adquiere su máxima expresión en los perfiles 5 y 6. Tiene cutanes de arcilla iluvial, pero se le ha caracterizado tan sólo como $B_{g(ca)}$ para diferenciarlo del superior y destacar sus propiedades hidromórficas.

Subhorizonte $NB_{t(ca)}$: Constituye la parte inferior de los horizontes B en toda la secuencia (fig. 3) y muestra siempre matices (hue) rojos, concretamente entre rojizo y rojo intenso (5 YR en el perfil 1, 2,5 YR en el perfil 2 y 10 R en los restantes, salvo en el perfil 4 donde hay un 10 por 100 de moteado negro y quizá por ello el matiz es tan sólo 2,5 YR). Posee además una serie de características secundarias en los distintos suelos:

— Acumulaciones calizas: Se presentan en los perfiles 1, 2 y 3. Tienen forma de nódulos en el perfil 1 y de impregnaciones en bandas horizontales de consistencia blanda junto con encostramientos calizos delgados y friables adheridos a la cara inferior de las gravas en los perfiles 2 y 3. Ocupan siempre menos del 50 por 100 en volumen y se observa cómo el carbonato invade la matriz roja del subhorizonte.

— Bandas de decoloración: Son características y están muy bien desarrolladas en los perfiles 5 y 6. Morfológicamente están relacionadas con grietas verticales rellenas de raíces a

medio descomponer. Tienen color gris blanquizco (2,5 Y 7/1) y ocupan el 15 por 100 de la superficie expuesta del subhorizonte. En definitiva, son prolongaciones hacia la base del «solum» de las áreas desferrificadas (2,5 Y-5 Y 7/1) del suprayacente subhorizonte B_g .

— Acumulaciones calizas y bandas de decoloración: En el perfil 4, este subhorizonte NB_t tiene carácter transicional, por un lado existen encostramientos calizos delgados y friables en la base de algunas gravas y, por otro, bandas verticales grises.

Los horizontes C están constituidos bien por depósitos pleistocenos de origen fluvial (perfil 1) o por detríticos del Neógeno Superior con rasgos hidromórficos (perfiles 4, 5 y 6); en los perfiles 2 y 3 no era visible la base del «solum». Los rasgos hidromórficos de los horizontes C, afectan a potencias superiores a 40 m. y no parece que tengan relación con la evolución de los suelos suprayacentes, sino más bien con las condiciones ambientales de la sedimentación neógena.

Por último, cabe destacar que el espesor del «solum», horizontes A+B, aumenta a lo largo de la secuencia (fig. 3), siendo sus valores extremos 1,7 y 6,7 m., perfiles 1 y 6 respectivamente.

DATOS ANALITICOS

La figura 4 muestra los datos analíticos de los suelos de la secuencia.

La curva que delinean los valores del porcentaje de arcilla en la parte superior de los horizontes B, esto es, en los subhorizontes $B_{t(g)}$, puede observarse en la figura 4a. El valor mínimo (41 por 100) se presenta en el perfil 1, el máximo (83 y 81 por 100) en los perfiles 3 y 4 y, finalmente, hay un mínimo relativo (61 por 100) en los perfiles 5 y 6.

El pH de los suelos decrece a lo largo de la secuencia desde el perfil 1 al 6, figuras 4b y 4c. El rango de variación se sitúa entre ligeramente alcalino (perfiles 1 y 2) y ligeramente ácido (perfiles 5 y 6).

El grado de saturación en bases (fig. 4d), que de forma general sigue la misma tendencia que el pH, pasa de ser 100 por 100 o saturación total

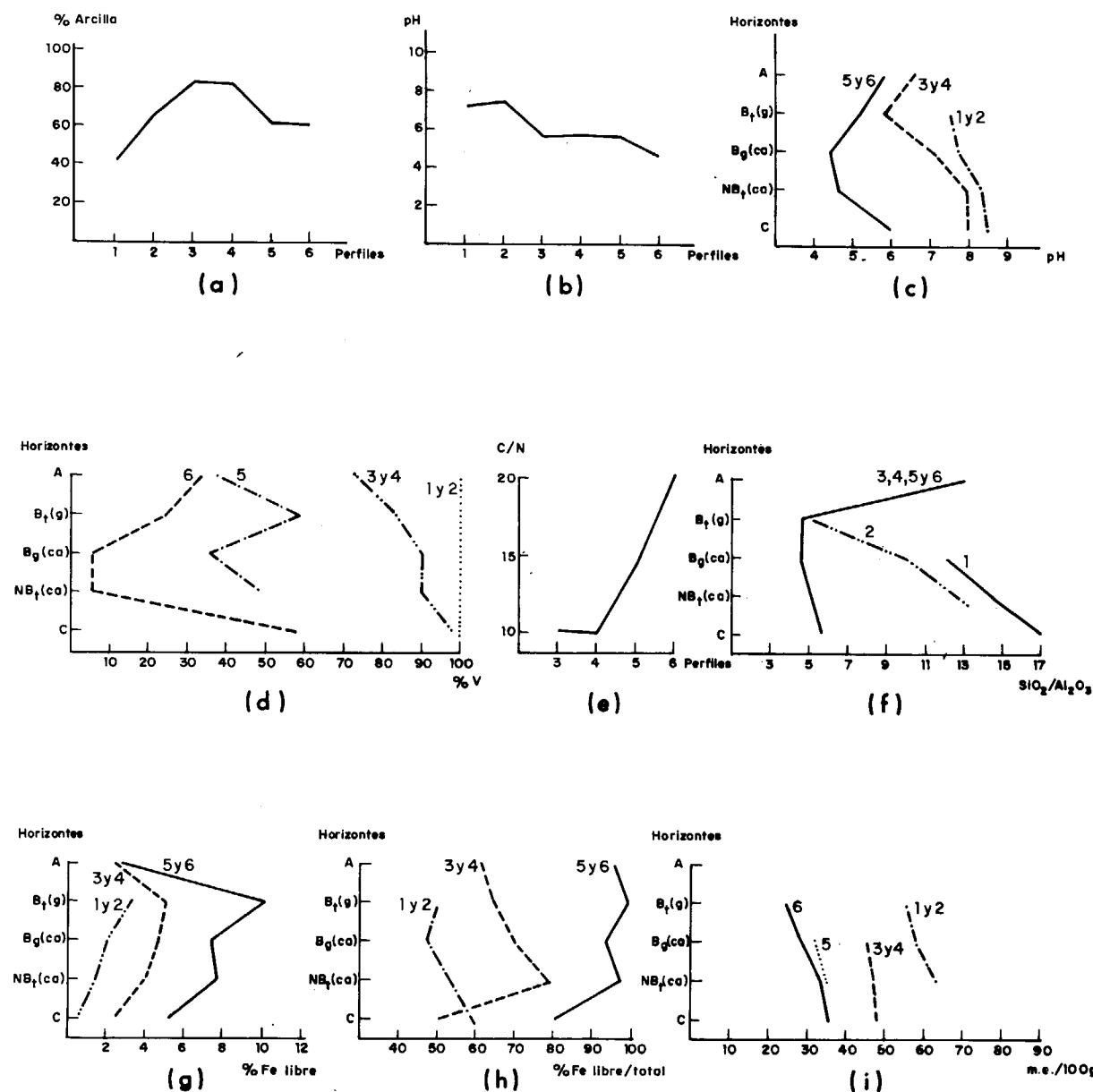


Figura 4.—Representación gráfica de los datos analíticos. 4a, contenido de arcilla en los horizontes $B_{t(g)}$. 4b, pH de los horizontes $B_{t(g)}$. 4c, pH de los suelos. 4d, grado de saturación en bases. 4e, relación C/N de los horizontes A. 4f, relación SiO_2/Al_2O_3 de la tierra fina. 4g, % de Fe libre en los suelos. 4h, relación Fe libre/total. 4i, capacidad de cambio catiónico de la arcilla. 1, 2, 3, 4, 5 y 6 perfiles de los suelos estudiados.

en los perfiles 1 y 2 a tan sólo 5 por 100 en algunos subhorizontes del B en el perfil 6.

El humus de los horizontes A (fig. 4e) es de tipo mull en los perfiles 3 y 4 (C/N=10, por ello, también se puede suponer que es mull en los perfiles 1 y 2), mull forestal en el perfil 5 (C/N=15) y moder en el perfil 6 (C/N=20).

La relación molar SiO_2/Al_2O_3 de la tierra fina, o fracción inferior a 2 mm. (fig. 4f), es alta en el perfil 1 y en torno a 5 en los restantes; pero, mientras dicha relación aumenta hacia la parte inferior del suelo en el perfil 2, se mantiene prácticamente constante en todos los subhorizontes del B, en los perfiles 3, 4, 5 y 6.

El valor máximo de hierro libre (fig. 4g) se presenta en los subhorizontes $B_{t(g)}$ de todos los suelos pero su proporción varía sustancialmente de unos a otros: 3 por 100 en los perfiles 1 y 2, 5 por 100 en los perfiles 3 y 4 y 10 por 100 en los perfiles 5 y 6.

La relación hierro libre/hierro total (fig. 4h) es 50 por 100, 60-70 por 100 y 90-100 por 100 en los mismos grupos de suelos anteriores, es decir, en los perfiles 1-2, 3-4 y 5-6, respectivamente.

La capacidad de intercambio catiónico de la arcilla (C.I.C., fig. 4i), obtenida de la CIC de la tierra fina en los horizontes que prácticamente carecen de materia orgánica, es 55-65 m.e./100 g. en los perfiles 1 y 2, 45-50 m.e./100 g. en los perfiles 3 y 4 y 25-35 m.e./100 g. en los perfiles 5 y 6. En este caso, al contrario que en los anteriores referentes al hierro libre y relación hierro libre/hierro total, el valor máximo lo tienen los perfiles 1 y 2 y el mínimo los perfiles 5 y 6.

En la figura 3 se ha representado esquemáticamente, mediante líneas horizontales, el tipo predominante de arcillas (las líneas continuas representan las arcillas 2:1 y las discontinuas las 1:1), y en cierta medida la cantidad, ya que cuanto menor es la separación entre líneas mayor es la proporción de arcilla. Las arcillas 2:1 (ilitas y esmectitas) son mayoritarias en los perfiles 1, 2, 3 y 4 (siendo las esmectitas las más abundantes en los dos primeros y existiendo un equilibrio entre ambas en los dos últimos) y las 1:1 (caolinitas) en los perfiles 5 y 6.

MICROMORFOLOGIA

El análisis de las láminas delgadas de los suelos de la secuencia mediante el microscopio petrográfico, ha permitido precisar las características de algunos rasgos previamente estudiados macromorfológicamente y descubrir otros nuevos, todos ellos de interés para la interpretación genética de los suelos.

En los horizontes A y $B_{t(g)}$ de los perfiles 3, 4, 5 y 6 hay nódulos sesquioxídicos cuyos colores y diámetros varían, desde el perfil 3 al 6, de pardo rojizo a negro y de 0,5 a 3 mm. Otras características de estos nódulos son el contraste neto con la masa basal y los bordes difusos, aunque hay también algunos con bordes definidos.

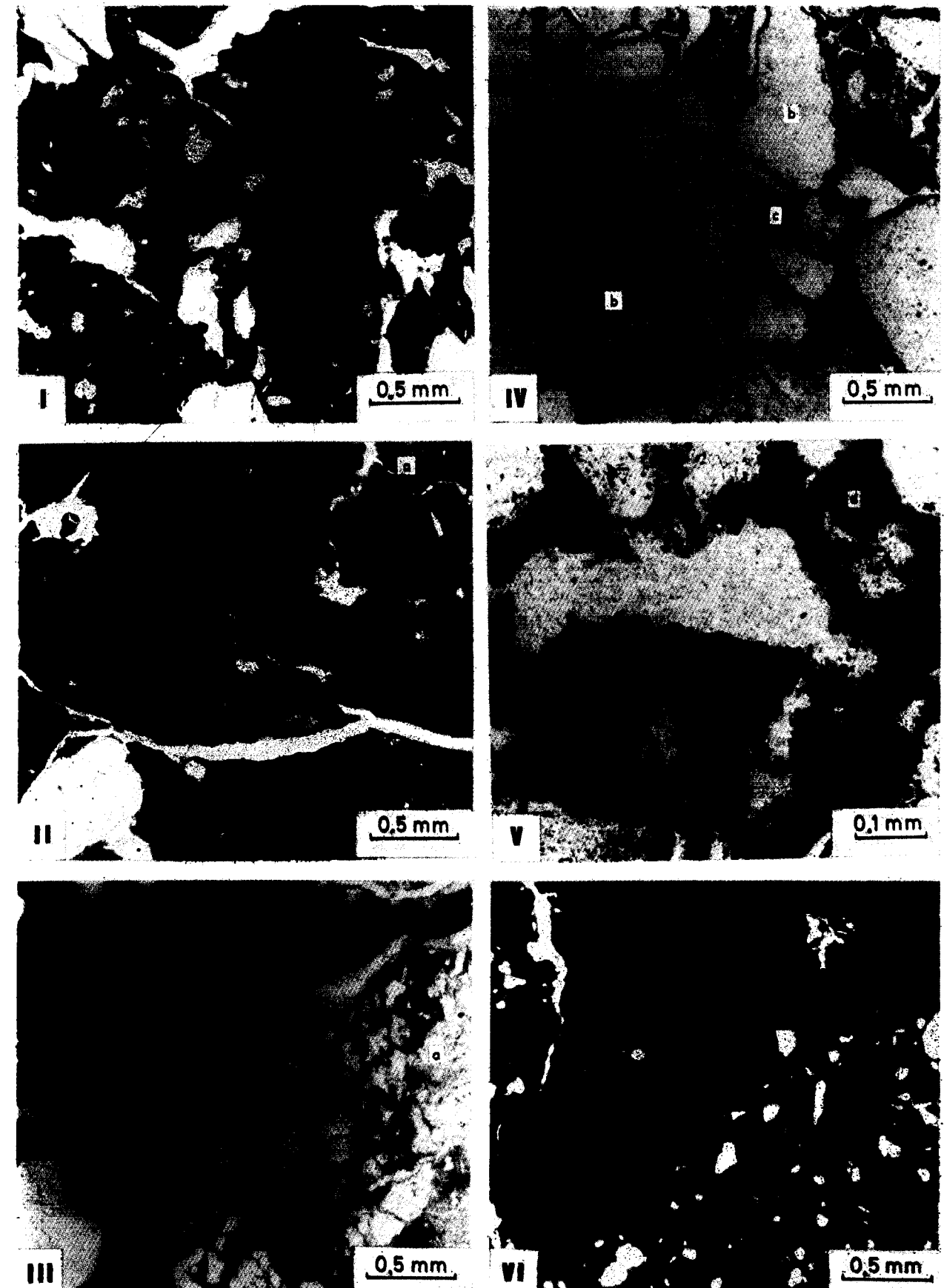
Las características fundamentales de los subhorizontes $B_{g(ca)}$ son: contextura básica porfiroesquelética (lámina 1-I, II y III) y zonas de empobrecimiento (lámina 1-IIa y IIIa) y enriquecimiento en sesquioxidos que aumentan en frecuencia e intensidad desde el perfil 1 al 6. Además es de destacar que en el perfil 1 no existen cutanes (revestimientos, BULLOCK et al., 1985) de arcilla iluvial, en el perfil 2 hay pocos, delgados y tan sólo en las grietas de fractura de las gravas y, por el contrario, en los perfiles 3, 4, 5 y 6 son muy abundantes, pudiendo distinguirse ferriargilanes, argilanes y pápulas (lámina 1-VI), todos con estructura laminada.

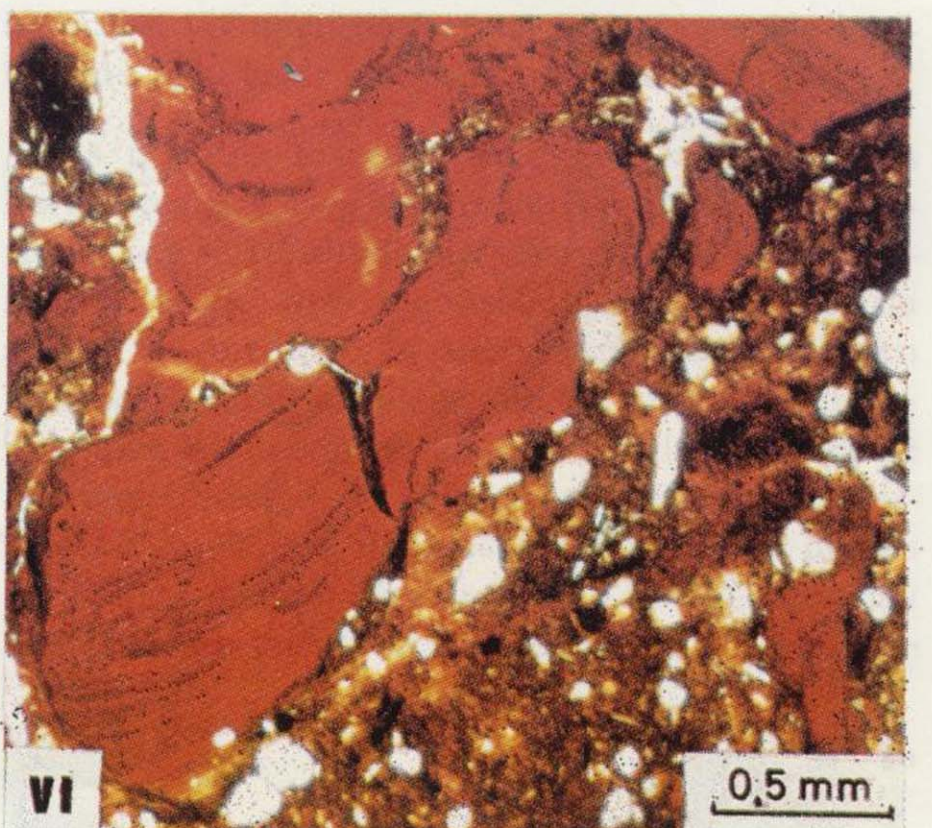
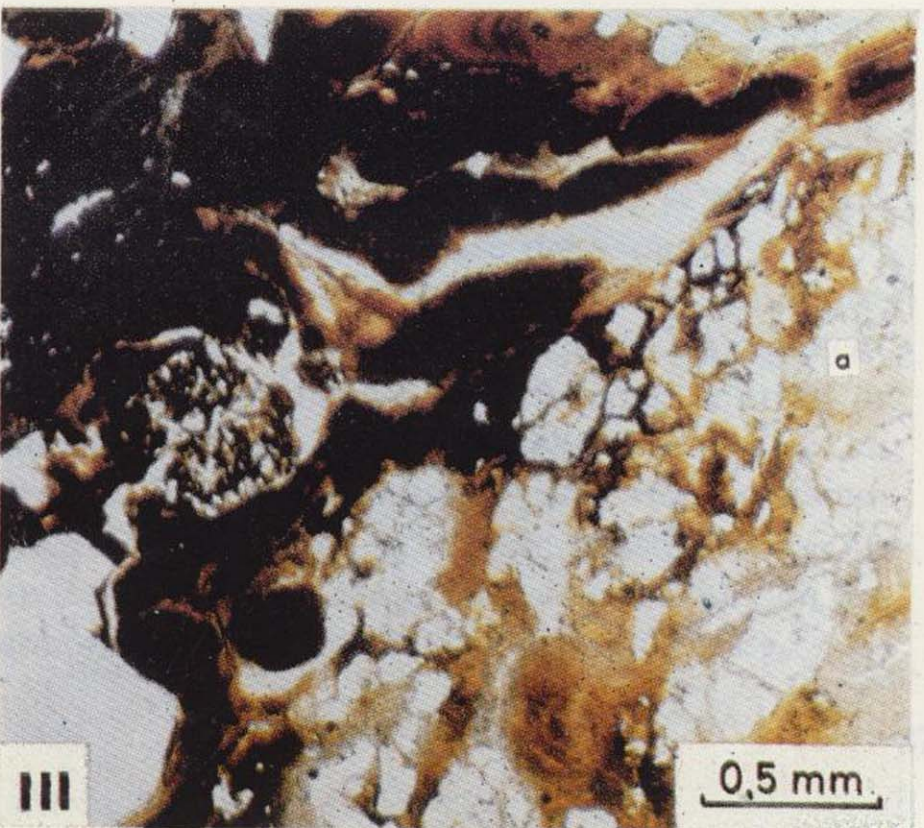
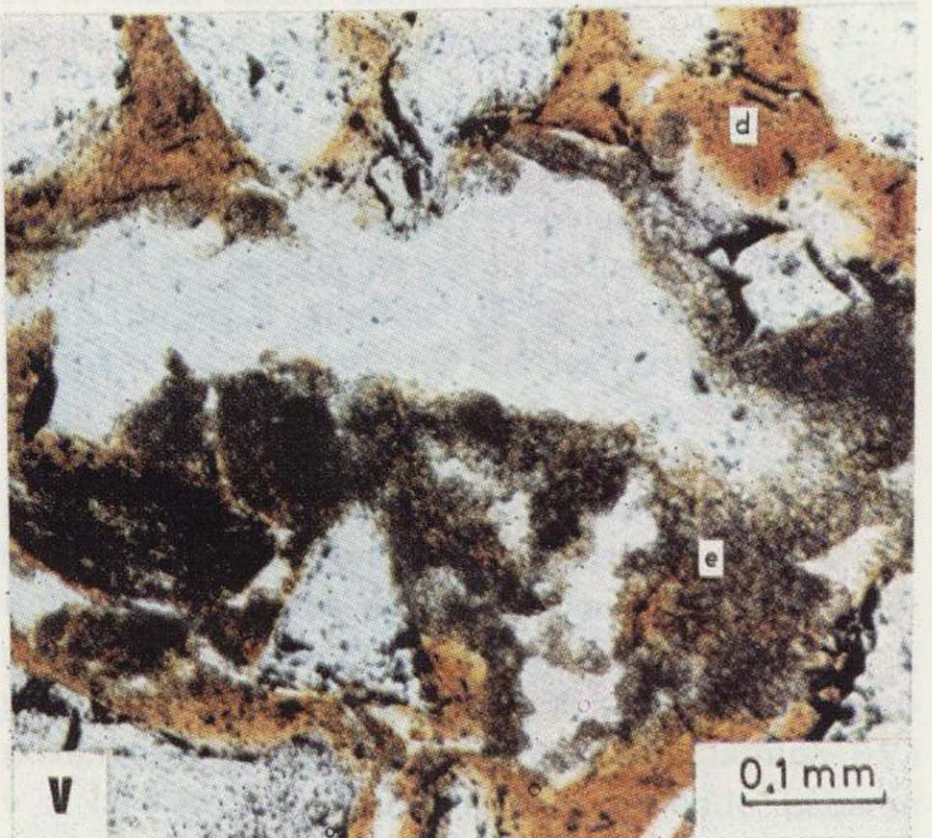
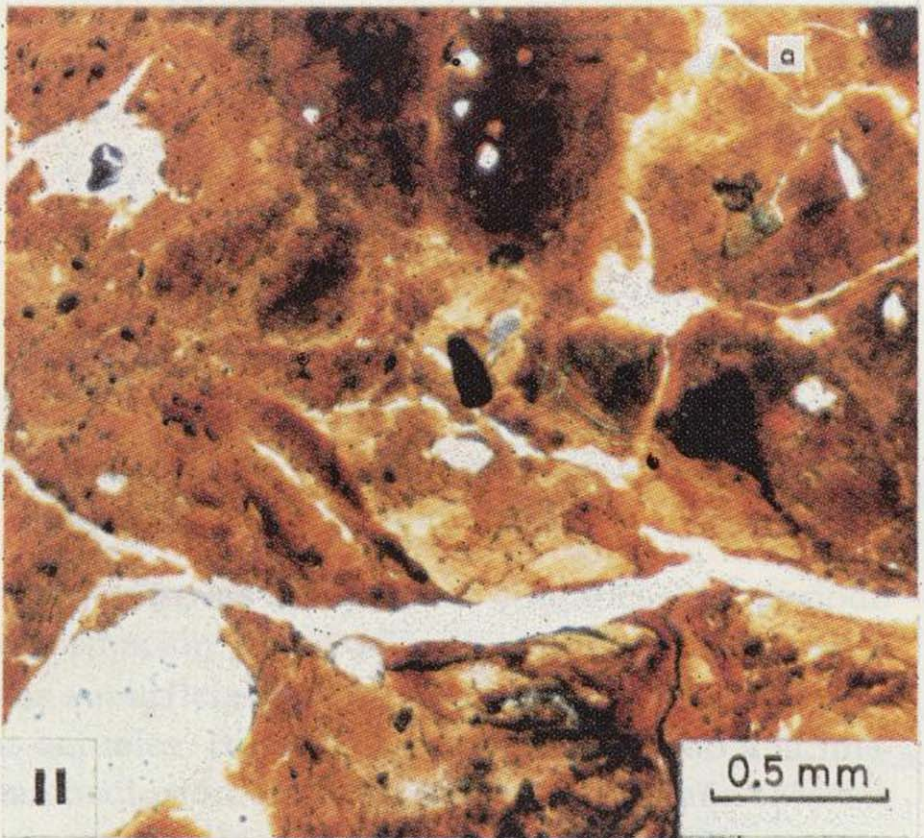
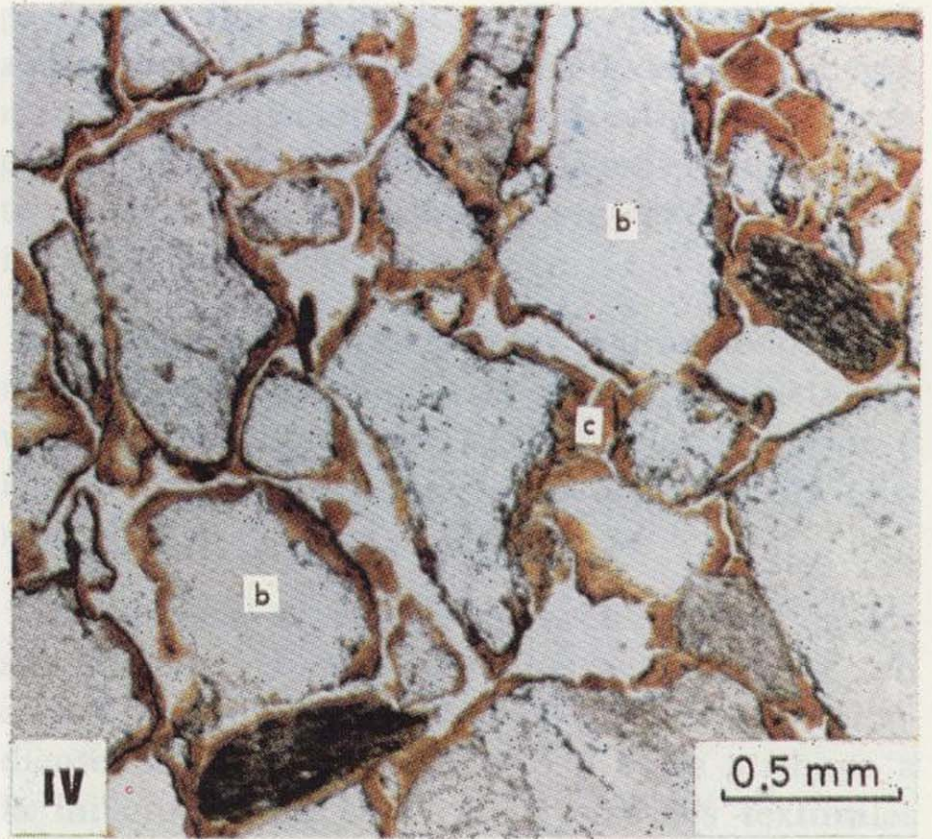
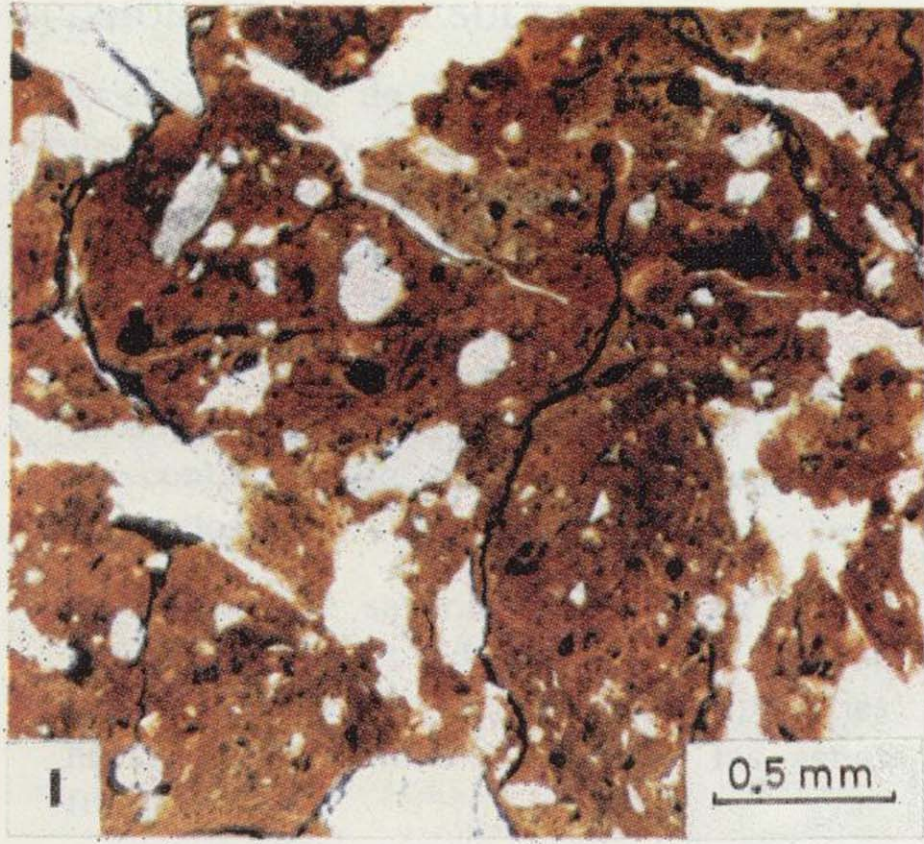
Los subhorizontes NBt tienen estructura básica granular (BREWER, 1976; lámina 1-IV), salvo el del perfil 5 que se ha desarrollado sobre arcosas, y las diferencias que entre ellos presentan en los distintos perfiles se deben a los cutanes de arcilla: en los perfiles 1 y 2 son ferriargilanes microlaminados, en los perfiles 3 y 4 ferriargilanes laminados de colores rojo y amarillo rojizo y en los perfiles 5 y 6 ferriargilanes y argilanes laminados. Además, en los perfiles 4 y 6 se observan también secuanes.

Los cuatro primeros perfiles de la secuencia contienen carbonato, tanto micrítico como esparítico. Este carbonato se encuentra fundamentalmente ligado a la estructura actual del suelo: huecos y caras de agregados, pero es frecuente observar cómo penetra hacia el interior de los agregados epigenizando el plasma. En ocasiones, se presentan cutanes compuestos (ferriargilán-calcán, lámina 1-V d, e) en poros y grietas del suelo.

Lámina 1.—Microfotografías de los suelos de la secuencia investigada.

- I, II y III: Contextura básica porfiroesquelética de los horizontes B_g de los perfiles 1, 3 y 6, respectivamente. *a*, en II y III, son zonas empobrecidas en sesquioxidos.
 IV: Contextura básica granular. Horizonte II $NB_{t(ca)}$ del perfil 1. *b*, granos minerales. *c*, ferriargilán.
 V: Cután compuesto: ferriargilán-calcán. Horizontes II $NB_{t(ca)}$ del perfil 1. *d*, ferriargilán; *e*, calcán.
 VI: Ferriargilanes y pápulas de arcilla iluvial laminados. Son típicos en los horizontes $B_{g(ca)}$ de los perfiles 3, 4, 5 y 6, aunque en este caso el ejemplo corresponde al horizonte NB_t del perfil 5.





DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Todo el conjunto de datos de los suelos más antiguos (perfiles 5 y 6) tienden a señalar que las condiciones ambientales bajo las que se formaron corresponden a las de los suelos ricos en sesquióxidos de tipo ferruginoso (DUCHAUFOR, 1977):

- Frente de edafización (base del «solum») situado entre 6 y 8 m. de profundidad (fig. 3), sin contar con la evidente decapitación de los suelos.
- Bajo grado de saturación, indicador de un fuerte lavado (fig. 4d), a pesar de haberse tomado los perfiles en bordes de superficies hacia donde tienden a dirigirse las aguas freáticas.
- Relación hierro libre/total entre 90 y 100 por 100 (fig. 4h) que indica una intensa alteración.
- C.I.C. de la arcilla entre 25 y 35 m.e./100 g. (figura 4i), valor próximo al exigido para los suelos ferruginosos (DUCHAUFOR, 1977). ESPEJO (1985) obtuvo valores entre 20 y 25 en un suelo próximo a los perfiles 5 y 6.
- Predominio de los minerales caoliníticos (figura 3) en la fracción arcillosa.

Por tanto, las condiciones climáticas del período de formación de estos suelos situados sobre antiguas superficies fueron más cálidas y húmedas que las actuales. Diversos autores han llegado a la misma conclusión en otros puntos de España (MACÍAS y GUITIÁN, 1976; SILVA, 1983; ESPEJO, 1978).

La contextura básica porfirioesquelética de los subhorizontes $B_{t(g)}$ y $B_{g(ca)}$ (lámina 1-I, II y III) en contraste con la granular de los $NB_{t(ca)}$ y la progresiva menor profundidad a la que se encuentra el frente de edafización, base del «solum» (fig. 3), pueden interpretarse como el resultado de un proceso de aridificación climática desde las condiciones cálidas y húmedas ya señaladas a otras de tipo mediterráneo. El progresivo descenso de las precipitaciones determinaba cada vez un menor recorrido vertical de la arcilla, en su proceso de eluviación, y, por tanto, su acumulación en los subhorizontes superficiales del B, $B_{t(g)}$ y $B_{g(ca)}$. La

preferente iluviación de arcilla en esos subhorizontes provocó una disminución del espacio poroso y la formación de capas freáticas de origen pluvial que impusieron condiciones reductoras temporales y la consecuente segregación del hierro (lámina 1-II y III).

Los ferranes que rellenan las fisuras de los fragmentos arcillosos (pápulas) demuestran que la movilización y acumulación del hierro es posterior a las más importantes fases de la argiluvación (ESPEJO, 1978).

La ausencia de cutanes de arcilla iluvial en los subhorizontes B_t y $B_{g(ca)}$ de los perfiles 1 y 2 (en contraste con los que existen en los correspondientes de los perfiles 3, 4, 5 y 6) se atribuye a la integración de esos rasgos edáficos texturales en la masa basal, debido al elevado contenido en arcillas expansivas (esmeclitas).

El CO_3Ca que da origen a los horizontes cálcicos y petrocálcicos, tan frecuentes en las terrazas del valle del Henares, y a las ligeras acumulaciones en los suelos de la secuencia, debe provenir, en gran medida, de la disolución de los cantos calizos presentes en las gravas fluviales hasta la terraza +108 m. (PÉREZ-GONZÁLEZ et al., 1974) y, también, aunque en muchísima menor proporción, de la alteración mineral, puesto que existen acumulaciones calizas en las terrazas situadas por encima de la +108 m., e incluso en el nivel de la Raña de Casar de Talamanca (fig. 3, perfil 4, Mesones). La calcificación es un proceso posterior a la iluviación de la arcilla (lámina 1-V) y a la segregación del hierro, debiendo haberse iniciado cuando en el proceso de aridificación climática el volumen de las precipitaciones fue insuficiente para lavar el CO_3Ca fuera de los suelos.

Los nódulos sesquioxídicos que existen en los horizontes A y $B_{t(g)}$ de los perfiles 3, 4, 5 y 6, parecen ser el resultado de un proceso de pseudogleización de tipo planosólico, inducido por la acidez del medio y la acumulación de aguas en la superficie del suelo, fenómeno que debió incrementarse como consecuencia de la disminución de la transpiración y de la permeabilidad tras la deforestación. Estos nódulos son diferentes de las «gravillas» estudiadas por ESPEJO (1978), pero hay que tener en cuenta la diferencia entre ambas re-

giones: ésta lleva mucho tiempo dedicada a la agricultura, mientras que la Raña de las Villuercas debe haber sido desforestada recientemente, puesto que aún se conservan los horizontes orgánicos.

CONCLUSIONES

La génesis de los suelos más antiguos de la secuencia establecida en este trabajo (tabla 1), señala para el Villafranquiense Inferior (?) y Medio, un clima más cálido y húmedo que el actual. Los procesos evolutivos de los suelos más modernos indican una progresiva aridificación del medio dentro, sin embargo, de un clima mediterráneo, sin que se pueda precisar por el momento el efecto de las fluctuaciones climáticas cuaternarias.

La secuencia de procesos edáficos que han operado en la región es la siguiente:

Argiluviación → Segregación de sesquióxidos →
→ Calcificación → Planosolización.

Argiluviación: Implica alteración, acidificación y eluviación de arcilla. Conjunto de procesos que

fueron siendo cada vez menos intensos desde el Plioceno Superior. Debido a ello, las diversas fases de iluviación de arcilla se sumaban parcialmente a las anteriores, dando origen a los ferriargilanes laminados y a las contexturas básicas porfiroesqueléticas de los subhorizontes superficiales y medios, $B_{t(g)}$ y $B_{g(ca)}$, de los horizontes B.

Segregación de los sesquióxidos: La disminución de la porosidad por colmatación con arcilla iluvial, principalmente en el subhorizonte medio, $B_{g(ca)}$, del horizonte B, favoreció el estancamiento de las aguas y el establecimiento de condiciones reductoras que, seguramente temporales como consecuencia de la actividad vegetativa, provocaron la segregación de los sesquióxidos.

Calcificación: El carbonato cálcico resultante de la disolución de los elementos calizos y de la alteración mineral, comenzó a acumularse mayormente en los horizontes menos permeables, cuando en el proceso de aridificación climática la precipitación fue insuficiente para lavarlos fuera de los suelos. La ausencia de acumulaciones calizas en los perfiles más antiguos, perfiles 5 y 6, quizás se deba a que en el momento de iniciarse la calcificación estos suelos estaban muy meteorizados y

TABLA 1
Cronocorrelaciones entre las distintas superficies y las subclases de suelos, según la clasificación de DUCHAUFOR (1977)

Perfiles	Superficies	Edad relativa de las superficies	Subclases de suelos	Tendencia climática (cálido y húmedo)
1	Terraza: +36—40 m. (Bañuelos)	Pleistoceno Medio	Suelo rojo fersialítico	
2	Terraza: +62—64 m. (Marta María)			
3	Terraza: +184—190 m. (Mirabueno)	Villafranquiense Superior-Medio (?)	Suelo rojo fersialítico	
4	Raña de Mesones	Villafranquiense Medio		
5	Raña de Matarrubia	Villafranquiense Medio	Suelo fersialítico ácido	
6	Alta superficie de la Mierla	Villafranquiense Inferior (?)	Suelo ferruginoso	

contenían pocos minerales alterables. Aunque también hay que tener en cuenta que el drenaje climático en esa zona, región de La Mierla, es del orden de 250 mm., por tanto, dentro del rango en que teóricamente y en suelos con buen drenaje, el CO_2Ca es eliminado de los suelos. La calcificación es la responsable de los horizontes cálcicos y petrocálcicos tan abundantes en el valle del Henares y, por tanto, parece lógico suponer que invadió e hizo desaparecer en la mayor parte del territorio los subhorizontes más profundos de los B, B_g y NB_t , generados por los procesos más antiguos.

Planosolización: Aunque este tema requiere una investigación más detallada, quizás quepa apuntar que la incipiente pseudogleyización de tipo planosólico que se observa en la zona superficial de los suelos más antiguos (perfiles 3, 4, 5 y 6) y por tanto más ácidos, se deba a que se acentuara la formación de capas freáticas colgadas temporales (proceso activo en nuestros días), como consecuencia de la disminución de la transpiración y de la permeabilidad tras la desforestación.

Finalmente, la serie de tipos de suelos (tabla 1) que caracteriza la secuencia desde las superficies villafranquienses del Alto Jarama hasta las terrazas medias del Henares es: suelo ferruginoso (palexerult), ESPEJO, 1985, suelo fersialítico ácido (palexeralf-rhodoxeralf) y suelo rojo fersialítico (rhodoxeralf-haploxeralf).

BIBLIOGRAFIA

BREWER, R.: *Fabric and mineral analysis of soils*. Robert E. Krieger Publishing Company, New York, 482 pp. (1976).

BULLOCK, P., et al.: *Handbook for soil thin section description*. Waine Research Publications, 150 pp. (1985).

DUCHAUFOR, PH.: *Pédologie. 1. Pédogenèse et classification*. Masson, París, 477 pp. (1977).

ESPEJO, R.: *Estudio del perfil edáfico y caracterización de las superficies tipo raña del sector Cañamero-Horcajo de los Montes*. Tesis. E. T. S. I. A., Madrid, 469 pp. (1978).

ESPEJO, R.: *The ages and soils of two levels of Raña surfaces in Central Spain*. Geoderma, 35, pp. 223-239 (1985).

HERAIL, G.: *Géomorphologie et géologie de l'or detritique. Piémonts et bassins intramontagneux du Nord-Ouest de l'Espagne*. CNRS, París, 456 pp. (1984).

IGME: *Mapa Geológico de España a Escala 1:50.000, 2ª serie*, Hojas núms. 535 (Algete), 510 (Marchamalo) y 485 (Valdepeñas de la Sierra). Ministerio de Industria (en prensa).

MACÍAS, F., y GUTIÁN, F.: *Suelos de la zona húmeda española. VIII. Suelos de fragipan*. An. Edaf. Agrobiol., 35, pp. 863-876 (1976).

MEDINA, A.: *Evolución de los suelos en el Valle del Henares*. Tesis Univ. Complutense de Madrid. Facultad de Farmacia, 277 pp. (1977).

PÉREZ-GONZÁLEZ, A., et al.: *Valle Alto del Jarama y Valle del Henares-Jarama*. Trabajos sobre Neógeno-Cuaternario, 2, pp. 215-230 (1974).

PÉREZ-GONZÁLEZ, A.: *Neógeno y Cuaternario de la Llanura Manchega y sus relaciones con la Cuenca del Tajo*. Edít. Univ. Complutense de Madrid, 787 pp. (1982).

SILVA, B.: *Estudio de las transformaciones químicas, mineralógicas y estructurales en la formación de los horizontes B en suelos de Galicia*. Tesis Doctoral, Univ. de Santiago de Compostela, 63 pp. (1983).

TORRENT, J.: *Soil development in a sequence of river terraces in Northern Spain*. Catena, 3, pp. 137-151 (1976).

VAUDOUR, J.: *La région de Madrid: altérations, sols et paléosols*. Editions Ophrys, Aix-en-Provence, 390 pp. (1979).

Recibido: Octubre 1986.

GEOLOGIA

Precisiones sobre los límites de la secuencia deposicional de Jaca. Evolución de las facies desde la base de la secuencia hasta el techo de la Arenisca de Sabiñánigo

Por E. REMACHA, P. ARBUÉS y M. CARRERAS (*)

RESUMEN

El objetivo principal de esta nota es ofrecer una síntesis de los datos por los que (1) se establece la secuencia deposicional (en el sentido de VAIL et al., 1977) de Jaca y (2) se analizan las facies de su mitad inferior, entre los valles del Basa y Campo de Jaca hasta el río Estarrún (fig. 2). Sus materiales, depositados durante el Eoceno Medio alto (Luteciense) y Eoceno Superior (Bartoniense), forman parte del relleno del «foreland basin» surpirenaico central y con ellos se cierra la sedimentación turbidítica del grupo de Hecho. En su interior se han individualizado tres grandes unidades litoestratigráficas que en vertical y de base a techo están constituidas por (a) El sistema turbidítico de Jaca; (b) la plataforma «storm dominated» de la Arenisca de Sabiñánigo, y (c) el complejo deltaico de las Margas de Pamplona - plataforma de Sta. Orosia-Atarés.

(a) El sistema turbidítico de Jaca está formado por tres sistemas de rango menor, transicionales entre sí y evolutivamente ligados: el inferior (a.1), estudiado por ESTRADA (1982), que hemos atribuido al tipo I («sensu» MUTTI, 1985), seguido verticalmente por otro (a.2), canalizado y con tránsito lateral a facies asociadas («channel-levee»), de tipo II y, culminando el sistema, se instalan (a.3) las Margas de Larrés, sedimentos de talud que atribuimos al tipo III y que son transicionales con el sistema (a.2). Estos sedimentos están formados por materiales predominantemente margosos y eslumpizados con abundantes intercalaciones de turbiditas, por lo general «channel-levee» de dimensiones mucho más modestas que las del sistema a.2.

En tránsito vertical y lateral con las facies de talud se dispone (b) la plataforma «storm dominated» de la Arenisca de Sabiñánigo, en la que pueden distinguirse dos grupos de facies: (b.1) relativamente proximal (afloramientos del sinclinal de Sta. Orosia al E del río Gállego, en continuidad física con los del flanco S del anticlinal del Basa hasta Orús), caracterizado por la sucesión de ciclos de facies que constan de tres términos. De base a techo: (b.2) limolitas y areniscas margosas homogeneizadas por bioturbación, de «offshore» externo; (b.1.a) «storm sand layers» de «offshore» y, culminando el ciclo (b.1.b), cuerpos areniscosos con base erosiva y «hummocky cross stratification», generalmente amalgamados, de «offshore transition». Estos ciclos de facies evolucionan lateralmente y hacia el W dando facies (b.2) de «offshore» externo que se extienden a través del resto de la cuenca, en el área estudiada.

Culminando la sucesión de la secuencia de Jaca se instala la unidad (c), denominada complejo deltaico de las Margas de Pamplona - plataforma de Sta. Orosia-Atarés. Sus facies no se analizarán aquí, ya que creemos que la interpretación general ofrecida por PUIGDEFÁBREGAS (1975) continúa siendo válida en sus aspectos fundamentales.

Las unidades a, b y c constituyen la secuencia deposicional de Jaca. Sus límites (fig. 2) se encuentran, el inferior bajo las facies de lóbulo deposicional que forman la base del sistema turbidítico (a.1) y que se establecen sobre las facies de franja de abanico y de «basin plain» de la secuencia deposicional de Banastón (en el sentido de MUTTI et al., 1985, a y b). Estas facies de lóbulo se pierden por «onlap» al E del río Aragón y sobre ellas se instala la mergaturbidita MT-9 de LABAUME (1983). El límite superior de la secuencia se ha colocado en una posición más alta que la supuesta con anterioridad al presente trabajo, concretamente en la discordancia angular (fig. 5), que se encuentra a techo del sistema aluvial de Sta. Orosia y bajo el complejo continental de Canciás (Sannoisiense).

ABSTRACT

The main goal of this paper is to offer a short summary about the data in base of which (1) the Jaca depositional sequence is established (sense of VAIL et al., 1977) and (2) the facies of its lower half part between

Basa and Campo de Jaca valleys up to Estarrún river are analyzed. These materials, deposited during upper middle Eocene (Lutetian) and upper Eocene (Bartonian), are included in the central southpyrenean foreland basin fill. The turbiditic sedimentation of the Hecho Group finishes with them. Three main lithostratigraphical units have been distinguished. They are constituted from base to top by the following: (a) Jaca turbiditic system; (b) storm dominated Sabiñánigo sandstone shelf and (c) Pamplona marls - St. Orosia - Atares shelf deltaic complex.

(a) The Jaca turbiditic system is constituted by three smaller range systems, transitional between them and linked in their evolution. The lower one (a.1), studied by ESTRADA (1982), that we attribute to type I depositional system (sense of MUTTI, 1985) is vertically followed by (a.2) channel complex, associated to levee facies, type II (a.3) which has been placed culminating the system, is named the Larres slope marls, that we attribute to type III, and is transitional to the just depicted system. It is mainly formed by slumped marls with relative plentiness of turbidites, generally channel - levee with dimensions rather smaller than the preceding ones of type II.

These latter slope facies are transitional to (b) the Sabiñánigo sandstone storm dominated shelf, where there can be distinguished two facies groups one of them (b.1) relatively proximal (the outcrops of which are to be found in the E of Gallego river, in St. Orosia syncline, and in physical continuity with the southern limb of Basa anticline in the E of the inmediacies of Orus) and is characterized by the succession of cycles of facies composed by three terms. From base to top: (b.2) outter offshore sandy and marly siltstones biogenically homogeneized, (b.1.a) offshore transition generally amalgamated sandy bodies with basal erosional surfaces and hummocky cross stratification. These cycles of facies evolve laterally from Orus towards the west into outter offshore facies that extend trough the rest of the basin.

Culminating the Jaca succession it is set up the (c) unit named Pamplona marls - St. Orosia - Atares shelfal deltaic complex. Their facies are not to be analyzed in this paper since we basically agree with the general interpretation given by PUIGDEFÁBREGAS (1975).

The three units (a, b, c) constitute the Jaca depositional sequence. Its lower boundary (fig. 1) is placed underneath the depositional lobe facies that form the turbidite system base (a.1). These facies settle over the fan fringe and basin plain facies of the Banastón depositional sequence (sense of MUTTI et al., 1985 a and b). The lobe facies onlap eastwards Aragon river disappearing there. MT-9 megaturbidite (LABAUME, 1983) settles over them. The upper depositional sequence boundary (fig. 5) is placed in a higher position than it was previously thought, in the angular unconformity (fig. 5) found at the top of the St. Orosia alluvial system and underneath the Canciás continental complex.

INTRODUCCION

Recientemente, la cuenca terciaria surpirenaica central se ha sometido a una reestructuración de carácter estratigráfico que afecta a los esquemas de correlación entre las turbiditas del Grupo de Hecho, a ambos lados del anticlinal de Boltaña, y sus plataformas asociadas de la cuenca de Tremp-Graus (véanse MUTTI et al., 1985 a y b, y REMACHA et al., 1986 b). Se han establecido unas sucesiones de secuencias deposicionales (fig. 1) por aplicación sobre el terreno de los conceptos sismoestratigráficos desarrollados por VAIL y colegas del grupo EXXON a partir del año 1977. De estas secuencias tan solo las cinco últimas tienen expresión turbidítica al W del anticlinal mencionado. Por lo que respecta a las plataformas deltaicas asociadas, en el sector occidental únicamente se encuentran las de la secuencia superior, objeto de estudio en el presente trabajo, con la que se cierra la sedimentación turbidítica del Grupo de Hecho.

Por las características que se discutirán posteriormente, en la cuenca de Jaca-Pamplona puede definirse una unidad, la secuencia de Jaca. Si

bien nombrada sucintamente en trabajos precedentes de MUTTI et al. (1985, ops. cit.) y correlacionada a grandes rasgos y tentativamente con la denominada secuencia de Ainsa, no había sido establecida con precisión respecto a sus límites (el inferior de la de Jaca y en especial el superior en las áreas de Ainsa y Jaca). Teniendo en cuenta también que en un trabajo anterior (1986 a) de los autores firmantes del presente se había errado la posición del límite superior, pues debe colocarse más alto que lo supuesto precedentemente, hemos visto la necesidad de ofrecer un breve resumen de los datos por los que se establecen los límites de la secuencia deposicional de Jaca (S.E.-9) y, asimismo, sintetizar aquellas conclusiones obtenidas del análisis de la mitad inferior de la secuencia. Esto es: desde su base hasta el techo de la Arenisca de Sabiñánigo, en el área comprendida entre los valles del Basa y Campo de Jaca hasta el río Estarrún (fig. 2).

Los materiales que constituyen la unidad en cuestión forman parte del relleno del «foreland basin» surpirenaico central y se han depositado durante el Eoceno Medio alto (Luteciense) y Eoceno Superior (Bartoniense).

(*) Universidad Autónoma de Barcelona.

MUTTI et al., 1985	REMACHA et al., 1986	Sistemas turbidíticos base de secuencia	Plataformas techo de secuencia
—	JACA S.E.-9	Complejo Ainsa, Sta. Olaria sup., Jaca	Escanilla, Sta. Orosia - Atarés
AINSA			
BANASTON	BANASTON S.E.-8	Banastón - Lacort	Grustán
Sta. LIESTRA	Sta. LIESTRA S.E.-7	Charo 2 - Gerbe - Cotefablo	Sta. Liestra
CHARO			
CASTISENT	CASTISENT-2 S.E.-6	Charo 1 - Arro - Broto	Castisent sup.
	CASTISENT-1 S.E.-5	Fosado - Torla	Castisent inf.
MONTAÑANA	MONTAÑANA S.E.-4		Montañana
FIGOLS	LA REGOLA S.E.-3	San Elías	La Régola
	LA BARONIA S.E.-2		La Baronia
AGER	AGER S.E.-1		Ager calc.

Figura 1.—Denominación de las secuencias deposicionales establecidas en la cuenca del Eoceno surpirenaico central por MUTTI et al., 1985 y REMACHA et al., 1986. Correspondencias entre los límites establecidos en estos trabajos y resumen de la relación entre los sistemas turbidíticos y plataformas que se asocian a cada secuencia. La secuencia S. E. - 9, JACA, por los motivos que se indican en el texto, se ha modificado parcialmente respecto al trabajo de REMACHA et al., op. cit.

LOS LIMITES DE LA SECUENCIA DEPOSICIONAL DE JACA

La secuencia objeto de estudio se establece sobre los materiales turbidíticos pertenecientes a la secuencia de Banastón («sensu» MUTTI et al., 1985, a y b). Esta última aflora al N de la zona estudiada y lo hace involucrada en dos unidades tectónicamente independientes. Una, alóctona de Oturia, y otra, con exposición al O de las inyecciones del río Aragón, autóctona relativa de la primera.

Las facies turbidíticas de la secuencia de Banastón han sido estudiadas por ESTRADA (1982), quien las atribuye a depósitos de áreas relativamente externas de abanico. Concretamente lóbulos deposicionales en el alóctono con evolución a franja de abanico. Esta última asociación de facies aparece en el autóctono relativo y pasa gradualmente a facies de llanura submarina hacia el O. Debe remarcar aquí que en la base y en ambas unidades tectónicas, se encuentra la megaturbidita de Roncal-Fiscal o MT-5 de LA BAUME (1983).

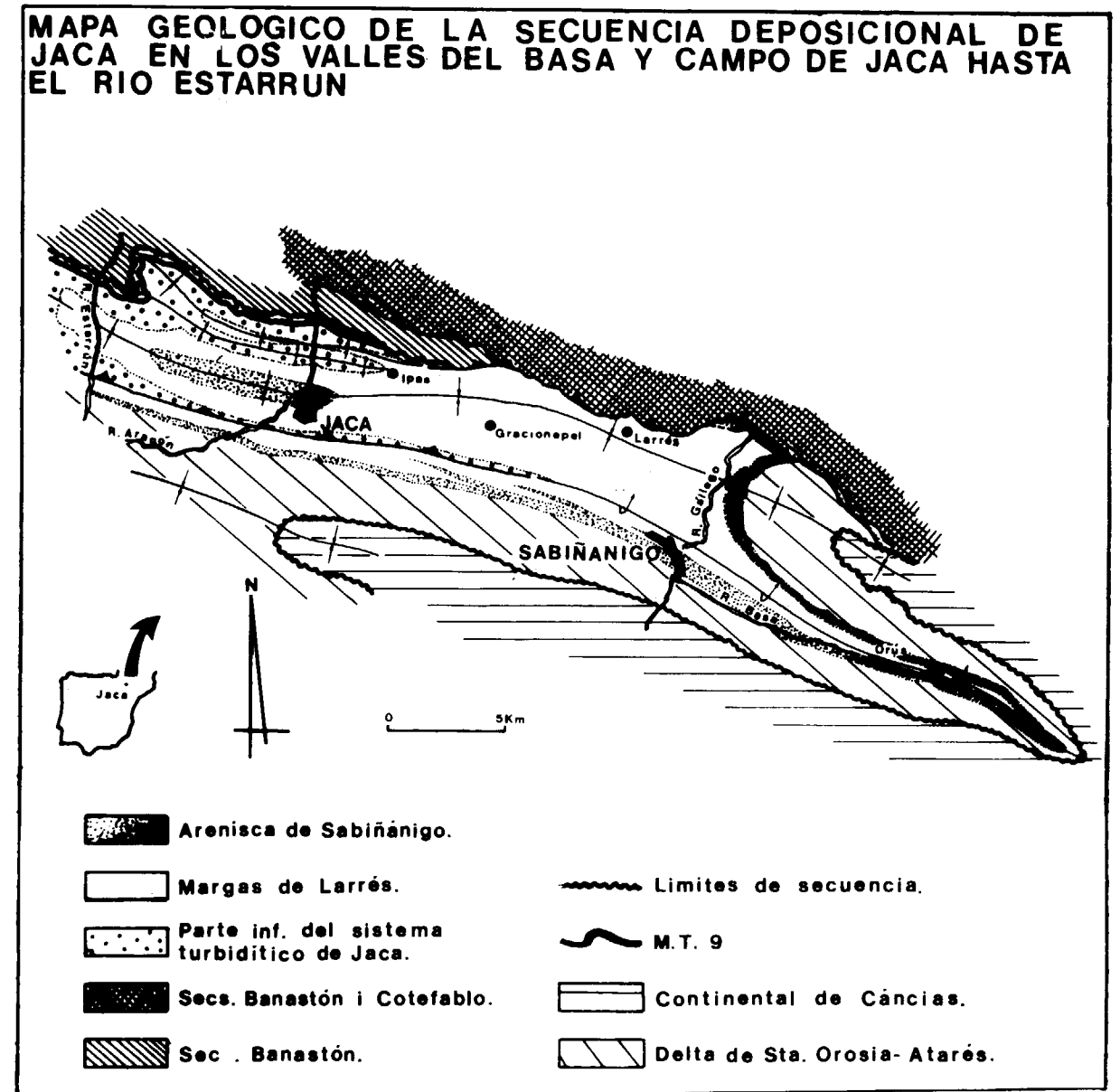


Figura 2.—Síntesis cartográfica de la secuencia deposicional de Jaca mostrando el área de estudio del presente trabajo, la posición de los límites de la secuencia y un resumen de la distribución de las diferentes unidades litológicas.

Sobre estas facies distales indicadas se establecen otras predominantemente areniscosas (subunidad C, ESTRADA, op. cit.), cuya interpretación es de lóbulo deposicional. Teniendo en cuenta que: 1) el contacto entre las subunidades B y C es neto, con cambio brusco de facies; 2) que la subunidad C se encuentra presente a lo largo de toda la zona estudiada desde el río Aragón hasta

el Estarrún, acuñándose por «onlap» hacia el E, entre el primer río mencionado y el área situada al N de Ipas; y 3) que sobre estos lóbulos se instala la megaturbidita de Jaca o MT-9 de LA BAUME (op. cit.); opinamos que todo ello indica que la posición del límite inferior de la secuencia de Jaca debe establecerse allí donde se efectúa el cambio brusco de facies, esto es, entre las sub-

unidades B y C. Siguiendo los postulados teóricos de VAIL et al. (1984), dicha discontinuidad, de tipo I, implica caída relativa rápida del nivel del mar.

Por lo que respecta al límite superior de la secuencia de Jaca su análisis es algo más complejo. PUIGDEFÁBREGAS (1975), aplicando la definición de Cuerpo Tectosedimentario de GARRIDO (1973), aunque sin seguirla estrictamente, puesto que la «equilibra» con la noción de homogeneidad del proceso sedimentario, coloca una ruptura sedimentaria en la base de la «Transgresión Biarritziense», esto es, en la base de la Arenisca de Sabiñánigo.

Por nuestra parte, en el Libro Resumen de las Comunicaciones del XI Congreso Español de Sedimentología, aceptábamos una ruptura a techo de la arenisca de Sabiñánigo, avalada mediante contacto neto y «hard ground».

Estudios posteriores aconsejan su rectificación, puesto que en función de los datos obtenidos recientemente no es posible colocar ningún límite de UTS o de secuencia deposicional directamente sobre la Arenisca de Sabiñánigo. Sí indican que el límite superior de la secuencia de Jaca debe colocarse bastante más alto que lo supuesto en trabajos precedentes. En efecto: a) El acuífero de las Margas de Pamplona hacia el sector oriental del valle del Basa, como ha indicado PUIGDEFÁBREGAS (op. cit.) es por cambio de facies. Además de ello, se mantiene perfectamente la concordancia con la infrayacente Arenisca de Sabiñánigo. b) El cambio de facies entre Arenisca de Sabiñánigo y Margas de Pamplona no es neto, sino que se efectúa mediante un tramo métrico de tránsito en las facies distales; en las más proximales se efectúa, frecuentemente, mediante «hard ground» y capas con mezcla de fauna.

Sobre los conglomerados de Sta. Orosia, identificados formando parte del delta de Atarés y a su vez transicionales con las Margas de Pamplona, se ha observado una discordancia angular (figura 5, entre este sistema fluvioaluvial-deltaico perteneciente al Eoceno (en gran parte al Bartonense) y el sobreyacente complejo (Sannoisien) continental de Canciás (Fm. Campodarbe de PUIGDEFÁBREGAS, op. cit.). En nuestra opinión esta discordancia representa el límite superior de la secuencia de Jaca.

Admitiendo tal hecho, la discontinuidad mencio-

nada en trabajos anteriores y situada sobre la Arenisca de Sabiñánigo, no tiene más valor que el de significar una sección condensada submarina (en el sentido de VAIL et al., 1984).

En atención a lo indicado anteriormente y para resumir, tras la caída relativa rápida del nivel del mar, por la que se activa la producción de turbiditas depositadas en la base de la secuencia, el nivel del mar ha ido subiendo progresivamente, sin mediar caída alguna importante, hasta llegar a la discordancia angular antes mencionada, donde se deduce otra caída relativa. En conclusión, la secuencia deposicional de Jaca marca un único ciclo de cambio relativo del nivel del mar «sensu» VAIL et al. (1977 y 1984).

EVOLUCION VERTICAL DE LAS FACIES DE LA SECUENCIA DE JACA ENTRE SU BASE Y EL TECHO DE LA ARENISCA DE SABIÑANIGO

Con el fin de facilitar el resumen de las facies de la parte inferior de la secuencia, se han agrupado en dos unidades principales que, en la vertical del río Aragón alcanzan un espesor de 1.500 metros (figs. 3 y 4). De base a techo éstas son: a) El sistema turbidítico de Jaca; el término sistema turbidítico se usa aquí en el sentido de MUTTI et al. (1985 a y b). b) La plataforma de la Arenisca de Sabiñánigo. Ambas unidades se articulan en subunidades. Las que componen el sistema turbidítico son, de base a techo: a1) el sistema deposicional («sensu» MUTTI, 1979) de Jaca; a2) el complejo de canales del Rapián, y a3) las Margas de Larrés. Estas últimas pasan tanto lateral como verticalmente a b) la plataforma de la Arenisca de Sabiñánigo.

En su conjunto los términos indicados anteriormente se interpretan como formando parte de un mismo conjunto evolutivo que constituye la parte de «lowstand», más aquélla, ya de «high-standing», formada por el complejo talud-plataforma de las Margas de Larrés-Arenisca de Sabiñánigo.

a) Resumen de las facies del sistema turbidítico de Jaca

a1) El sistema deposicional de Jaca.—En él se incluyen las subunidades C, D, E y F) de ESTRADA

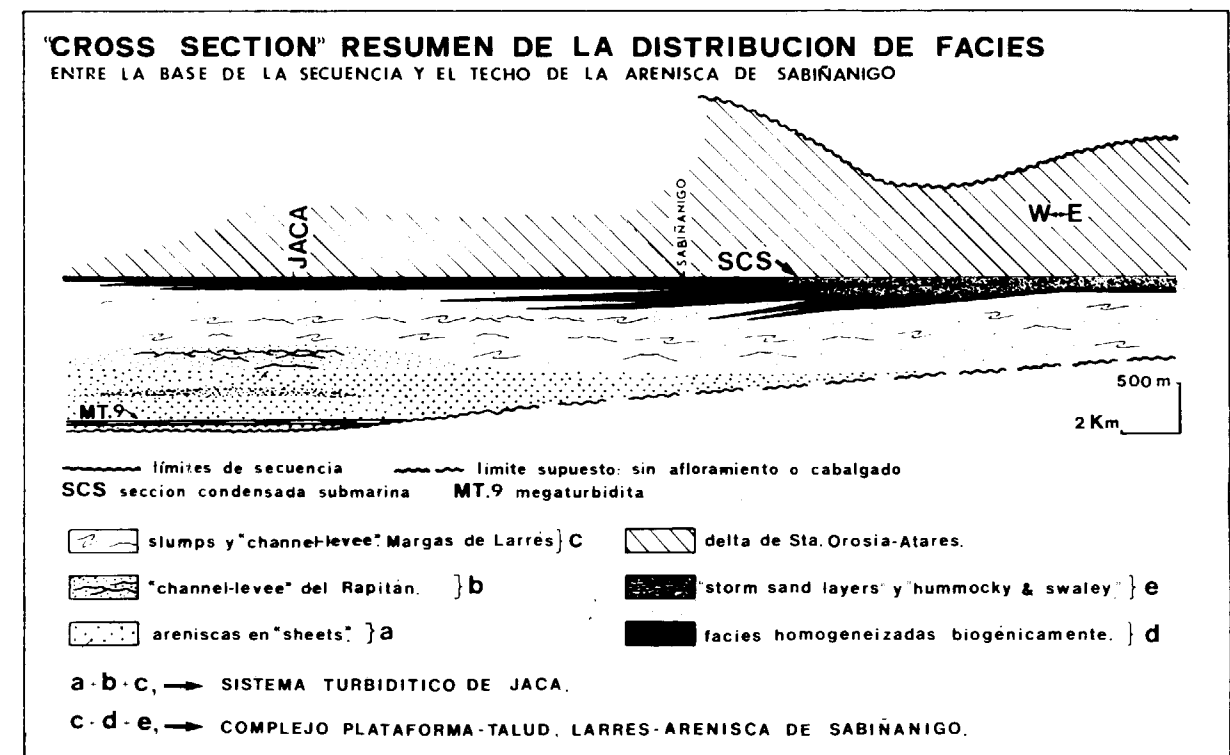


Figura 3.—«Cross section» simplificada de la distribución de facies de la mitad inferior de la secuencia de Jaca entre los valles del Basa y Campo de Jaca hasta el río Estarrún.

(1982). Presenta un espesor, en la vertical del río Aragón de 630 m. y está formada predominantemente por «sheet sands» que, en un sentido clásico, siguiendo las asociaciones de facies de MUTTI & RICCI LUCCHI (1975), engloban los términos de lóbulos deposicionales y franja de abanico. Los aportes dominantes en este sistema se dirigen hacia el O, aunque se empiece a notar una influencia N, algo más minoritaria en cuanto al total de las paleocorrientes. Por ejemplo, subunidad E y algunos estratos de la F. En nuestra opinión este sistema deposicional representa el tipo I en el sentido de MUTTI (1985), que indica las turbiditas de «lowstand» relativo del nivel del mar. Hacia la base se instala la megaturbidita MT-9 de LABAUME (1983).

a2) El complejo de canales del Rapián.—Se sitúa inmediatamente por encima del sistema deposicional anterior, con un espesor total de 150 metros. Estos canales presentan tránsito, tanto lateral como vertical por la parte superior, a la zona inferior de las Margas de Larrés. Se trata de sistemas «channel-leeve» con un origen N, los

canales tienen anchuras hectométricas, son poco profundos y con reactivaciones muy frecuentes en su interior. Su evolución vertical se efectúa mediante disminución de dimensiones junto con un progresivo incremento de niveles slumpizados. Bajo nuestro punto de vista este complejo representa el tipo II de MUTTI (op. cit.).

a3) Las Margas de Larrés.—Bajo esta denominación entendemos la sucesión que con un total de 465 m., en la vertical de Jaca, es predominantemente margosa y constituida casi totalmente por niveles slumpizados. Esta subunidad puede considerarse dividida en dos, mediante un tramo intermedio que muestra un ligero predominio de canales turbidíticos de dimensiones relativamente modestas. Se trata de las facies de Gracionepel, incluidas, a nuestro entender erróneamente, por PUIGDEFÁBREGAS (1975) en las Margas de Pamplona. La parte inferior de esta sucesión es transicional con respecto a los canales del Rapián, mientras que la superior lo es con las areniscas y limolitas de Sabiñánigo. La inferior comparada con la superior presenta un ligero incremento en

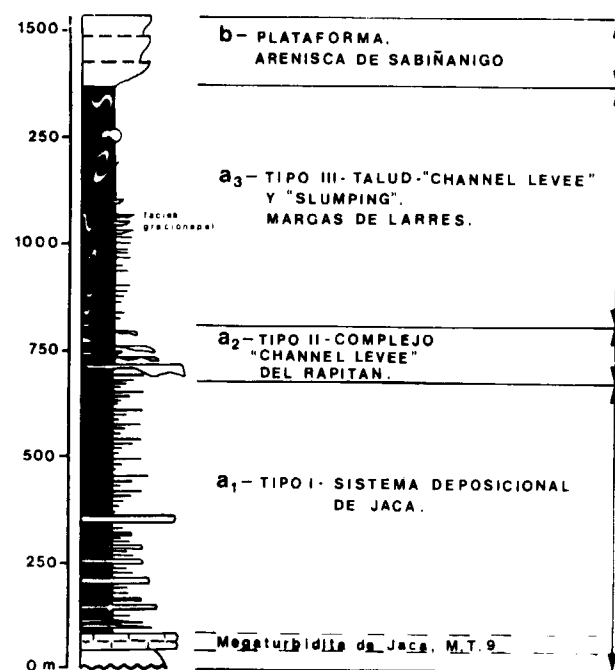


Figura 4.—Sucesión estratigráfica sintética de la parte inferior de la secuencia de Jaca en la vertical del río Aragón. En ella se muestran las subunidades que forman el sistema turbidítico de Jaca, sobre el que se instalan las facies de plataforma de la Arenisca de Sabiñánigo.

el contenido de turbiditas que, en todos los casos, interpretamos como sistemas de «channel-leeve» tipo III de MUTTI (op. cit.), aunque de dimensiones menores a aquellos incluidos en el complejo de canales del Rapitán.

Al igual que PUIGDEFÁBREGAS (op. cit.), interpretamos dichas facies como de talud, el cual va ligado directamente a las facies de la plataforma que se tratan a continuación.

b) Resumen de las facies de la plataforma de la Arenisca de Sabiñánigo

Culminando la sucesión que forma la mitad inferior de la secuencia de Jaca se instalan las facies de plataforma que pueden considerarse agrupables en dos grandes conjuntos (b1 y b2) transicionales entre sí.

b1) *Las facies relativamente más proximales.*—Afloran al E del río Gállego, en el sinclinal de

Santa Orosia y, en continuidad física, también se encuentran en el flanco S del anticlinal del Basa hasta Orús. Son más ricas en arenisca que las distales b2) y se encuentran interdigitadas con éstas, ofreciendo ciclos de facies formados por tres términos principales: el basal, de «offshore externo», cuyas características se discuten a continuación en el apartado próximo b2) que, en vertical, pasa a un tramo b1, a) constituido por «offshore storm sand layers», seguidos por b1, b) cuerpos areniscos de «offshore transition» con base erosiva y «hummocky cross stratification», amalgamados dando un aspecto masivo aunque, frecuentemente conservando los «swales», con un tapiz «waning storm» formado por «wave ripples», sobre el que se apoya la capa pelítica de «fair weather», erosionada, muy comúnmente en las culminaciones.

b2) *Las facies relativamente más distales.*—Afloran, como se ha dicho, en la base de los ciclos de facies del sector proximal y son las únicas representantes de la Arenisca de Sabiñánigo en todo el sector estudiado, al O del río Gállego y desde éste hasta las inmediaciones de Orús, en el flanco S del anticlinal del Basa. Debe indicarse que la localidad de Jaca se asienta en gran parte sobre estas facies y de ahí que la secuencia tome su nombre.

Están formadas por limolitas algo arenosas (granulometría muy fina) y margosas, totalmente homogeneizadas biogénicamente, sin que se haya observado estructura alguna a excepción de algunos «fantasmas» de «ripples» y un paralelismo muy acusado entre cuerpos. Su ordenamiento cíclico es totalmente aleatorio; existen tendencias positivas, negativas y simétricas. Estos cuerpos se acuñan a muy gran escala efectuando el tránsito a las Margas de Larrés. Se interpretan como facies de «offshore externo».

La plataforma en cuestión tiene una progradación de tipo sigmoidal hacia el cuadrante SO y el material que la compone tiene el origen en un sistema de suministro, hoy erosionado, con posición en el cuadrante NE, aunque no se descarten tasas de sedimentación, algo más minoritarias, de origen SE.

ALGUNAS CONSIDERACIONES FINALES

Dada la escasez de datos bioestratigráficos pre-

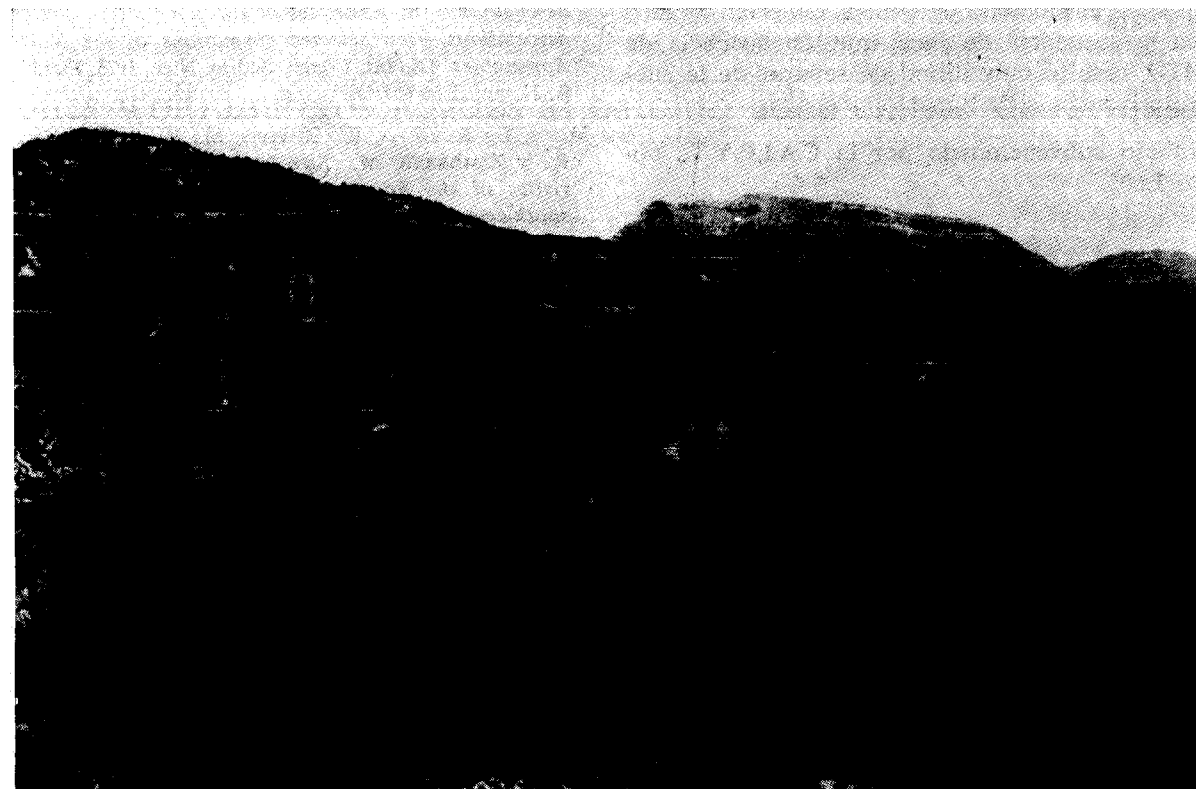


Figura 5.—Vista de la discordancia angular límite entre la secuencia deposicional de Jaca (A) y la secuencia de Canciás (B). C corresponde a una secuencia más superior no tratada en este trabajo. Fotografía tomada desde las inmediaciones de la Ermita de Sta. Orosia.

cisos, la comparación entre los límites de la secuencia de Jaca y aquellos ofrecidos en las tablas de ciclos globales de VAIL et al. (1979), se considera aventurada aunque, ciertamente, puede existir una correspondencia entre la secuencia en cuestión y aquel ciclo global que va desde —45,5 m.a. a —39 m.a.

La relación de la secuencia con otras áreas surpirenaicas más o menos próximas es problemática, en especial con la secuencia de Ainsa de MUTTI et al. (1985 a y b). En el sinclinal de Santa María del Buil se han descrito varias discordancias (véanse los trabajos de DE FEDERICO, 1981, y PUIGDEFÁBREGAS, 1975, entre otros). ¿Cuáles de ellas tienen un carácter más regional? La respuesta es compleja puesto que deben filtrarse las influencias locales ejercidas por los anticlinales de Mediano y Boltaña, así como considerar aquellos procesos de inestabilidad de sedimentos en sistemas deltaicos y a varias escalas. La cuestión por el momento queda planteada, aunque opina-

mos que tal secuencia de Ainsa, homóloga a la de Jaca, debe incluir también a la Fm. Escanilla completa.

Por lo que respecta al valle del Ara, según MUTTI et al. (op. cit.), la parte superior del Grupo de Hecho, más la sucesión pelítica de las Margas de Fiscal, ha sido incluida en la secuencia de Banastón. En nuestra opinión, la subunidad Santa Olaria superior de ESTRADA (1982) representa la base de la secuencia de Jaca. En gran parte, las Margas de Fiscal y de acuerdo con lo indicado en PUIGDEFÁBREGAS (op. cit.), son equivalentes a las Margas de Larrés, quedando problemática la situación del límite superior de secuencia (ver discusión de PUIGDEFÁBREGAS, op. cit., respecto a la discordancia de Aguilar, que en nuestra opinión, aunque con alguna reserva, es de carácter local, por influencia del anticlinal de Boltaña).

Admitiendo estos hechos, una parte alta de la sucesión turbidítica de Bergua y Basarán, invo-

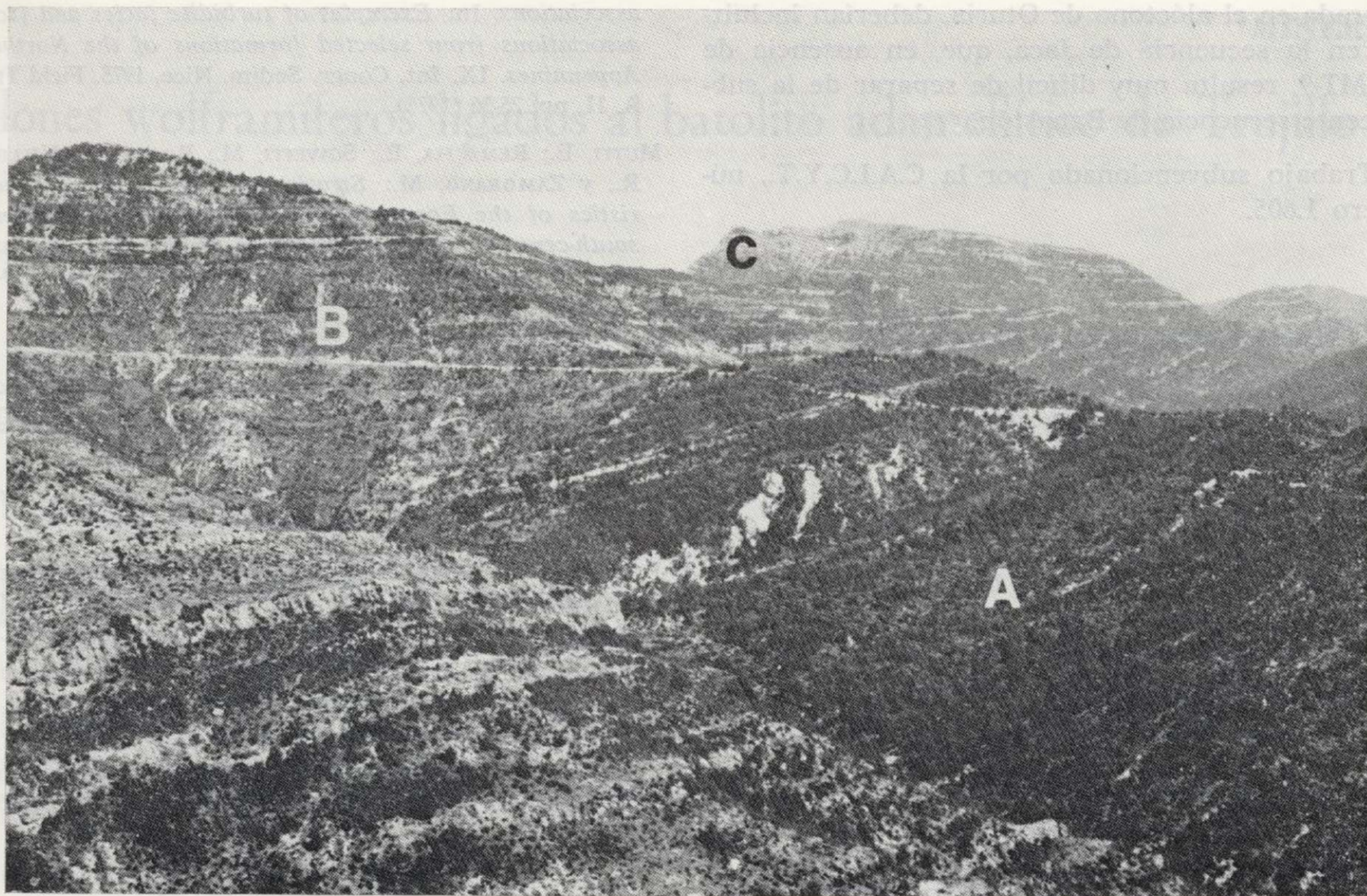


Figura 5.—Vista de la discordancia angular límite entre la secuencia deposicional de Jaca (A) y la secuencia de Canciás (B). C corresponde a una secuencia más superior no tratada en este trabajo. Fotografía tomada desde las inmediaciones de la Ermita de Sta. Orosia.

cisos, la comparación entre los límites de la secuencia de Jaca y aquellos ofrecidos en las tablas de ciclos globales de VAIL et al. (1979), se considera aventurada aunque, ciertamente, puede existir una correspondencia entre la secuencia en cuestión y aquel ciclo global que va desde —45,5 m.a. a —39 m.a.

La relación de la secuencia con otras áreas surpirenaicas más o menos próximas es problemática, en especial con la secuencia de Ainsa de MUTTI et al. (1985 a y b). En el sinclinal de Santa María del Buil se han descrito varias discordancias (véanse los trabajos de DE FEDERICO, 1981, y PUIGDEFÁBREGAS, 1975, entre otros). ¿Cuáles de ellas tienen un carácter más regional? La respuesta es compleja puesto que deben filtrarse las influencias locales ejercidas por los anticlinales de Mediano y Boltaña, así como considerar aquellos procesos de inestabilidad de sedimentos en sistemas deltaicos y a varias escalas. La cuestión por el momento queda planteada, aunque opina-

mos que tal secuencia de Ainsa, homóloga a la de Jaca, debe incluir también a la Fm. Escanilla completa.

Por lo que respecta al valle del Ara, según MUTTI et al. (op. cit.), la parte superior del Grupo de Hecho, más la sucesión pelítica de las Margas de Fiscal, ha sido incluida en la secuencia de Banastón. En nuestra opinión, la subunidad Santa Olaria superior de ESTRADA (1982) representa la base de la secuencia de Jaca. En gran parte, las Margas de Fiscal y de acuerdo con lo indicado en PUIGDEFÁBREGAS (op. cit.), son equivalentes a las Margas de Larrés, quedando problemática la situación del límite superior de secuencia (ver discusión de PUIGDEFÁBREGAS, op. cit., respecto a la discordancia de Aguilar, que en nuestra opinión, aunque con alguna reserva, es de carácter local, por influencia del anticlinal de Boltaña).

Admitiendo estos hechos, una parte alta de la sucesión turbidítica de Bergua y Basarán, invo-

lucrada en el alóctono de Oturia, deberían incluirse en la secuencia de Jaca, que, en ausencia de la MT-9, resulta muy difícil de separar de la subyacente secuencia de Banastón.

Trabajo subvencionado por la C.A.I.C.Y.T., número 1.605.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- DE FEDERICO, A.: *La sedimentación de talud en el sector occidental de la cuenca paleógena de Ainsa*. Publicaciones de Geología núm. 12, Univ. Autónoma de Barcelona (Tesis Doctoral) (1981).
- ESTRADA, M. R.: *Lóbulos deposicionales de la parte superior del Grupo de Hecho entre los anticlinales de Boltaña y el río Aragón (Huesca)*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona (1982).
- GARRIDO-MEGÍAS, A.: *Estudio geológico y relación entre tectónica y sedimentación del Secundario y Terciario de la vertiente meridional pirenaica en su zona central*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada (1973).
- LABAUME, P.: *Evolution Tectono-sédimentaire et megaturbidites du bassin turbiditique Eocène Sud pyrenéen (entre les transversales Col du Somport-Jaca et Pic d'Orhy-Sierra de Leyre)*. These Docteur 3ème cycle; publ. USTL, Série, Géol. Struct., Montpellier (1983).
- MUTTI, E.: *Turbidites et cons sous-marines profonds*. In: *Sédimentation détritique (fluviale, littorale et marine)*. Editor: P. Homewood, Institut de Géologie, Université de Fribourg, Suisse, pp. 353-419 (1979).
- MUTTI, E.: *Turbidite systems and their relations to depositional sequences*. In: *Reading: provenance from arenites; Proceeding NATO-ASI Meeting, Cetraro-Cosenza, Italy*. Editor: G. G. Zuffa, Reidel Publ. Co., Dordrecht, The Netherlands (1985).
- MUTTI, E. & RICCI LUCCHI, F.: *Turbidite facies and facies associations*. In: *Exemples of turbidite facies and facies associations from selected formations of the Northern Apennines*. IX. Int. Congr. Sedim. Nice, 1975. Field Trip. A. 11, pp. 25-36 (1975).
- MUTTI, E.; REMACHA, E.; SGAVETTI, M.; ROSELL, J.; VALLONI, R., y ZAMORANO, M.: *Stratigraphy and facies characteristics of the Eocene Hecho Group turbidite systems, south-central Pyrenees*. Excursion Guide-book, 6th European Regional Meeting, núm. 12, Lleida, Spain, pp. 519-576 (1985 a).
- MUTTI, E.; SGAVETTI, M., y REMACHA, E.: *Le relazione tra piattaforme deltizie e sistemi torbiditici nel Bacino Eoceno Sud-Pirenaico di Tremp-Pamplona*. Giornale di Geologia, Serie 3, 46 (2), pp. 3-32 (1985 b).
- PUIGDEFABREGAS TOMÁS, C.: *La sedimentación molásica en la cuenca de Jaca*. Pirineos, núm. 104, pp. 1-188 (1975).
- REMACHA, E.; ARBUÉS, P., y CARRERAS, M.: *La secuencia deposicional de Jaca (área del río Basa y Campo de Jaca hasta el río Estarrún)*. Resumen Comunicaciones XI Congreso Español de Sedimentología, p. 143 (1986 a).
- REMACHA, E.; ROSELL, J., y ZAMORANO, M.: *Aspectos estratigráficos y paleogeográficos del Eoceno Inferior y Medio en el Prepirineo central*. Resumen Comunicaciones XI Congreso Español de Sedimentología, p. 144 (1986 b).
- VAIL, P. R., y HARDENBOL, J.: *Sea level changes during the tertiary*. Oceanus, v. 22, pp. 71-79 (1979).
- VAIL, P. R.; HARDENBOL, J., y TODD, R. G.: *Jurassic unconformities, chronostratigraphy, and sea level changes from seismic stratigraphy and biostratigraphy*. In: J. S. Schlee, ed. interregional unconformities and hydrocarbon accumulation: AAPG Memoir 36, pp. 139-144 (1984).
- VAIL, P. R.; MITCHUM, R. M., y THOMPSON, S.: *Seismic Stratigraphy and global changes of sea level, part 3: Relative change of sea level from coastal onlap*. In: *Seismic stratigraphy. Applications to hydrocarbon exploration*. Am. Ass. Petrol. Geol. Bull., Memoir 26, pp. 63-81 (1977).

Recibido: Julio de 1986.

Filones wolframíferos ligados al batolito adamellítico de Trujillo (Cáceres, España)

Por J. GUIJARRO GALIANO, J. MONSEUR LESPAGNARD, A. GUTIERREZ MAROTO y J. A. MEDINA NUÑEZ (*)

RESUMEN

A partir de muestras recogidas en nueve filones intraplutónicos de Trujillo, se ha establecido la paragénesis, la abundancia relativa, el poder de reflexión y el orden de cristalización de los minerales constitutivos de cada filón.

La presencia, en ciertas secciones pulidas, de texturas de exsolución del tipo calcopirita-blenda, indica una temperatura de formación del orden de 375-400° C para estos minerales.

Varios análisis puntuales realizados sobre algunos minerales, por medio de un microscopio electrónico de barrido (M. E. B.) con EDAX incorporado, han permitido por una parte, confirmar ciertas determinaciones mineralógicas, y, por otra, apreciar la presencia de ciertos oligoelementos en su seno.

El estudio, mediante una platina calentadora Leitz (modelo 350), de la temperatura de homogeneización de las inclusiones fluidas primarias en el cuarzo ha dado el resultado siguiente: entre 236-280° C.

Del conjunto de sus características, se deduce que este yacimiento wolframífero es del tipo clásico neumatólitico-hidrotermal.

ABSTRACT

From samples collected from nine intra-plutonic lodes in Trujillo, the paragenesis, the relative abundance, the reflectivity and the order of crystallization of the constituent minerals of each lode have been established.

The presence, in some polished sections, of sphalerite-chalcopyrite ex-solution textures, give evidence of the temperature of formation of these respective minerals: 375-400° C. Diverse point analyses carried out on some minerals, by means of a Scanning Electron Microscope with EDAX attachment, made it possible, on the one hand to corroborate some mineralogical determinations, and on the other hand to estimate the presence of some oligo-elements within the minerals.

The study, by means of a Leitz's heating stage (model 350), of the homogenization temperature of the primary fluid inclusions in the quartz has provided the following result: between 236 and 280° C. From the whole of his characteristics, it is deduced that the wolframiferous ore deposit of Trujillo belongs to the pneumatolytic-hydrothermal classical type.

INTRODUCCION

Los nueve filones de Trujillo elegidos para nuestras investigaciones metalogénicas, dispuestos en abanico y que aparecen en la zona septentrional intraplutónica, están ligados genéticamente a un batolito adamellítico (fig. 1) situado geográficamente en Extremadura, al SE de la provincia de Cáceres y geológicamente en la Zona Centro Ibérica (LOTZE, 1970; JULIVERT, FONTBOTÉ, RIBEIRO y CONDE, 1974).

Las rocas sedimentarias, que rodean a dichos plutones, se integran en una serie monótona pizarrosa-grauváquica, azoica y metamorfizada que pertenece al Precámbrico Superior (Alcudense)-Infracámbrico.

La serie sedimentaria está afectada por un metamorfismo regional de baja presión y temperatura, correspondiente a la facies de esquistos verdes (WINKLER, 1978).

La aureola, desarrollada en los alrededores del plutón, traduce un metamorfismo de contacto cuya intensidad se halla entre el grado bajo y medio de presión y temperatura (GUIJARRO, 1982).

(*) Departamento de Geología y Geoquímica. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid.

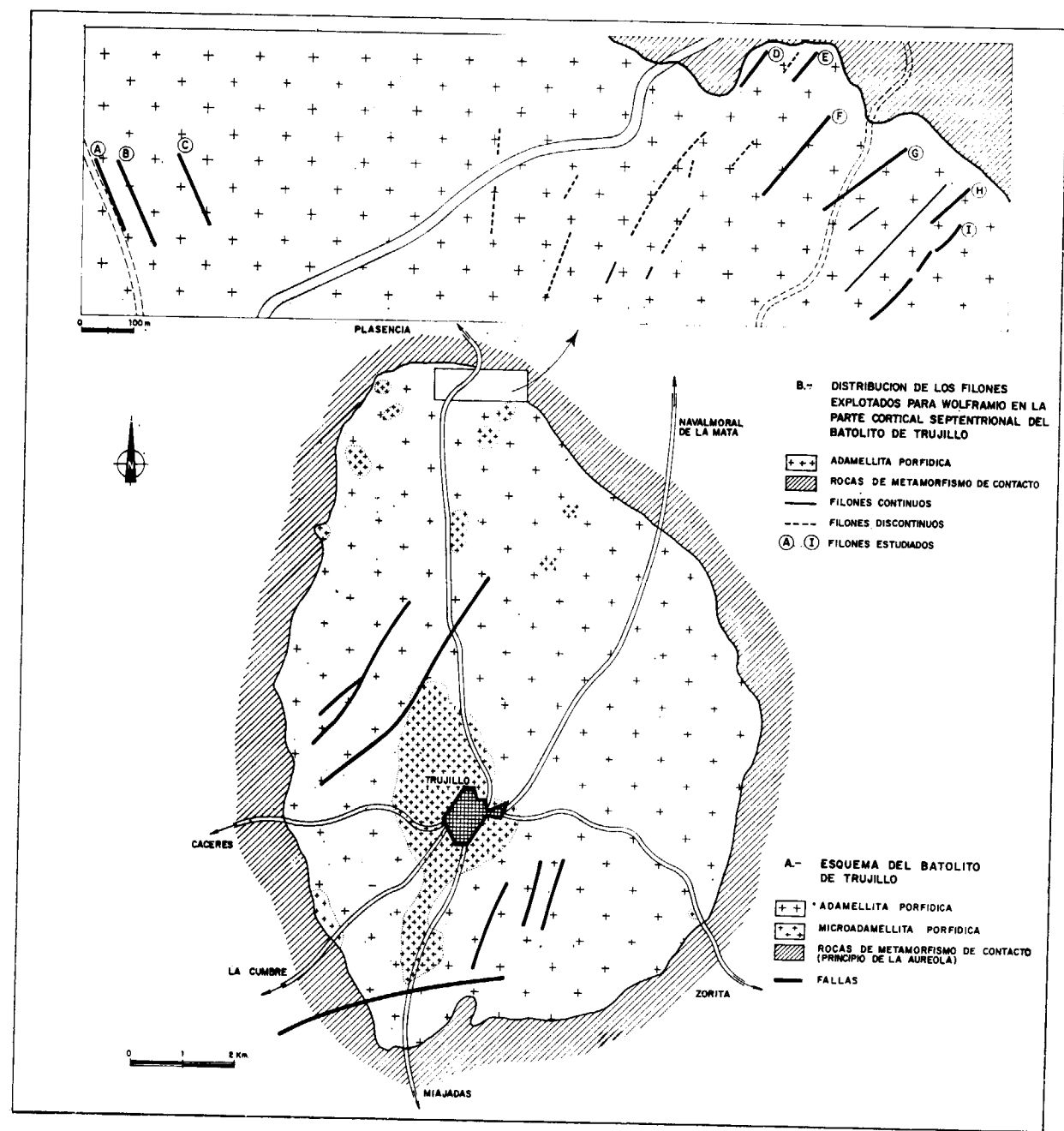


Figura 1.—Localización de los filones wolframíferos relacionados con el batolito adamellítico de Trujillo.

Aunque son varios los autores que han tratado las mineralizaciones de Trujillo (RAMÍREZ, E., 1951, 1953, 1971 y 1974; SOS BAYNAT, V., 1962; IGME, 1972-1975; ARIBAS, A., 1979; GUMIEL, P., 1981...), el presente estudio detallado de la mineralización

contenida en los diferentes filones de cuarzo de Trujillo constituye un aspecto nuevo y complementario respecto a otras investigaciones petrogenético-geoquímicas (SAAVEDRA, BLANCO, GARCÍA y RODRÍGUEZ, 1975; GUIJARRO y MONSEUR, 1983).

ESTUDIO DE LAS MINERALIZACIONES FILONIANAS

Las observaciones macroscópicas realizadas sobre los nueve filones intraplutónicos, así como el examen microscópico de las muestras recogidas en cada uno de ellos han permitido caracterizar cada filón de la manera siguiente:

Filón A. Potencia, 0.20 m.; discontinuo sobre una longitud total de 105 m.; dirección (1) N 26° O y buzamiento 65° E.

La paragénesis primaria comporta, por orden de cristalización: wolframita (21%) (2), arsenopirita (74%), bismutinita (i) (3), pirrotina (i), calcopirita (i), blenda (i), tenantita (i) y pirita (4%). Los minerales secundarios observados son escorodita (i) y goethita (i) (fig. 2).

Filón B. Se ramifica en dos filones discontinuos con potencias de 0.30 y 0.40 m.; dirección N 30° O; buzamiento subvertical a ligeramente inclinado al E; longitud total, 50 m.

- (1) Dirección aproximativa.
- (2) Abundancia relativa del mineral.
- (3) Indicios.

El filón, con ganga de cuarzo muy turmalinizado, se halla mineralizado con los siguientes componentes primarios según su orden de cristalización: wolframita (35%), arsenopirita (37%), bismutinita (i), pirrotina (i), calcopirita (1%), blenda (i) y pirita (26%). La escorodita (i) constituye el único mineral secundario (fig. 2).

Filón C. Se ramifica en dos filones discontinuos con potencia de 0.30 m.: uno de dirección N 20° O y de buzamiento 66° E presenta una longitud de 65 m.; otro de dirección N 15° O y buzamiento de 75° E aparece sobre 62 m.

La paragénesis primaria, asociada al cuarzo que contiene turmalina en cristales alineados o en pequeñas rosetas, está constituida por orden de cristalización de: wolframita (48%), arsenopirita (27 por 100), pirrotina (i), calcopirita (i), blenda (i) y pirita (24%). Como mineral secundario, sólo goethita aparece en indicios (fig. 2).

Filón D. Filón de 0.50 m. de potencia, subcontinuo, con una dirección de N 25° E, y con un buzamiento subvertical sobre los 62 primeros metros; luego, sobre una longitud de 87 m., aparece también subcontinuo con una dirección N 40° E y un buzamiento subvertical).

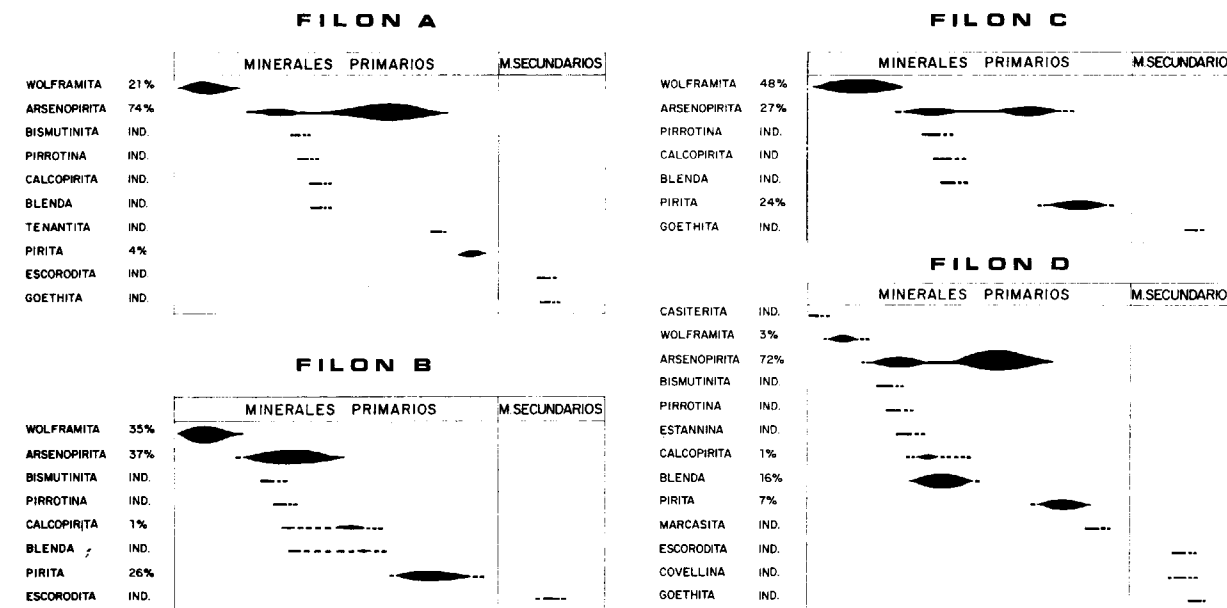


Figura 2.—Paragénesis, orden de cristalización y abundancia relativa de los minerales en los filones A, B, C y D de Trujillo.

Presenta una débil sericitización en su contacto con la adamellita porfídica.

El filón, con ganga de cuarzo rico en inclusiones fluidas y presentando vetillas de pequeños cristales de sericita, contiene por orden de cristalización los minerales primarios siguientes: casiterita (i; P.R. (4)=10.8-11; A.P. (5)=Sn), wolframita (3%); arsenopirita (72%; P.R.=50.1-51.4; A.P.=FeAsS), aparece tanto en el filón de cuarzo como en la zona de contacto de este último con el granito; sustituye a veces a la blenda; bismutinita (i; A.P.=Bi₂S₃) como inclusión en la arsenopirita y en la pirita; sustituye también a la pirrotina y a la blenda; pirrotina (i; P.R.=35-36.1; A.P.=FeS) como inclusión en la arsenopirita, la calcopirita, la blenda y en la pirita; estannina (i; A.P.=Cu₂SnFeS₄) participa en dos generaciones: una como inclusión en la arsenopirita y en la pirita; otra, posterior a la cristalización de la arsenopirita y de la pirita estando en fracturas que atraviesan a ambas; calcopirita (1%; P.R.=40.1-45.2; A.P.=CuFeS₂) como inclusión en la arsenopirita, la blenda y en la pirita y como exsolución en la blenda; blenda (16%; P.R.=17.7-18.3; A.P.=ZnS) como inclusión en la pirita y a veces en la arsenopirita; pirita (7%; P.R.=51.2-53; A.P.=FeS₂) corta y sustituye tanto a la arsenopirita como a la blenda; marcasita (i; A.P.=FeS₂) se halla en el interior de la pirita.

Como minerales secundarios este filón posee: escorodita (i; P.R.=8.5-9.4; A.P.=As y Fe) se halla en grietas de la arsenopirita y rodea a la vez a la arsenopirita y a la goethita; covellina (i) reemplaza a la calcopirita; goethita (i) (fig. 2).

Filón E. Primero, sobre una longitud de 17 m., se ramifica en tres filones con potencias de 0.10, 0.08 y 0.05 m.; dirección N 35° E y buzamiento vertical. Luego, se ramifica en dos filones: uno con dirección N 35° E durante 19 m. y otro con dirección N 50° E durante 5 m.; al E de estos dos filones existe otra veta con espesor de 0.10 m. y dirección N 25° E.

Presenta una cierta moscovitización en el contacto con la adamellita porfídica.

La paragénesis primaria asociada al cuarzo, que contiene pequeños cristales de turmalina y tam-

(4) Poder de reflexión mínimo y máximo, expresado en porcentaje y medido con una longitud de onda de 542 nm.

(5) Análisis puntuales llevados a cabo con el microscopio electrónico de barrido con EDAX incorporado.

bién sericita-moscovita en algunas fisuras, se presenta así según su orden de cristalización: wolframita (9%; P.R.=18.1; A.P.=WO₄Fe 86.381% y WO₄Mn 13.619%, ferberita); arsenopirita (73%; P.R.=50.1-51.3; A.P.=FeAsS) como inclusión en la pirita; sustituye a veces a la wolframita; bismutinita (i; P.R.=47.6; A.P.=Bi₂S₃) como inclusión en la arsenopirita; sustituye a veces a la blenda; pirrotina (i; P.R.=36-37.2; A.P.=FeS) como inclusión en la calcopirita y en la blenda; sustituye también a ambos minerales; estannina (i; P.R.=26.8; A.P.=Cu₂SnFeS₄); calcopirita (i; P.R.=45.5; A.P.=CuFeS₂) como inclusión en la pirita y como exsolución en la blenda; blenda (14%; P.R.=17.5-18.9; A.P.=ZnS) como inclusión en la pirita; pirita (3%; P.R.=51.8-52.3; A.P.=FeS₂) sustituye o rodea a la arsenopirita; rellena también fracturas recortando la arsenopirita y la blenda.

La escorodita (i; P.R.=8.1-9.3; A.P.=Fe y As), que se observa en las grietas de la arsenopirita, constituye el único mineral secundario (fig. 3).

Filón F. Filón de 0.15 m. de potencia máxima y presentando diferentes ramificaciones; dirección N 32° E; buzamiento subvertical a ligeramente inclinado al E.

La mineralización primaria presenta el siguiente orden de cristalización: rutilo (i; A.P.=Ti) como inclusión en la wolframita; casiterita (i; A.P.=Sn) aislada en la ganga de cuarzo y como inclusión en la wolframita; wolframita (14%; P.R.=17.8-18.2; A.P.=WO₄Fe 83.602% y WO₄Mn 16.397%, ferberita) en cristales más o menos prismáticos; arsenopirita (48%; P.R.=49.8-51.5; A.P.=FeAsS) como inclusión en la pirita; bismuto nativo (i; A.P.=Bi) como inclusión en la bismutinita y en la pirita; bismutinita (i; P.R.=39.8-41.7; A.P.=Bi₂S₃) como inclusión en la arsenopirita, la blenda y en la pirita; sustituye también a la arsenopirita y a la blenda; schapbachita (i; A.P.=AgBiS₂) sustituye a veces a la blenda y a la calcopirita; pirrotina (1%; P.R.=35.4-38.2; A.P.=FeS) como inclusión en la arsenopirita, en la blenda y en la pirita; estannina (i; P.R.=27.5; A.P.=Cu₂SnFeS₄) como inclusión en la arsenopirita y en la pirita; calcopirita (3%; P.R.=45-47; A.P.=CuFeS₂) como inclusión en la blenda y en la pirita y como exsolución en la blenda; también sustituye a la blenda y aparece en fracturas recortando la arsenopirita; blenda (20%; P.R.=17.1-18.9; A.P.=ZnS) como inclusión en la arsenopirita y en la pirita; sustituye a la arsenopirita y a la pirrotina; tenan-

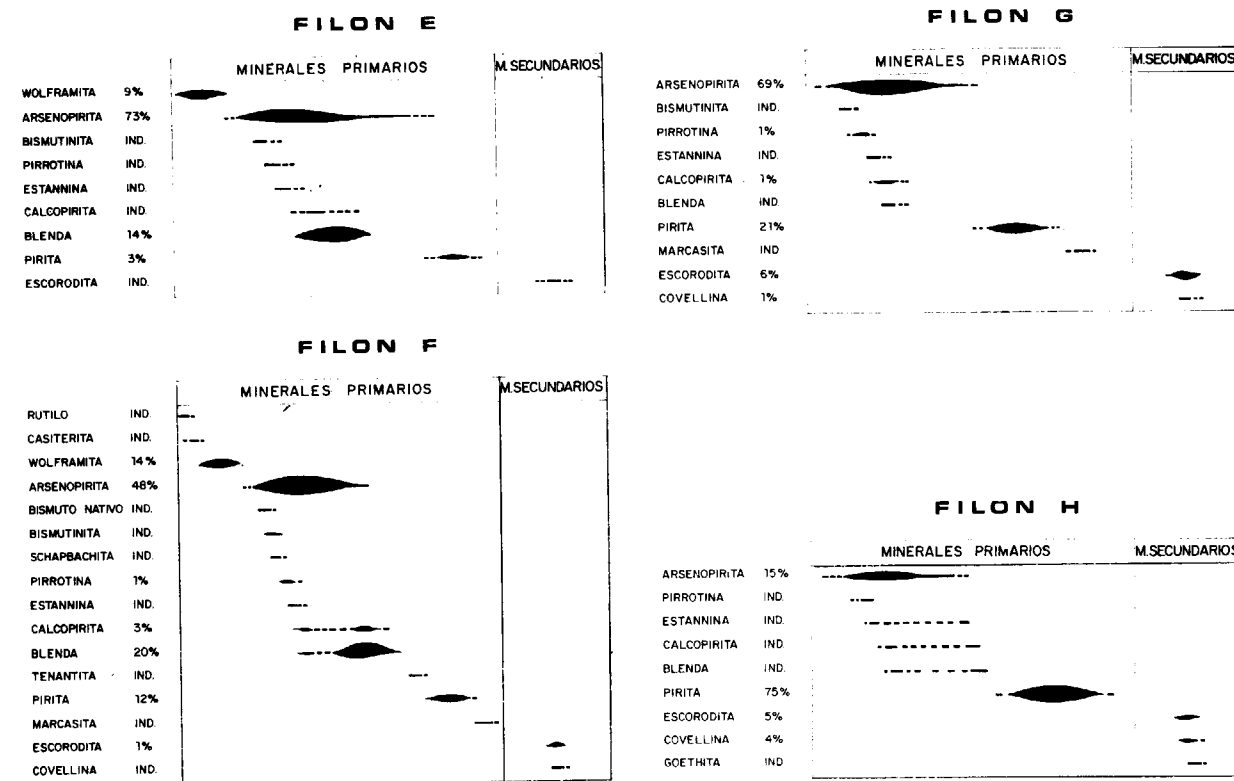


Figura 3.—Paragénesis, orden de cristalización y abundancia relativa de los minerales en los filones E, F, G y H de Trujillo.

tita (i; P.R.=27.8-29.8; A.P.=Cu₃AsS₃) ligada a la segunda generación de calcopirita, encontrándose en las fracturas de la pirita y de la arsenopirita; pirita (12%; P.R.=51-54; A.P.=FeS₂) rodea a veces totalmente a la arsenopirita; sustituye a la arsenopirita y a la blenda y rellena fracturas que atraviesan a estos dos minerales; y marcasita (i; A.P.=FeS₂) se halla en el interior de la pirita.

Los minerales secundarios son: escorodita (1%; P.R.=8.7-9.4; A.P.=As y Fe) en las grietas de la wolframita y de la arsenopirita y rodeando a esta última; y covellina (i) que reemplaza a la calcopirita (fig. 3).

Filón G. Discontinuo; potencia 0.50 m.; longitud, 120 m.; dirección N 34° E; buzamiento subvertical a ligeramente inclinado al E.

Presenta una cierta turmalinización en su contacto con la adamellita porfídica. La paragénesis primaria está constituida por el orden de cristalización siguiente: arsenopirita (69%; P.R.=50-51; A.P.=FeAsS); bismutinita (i; A.P.=Bi₂S₃); pirrotina (1%; P.R.=34.6-38.5; A.P.=FeS) como inclusión en la arsenopirita; estannina (i); calcopirita

(1%) como inclusión en la arsenopirita y como exsolución en la blenda; sustituye a la pirrotina; blenda (i) como inclusión en la arsenopirita; pirita (21%) en fracturas recortando la arsenopirita; a veces presenta una anisotropía bastante acusada; y marcasita (i).

Como minerales secundarios el filón G posee: covellina (1%) y escorodita (6%) que rodea normalmente a la arsenopirita (fig. 3).

Filón H. Potencia, 0.50 m.; longitud, 60 m.; dirección N 32° E; buzamiento subvertical a ligeramente inclinado al E.

La paragénesis primaria, asociada al cuarzo que contiene a veces alineaciones de turmalina en bandas oscuras, comporta por orden de cristalización: arsenopirita (15%; P.R.=49.5-51.1; A.P.=FeAsS) como inclusión en la pirita; pirrotina (i; P.R.=37-38.1; A.P.=FeS) como inclusión en la arsenopirita, la calcopirita y la pirita; estannina (i); calcopirita (i) sustituye a la pirrotina; blenda (i); y pirita (75%; P.R.=51-52; A.P.=FeS₂) que muchas veces presenta una anisotropía marcada.

Los minerales secundarios son: escorodita (5%; P.R.=8.5-9.1; A.P.=As y Fe) se presenta en las fracturas de la arsenopirita; covellina (4%) reemplaza a la calcopirita y aparece en las fracturas de la arsenopirita; y goethita (i), que resulta de la liberación del hierro de los sulfuros y de la turmalina abundante en el filón (fig. 3).

Filón I. Comporta dos tramos separados uno de otro por una distancia de 6 m. pero sensiblemente con la misma dirección, N 32° a 34° E, y el mismo buzamiento, subvertical a ligeramente inclinado al E; en el tramo septentrional, de 65 m. de longitud, el filón aparece con 1.50 m. de potencia, mientras en el tramo meridional, de 100 metros de longitud, la potencia del filón varía de 0.30 a 1.50 m.

Presenta a veces una moscovitización y una turmalinización en contacto con la adamellita porfídica. La paragénesis primaria asociada al cuarzo, rico en inclusiones fluidas y conteniendo feno y microcristales de turmalina orientados en bandas paralelas a los hastiales, aparece según el siguiente orden de cristalización: casiterita (i; P.R.=12-12.9; A.P.=Sn) en forma cristalizada en la ganga de cuarzo o como inclusión en la arsenopirita; wolframita (39% P.R.=17.5-18.6; A.P.=ferberita) en cristales aciculares y prismáticos alargados, bastante fracturados y participando en dos generaciones: una anterior a la arsenopirita; otra posterior a la arsenopirita y a veces a la pirita. También se presenta como inclusión en la arsenopirita y en la pirita o en las fracturas de la arsenopirita o con inclusiones de arsenopirita en su interior o de sustitución en la arsenopirita o aislada en la ganga de cuarzo; arsenopirita (21%; P.R.=49.2-52; A.P.=FeAsS) aislada en la ganga de cuarzo y como inclusión en la wolframita y en la pirita; molibdenita (i; A.P.=MoS₂) en fibras aisladas en la ganga de cuarzo y de forma acicular como inclusión en la arsenopirita o en el interior de una masa de covellina ligada a la escorodita; bismutinita (i; P.R.=46.3-47; A.P.=Bi₂S₃) aislada en la ganga de cuarzo, como inclusión en la arsenopirita y en la pirita y de sustitución en la blenda; schapbachita (i; A.P.=AgBiS₂) se halla en el interior de la pirita; pirrotina (i; P.R.=34.5-39.2; A.P.=FeS) como inclusión en la arsenopirita, la calcopirita y la pirita; estannina (2%; P.R.=27-29; A.P.=Cu₂SnFeS₄) como inclusión y de sustitución en la calcopirita; se observa como inclusión en la pirita y en las fracturas de la arsenopirita; calcopirita (9%; P.R.=40.8-48; A.P.=CuFeS₂) partici-

pa, como la blenda y la estannina, en dos generaciones: una anterior a la arsenopirita; otra posterior a la arsenopirita y a la schapbachita. Se observa: como inclusión en la arsenopirita y en la pirita y como exsolución en la blenda; se presenta también en fracturas recortando la wolframita y la arsenopirita y sustituyendo a la pirrotina; blenda (2%; P.R.=17.7-19; A.P.=ZnS) como inclusión y de sustitución en la calcopirita; aparece como inclusión en la pirita y en las fracturas de la arsenopirita; cubanita (i; P.R.=38.9-40; A.P.=CuFe₂S₃) sustituye a la calcopirita; pirita (16%; P.R.=50-53.5; A.P.=FeS₂) bastante fracturada y en forma más o menos redondeada o arrionada presentando, a veces, una anisotropía bastante marcada; y marcasita (i; P.R.=47.6; A.P.=FeS₂) en bandas más o menos paralelas incluidas en la pirita.

Los minerales secundarios observados en este filón son: escorodita (5%; P.R.=8.5-9.2; A.P.=As y Fe) rodea a la arsenopirita y rellena sus fracturas, estando acompañada normalmente por la covellina; covellina (5%; P.R.=18-24; A.P.=CuS) reemplaza a la calcopirita; y goethita (i; A.P.=Fe) (fig. 4).

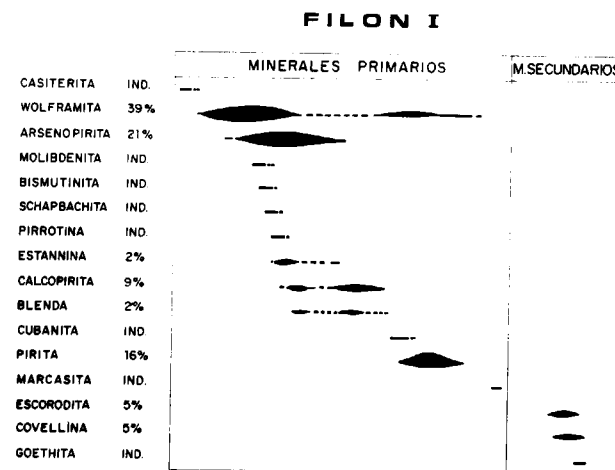


Figura 4.—Paragénesis, orden de cristalización y abundancia relativa de los minerales en el filón I de Trujillo.

ANÁLISIS DE LOS OLIGOELEMENTOS EN LOS MINERALES PRIMARIOS DE LA PARAGENESIS

Gracias a los análisis puntuales llevados a cabo con el M.E.B. y el EDAX, hemos determinado la

presencia de algunos oligoelementos en ciertos minerales.

Resumimos brevemente estos resultados:

- Ni: En trazas, en numerosas muestras de arsenopirita, pirrotina, calcopirita y pirita y en bastantes muestras de bismutinita, estannina y blenda.
- Co: En trazas, en bastantes muestras de arsenopirita y pirita y en algunas muestras de pirrotina.
- Au: En trazas, en algunas muestras de arsenopirita (es bien conocido que el Au está generalmente asociado a la pirita y a la arsenopirita).
- Fe: Con alto contenido en bastantes muestras de blenda, lo que indica para este último mineral una tendencia hacia la marmatita que figura en la paragénesis de temperatura relativamente elevada.
- As, Cu y Ag: En trazas en algunas muestras de bismutinita.

ESTUDIO DE LAS INCLUSIONES FLUIDAS

Mediante una platina calentadora Leitz, modelo 350, se ha determinado la temperatura de homogeneización en el cuarzo contenido en los diferentes filones.

Los resultados obtenidos han sido los siguientes (GUIJARRO, 1982; GUIJARRO, HOYOS y CASAS, 1982):

1.º La temperatura de formación del cuarzo de los filones, establecida a partir de inclusiones primarias, oscila entre 236 y 280° C, aunque el valor obtenido con más frecuencia es de 260° C.

2.º En las inclusiones fluidas de origen secundario, alineadas en pequeñas diaclasas dentro del cuarzo, la temperatura de homogeneización medida es de 175-180° C. Este resultado no tiene naturalmente valor respecto a la temperatura de formación de la mineralización ligada al cuarzo, pero constituye un dato interesante en cuanto a la diferencia de temperatura de homogeneización entre los dos tipos de inclusiones y respecto a la temperatura relativa de las soluciones que han

participado parcialmente en las alteraciones (6) posteriores, afectando tanto al granito como a la mineralización.

CONCLUSIONES

1. La paragénesis completa, o sea, en total 19 minerales, establecida a partir del estudio microscópico de las muestras recogidas en el conjunto de los nueve filones, aparece de la manera siguiente según la abundancia relativa de cada mineral: arsenopirita (15-74%), pirita (3-73%), wolframita (a (7)-48%), blenda (i (8)-21%), calcopirita (i-9%), escorodita (a-5%), estannina (a-2%), pirrotina (i-1%), rutilo (a-i), casiterita (a-i), molibdenita (a-i), bismuto nativo (a-i), bismutinita (a-i), schapbachita (a-i), tenantina (a-i), cubanita (a-i), marcasita (a-i), covellina (a-i), y goethita (a-i).

2. Según el filón considerado, la paragénesis es diferente y sus constituyentes se presentan en proporciones variables. Así, solamente arsenopirita, pirita, calcopirita, pirrotina y blenda aparecen en todos los filones. Por otra parte, a título indicativo, el número máximo de minerales en un mismo filón es de 16 (Filón F, fig. 3 y filón I, figura 4) y mínimo 7 (Filón C, fig. 2) sobre un total de 19.

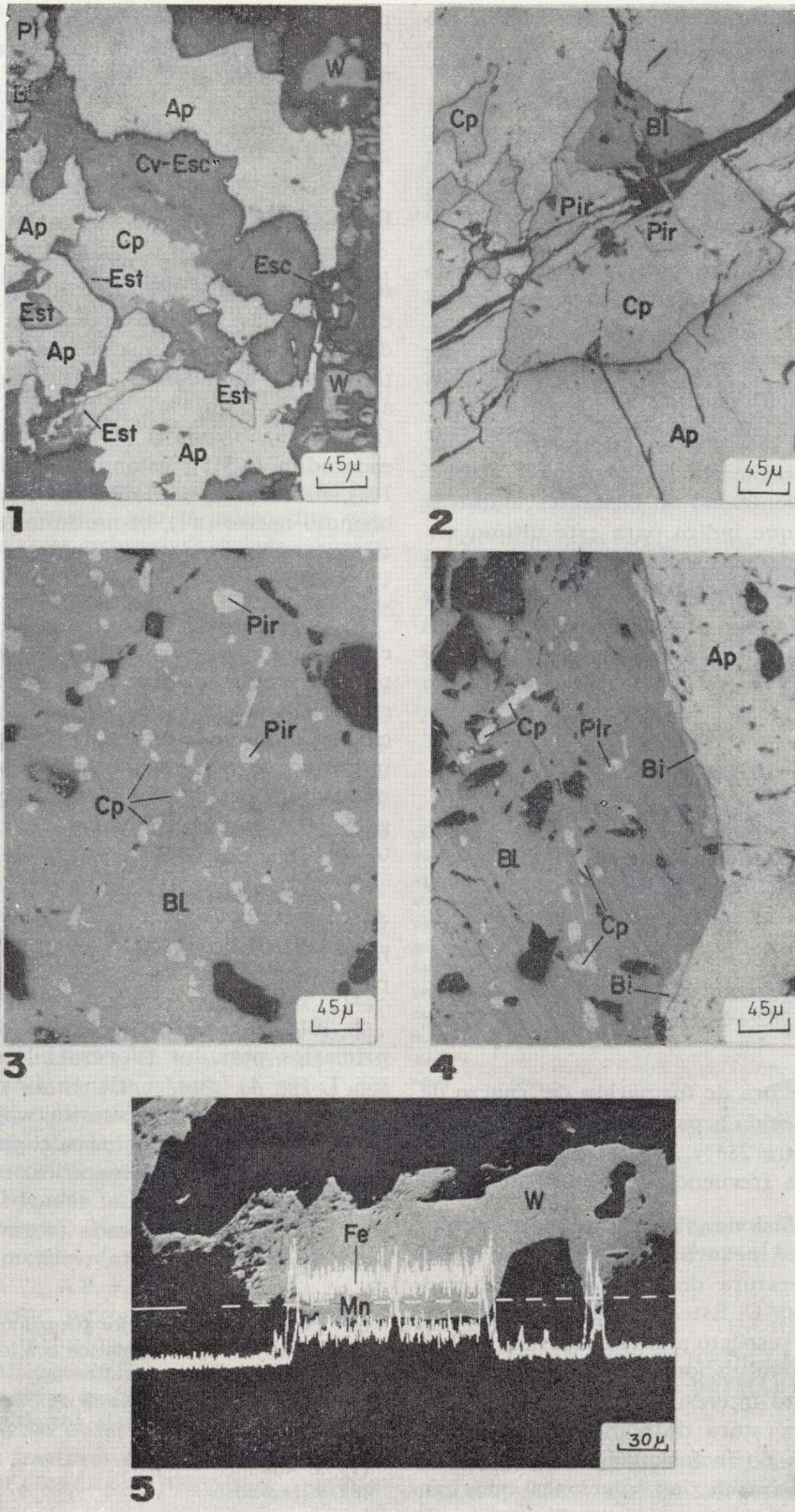
En cada filón el porcentaje de wolframita, objeto de explotación en el pasado, es siempre inferior al porcentaje del conjunto arsenopirita-pirita.

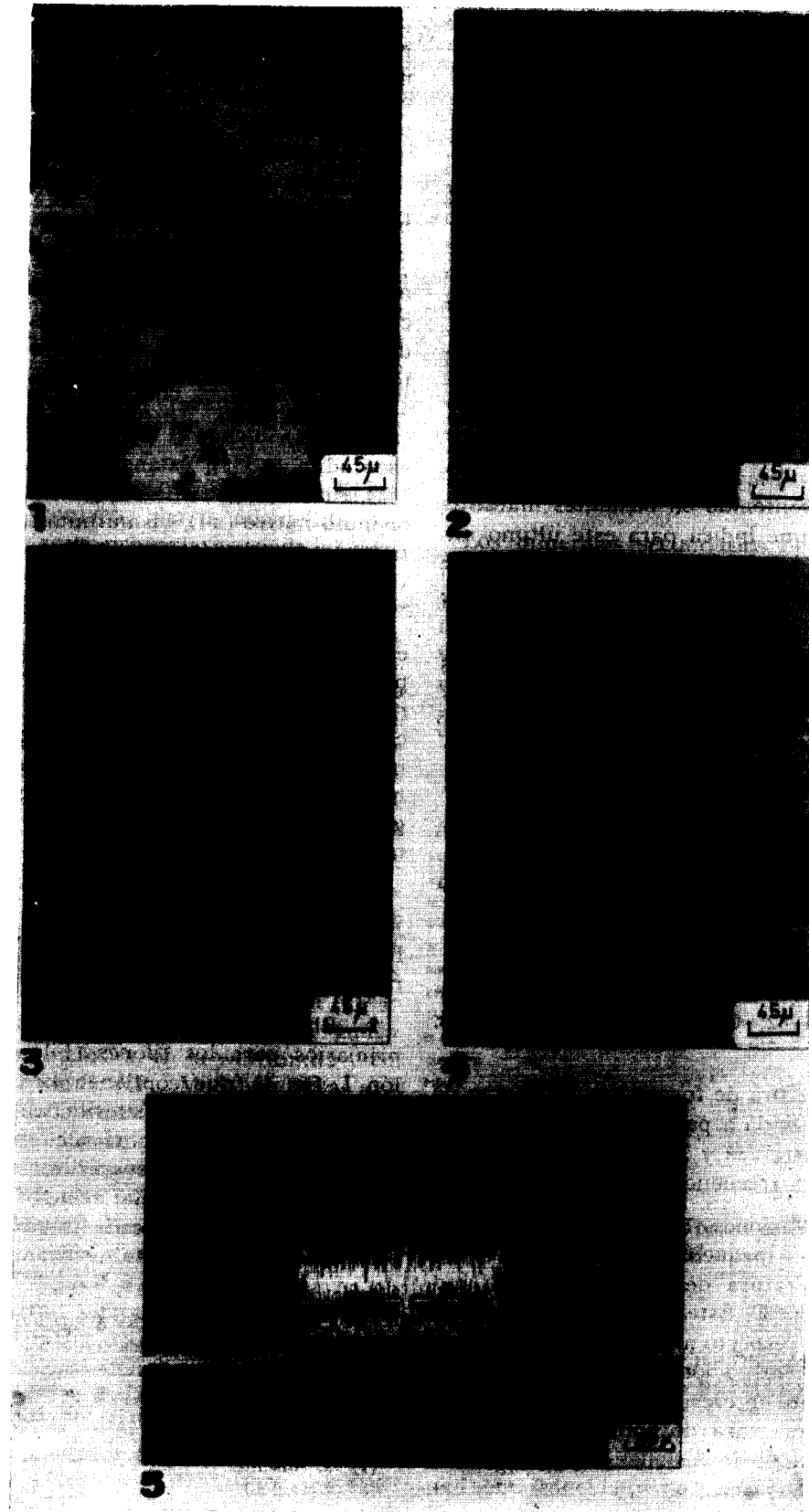
3. El orden de cristalización de los minerales primarios para los filones (Filón F, fig. 3 y filón I, fig. 4), que contienen la paragénesis más completa es: rutilo, casiterita, wolframita (primera generación), estannina-calcopirita-blenda (primera generación), arsenopirita, molibdenita, bismuto nativo, bismutinita, schapbachita, pirrotina, estannina-calcopirita-blenda (segunda generación), tenanita-cubanita, pirita, wolframita (segunda ge-

(6) En un trabajo anterior (GUIJARRO y MONSEUR, 1983) hemos subrayado que en relación con los vapores y fluidos responsables de las mineralizaciones filonianas intraplutónicas de Trujillo, se da cierta silicificación, moscovitización y turmalinización en la adamellita porfídica cercana a los filones.

(7) a: Ausente.

(8) i: Indicios.





neración) y marcasita. Y como minerales secundarios aparecen: escorodita, covellina y goethita.

4. Teniendo en cuenta que:

- La paragénesis descrita es de alta temperatura (casiterita, wolframita, arsenopirita, molibdenita, ..., blenda ferrífera, ...).
- Se da una turmalinización de la adamellita en el contacto con los filones.
- Existen exsoluciones del tipo calcopirita-blenda (aproximadamente 400° C).
- La temperatura de homogeneización del cuarzo de los filones, obtenida a partir de inclusiones primarias, es del orden de 260° centígrados.

Clasificamos este yacimiento como hidrotermal de alta temperatura (Hipotermal) con tendencia hacia el tipo neumatolítico.

BIBLIOGRAFÍA

- ARRIBAS, A.: *Mineral paragenesis in the variscan metallogeny of Spain*. Studia Geologica, XIV, 225-260, 1979.
- GUIJARRO GALIANO, J.: *Las mineralizaciones de W-Sn ligadas a los plutones graníticos de Trujillo y Logrosán (Cáceres, España)*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma, Madrid, 510 pp., 1982.
- GUIJARRO, J.; HOYOS, M. A., y CASAS, J.: *Estudio de las inclusiones fluidas de los filones wolframíferos de Trujillo (Cáceres, España)*. Bol. Soc. Esp. Mineralogía, 6, 49-62, 1982.
- GUIJARRO, J., y MONSEUR, G.: *Estudio de la evolución químico-mineralógica del plutón adamellítico de Trujillo (Cáceres, España)*. Bol. Soc. Esp. Mineralogía, 7, 155-168, 1983.

GUMIEL, P.: *Essai sur la classification typologique des principaux gisements de Sn-W d'Estremadure (Espagne)*. Chronique de la Recherche Minière. Centre d'Etudes Géologiques et Minières, 49° année, núm. 463, pp. 5-26, París, 1981.

IGME: *Programa sectorial de investigación de minerales de W-Sn de la provincia de Cáceres*. Plan Nacional de Minería, 1972-1975.

JULIVERT, M.; FONTBOTE, J. M.; RIBEIRO, A., y CONDE, L.: *Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares*. Inst. Geol. y Min. de España, Madrid, 113 pp., 1974.

LOTZE, F.: *Das Kambrium Spaniens*. Math. Nat. Klane, 1961. Traducción española por J. Gómez de Larena. Mem. Inst. Geol. y Miner. España, Madrid, 1970.

RAMÍREZ, E.: *Notas para el estudio de la metalogenia extremeña. Los yacimientos wolframo-estanníferos de Extremadura Central*. Not. y Com. del Inst. Geol. y Min. de España, núm. 28, 1951.

RAMÍREZ, E.: *Proyecto de investigación y estudio de los yacimientos wolframo-estanníferos de España*. Not. y Com. del Inst. Geol. y Min. de España, núm. 31, 1953.

RAMÍREZ, E.: *Mapa Geológico de España. Escala 1:200.000, Hoja núm. 51, Cáceres*. Inst. Geol. y Min. de España, Madrid, 1971.

RAMÍREZ, E.: *Ensayo de un análisis de posibilidades en mineralizaciones de la provincia de Cáceres*. Bol. Geol. Min., LXXXV, 171-181, 1974.

SAAVEDRA, J.; BIANCO, C. A.; GARCÍA, A., y RODRÍGUEZ, S.: *Estudio del granito de Trujillo (Cáceres)*. II Congreso Ibero-Americano de Geología Económica, Buenos Aires, IV, 315-340, 1975.

SOS BEYNAT, F.: *Recapitulaciones de las características mineralogénicas de la Extremadura Central*. Brev. Geol. Asturiana, Oviedo, 1962.

WINKLER, H.: *Abolition of metamorphic facies. Introduction to four divisions of metamorphic stage and of a classification based on isograd in common rocks*. N. Jahrbuch F. Mineralogie, Manatschecf, 1970.

WINKLER, H.: *Petrogénesis de rocas metamórficas*. Ed. Blume, 346 pp., 1978.

PARAGENESIS, TEXTURAS Y ANALISIS DE WOLFRAMITA

- Estannina (Est.) sustituyendo a (Cp) y (Ap). Covellina (Cv) y escorodita (Esc.) reemplazando a (Cp), (Est.) y (Ap).
(W: wolframita; Cp: calcopirita; Bl: blenda; Pi: pirita; Ap: arsenopirita).
- Pirrotina (Pir) como inclusión en calcopirita (Cp). Blenda (Bl) sustituyendo a (Cp). (Pir), (Cp) y (Bl) como inclusión en arsenopirita (Ap).
- Pirrotina (Pir) como inclusión en blenda (Bl). Exsolución de calcopirita (Cp) en (Bl).
- Arsenopirita (Ap). Inclusión de pirrotina (Pir) en blenda (Bl). Exsolución de calcopirita (Cp) en (Bl). Blenda (Bl) sustituida por bismutinita (Bi).
- Análisis de wolframita (W) con EDAX incorporado al microscopio electrónico de barrido. La proporción Fe/Mn (banda superior Fe y banda inferior Mn) indica claramente que esta wolframita tiende hacia la ferberita, aunque puntualmente se observan ascensos bruscos del Mn.

Precisiones sobre el funcionamiento del sistema kárstico del Barranco de Peñalba a partir de los caudales clasificados del manantial de Iturriotz (Vizcaya) en los ciclos 1983-84 y 1984-85 (*)

Por F. GARCIA-LATORRE (**), J. CRUZ-SANJULIAN (**) y V. IBARRA-LOZANO (**)

RESUMEN

Se ha aplicado el método de caudales clasificados a los datos del manantial de Iturriotz de los ciclos 6 de agosto de 1983-4 de septiembre de 1984 y 4 de septiembre de 1984-12 de octubre de 1985. El hidrograma de esta surgencia muestra una curva de decrecida con disminución de caudal muy rápida, lo que da lugar a que se establezca una relación lineal entre la variable x de la Ley de probabilidad y el logaritmo de los caudales. La representación gráfica pone de manifiesto, en ambos ciclos, dos rupturas de pendiente a aproximadamente 40-50 litros/seg. y 400 l/seg.; dichas rupturas son interpretadas, respectivamente, como el efecto de recarga rechazada en el cauce del arroyo de Peñalba y como el efecto conjunto de inversión en el funcionamiento de los sumideros, aparición de trop-plein y, eventualmente, limitación en la capacidad de infiltración de parte de la superficie que alimenta al acuífero. No obstante, se ha puesto de manifiesto que las alteraciones del régimen de agotamiento del manantial, producidas por precipitaciones en el período, pueden dar lugar a errores de interpretación, por lo que resulta imprescindible contrastar los resultados obtenidos en el tratamiento de ciclos diferentes. Por otra parte, al menos con los datos disponibles, la evaluación, a partir del gráfico, de reservas emitidas por trop-plein, no debe ser considerada aceptable.

RESUME

On a appliqué la méthode des débits classés aux données de la source d'Iturriotz correspondant aux cycles 6 Août 1983-4 Septembre 1984 et 4 Septembre 1984-12 Octobre 1985. L'hydrogramme de cette source présente une courbe de décroissance très rapidement, ce qui donne lieu à une liaison linéaire entre la variable x de la Loi de probabilité et le logarithme du débit. La représentation graphique montre, aux deux cycles étudiés, deux ruptures de pente pour des débits de 40-50 l/seg. et 400 l/seg. à peu près; ces ruptures sont interprétées, respectivement, comme l'effet de recharge refusée au niveau du lit du ruisseau de Peñalba et comme l'effet d'ensemble d'inversion du fonctionnement des pertes de rivière karstique, la parution de phénomènes de trop-plein et, éventuellement, la limitation de la capacité d'infiltration d'une partie au moins de la surface de recharge de l'aquifère. Cependant, on a pu mettre en évidence que les altérations du régime de tarissement de la source produites par des pluies dans la période peuvent donner lieu à des erreurs d'interprétation, ce qui fait indispensable de confronter les résultats obtenus dans le traitement de plusieurs cycles. D'autre part, au moins avec les données disponibles, l'évaluation des réserves perdues par trop-plein réalisée à partir de la graphique ne doit pas être considérée acceptable.

1. INTRODUCCION

Las características del sistema de Iturriotz, que se estudian en el presente trabajo, han sido des-

(*) Este trabajo forma parte del «Estudio Hidrogeológico de Vizcaya» realizado en este Departamento para la Diputación del Señorío, a través de la Fundación Euskoiker. A la Excm. Diputación Foral agradecemos su colaboración y la autorización para publicar los presentes datos.

(**) Departamento de Geomorfología y Geotectónica; Facultad de Ciencias; Univ. País Vasco; Apartado 644; 48080 Bilbao.

critas con anterioridad por los autores (CRUZ-SANJULIÁN, GARCÍA LATORRE e IBARRA LOZANO, in litt.).

El manantial de Iturriotz está situado en la cuenca del Barranco de Peñalba (fig. 1). En la misma afloran materiales de carácter predominantemente calizo, paraurgoniano y urgoniano, y detríticos del complejo Wealdense y del Urgoniano basal.

El manantial de Iturriotz representa el drenaje

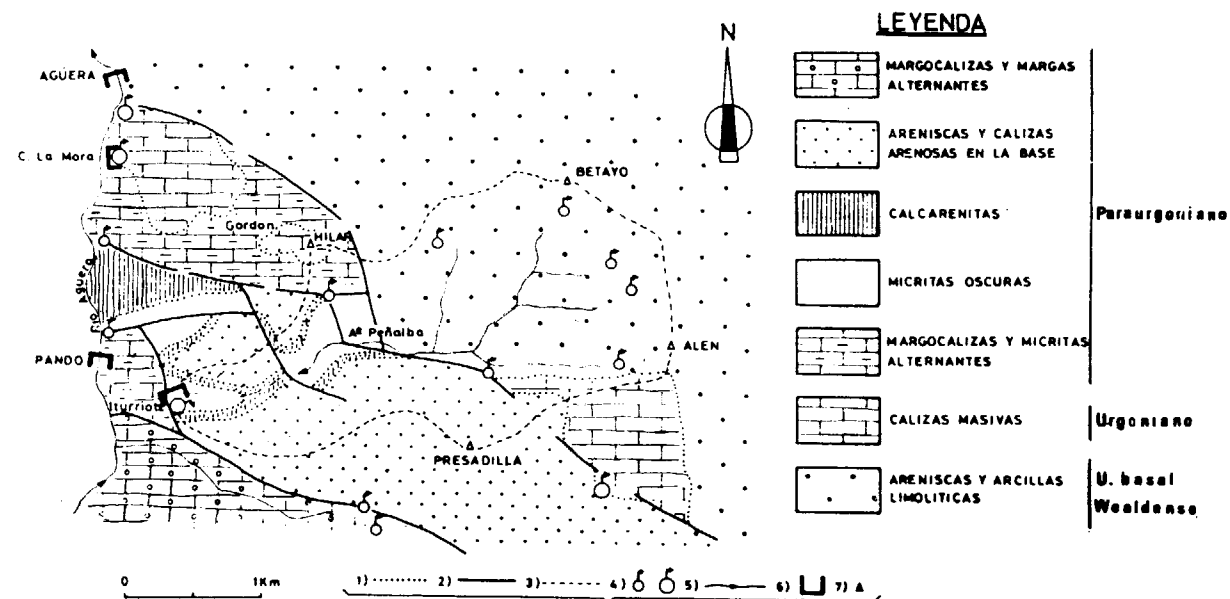


Figura 1.—Mapa geológico del sector del barranco de Peñalba. 1: Contacto estratigráfico. 2: Contacto mecánico. 3: Divisoria de aguas superficiales. 4: Manantiales. 5: Red hidrográfica. 6: Estación de aforo. 7: Vértice geodésico.

subterráneo del sistema, con un caudal medio entre 80 y 90 l/seg. según el año hidrológico considerado. La surgencia está situada en las calizas micríticas de la base de la secuencia paraurgoniana que constituye el acuífero; en esta última se incluyen, además de las mencionadas calizas micríticas, calcarenitas, calizas arenosas y areniscas. Es digno de destacar que en los afloramientos de areniscas existen formas kársticas de absorción, sobre todo en las proximidades del contacto con las calizas infrayacentes.

Existe una recarga del acuífero a partir de las aguas superficiales del arroyo de Peñalba, hasta el punto de que éste se infiltra en su totalidad en estiaje; dicha conexión ha sido demostrada con un ensayo de fluoresceína, en septiembre de 1985 (el trazador tardó 48 horas en surgir por el manantial). Por tanto, el acuífero es recargado indirectamente por el agua procedente de pequeños manantiales situados en los materiales detríticos del urgoniano basal y del complejo wealdense, así como de las calizas urgonianas de Castro Alén, que afloran en la cabecera de la cuenca.

Por otra parte, el propio arroyo debe recibir en momentos de crecida aportaciones de trop-plein o, por lo menos, de recarga rechazada.

Esta recarga ha sido estimada en varias ocasiones y en distintas condiciones de caudal del arroyo mediante una serie de aforos diferenciales, con un valor próximo a 33 l/seg., lo que parece sugerir una capacidad de infiltración limitada. El volumen drenado por el manantial en el año hidrológico 83-84 ha sido 2,6 Hm³; en el mismo período la descarga del arroyo de Peñalba se ha estimado en 0,4 Hm³.

El análisis de las curvas de recesión del manantial de Iturriotz, estudiadas en el trabajo anteriormente mencionado (CRUZ-SANJULIÁN et al., in litt.), pone de manifiesto un sistema con una decrecida muy rápida y, sin embargo, con cierto poder regulador. Dicha aparente contradicción se interpretó como el resultado de la coexistencia en el acuífero de dos niveles de distinto grado de karstificación y de la recarga representada por el arroyo de Peñalba, que implica una influencia indirecta del régimen de descarga de los pequeños manantiales de la cabecera de la cuenca.

En el presente trabajo se trata de obtener un mejor conocimiento del sistema kárstico de Iturriotz y, en particular, de las relaciones entre el arroyo y la surgencia, para lo que se ha aplicado el método de caudales clasificados. El análisis

correlatorio y espectral se presenta en otro trabajo. Los resultados confirman plenamente el modelo conceptual del acuífero anteriormente descrito.

2. FUNDAMENTO DEL METODO DE CAUDALES CLASIFICADOS

La curva de caudales clasificados de un manantial representa el porcentaje de días del período considerado que el caudal tiene valor igual o inferior a uno dado.

Esta curva expresa la regularidad o irregularidad de los caudales de un manantial o, dicho de otra forma, la frecuencia con la que se presenta un determinado caudal. Si se divide dicha frecuencia absoluta por el número de días considerado (sea un año o un ciclo hidrológico de duración concreta) se expresará en ordenadas la frecuencia relativa en el período estudiado (fig. 2).

Si se quiere estudiar las variaciones del caudal de un manantial en función de la variación de las reservas habrá que elegir, en opinión de MANGIN (1971), un ciclo hidrológico comprendido entre el

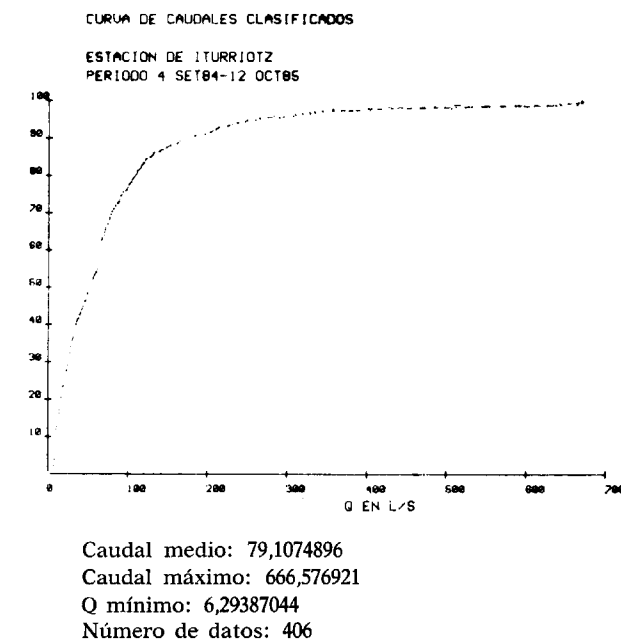


Figura 2.—Caudales clasificados: frecuencia acumulada versus caudal.

final de un estiaje y el comienzo del estiaje siguiente. Según este autor, son despreciables, para el análisis de caudales clasificados, las variaciones más débiles registradas de una a otra crecida, en el período comprendido entre los estiajes pronunciados.

A pesar de que, evidentemente, los caudales de dos días sucesivos no son independientes, lo que en definitiva cuestiona el carácter aleatorio puro de la serie, MANGIN (1971) propuso una ley de probabilidad a la que estarían sometidos los caudales en un ciclo hidrológico, cuya definición ya ha sido comentada.

De acuerdo con la forma habitual de los hidrogramas, la distribución de frecuencias de los caudales será, de este modo, asimilable a la parte positiva de una distribución normal (curva de Gauss), ya que no tienen sentido físico los caudales negativos. La representación de dicha distribución en forma acumulativa da lugar a un gráfico del tipo de la figura 2.

La ley de probabilidad para tal distribución sería:

$$y = \Pr[X \leq x] = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-u^2/2} du$$

La relación entre probabilidad y caudal es diferente según el sistema kárstico considerado (MANGIN, 1971).

Así, para los acuíferos con decrecidas relativamente lentas existe una relación lineal de la forma:

$$X = a(Q - Q_0) \quad (\text{con } a > 0)$$

Por el contrario, en acuíferos en los que la decrecida se realiza de forma mucho más rápida, la relación lineal se establece con el logaritmo del caudal, es decir:

$$X = a(\log Q - \log Q_0)$$

o, lo que es lo mismo,

$$X = a \log \frac{Q}{Q_0} \quad (\text{con } a > 0)$$

Así, pues, si se representan en ordenadas las frecuencias acumuladas con ayuda de la escala de probabilidad facilitada por MANGIN (op. cit.), los puntos correspondientes se alinearán en el primer caso si se utiliza en abscisas para los cau-

dales una escala aritmética y en el segundo si se utiliza una escala logarítmica.

Los cambios de pendiente en la recta representativa reflejan variaciones en la velocidad de crecimiento o disminución de los caudales, lo que puede tener, siempre según MANGIN (op. cit.) tres orígenes diferentes: el aporte de reservas procedentes de un ciclo anterior o de otra cuenca vertiente, la pérdida de una reserva que circule por un punto diferente del drenaje principal del sistema (caso de los «trop-pleins») o que se almacene durante el ciclo estudiado y sea restituido en un ciclo posterior y, finalmente, la captura de una reserva para un valor de caudal dado que participará en el flujo para caudales diferentes.

Un aumento de la pendiente representa un incremento del porcentaje de los caudales para un cierto número de «clases», es decir, un crecimiento o disminución más lento de los caudales para esas clases. En crecida representaría la pérdida de una reserva producida por un almacenamiento momentáneo o por un fenómeno de trop plein. En decrecida significaría el drenaje de una reserva preexistente.

Una disminución de la pendiente representa, por el contrario, un crecimiento o disminución más rápido de los caudales para ciertas clases. En crecida esta circunstancia podría ser atribuida al aporte de una reserva procedente de otra cuenca vertiente, mientras en decrecida y agotamiento estos hechos podrían deberse a la existencia de pérdidas de aguas residuales en un circuito abandonado por el flujo o a la formación de una reserva que podría ser restituida al flujo en un ciclo posterior.

En el trabajo repetidamente citado, MANGIN (1971) aborda incluso una estimación cuantitativa de los volúmenes implicados en las variaciones de reservas representadas en la gráfica, a partir de las coordenadas de los puntos en los que se producen las rupturas correspondientes.

De ello, dicho autor concluye que las variaciones de reserva están en relación sobre todo con la importancia y naturaleza de los estiajes y con el estado anterior del karst saturado. Resulta, pues, que después de un fuerte estiaje, las reservas necesitan varios años para reconstituirse, incluso si los años que siguen son lluviosos; inversamente, la ausencia de estiaje repercutirá en varios ciclos.

Por otra parte, a partir de la desviación típica de los caudales deducida de la ley de probabilidad y teniendo en cuenta las precipitaciones medias en cada ciclo, MANGIN (1971) define el coeficiente de variabilidad del acuífero (Θ). Este coeficiente, que representa la pendiente correspondiente a la relación lineal entre ambas magnitudes, caracteriza el acuífero, de modo que depende no sólo de las modalidades de infiltración sino también de las reservas emitidas durante el agotamiento.

3. APLICACION DEL METODO AL MANANTIAL DE ITURRIOTZ

En el manantial de Iturriotz está instalada una estación de aforo de lámina delgada rectangular dotada de limnógrafo, que permite disponer de un control continuo de datos de caudal, desde junio de 1983.

Las características de esta región, en especial durante el período en el que se ha desarrollado nuestro estudio, dificultan disponer de un ciclo hidrológico que cumpla estrictamente los requisitos fijados por MANGIN (1971) para la aplicación del método. En efecto, de acuerdo con MANGIN (op. cit.), se han elegido los dos ciclos hidrológicos completos que mejor se adaptan a las mencionadas condiciones de aplicabilidad; se trata de los comprendidos entre el 6 de agosto de 1983 hasta el 4 de septiembre de 1984 y desde el 4 de septiembre de 1984 hasta el 12 de octubre de 1985 (fig. 3). No obstante, estos ciclos son relativamente anómalos, ya que el primero incluye las lluvias torrenciales de finales de agosto de 1983 (seguidas por un estiaje que se prolongó, con ligeras alteraciones, hasta primeros de enero de 1984) y el segundo incluye un estiaje excepcional de casi cinco meses (junio a octubre de 1985). Por esta razón, y otras que se comentarán más adelante, se han estudiado además otros subciclos de extensión más reducida: el de agosto a diciembre de 1983 y el de enero a septiembre de 1984.

El tratamiento se ha realizado en microcomputador, mediante un programa desarrollado en este Departamento. Para ello se han utilizado los caudales medios diarios, calculados también automáticamente a partir del limnograma; ello permite analizar ciclos de mayor longitud, aunque, a lo largo de nuestro trabajo, se ha comprobado que



a: Agosto de 1983-Septiembre de 1984.
b: Septiembre de 1984-Octubre de 1985.

Figura 3.—Hidrogramas del manantial de Iturriotz en los ciclos estudiados.

los resultados obtenidos son muy similares a los que resultan de introducir en el tratamiento los caudales medidos cada dos horas.

Como ya se ha comentado en un apartado anterior, el tratamiento de caudales clasificados conduce a obtener tres tipos de gráficas.

En la primera (fig. 2) se representa la frecuencia correspondiente a cada intervalo de caudal, con escala aritmética en ambos ejes. Esta gráfica pone de manifiesto las características generales del funcionamiento de la surgencia. En el caso del manantial de Iturriotz se observa que los caudales son inferiores a 100 l/seg. el 80 por 100 del período analizado; ello se debe a que, a pesar de que existen numerosas puntas que superan holgadamente dicho valor, las variaciones de caudal, tanto en crecida como en decrecida, son extraordinariamente rápidas (CRUZ-SANJULIÁN, GARCÍA LATORRE e IBARRA LOZANO, in litt.).

En los otros dos tipos de gráficas se muestra la probabilidad de presentarse las distintas «clases» de caudal, en escala aritmética y logarítmica respectivamente.

En el manantial de Iturriotz no se obtiene una buena alineación en escala aritmética (fig. 4); por el contrario, la alineación de los puntos al utilizar la escala logarítmica (figs. 5 y 6) evidencia que existe una relación lineal de la ley de probabilidad con el logaritmo de los caudales. Como ya se ha indicado anteriormente, esta característica es propia de sistemas que muestran una oscilación importante en las aportaciones.

La alineación observada en los dos ciclos es-

tudiados permite identificar varios tramos rectos separados por rupturas. No obstante, existen algunas diferencias entre ambos: en el primer ciclo se identifican cuatro tramos rectos limitados por rupturas en, aproximadamente, 25-30 l/seg., 40-50 l/seg. y 300-400 l/seg., mientras que en el segundo sólo aparecen tres tramos rectos delimitados por rupturas de pendiente situadas en 40-50 l/seg. y 400-500 l/seg. Es digno de subrayar el hecho de que los tramos rectos comunes a ambos ciclos (2-2' y 3-3', figs. 5 y 6) presentan exten-

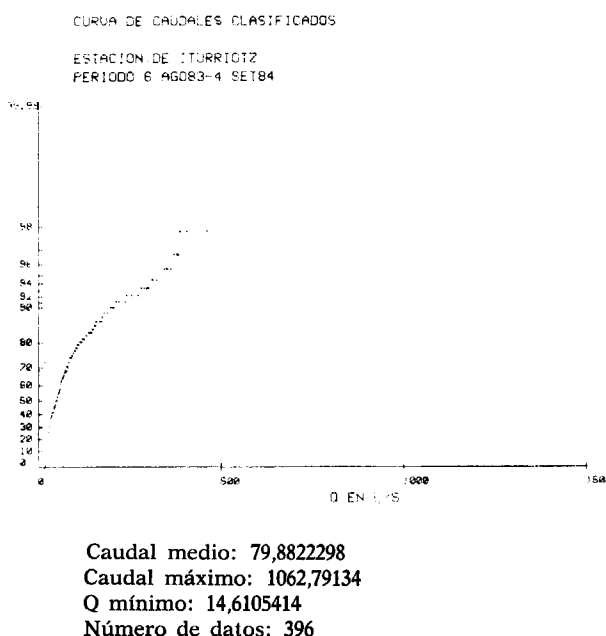


Figura 4.—Caudales clasificados: escala de probabilidad-caudal de Iturriotz.

siones y pendientes sensiblemente coincidentes (ver tabla 1).

De la observación de los hidrogramas se deduce que la ruptura producida en 40-50 l/seg. marca el límite superior del dominio de los caudales de estiaje, es decir, de aquellas épocas en las que todas las aportaciones del arroyo de Peñalba recargan el sistema acuífero, a través de sumideros existentes en el cauce, aguas arriba del manantial de Iturriotz, que representa de este

modo el único drenaje del conjunto de la cuenca. Por encima de 40-50 l/seg., y si se exceptúan crecidas aisladas en épocas de estiaje acusado, debe existir recarga rechazada que circula superficialmente por el arroyo de Peñalba; el efecto de este hecho en el gráfico sería comparable al de la existencia de un «trop-plein», según el modelo de MANGIN (op. cit.), es decir, una mayor pendiente en el tramo correspondiente a los caudales mayores, como en efecto se evidencia en los dos ciclos estudiados (figs. 5 y 6).

CAUDALES CLASIFICADOS

ESTACION DE ITURRIOTZ
PERIODO 6 AGO83-4 SET84

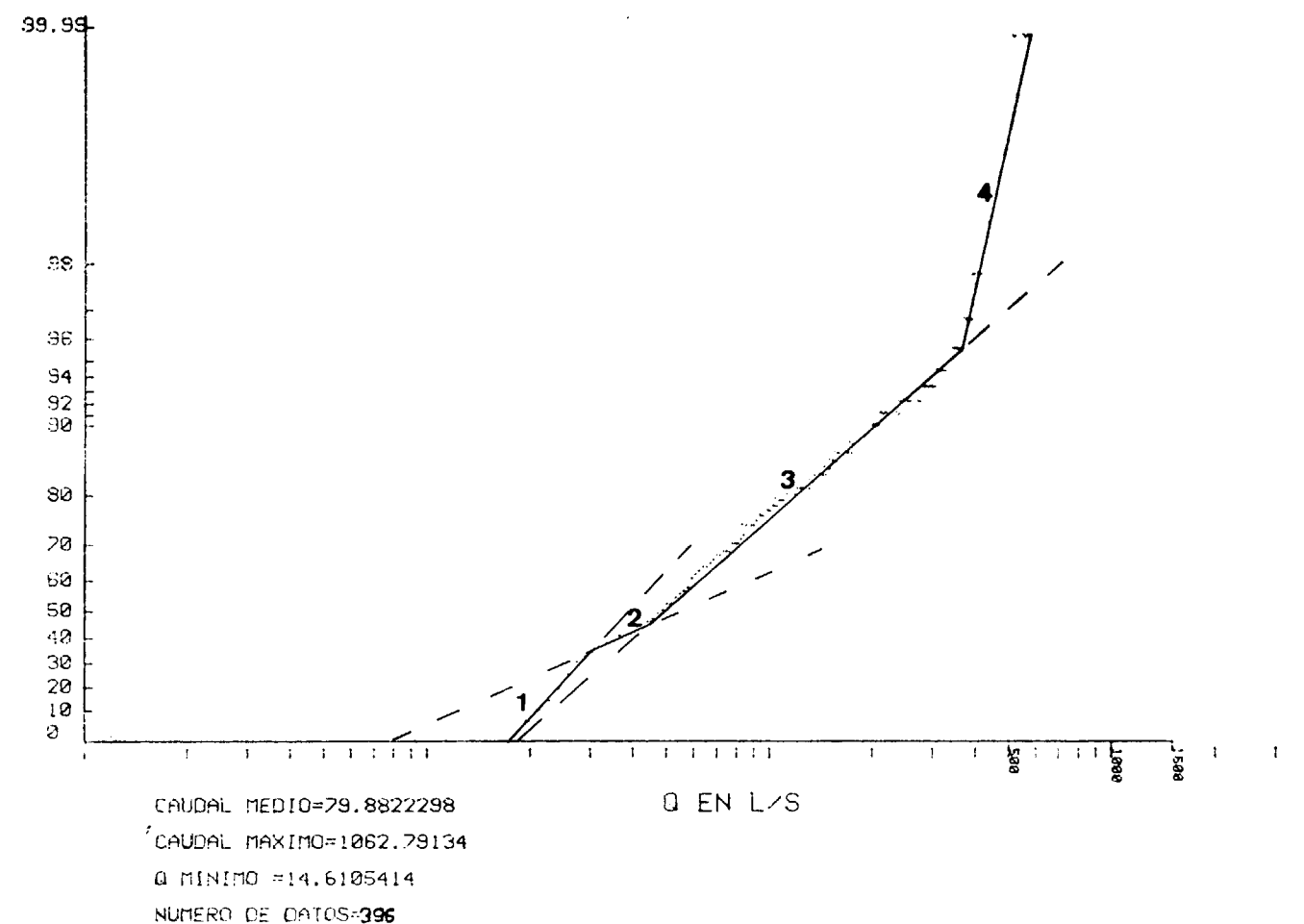


Figura 5.—Caudales clasificados: Escala de probabilidad-logaritmo de caudal de Iturriotz. Ciclo de 6 de agosto de 1983 a 4 de Septiembre de 1984.

CAUDALES CLASIFICADOS

ESTACION DE ITURRIOTZ
PERIODO 4 SET84-12 OCT85

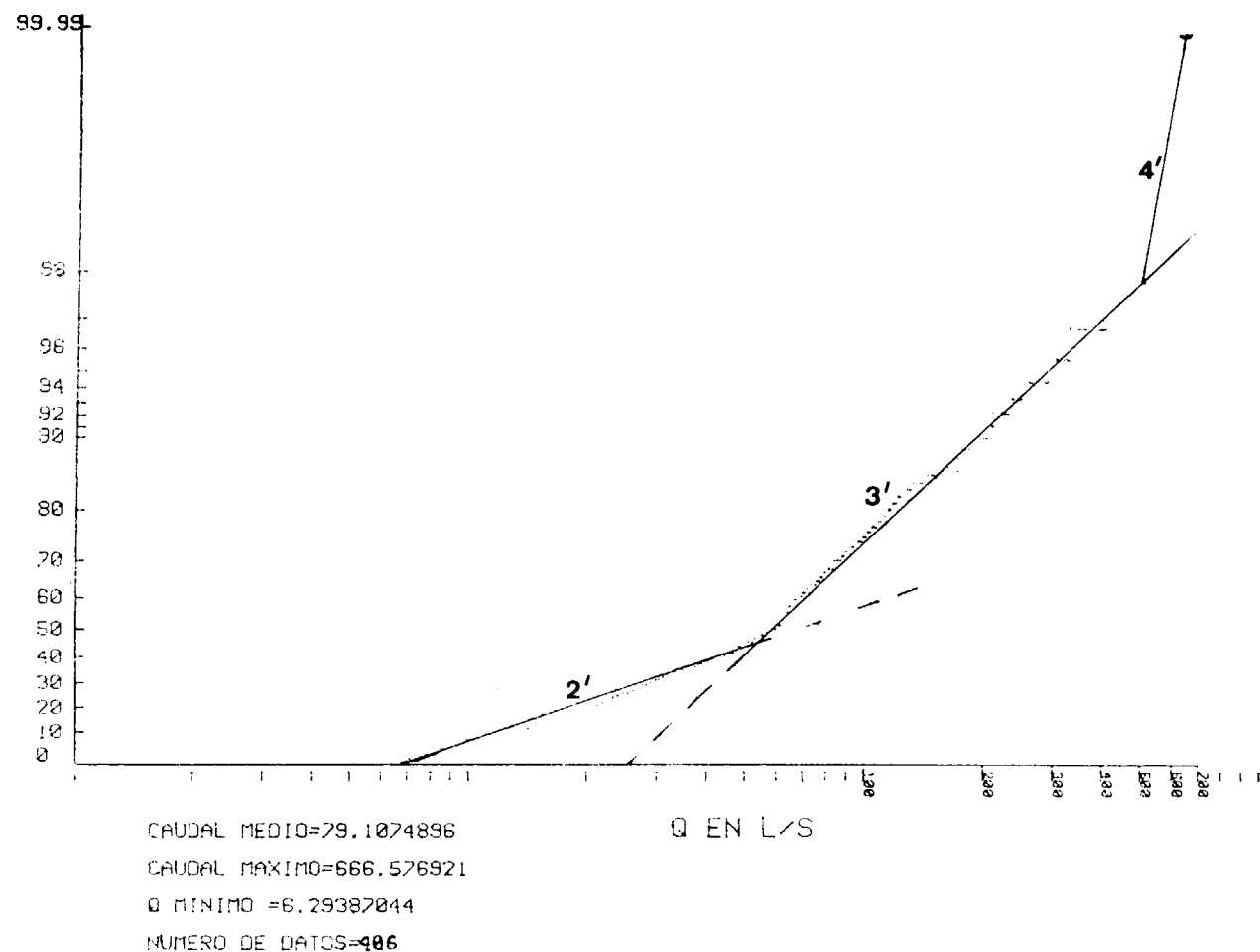


Figura 6.—Caudales clasificados: Escala de probabilidad-logaritmo de caudal de Iturriotz. Ciclo de 4 de septiembre de 1984 a 12 de octubre de 1985.

Por encima de 400 l/seg., aproximadamente, se observa, también en ambos ciclos, otro tramo recto con un nuevo incremento de pendiente. Ello implica, como en el caso de la ruptura anteriormente descrita, un «déficit» de caudal en el manantial en el rango de caudales más altos. Habida cuenta que este rango de caudales corresponde a las crecidas más fuertes, parece lógico achacar este hecho a que existan, quizá simultáneamente: a) rechazo, que puede llegar a ser total, de la recarga en los sumideros del arroyo de

Peñalba; b) inversión más o menos importante del funcionamiento de dichos sumideros; c) aparición de salidas de «trop-plein» a favor de las redes kársticas, generalmente inactivas, identificadas en las proximidades del arroyo, y d) eventualmente, un incremento desproporcionado de la escorrentía superficial frente a la capacidad de absorción de los materiales que constituyen el acuífero, en especial de los términos del Complejo Paraurgoniano que descansan sobre las calizas (cf. CRUZ-SANJULIÁN et al., in litt.).

En cuanto al tramo recto situado por debajo de 25-30 l/seg., que sólo aparece en el primer ciclo estudiado, podría ser interpretado como el efecto de un régimen de descarga diferente en los agotamientos prolongados, ya sea debido a la presencia de dos niveles superpuestos en el acuífero, con menor grado de karstificación el inferior, o ya sea a la importante influencia en estas circunstancias de la recarga adicional del arroyo de Peñalba, cuyo régimen estaría a su vez condicionado por el funcionamiento de una serie de pequeños manantiales en materiales detríticos en la cabecera de la cuenca (CRUZ-SANJULIÁN et al., in litt.).

Es de señalar que, sin embargo, en el ciclo que se extiende entre el 4 de septiembre de 1984 y el 12 de octubre de 1985, no se aprecia tal ruptura (fig. 6), como se comentó en su momento, lo que obliga a considerar más detenidamente dicha interpretación. En este sentido, es necesario hacer constar que entre los dos ciclos de mayor longitud que han sido estudiados existen ciertas diferencias dignas de mención en lo que se refiere al régimen pluviométrico, a pesar de que en ambos la proporción de días secos es semejante; en el segundo ciclo (4 de septiembre de 1984 a 12 de octubre de 1985) existe un solo estiaje de gran duración (junio a octubre de 1985) y particularmente seco, que condiciona unos caudales mínimos muy bajos (del orden de 6 l/seg. al final del período); por el contrario, el primer ciclo cuenta con dos períodos de caudales bajos (septiembre-diciembre de 1983 y junio-septiembre de 1984), en el primero de los cuales la existencia de lluvias de escasa intensidad, pero que se repiten con suficiente cadencia para impedir que se produzca un estiaje acusado, da lugar a que los caudales no alcancen valores mínimos bajos como en el caso anterior, sino que se mantienen repetidamente entre 15 y 30 l/seg. (fig. 3).

De este modo, la ruptura de 15-30 l/seg., que sólo se encuentra en este ciclo, podría ser atribuida a las características anómalas del mismo, en el que el rango de caudales entre 15 y 30 l/seg. está anormalmente bien representado. Para verificar esta hipótesis se decidió estudiar de nuevo este ciclo eliminando su primera parte, en la que se incluyen las lluvias de agosto de 1983 y las producidas durante el estiaje subsiguiente, supuestamente responsables de la aludida anomalía. En el gráfico resultante (período enero-sep-

tiembre de 1984, fig. 7), no aparece el tramo recto de mayor pendiente para caudales inferiores a 25-30 l/seg., mientras que, por el contrario, aparecen tres tramos rectos (II', III', IV'), cuyos parámetros característicos coinciden sensiblemente con los de los tramos correspondientes obtenidos en los ciclos de mayor duración (2-2', 3-3' y 4-4', tabla 1). Ello podría confirmar la hipótesis de que el funcionamiento «normal» del acuífero se traduce en un gráfico de caudales clasificados sin rupturas para caudales inferiores a 40-50 l/seg.

En efecto, el tratamiento por separado del subciclo agosto a diciembre de 1983, que, según hemos supuesto, introduce la anomalía detectada, conduce a la obtención de un gráfico que muestra una ruptura en 25-30 litros (tramos I y II, figura 8 y tabla 1), que, consecuentemente, debe ser atribuida tan sólo al efecto de las peculiaridades características pluviométricas del período.

TABLA 1
Valor de los parámetros característicos (*) de los tramos rectos definidos gráficamente (ver figs. 5, 6, 7 y 8)

	Q ₀ (l/seg)	a
Ciclo 6 agosto 1983-4 septiembre 1984		
Tramo 1	17	1,85
Tramo 2	7,5	0,72
Tramo 3	18	1,37
Tramo 4	190	(**)
Ciclo 6 septiembre 1984-12 octubre 1985		
Tramo 2'	6	0,62
Tramo 3'	24	1,90
Tramo 4'	250	(**)
Subciclo 6 agosto 1983-31 diciembre 1983		
Tramo I	18	4,40
Tramo II	14	2,58
Subciclo 1 enero 1984-4 septiembre 1984		
Tramo II'	15	0,74
Tramo III'	24	1,96
Tramo IV'	230	(**)

(*) El parámetro «Q₀» representa el caudal mínimo (Pr [X ≤ x] = 0) correspondiente a cada tramo recto y «a» la pendiente de dicho tramo, calculada de acuerdo con MANGIN (1971).

(**) Por razones geométricas, dado el método de cálculo de la pendiente, ésta no puede evaluarse en estos casos con el mismo grado de precisión que en los restantes tramos, por lo que sus valores no se incluyen en esta tabla.

CAUDALES CLASIFICADOS

ESTACION DE ITURRIOTZ
PERIODO 1 ENE84-4 SET84

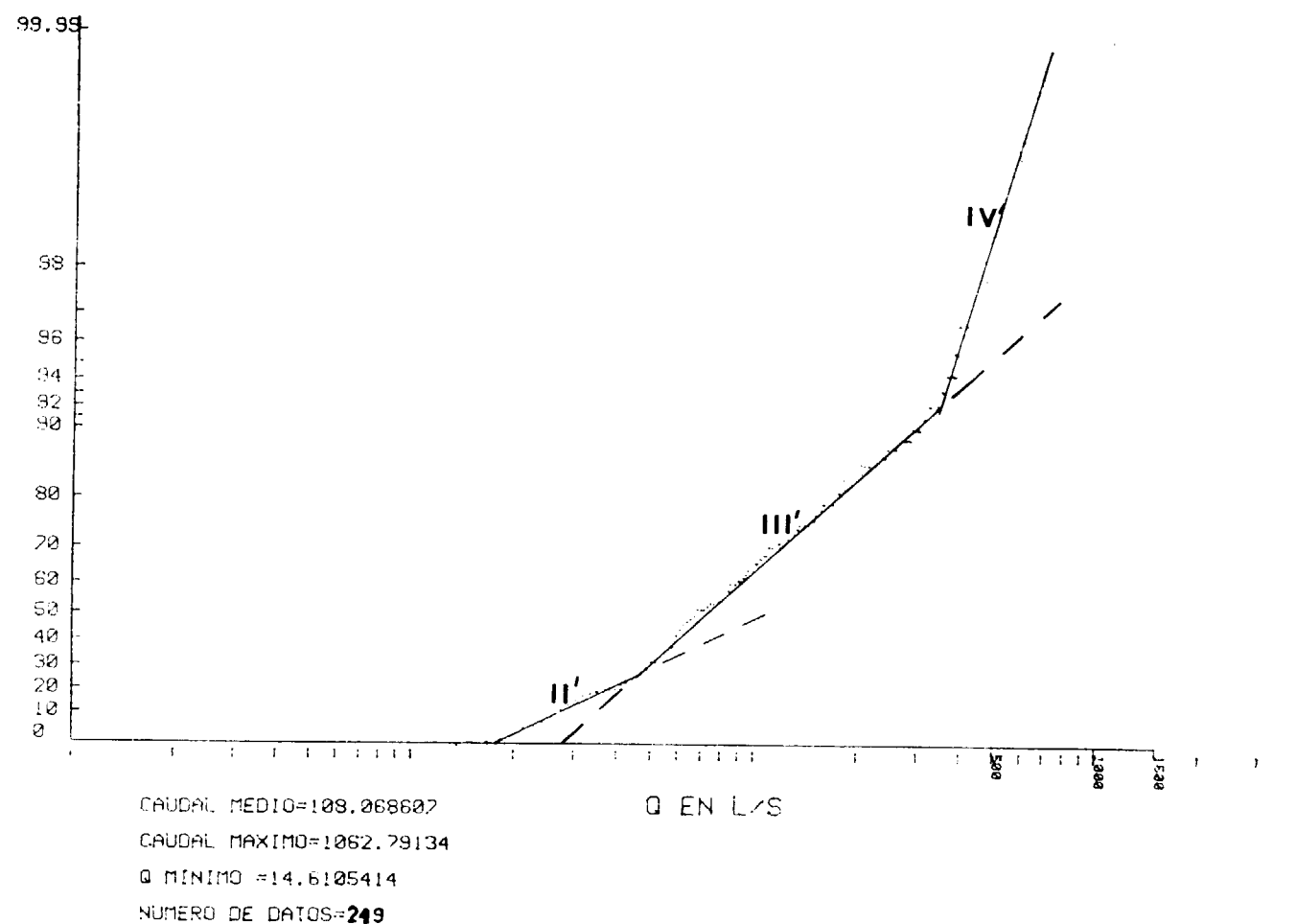


Figura 7.—Caudales clasificados: Escala de probabilidad-logaritmo de caudal de Iturriotz. Subciclo de 1 de enero a 4 de septiembre de 1984.

En cuanto a la estimación a partir del gráfico de las aportaciones de tipo «trop-plein», tal como la realiza MANGIN (op. cit.), conduce en nuestro caso a valoraciones por exceso, que no coinciden con los datos disponibles; en efecto, las aportaciones totales del arroyo de Peñalba, por el que circula tanto la recarga rechazada como las eventuales aportaciones de «trop-plein», han sido evaluadas mediante aforos directos en 0,4 Hm³/año, cifra sensiblemente inferior a la obtenida del gráfico.

Igualmente, y dado que sólo disponemos de

dos ciclos, es obvio que resultaría aventurado intentar definir la relación lineal entre las desviaciones típicas de los caudales y las precipitaciones medias en cada período; por esta razón aplazamos el cálculo del coeficiente de variabilidad del acuífero, que representa la pendiente de dicha relación lineal, hasta disponer de un mayor número de datos.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo ponen

CAUDALES CLASIFICADOS

ESTACION DE ITURRIOTZ
PERIODO 6 AGO83-31 DIC83

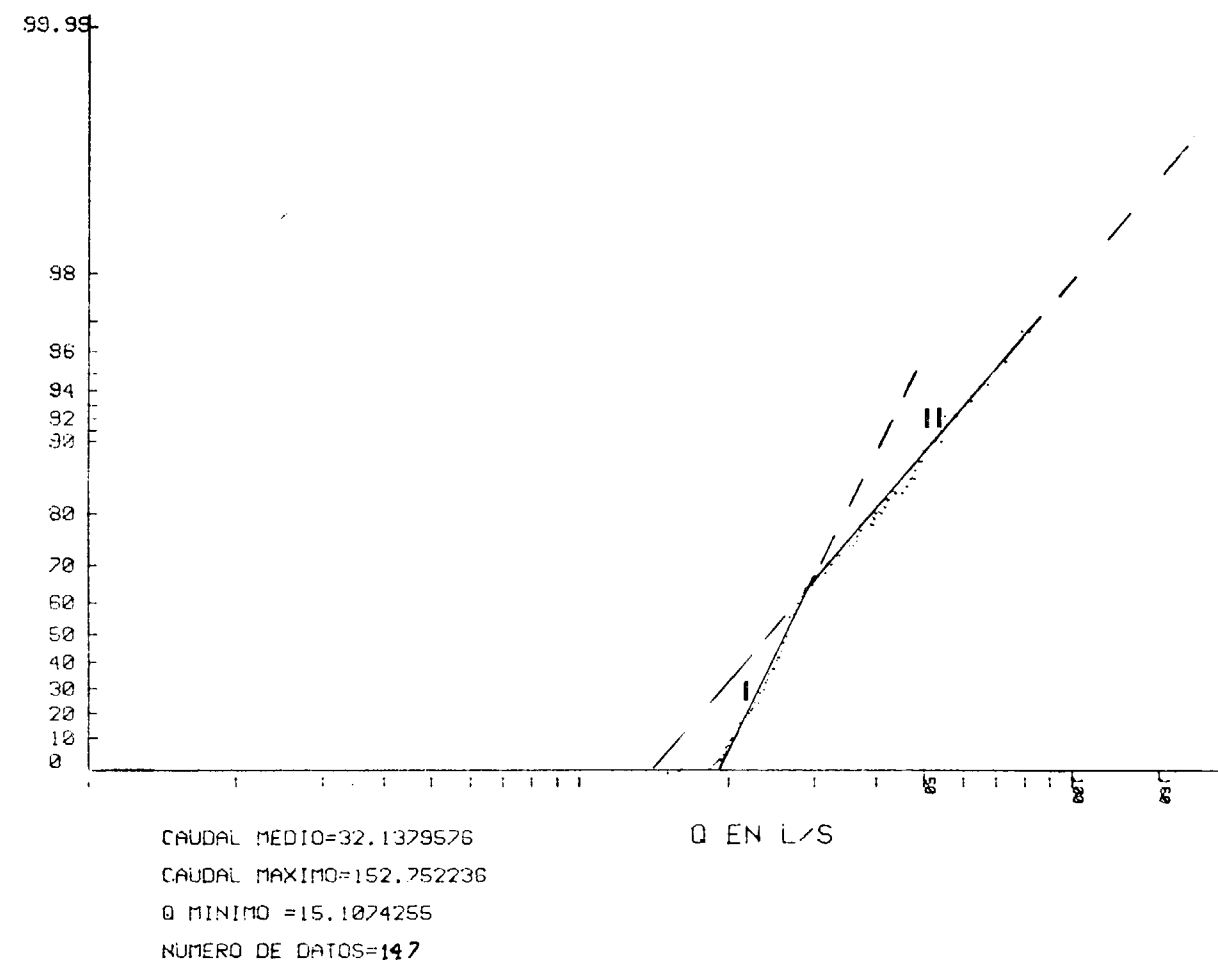


Figura 8.—Caudales clasificados: Escala de probabilidad-logaritmo de caudal de Iturriotz. Subciclo de 6 de agosto a 31 de diciembre de 1983.

de manifiesto que para la aplicación del método de caudales clasificados es necesaria una cuidadosa selección del ciclo a estudiar, de tal modo que el análisis de un ciclo aislado puede conducir a conclusiones erróneas si los resultados no son contrastados con los de otros períodos de diferentes características climáticas. Los ejemplos mostrados evidencian que estos problemas se refieren sobre todo a los caudales más bajos, cuyas variaciones resultan más sensibles al efecto de precipitaciones, incluso pequeñas, durante

el estiaje. Por el contrario, las características relativas a los caudales medios y altos parecen sufrir menos alteraciones de uno a otro ciclo y resultan coherentes con el modelo conceptual del funcionamiento del acuífero adquirido por otros métodos.

En cualquier caso, estas circunstancias exigen aplicar el método a varios ciclos diferentes y obtener las conclusiones sólo después de un estudio comparado del conjunto. Por otra parte, este análisis requiere disponer de suficiente información

previa del funcionamiento del acuífero, que resulta, de este modo, contrastada.

Se puede añadir que el tratamiento de datos desarrollado ha puesto de manifiesto que, a pesar de la rápida respuesta de este tipo de acuíferos (cf. CRUZ-SANJULIÁN y MORALES, in lit.), los resultados no parecen afectados por la parcial laminación de las puntas que produce el hecho de tratar caudales medios diarios en lugar de los datos disponibles de caudales medidos cada dos horas. Ello permite considerar ciclos más largos, ventaja que esperamos sea autorizada por los nuevos resultados que vayan obteniéndose de la sistemática aplicación del método a diferentes acuíferos de la región.

En cuanto a las estimaciones cuantitativas de volúmenes realizadas a partir de períodos de tiempo y caudales medios obtenidos del gráfico loga-

rítmico, su fiabilidad parece dudosa, al menos en el ejemplo de Iturriotz, estudiado en este trabajo a partir de los dos ciclos disponibles.

BIBLIOGRAFIA

CRUZ-SANJULIÁN, J.; GARCÍA-LATORRE, F., e IBARRA-LOZANO, V.: *Delimitación del sistema kárstico del manantial de Iturriotz (Trucios, Vizcaya): su caracterización a partir del análisis del hidrograma*. Bol. Geol. Min., T. XCVII-VI, pp. 782-792 (1986).

CRUZ-SANJULIÁN, J., y MORALES, T.: *Caracterización del sistema kárstico de Olalde a partir del análisis del hidrograma del manantial*. Estudios Geológicos, 11 pp., 7 figs. (pre-print) (in litt.).

MANGIN, A.: *Etude des débits classés d'exutoires karstiques portant sur un cycle hydrologique*. Ann. Spéléol., t. 26, fasc. 2, pp. 283-329 (1971).

Recibido: Septiembre 1986.

Aplicación de las técnicas de modelado e inversión sísmica a la prospección de carbón: Ejemplo de una cuenca española

Por J. L. PLATA TORRES (*)

RESUMEN

Apoyándose en una prospección sísmica realizada por el IGME en una cuenca lignitífera, se trata de demostrar las ventajas de la utilización de las técnicas de modelado e inversión, tanto en la planificación como en la interpretación de las secciones sísmicas, con su repercusión sobre las exigencias de sondeos mecánicos en una fase exploratoria.

ABSTRACT

This note tries to show the advantages of using the modeling and inversion techniques in seismic surveys for explorations of sedimentary basins in the search of coal. We make use of actual data collected by IGME and deduce the economy in holes that can be made in the preliminary phase of the exploration.

1. INTRODUCCION

Desde 1981, el IGME dispone de un equipo sísmico digital, válido para efectuar prospecciones de alta resolución a profundidades inferiores a los 1.000 m. El registrador es un DHR-1632 MS (I/O) de doce canales, con sistema de adición de impulsos en tiempo real según el método Mini-Sosie. Como fuente de energía se emplean pisonos vibratorios Wacker de 60 y 100 kg. Más adelante se darán más detalles sobre la constitución y características de este equipo.

De las diversas campañas efectuadas hasta ahora, cabe resaltar las dedicadas a prospección de lignitos.

De acuerdo con la experiencia adquirida en este tipo de prospecciones, podemos expresar con carácter general en qué momento debe utilizarse la sísmica de reflexión y con qué objetivos, con las naturales limitaciones que toda generalización de una metodología de investigación lleva consigo.

Una vez que los criterios puramente geológicos (cartografía, estudios de sedimentología, paleobo-

tánica, etc.) han seleccionado áreas favorables, sobre éstas puede utilizarse métodos eléctricos (SEV) para localización de capas conductoras, que marquen la posible existencia de arcilla o lignito. De acuerdo con los resultados de la prospección geoelectrica se puede efectuar al menos un sondeo mecánico, con extracción continua de testigo y al mismo tiempo realizar en él una testificación geofísica completa (resistividad, potencial espontáneo, radiación gamma natural, densidad calibrada y velocidad sónica).

El sondeo debe penetrar lo suficiente en el nivel inferior que interese determinar (p. e., fondo de cuenca si fuera el caso) para permitir la obtención de parámetros geofísicos del mismo. Esta longitud es del orden de cinco metros como mínimo.

Al finalizar esta fase ya se tendrán mejores conocimientos sobre la potencialidad lignitífera real del área y será o no recomendable proseguir la investigación. Es en este momento donde puede entrar la sísmica de reflexión.

Con los datos de la testificación sónica y densidad, se puede efectuar un cálculo y análisis de las impedancias acústicas, coeficientes de refle-

(*) Sección de Geofísica del IGME.

xión y resolución posible, lo que aconsejará o no la utilización del método sísmico y determinará su modalidad y parámetros de registro y proceso.

Los objetivos de la campaña sísmica pueden ser efectuar el seguimiento de la capa lignitífera y del fondo de cuenca, cuantificando la posición de ambos y dando lugar al mejor posicionamiento de nuevos sondeos mecánicos.

La determinación de la potencia de la capa productiva, así como de sus pequeños accidentes será posible de acuerdo con la resolución a la que pueda llegarse con la modalidad sísmica empleada.

Una vez obtenida la sección sísmica, la interpretación consiste en recuperar de ella la información que contiene y expresarla en términos geológicos. El primer paso es la identificación en la sección de los reflectores, procediéndose luego a su seguimiento.

En este trabajo vamos a mostrar un ejemplo de la aplicación de las técnicas de modelado e inversión a la identificación de reflectores. En primer lugar se va a hacer una breve revisión de los conceptos fundamentales de estas técnicas; posteriormente se explicará la realización concreta de una aplicación. No se va a hacer hincapié en los aspectos teóricos de cada fase, ya que creemos más interesante el enfoque práctico y experimental de esta aplicación.

2. CONCEPTOS GENERALES DE MODELADO E INVERSION SISMICA

La idea básica es que la traza sísmica resulta de la convolución de la función de reflectividad de la tierra con la onda emitida por la fuente de energía, a lo que se añade el ruido.

La intensidad de la onda reflejada es proporcional al contraste de impedancias acústicas del reflector y su polaridad depende del signo del cambio.

El modelado tiene por objeto el calcular la traza sísmica que puede producir un modelo geológico. Dicho modelo se traduce a una función de coeficientes de reflexión, que se convoluciona con un impulso.

Diferentes modelos o diferentes métodos de efectuar el modelado pueden dar resultados equivalentes,

por lo que la comparación de la traza modelo y la traza real no da resultados totalmente concluyentes, aunque sí pueden eliminarse como posibles los modelos que no consigan coincidencia, sin que ello signifique que el modelo que consiga la coincidencia es el que realmente existe en el subsuelo.

Una de las dificultades en el modelado es la obtención del impulso correcto para efectuar la convolución. Este puede obtenerse de los datos de los registros de terreno, aunque en realidad varía con la distancia y el tiempo. Otra fuente de limitaciones es que al estar las interfases próximas entre sí, sus reflexiones se solapan, siendo difícil asociar un suceso sísmico a una interfase en particular. Las ondas producidas por las variaciones graduales de velocidad es otra limitación en la correspondencia entre traza real y modelo.

La inversión, lo que persigue es obtener un modelo (variaciones de impedancia acústica) a partir de la traza observada.

Siendo V_i la velocidad de una capa y d_i su densidad, cada superficie de separación entre los medios i e $i+1$ se caracteriza por su contraste de impedancia acústica

$$C_i = V_i d_i / V_{i+1} d_{i+1}$$

La reflectividad o coeficiente de reflexión en dicha interfase viene dado por

$$R = \frac{1 - C_i}{1 + C_i}$$

representando la relación entre la energía reflejada y la incidente, para trayectorias verticales, transmitiéndose a las capas inferiores la energía T , de tal forma que $R+T=1$.

Para cada línea vertical del subsuelo, las sucesivas capas de distinta litología, forman una serie o función de coeficientes de reflexión $F(R_i)$.

Si S es la onda emitida por la fuente de energía empleada, la convolución de dicha onda con la función de coeficientes de reflexión, más el ruido, es la traza sísmica

$$TS = F(R_i) * S + \text{ruido}$$

La transmisión de S en el subsuelo se ve afectada de numerosos mecanismos de distorsión y absorción de energía hasta llegar a ser registrada:

divergencia esférica, absorción inelástica, variación del coeficiente de reflexión con el ángulo de incidencia, curvatura y rugosidad del reflector, reflexiones múltiples, sensibilidad y acoplamiento del geófono, sistema de amplificación y registro, etc.

Esto hace que a la traza sísmica registrada haya que afectarla de una serie de operaciones para tratar de eliminar estos efectos y que sea lo más parecida a una traza sin distorsión ni ruido.

Estas operaciones, que comienzan con el control de las amplificaciones o ganancias introducidas en su registro y el empleo de un dispositivo adecuado que garantice incidencias próximas a la vertical, consisten en añadir al proceso normal técnicas de recuperación de la amplitud (para eliminar la absorción y divergencia), migración (para eliminar las curvaturas del reflector), etc.

A la traza sísmica así depurada se le aplicará un operador de convolución DE tal que consiga recuperar la función $F(R_i)$

$$F(R_i) = TS' * DE.$$

El cálculo de este operador es posible si se conoce en una posición la función $F(R_i)$, a partir de las velocidades y densidades suministradas por testificación de un sondeo mecánico.

El operador calculado para la traza coincidente con el sondeo mecánico se utiliza para el resto de las trazas en un entorno del mismo, obteniéndose así las funciones en reflexión de la sección.

De la función $F(R_i)$ pueden deducirse las impedancias

$$V_{i+1} d_{i+1} = V_i d_i \frac{1 + R_i}{1 - R_i}$$

y de las impedancias, la litología o modelo.

Debido al diferente contenido en frecuencias entre la traza sísmica (limitada a una banda) y la testificación sónica, que por efectuarse con un dispositivo mucho más corto es más rica en frecuencias, es preciso limitar la validez de la traza sintética obtenida por deconvolución a la banda de frecuencias de la traza real.

3. REALIZACION DEL ENSAYO

3.1. Características geológicas de la zona

El ensayo que se va a mostrar fue realizado por el equipo del IGME en una cuenca sedimentaria terciaria, con basamento granítico. El esquema de los depósitos, de fondo de cuenca hacia la superficie es: arenas, arcillas arenosas, arcilla-lignito, arcilla, arenas arcillosas, arenas limpias.

La potencia y extensión de las diferentes capas es muy variada, de tal forma que en algunas partes pueden estar ausentes algunas de ellas o presentar un desarrollo mucho mayor que en otras.

La mayor potencia de sedimentos se sitúa en torno a los 210 m., localizándose el paquete arcilloso-lignífero sobre los 100 m., con potencias de conjunto de hasta unos 30 m.

La zona está bien controlada por sondeos mecánicos y el objetivo de la sísmica de reflexión es estudiar la detectabilidad de las capas de lignitos y de la morfología del fondo de cuenca.

3.2. Registro de los datos en campo y proceso de los mismos

La fuente de energía empleada proporciona impactos con un espectro de frecuencias útiles hasta los 300 Hz, si bien el rápido amortiguamiento en las capas superficiales hace que a los geófonos próximos no lleguen más que unos 200 Hz y a los lejanos un máximo de 100 Hz.

En cada traza se han dispuesto 18 geófonos con frecuencia natural de 30 Hz, y respuesta plana en el margen de 50 a 400 Hz. Estos geófonos se han agrupado en la traza, si bien en algunos perfiles se ha empleado un dispositivo de 10 m., colocando los geófonos en dirección del perfil y separación de 1,25 m.

El filtrado de terreno se ha encomendado fundamentalmente a la fuente de energía, desplazándola un segmento de 10 m. durante el transcurso de la emisión de 1.800 golpes por registro.

El dispositivo empleado es de 12 trazas, con separación de 10 m., obteniéndose una cobertura del 600 por 100 en puntos del reflector separados 5 m.

La ganancia aplicada a cada canal es fija, en

pasos de 2 dB, habiéndose tenido en cuenta para un posterior proceso en amplitud preservada.

Los registros se han efectuado filtrando en fase analógica 30 Hz en pasa baja, y muestreando cada 1 milisegundo, con filtro aliasing en 500 Hz. La duración es de 1 segundo.

El proceso, según la secuencia ordinaria, comprende la formación de los CDP, con aplicación de ganancia lineal proporcional al tiempo de recorrido; la deconvolución con operador de 160 ms en la ventana de 100 a 700 ms; la aplicación de las correcciones estáticas y dinámicas, migración por ecuación de ondas y filtrado en banda de 30-100 Hz.

La representación de las secciones, en área variable junto con la traza galvanométrica, se ha hecho en escala 1/5.000 y 20 cm. por segundo.

Tanto en la fase de registro como de proceso se han efectuado ensayos aplicando parámetros diferentes, con las conclusiones siguientes:

El emplear los geófonos agrupados en cada traza, en vez de extenderlos en una longitud de terreno, si bien produce un peor filtrado, consigue una mejor definición del carácter de las ondas reflejadas, al disminuir el segmento del reflector de donde proviene la información.

El ruido coherente disminuye al no efectuar en la representación de las secciones una mezcla de trazas próximas.

El tratamiento con preservación de la amplitud, destaca más en la sección los reflectores de mayor contraste de impedancias acústicas, pero deja menos visibles los contrastes pequeños (como cambio de arena a arenas de matriz arcillosa o el contraste con el granito de fondo). Por esta razón, dicho método no debe emplearse más que con finalidad de procesos estratigráficos especiales.

3.3. Obtención de impedancias acústicas. Modelado

Los tres documentos de partida para este tipo de análisis son:

- Columna litológica del sondeo mecánico.
- Testificación sónica.
- Testificación de densidad.

En la figura 1 se representan estos datos. (Esquemáticos para los principales cambios.)

La columna del sondeo puede sintetizarse en lo siguiente: arenas limpias hasta los 70 m.; arenas con matriz arcillosas e intercalaciones de arcillas desde los 70 a los 82 m., siendo las intercalaciones de potencias variables desde 0,14 a 1,40 m.; desde los 82 a los 126 m. la columna está ocupada por arcillas y lignitos, presentándose éste a los 92 m. (0,40 m. de potencia), 97 m. (0,60 m.), 99 m. (0,70 metros) y 110 m. (9 m. de potencia); de los 126 a los 151 m. son arenas de matriz ligeramente arcillosa, pasando a arenas limpias hasta los 171 metros en que se empieza a cortar granito descompuesto; se interrumpe el sondeo a los 173 m.

La información suministrada por las testificaciones sólo alcanza hasta los 170 m., al no poder descender más las sondas. Esto hace que no se pueda conocer los parámetros del granito.

Los datos del registro sísmico (para una sonda de 1 m. entre fuente y detector, separación de 20 cm. entre los dos detectores) se han promediado en primer lugar en intervalos de 2 m., equivalente a 1 ms (salvo en los casos de capas menos potentes), trazando luego una función de velocidad, que es la representada en la figura 1 c.

Los primeros 28 m., no registrados por la sonda, se han complementado con información obtenida mediante un ensayo de «up-hole».

Las superficies de cambio litológico se han numerado para facilitar su identificación en los distintos gráficos. El primer paquete de arenas limpias se adapta bien a una velocidad de 1.800 m/s., pasando de forma gradual según aumente el contenido en arcillas a 1.700 m/s. La entrada en el paquete de arcillas (superficie 2) se hace con una variación brusca de la velocidad, que desciende a 1.600 m/s. hasta la interfase 10, donde pasa de nuevo a 1.700 m/s. y luego bruscamente a 2.250 metros por segundo, para la capa de arenas de matriz arcillosa. Esta velocidad desciende gradualmente a 2.050 a partir de la interfase 12, en el paso a arenas limpias.

Dentro de los paquetes de arenas se observan en los registros alteraciones de más de 200 m/s., debidas posiblemente a las intercalaciones antes mencionadas y que no han sido reflejadas en la columna litológica. De todas formas, en esta exposición se ha preferido mantener un esquema

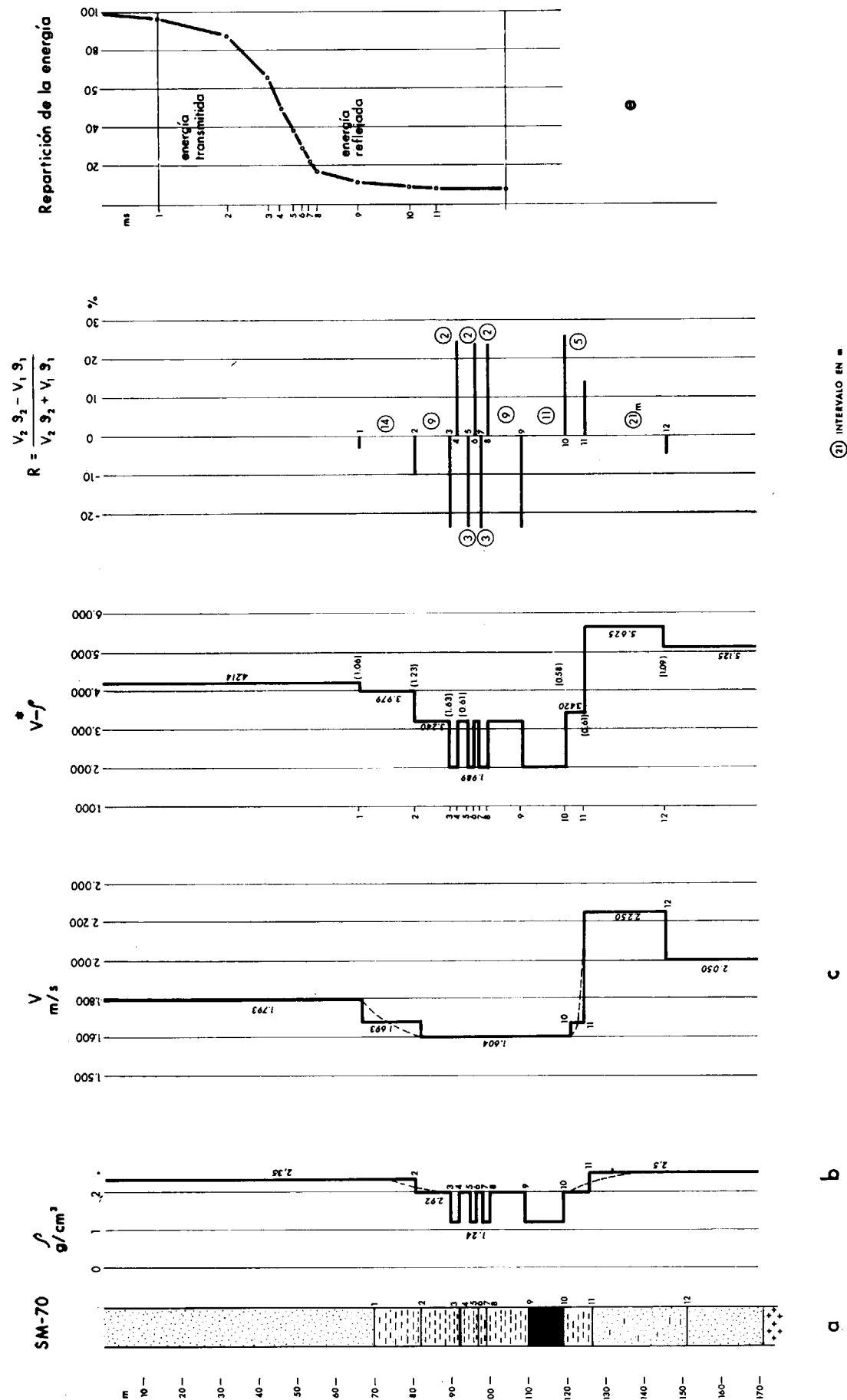


Figura 1.—Proceso de formación de los coeficientes de reflexión.

- a: Columna de sondeo mecánico con las principales alternancias.
- b: Simplificación del registro de densidad.
- c: Simplificación del registro de velocidad sísmica.
- d: Coeficiente de reflexión.
- e: Repartición de la energía en función de la profundidad (en tiempo) con posición de las superficies reflectoras.

simplificado, que ponga de manifiesto sólo los principales rasgos de la secuencia litológica.

La función de coeficientes de reflexión para este esquema sería la representada en la misma figura 1d, en función de la profundidad. Las superficies limitadoras del lignito presentan los mayores coeficientes (0,24), con la alternancia de signo en cada cambio según la velocidad de la capa inferior sea mayor o menor. Los cambios de arenas a arcillas presentan coeficientes del orden de 0.10 a 0.14 (posiciones 2 y 11), y los cambios e intercalaciones dentro de las arenas tienen coeficientes inferiores de 0.05.

Consecuencia de esta función de coeficientes de reflexión es la variación de la energía con la profundidad, debido tan sólo al mecanismo de reflexión representada en la figura 1e.

Aunque las capas de lignito sean algunas de muy poca potencia, su efecto amortiguador de la energía es, al menos teóricamente, enorme. Sólo el 8 por 100 de la energía emitida queda disponible para reflejarse en el fondo de cuenca (contacto arena-granito).

Las variaciones en el sistema de deposición de la cuenca, puestas de manifiesto por los diversos sondeos mecánicos, da lugar a que esta función de coeficientes de reflexión sea diferente de unas partes a otras, lo que provocará variaciones en el carácter y continuidad de las reflexiones.

Las reflexiones del fondo de cuenca se deduce que pueden ser poco observables, sobre todo si se efectúa el proceso de la sección en amplitud relativa.

A partir de estos coeficientes de reflexión vamos a obtener los tiempos cero de cada reflexión y la traza sísmica ideal, para sacar conclusiones acerca de la resolución posible y posibilidades de identificación de reflectores que podemos esperar en la sección sísmica.

Basándonos en las profundidades marcadas para los contactos en los sondeos mecánicos y en las velocidades, se han obtenido los tiempos dobles en que se produciría el momento inicial (tiempo cero) de cada reflexión de un impulso unitario.

En la figura 1d se ha marcado en un círculo los metros que separa cada interfase o coeficiente de reflexión y en la figura 2 se representan los tiempos de reflexión calculados a la misma escala en

la que se va a representar la sección sísmica y en escala expandida, indicando dentro de un círculo el tiempo en milisegundos que separa cada tiempo inicial de reflexiones.

Para diversas frecuencias de onda de la energía emitida y para las distintas velocidades presentes, se obtendrían las siguientes longitudes de onda en cada tramo.

V m/s	50 Hz λ.m	100 Hz λ.m	200 Hz λ.m
1.800	36	18	9
1.700	34	17	8.5
1.600	32	16	8
2.250	45	23	11
2.050	41	21	10

Las reflexiones en las alternancias de lignito-arcilla, para la frecuencia máxima más probable conseguida con los pisones Wacker (100 Hz) tendrán las longitudes de onda de 16 m.; como estas capas están separadas de 1 a 3 m., todas las reflexiones se confundirían en una, si fueran del mismo signo; dada la alternancia de signo de los coeficientes de reflexión, lo que ocurrirá es que estas señales se anularán mutuamente. Así, pues, las pequeñas intercalaciones de lignito, aparte de dificultar la transmisión de la energía sísmica a zonas más profundas, serán invisibles en la sección sísmica.

La resolución o distinción de las reflexiones de techo y muro de las demás interfases, tampoco será posible para frecuencias inferiores a 200 Hz. Cuando se presente una sucesión de capas de velocidad creciente o decreciente, pero sin alternancia de signo, cuya potencia sea inferior a la mitad de la longitud de onda, sus señales se adicionarán dando lugar a una única reflexión. Si existe alternancia en el signo del coeficiente de reflexión, las señales se cancelarán y no será visible ninguna onda reflejada. Igualmente, de la potencia de la capa de arcilla a techo del lignito, dependerá que ésta se pueda detectar o no.

En la misma figura 2 se representa gráficamente la convolución de una onda de 50 Hz con la función de coeficientes de reflexión. Según la traza obtenida, quedarían identificables la interfase 1 (paso de arenas a arenas de matriz arcillosa), aunque de poca intensidad; la interfase 2 (entrada

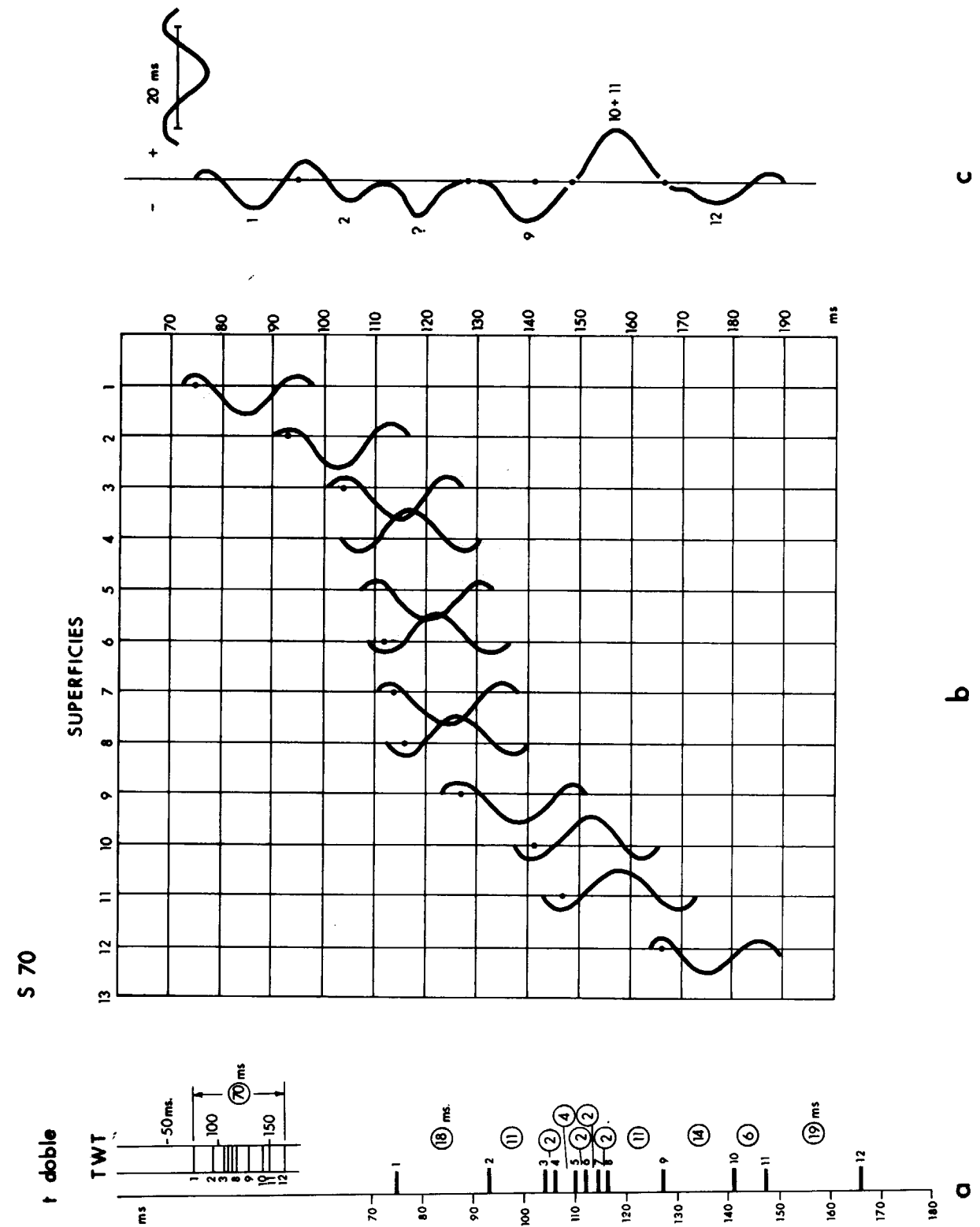


Figura 2.—Formación de una traza sintética.
a: Posición de los coeficientes de reflexión en tiempo.
b: Posición de una onda de 50 Hz para cada una de las posiciones de superficies de reflexión.
c: Traza resultante de la convolución gráfica (sin tener en cuenta magnitudes verdaderas).

de las arcillas); la interfase 9 (entrada en lignito potente); la interfase 10 y 11 juntas muro del lignito y muro de las arcillas, y la interfase 12 (cambio de contenido de arcillas en las arenas).

Entre los reflectores 2 y 9 aparece una señal, formada por composición de ondas, que no se debe a ningún reflector en particular.

Este proceso de modelado que acabamos de analizar se efectúa para varias trazas, o toda una

sección, representándolo en el mismo sistema que la sección sísmica, tal como se ve en la figura 3, para algunas posiciones de las secciones efectuadas.

Las conclusiones extraídas por el modelado son fundamentales para la identificación de los reflectores.

Como ejemplo de los resultados encontrados, se presentan en las figuras 4 y 5 algunas situaciones específicas.

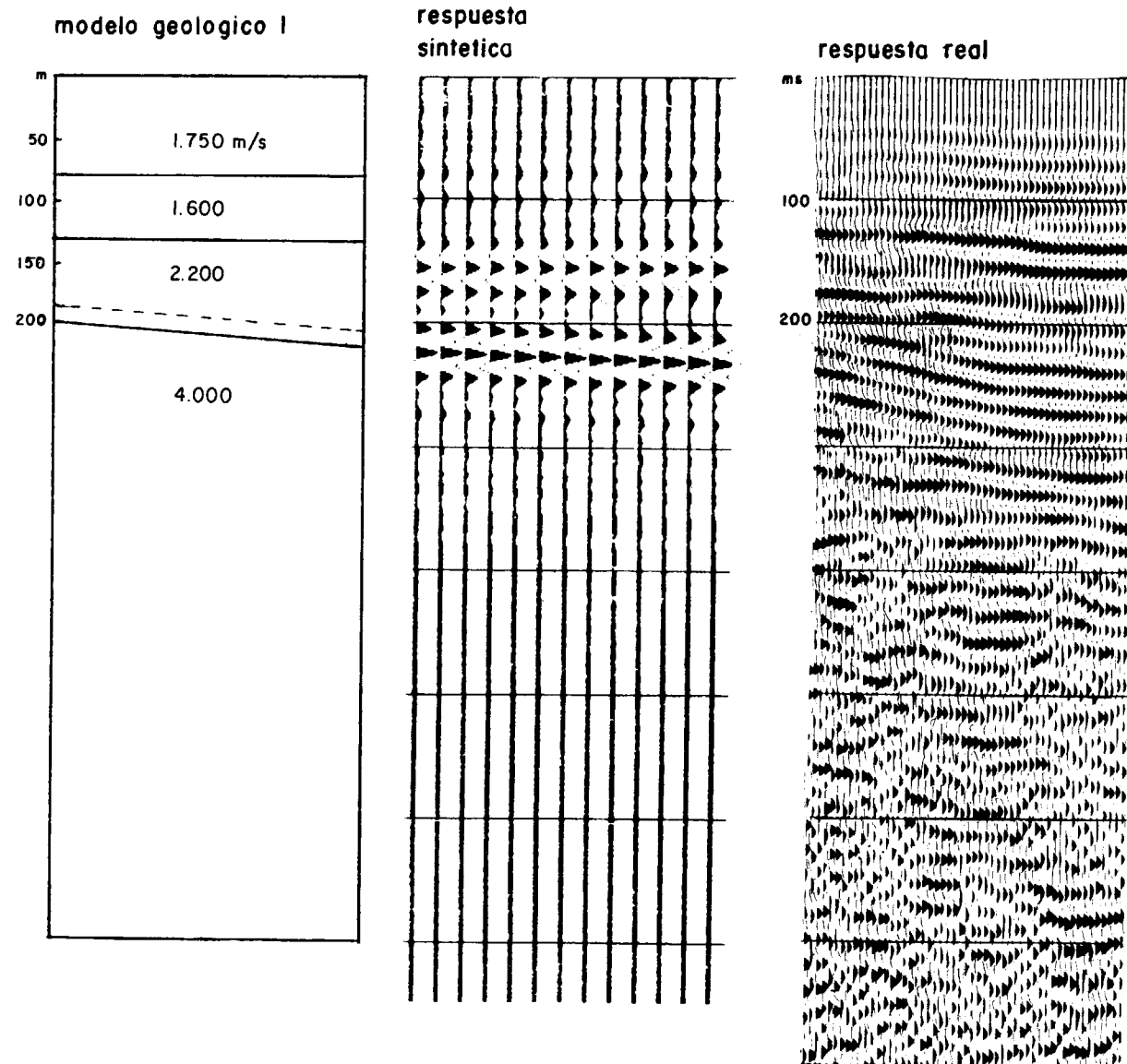


Figura 3.—Resultado real de un proceso de modelado por convolución.

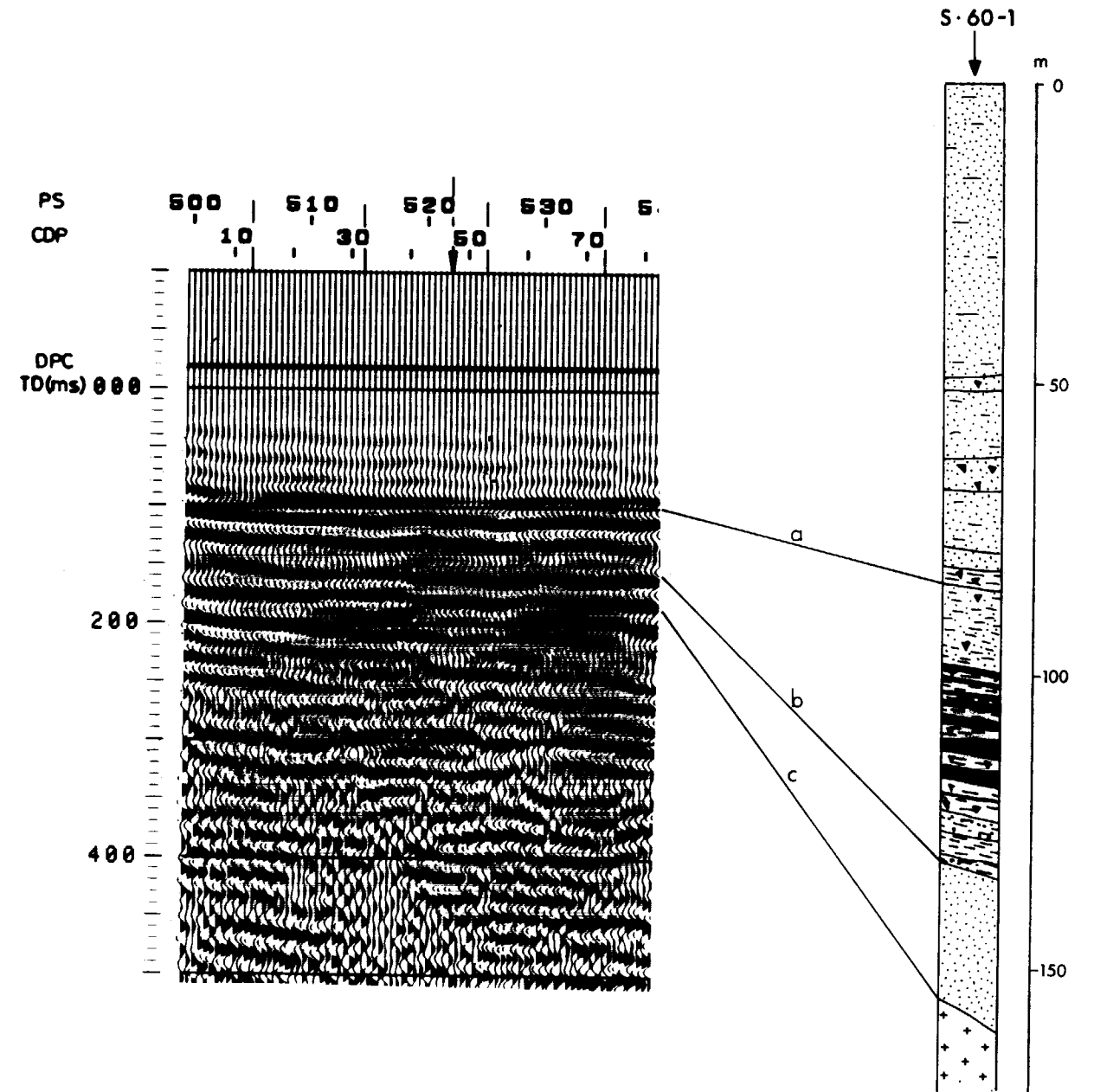


Figura 4.—Identificación de reflectores con las capas dadas por un sondeo mecánico, como resultado de un proceso de modelado. Los reflectores a y b marcan el techo y muro de la capa arcilla-lignito sin que sea posible identificar las pequeñas alternancias.

3.4. Inversión

Como se deduce de lo anteriormente expuesto y de los ejemplos mostrados, el modelado permite obtener conclusiones de lo que cabe esperar del comportamiento sísmico de una secuencia geológica, facilitando la adjudicación de los reflectores

a una interfase litológica o grupo de ellas y orientando sobre las posibilidades de su seguimiento a lo largo de la sección según vayan variando las potencias de las distintas capas.

Con la inversión lo que se va a pretender es una mayor seguridad en la adjudicación de una refle-

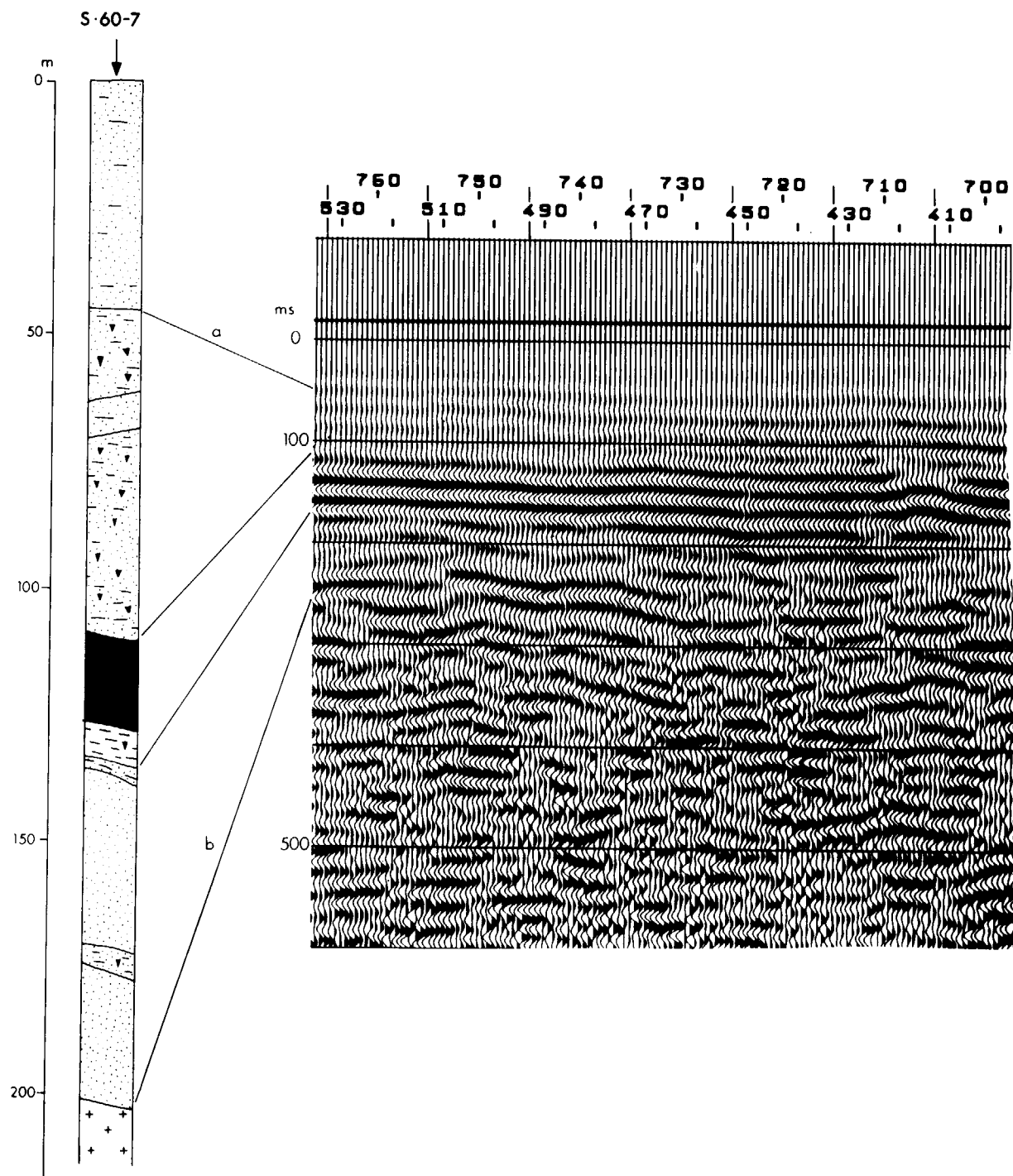


Figura 5.—Identificación de reflectores como consecuencia de un proceso de modelado a partir de un sondeo mecánico. El reflector a marca una transición en el paquete de arenas. El reflector b marca el paso a granito descompuesto.

xión al horizonte de los lignitos, así como convertir la sección sísmica en una sección de impedancias acústicas, para hacerla más interpretable en términos geológicos.

En la figura 6 se representa la variación de las impedancias acústicas para el corte simplificado

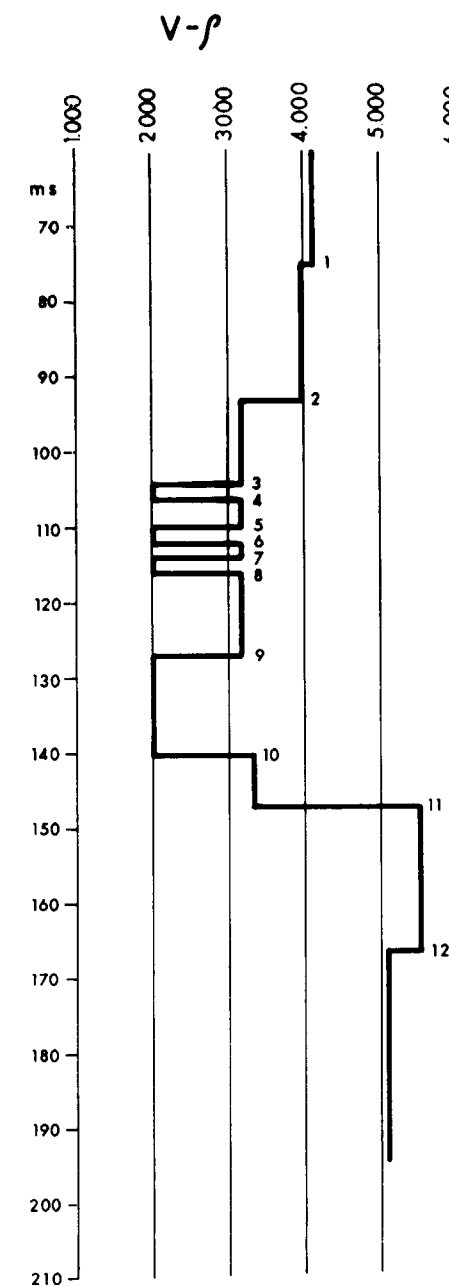


Figura 6.—Función de impedancias acústicas para el sondeo mecánico de la figura 1. Modelo simplificado.

que se ha utilizado en la figura 1, en función del tiempo.

Teniendo en cuenta toda la información de las testificaciones sónica y de densidad, sin simplificar, esta variación de impedancias es la representada en la figura 7a. Para eliminar de esta función las variaciones de alta frecuencia medidas por la testificación, pero que ya sabemos que no van a ser observables en la sección sísmica, se le ha sometido a un filtrado de las frecuencias superiores a 180 Hz.

Igualmente se han eliminado las frecuencias inferiores a 30 Hz teniéndose la variación relativa de las impedancias en función del tiempo dado por la integración de la testificación sónica hasta cada punto de cálculo. Esta es la traza o log de impedancia mostrada en la figura 7b. En ella se aprecia que las capas de arenas quedan caracterizadas por una casi nula variación de la impedancia, mientras que el lignito destaca por su disminución o contraste negativo respecto de las capas de arcilla que tiene a techo y a muro, que contrastan a su vez de forma notable y positiva respecto de las arenas.

A partir de esta traza, junto con las de la sección sísmica próximas al mismo sondeo, se ha calculado un operador de deconvolución que convierta las trazas reales en lo más parecido a la traza de impedancias. Estos cálculos, así como los de proceso de las secciones, han sido llevados a cabo por CCGSA.

El mismo operador se ha aplicado al resto de la sección. Según nos alejamos del sondeo mecánico, los resultados serán tanto más válidos cuanto más se conserven las condiciones geológicas en las que se calculó el operador de deconvolución. La mejor aplicación del método se consigue disponiendo de varios sondeos testificados a lo largo de los perfiles sísmicos.

A la nueva sección así conseguida se le ha dado una gama de colores según la intensidad y signo de la impedancia acústica, para facilitar el seguimiento.

La posición del paquete de arcillas y la posición del lignito, quedan en la inversión perfectamente delimitados (fig. 8), permitiendo su seguimiento en la sección.

Para secciones de la misma cuenca, más aleja-

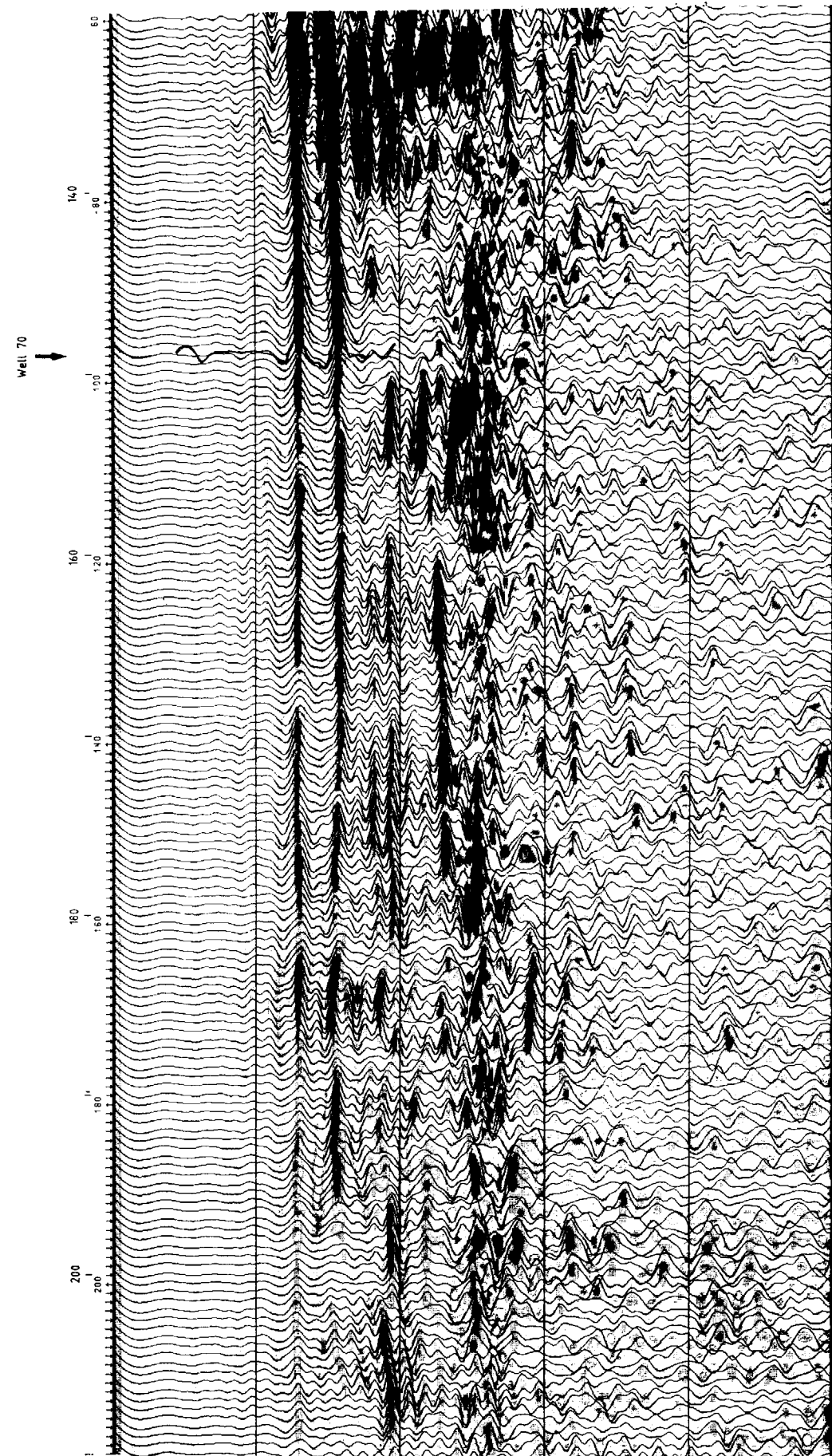


Figura 8.—Sección de impedancias acústicas por deconvolución. La posición de la capa de lignito queda identificada sin la ambigüedad de la sección sísmica en amplitud.

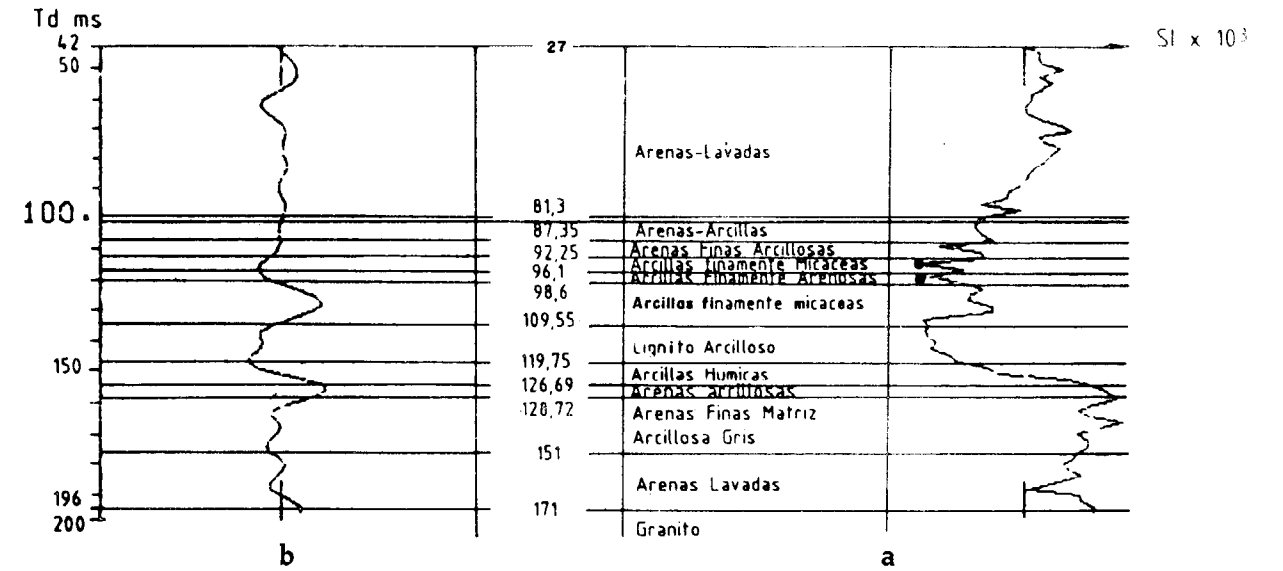


Figura 7.—Funciones de impedancias del sondeo de la figura 1, sin simplificación. a) Sin filtrar. b) Aplicando un filtro pasa banda para ajustarlo a las frecuencias contenidas de la traza sísmica.

das del sondeo, la identificación no es tan clara, presentando las mismas incertidumbres que en la identificación por modelado. Ello es debido, a juzgar por las columnas de los sondeos mecánicos, a la disparidad de situaciones entre unas partes y otras de la cuenca en la serie de depósitos. Debe tenerse además en cuenta que el conjunto de las reflexiones a que nos estamos refiriendo provienen de una extensión en profundidad de unos 80 m. como máximo, agrupándose en menos de 180 milisegundos.

Dentro de la capa arcillosa-lignítifera, el lignito debe corresponder con el contraste de impedancia negativo, detectándose la presencia de arcillas por la intercalación de contrastes positivos elevados.

Los resultados de la inversión han permitido el seguimiento de los reflectores con mayor seguridad.

CONCLUSION

Como resultado de este ensayo efectuado en una cuenca lignítifera, podemos por tanto concluir:

- El disponer de un sondeo mecánico testificado de densidad y velocidad, permite emplear las técnicas de modelado, como etapa previa a la ejecución de una campaña de sísmica de reflexión. Del análisis de los re-

sultados puede deducirse la resolución a esperar y la identificación de los posibles reflectores.

- Una vez realizadas las secciones sísmicas, la inversión de las mismas para obtener secciones de impedancia acústica, asegura una identificación y seguimiento de los niveles litológicos que se han manifestado en la reflexión, dentro de los límites que la potencia de capas y gama de frecuencias empleadas permitan.

La utilización de estas técnicas puede colaborar decisivamente a optimizar el número de sondeos mecánicos a efectuar en la fase exploratoria de cuencas carboníferas.

BIBLIOGRAFIA

Mc QUILLIN, R., et al.: *Introduction à l'interprétation sismique*, SCM.
 ANSTEY: *Seismic interpretation: the physical aspects*, IHRDC.
 ROBINSON: *Geophysical signal analysis*, Prentice-Hall.
 SHERIFF: *Seismic stratigraphy*, IHRDC.
 RAINON: *Seismic processing Velog for stratigraphic interpretation*, CGG (nota técnica).
 GLUK: *Interactive Velog modeling*, CGG (nota técnica).
 PLATA, J.: *Algunos aspectos prácticos de la aplicación de la sísmica de alta resolución a la geología minera*, Boletín G. M., 1984.

Recibido: Diciembre 1986.

ESTUDIO DE MINERALES Y ROCAS

Características mineralógicas y geoquímicas de las pizarras de la vertiente meridional de la Zona Cantábrica (NO de España)

Por M. GUTIERREZ CLAVEROL y J. L. TAMARGO (*)

RESUMEN

El estudio, mediante diversas técnicas (DX, AA, ATD, MEB), de limolitas y argilitas que abarcan desde el Cámbrico hasta el Carbonífero, ha permitido obtener una visión global acerca de la composición química y, sobre todo, mineralógica de la serie paleozoica de la región sur de la Zona Cantábrica.

Se ha detectado una variada mineralogía: illita, caolinita, interestratificados illita-esmectita, clorita-vermiculita y allevardita (rectorita), vermiculita, clorita, paragonita y pirofilita.

La distribución vertical de los filosilicatos posibilita caracterizar a las 16 formaciones litoestratigráficas demostradas. Determinados minerales arcillosos, tales como la vermiculita o el interestratificado C-V, poseen un ámbito de aparición muy restringido y consecuentemente adquieren una alta valoración como guías locales a efectos de correlación. Asimismo, se hacen consideraciones sobre el politipismo y cristalinidad de algunos constituyentes.

ABSTRACT

Various shales from Cambrian to Carboniferous are studied using several methods (XRD, AA, DTA, SEM). This gives us an overall view about the chemical and mineralogical composition of the palaeozoic sequence in the southern part of the Cantabrian Zone.

An assorted mineralogy was found: illite, kaolinite, irregular and regular illite-smectite and chlorite-vermiculite mixed layer clays, vermiculite, chlorite, paragonite and pyrophyllite.

Sixteen palaeozoic lithostratigraphic units have been portrayed by the vertical arrangement of the silicates. Some clay minerals such as vermiculite or chlorite-vermiculite mixed-layer appear in restricted zones thereby increasing said minerals' value for local correlations. In the same way, the polymorphs and cristallinity of some constituents are considered.

INTRODUCCION

En este trabajo se estudian 35 muestras de limolitas y argilitas paleozoicas procedentes del valle del Bernesga (zona septentrional de la provincia de León). Su distribución se puede observar en la figura 1. La elección de esta región está basada en que presenta una serie estratigráfica muy completa y unas excelentes condiciones de afloramiento.

La meta de esta nota es la de dar a conocer, de una manera globalizada, las características mineralógicas y geoquímicas de este grupo de rocas, perteneciente a 16 formaciones litoestratigráficas diferentes, a fin de poder definir zonas

mineralógicas susceptibles de ser correlacionadas a nivel regional.

Las descripciones estratigráficas que se han publicado sobre el Paleozoico de la Cordillera Cantábrica suelen pormenorizar la petrografía de las rocas carbonatadas e incluso de las areníticas, pero no así la de las lutíticas, probablemente debido a la ausencia de las técnicas analíticas pertinentes, refiriéndose a las mismas bien sólo con la coloración o con calificaciones muy vagas.

Se carece de estudios sobre el quimismo de estas rocas paleozoicas. Sin embargo, en trabajos recientes referidos a zonas vecinas a la aquí tratada, aunque orientados fundamentalmente a la caracterización del límite diagénesis-metamorfismo, basándose en la cristalinidad de las illitas,

(*) Departamento de Geología de la E. T. S. de Ingenieros de Minas. Universidad de Oviedo.

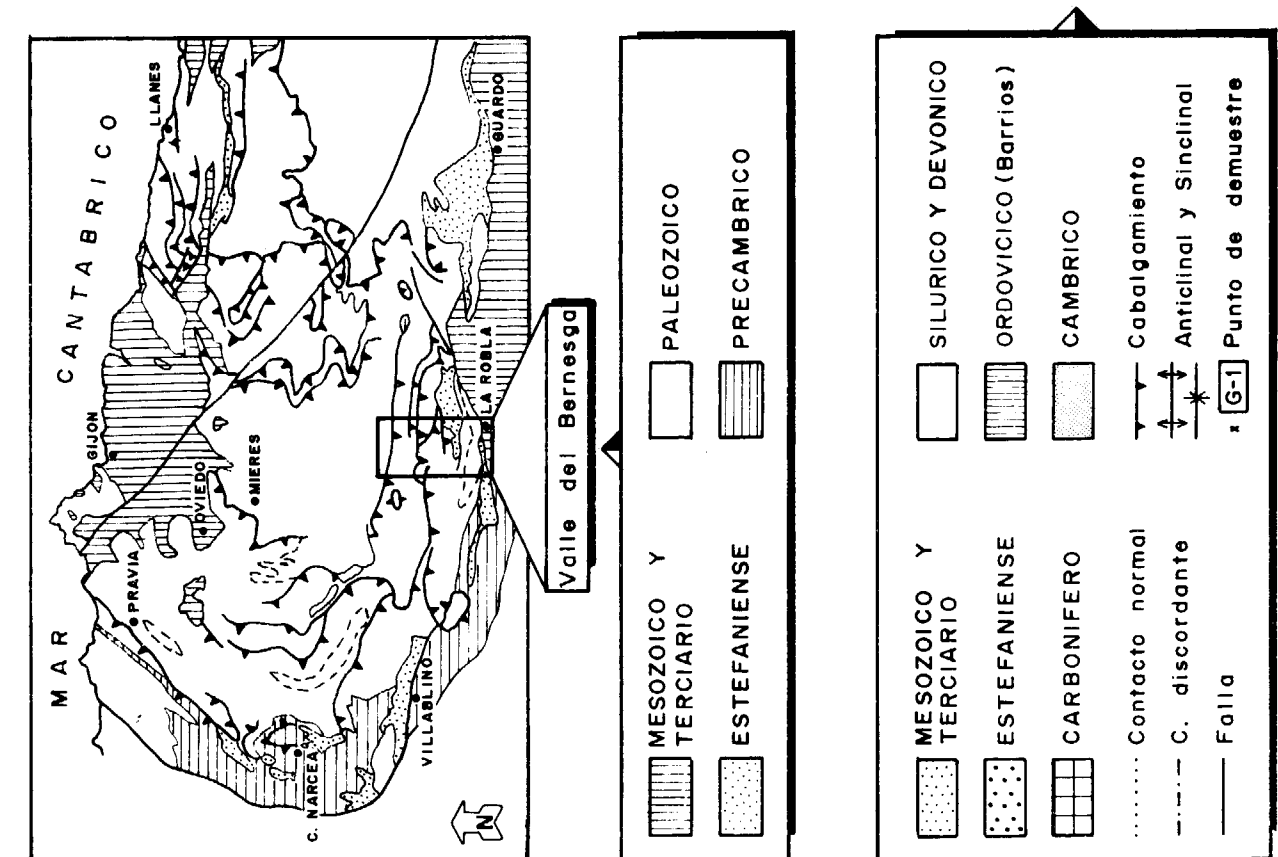
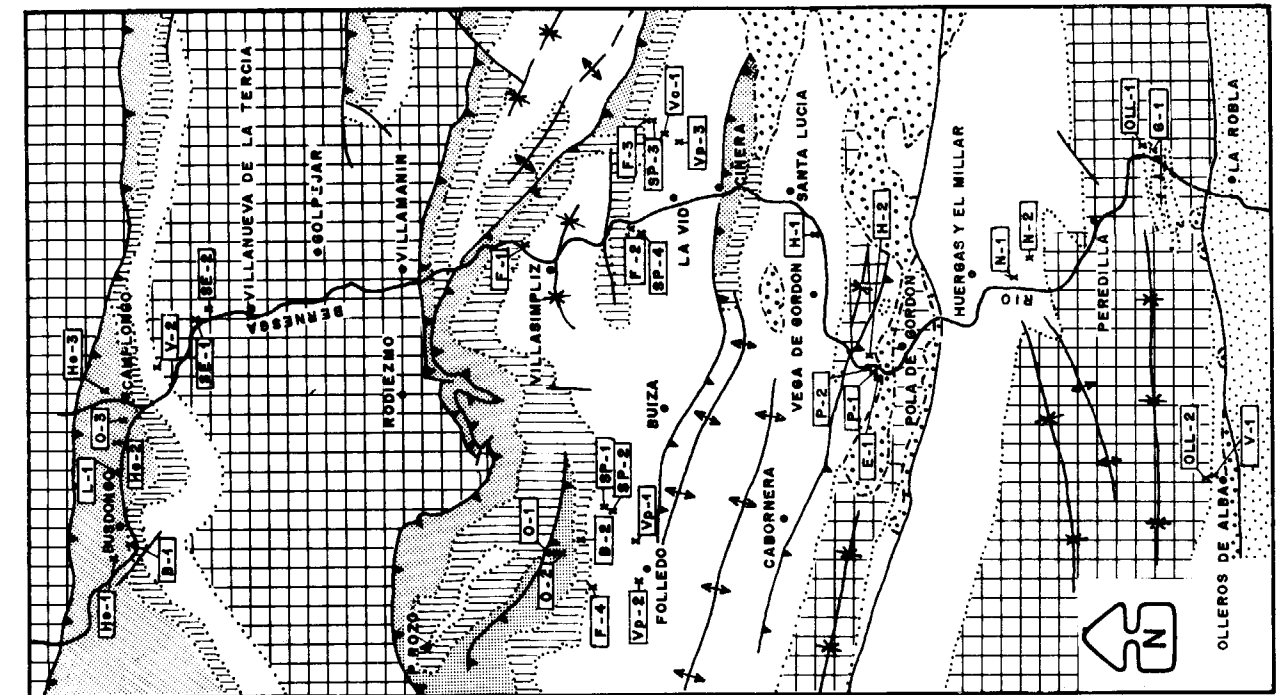


Figura 1.—Esquemas de situación geográfica y geológica de la zona objeto de estudio. La relación de la nomenclatura utilizada para las muestras con las formaciones correspondientes, queda reflejada en la figura 5.

se alude indirectamente a la composición mineralógica de las arcillas (BRIME y PÉREZ-ESTAUN, 1980; BRIME, 1981 y 1985; ALLER y BRIME, 1985).

METODOLOGIA DEL TRABAJO

Dado que se han utilizado variadas técnicas analíticas, se va a describir someramente la marcha seguida en la preparación de muestras y los parámetros operatorios empleados u otros datos de interés. El número total de tratamientos y análisis efectuados con las muestras rondó el millar.

En primer lugar, se procedió a una trituration en un molino de anillos con posterior tamizado a fin de trabajar con una granulometría inferior a 75 micras.

Para realizar el estudio difractométrico, se han hecho dos tipos de preparaciones, uno para determinar la mineralogía total (muestra no orientada) y otro para caracterizar los minerales arcillosos (agregado orientado).

En el primer caso, se construye una pastilla prensando una mezcla de polvo de la muestra con un aglutinante (de nombre comercial «Hormifix»). Los difractogramas que resultan con esta forma de preparación son mucho más nítidos que los obtenidos con un diagrama de polvo tradicional.

En el segundo caso, para la elaboración de los agregados orientados, se ha hecho una eliminación previa de materia orgánica y de carbonatos. Se ha efectuado un calentamiento de los agregados a 300 y 550° C, así como tratamientos con etilenglicol y CIH.

Los difractogramas se han realizado bajo las siguientes condiciones: tubo de cobre, filtro de níquel; rendijas 1°-0,2°-1°; 35 kV-15 mA. Además, algunas muestras se volvieron a pasar con tubo de cobalto.

La estimación semicuantitativa de los minerales arcillosos se ha realizado según un método adaptado de los trabajos de SCHULTZ (1962) y GRIFFIN (1969).

Para la cuantificación de la sílice libre se ha seguido la marcha gravimétrica de TROSTEL y WYNNE (1940).

Para el análisis por absorción atómica (AA), se

fundió la muestra con BO_3H y CO_3Li_2 y se disolvió en ácido nítrico. Por último, se preparan las soluciones según la técnica propuesta por BEA.

Los análisis térmico-diferenciales —ATD— (figura 2) y térmico-gravimétricos —ATG— (fig. 3), se realizaron en una balanza Philips, utilizando unos 2 grs. de muestra, como material inerte $\alpha-Al_2O_3$ y una velocidad de calentamiento de 8° C/minuto.

Determinadas muestras, consideradas características, se estudiaron en un microscopio electrónico de barrido (MEB) Philips 505, con microsonda acoplada ECON-3. Para la preparación de las mismas se metalizaron con oro los agregados orientados de las arcillas.

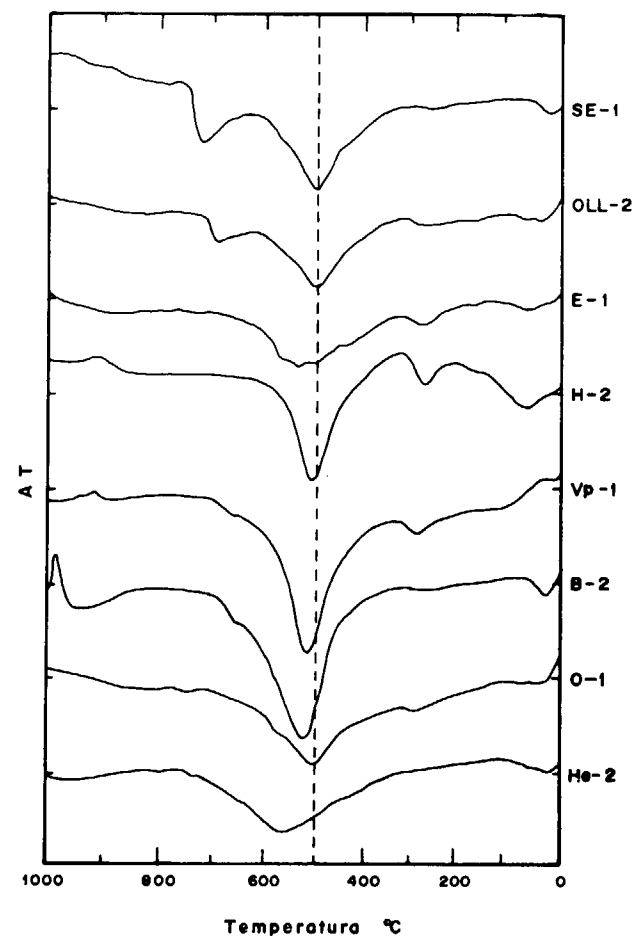


Figura 2.—Curvas térmico-diferenciales.

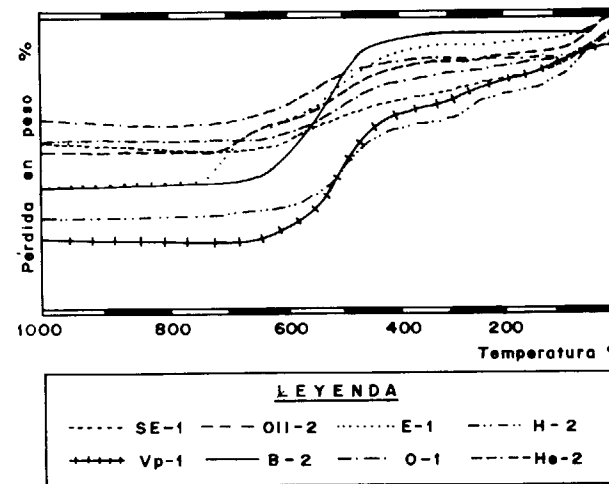


Figura 3.—Curvas térmico-gravimétricas.

biéndose encontrado en la totalidad de las muestras analizadas. En realidad, los porcentajes indicados se refieren al total de sílice libre, por consiguiente además del cuarzo, incluiría la sílice amorfa. Asimismo, la observación de las curvas térmico-diferenciales (fig. 2) permite detectar, en alguna de las muestras, un pico endotérmico hacia los 280° C, que se interpreta como cristobalita. Al microscopio petrográfico se reconoció la existencia de chert.

Los carbonatos constituyen un grupo bien representado. Los más abundantes son la calcita y la dolomita, encontrándose con preferencia en las formaciones netamente carbonatadas (Láncara, miembro inferior de La Vid, Portilla y Alba). También aparece ankerita, en las unidades más antiguas, y siderita.

Un tercer grupo lo forman los minerales de hierro: hematites, goethita, lepidocrocita y pirita. En las formaciones de Oville y parcialmente de San Pedro, se observan al microscopio granos de glauconita.

Con una distribución irregular se encuentran el yeso y, de forma más constante, los feldespatos.

COMPOSICION DE LA ROCA TOTAL

Aparte de los minerales arcillosos, que obviamente son los más abundantes, las lutitas presentan una surtida mineralogía, cuya pormenorización se expone en la tabla I.

El cuarzo es el mineral más frecuente, ha-

TABLA I
Composición mineralógica media, expresada en porcentaje, de las lutitas paleozoicas

	Calcita	Dolomita	Ankerita	Siderita	Cuarzo (s.l.)	Hematites	Goethita	Lepidocrocita	Pirita	Feldespato	Schertelita	Yeso	M. orgánica	Arcilla
S. Emiliano ...	7	×	—	×	24	—	—	—	—	1	—	—	1	65
Olleros ...	2	—	—	—	33	—	—	—	—	6	—	—	1	58
Alba ...	13	—	—	—	17	3	—	—	—	—	—	—	0	67
Vegamián ...	—	—	—	—	27-49	—	—	—	—	1-12	—	—	4	36-67
Ermita ...	—	—	—	—	31	—	—	—	—	—	—	—	×	68
Nocedo ...	×	—	—	—	33	—	—	—	—	3	×	—	1	62
Portilla ...	0-56	—	—	—	5-64	—	—	—	—	1-20	—	×	1	15-37
Huergas ...	—	—	—	—	13-23	—	×	—	—	0-9	—	—	1	64-81
La Vid Piz. ...	—	—	—	—	6-13	—	—	×	—	—	×	×	×	83-92
La Vid Cal. ...	—	46	—	×	8	—	—	—	—	—	—	—	1	44
San Pedro ...	—	—	—	—	18-58	—	—	×	—	8-18	×	—	×	29-77
Formigoso ...	—	×	—	×	9-32	—	—	—	×	×	—	×	1	67-77
Barrios ...	—	—	—	4	5-18	—	—	×	—	3	—	—	×	77-87
Oville ...	—	×	—	—	24-42	—	—	—	—	10	—	×	1	50-66
Láncara ...	×	11	×	—	26	×	—	—	—	—	—	—	1	60
Herrería ...	×	—	×	—	16-56	×	—	—	—	0-19	—	—	×	15-83

Por último, es de destacar el hallazgo de fosfatos, del tipo schertelita, en formaciones eminentemente detríticas, tales como San Pedro, La Vid pizarrosa y Nocedo. Sin embargo, no se han detectado en las muestras procedentes de la formación Vegamian, que tradicionalmente es considerada como portadora de este tipo de minerales.

MINERALOGIA DE LA FRACCION ARCILLOSA

Los difractogramas realizados sobre agregados orientados han permitido identificar los siguientes filosilicatos: illita, caolinita, clorita, interestratificados (illita-esmectita, clorita-vermiculita, allevardita), vermiculita, paragonita y pirofilita.

Para las identificaciones de los difractogramas se han seguido fundamentalmente los trabajos de CARROL (1969), BROWN (1972) y THOREZ (1975 y 1976).

Las curvas térmico-diferenciales obtenidas de algunas muestras (fig. 2) muestran diferencias morfológicas apreciables, singularmente en la zona del endotérmico de 500-600° C, donde coinciden la mayor parte de los minerales arcillosos. La caolinita queda bien matizada por un exotérmico próximo a los 1.000° C.

Las diferencias anteriores también se pueden observar en las pendientes de las curvas termogravimétricas de la figura 3, que se encuentran en estrecha relación con el contenido en arcilla.

El aspecto de los minerales arcillosos queda concretado en las fotos anexas obtenidas con el microscopio electrónico a 15.400 aumentos (fig. 7).

Illita.—Es un mineral ubicuo a lo largo de toda la serie estratigráfica y el más abundante, llegando a ser el único representante arcilloso en determinadas formaciones. Su concentración relativa oscila entre 24 y 100 por 100.

En los difractogramas se reconoce por sus reflexiones basales a 10 Å (001), 5 Å (002) y 3,3 Å (003). Sólo se ha considerado que se trata de illita pura si el pico a 10 Å no se modifica con etilenglicol o con calentamiento a 300° C. En caso contrario, se ha interpretado que coexiste con minerales interestratificados irregulares.

Mayoritariamente se trata de illitas dioctaédricas con una reflexión a 1,50 Å (060) y sólo en muy pocas muestras aparecen también las de tipo trioctaédrico. La identificación de los politipos de la illita es bastante difícil debido a la presencia, en la mayoría de los casos, de otros minerales. El más frecuente es el 2M, que suele aparecer solo o acompañado del 1M. Se han determinado reconociendo, en diagramas no orientados, determinadas reflexiones características, en particular las 3,73 Å (023), 3,50 Å (114̄) y 2,99 Å (025) para el polimorfo 2M, y las 4,35 Å (11̄1), 3,66 Å (112) y 3,07 Å (112) para el 1M, tal y como señalan YODER y EUGSTER (in CARROL, op. cit.).

El estudio microscópico ha revelado la presencia puntual de glauconita y moscovita.

Caolinita.—Acompaña ocasionalmente a la illita y a minerales interestratificados. En general, su presencia es escasa, salvo en el Ordovícico Inferior y en determinados tramos del Devónico Inferior, donde llega a ser el mineral arcilloso dominante.

Se reconoce en los difractogramas por su fuerte reflexión basal (001) a 7 Å y su moderada (002) a 3,5 Å. No le afecta el tratamiento con etilenglicol ni el calentamiento a 300° C, pero sí a 550° C, temperatura a la que llega a colapsar la red.

Cuando aparecen juntas la caolinita y la clorita es difícil su distinción, y aún más su cuantificación, siendo necesario efectuar barridos lentos en la zona de 25° (2θ) para separar el doblete correspondiente a la reflexión (002) de la caolinita a 3,50 Å, de la (004) de la clorita, a 3,57 Å.

En algunas muestras se han efectuado difractogramas de la fracción arcillosa desorientada, lo que ha permitido evaluar el politipismo de la caolinita, encontrándose habitualmente los polimorfos 1Md y 1T.

Clorita.—Es un componente significativo en las pizarras carboníferas, aunque también se encuentra en el Cámbrico, Ordovícico y, muy puntualmente, en el Devónico. Su abundancia relativa no sobrepasa el 22 por 100.

Se detecta en los difractogramas por las siguientes reflexiones basales: 14 Å (001), 7 Å (002), 4,3 Å (003) y 3,5 Å (004). Las intensidades relativas de las mismas dependen de la composición química del mineral. Estos picos no sufren variación

cuando las muestras son tratadas con etilenglicol y calentamiento a 300° C; sin embargo, si se calientan a 550° C se produce un incremento en la intensidad del pico de 14 Å y la desaparición de las reflexiones de orden par. El ácido clorhídrico la descompone.

La variedad encontrada es rica en hierro, pues la reflexión (004) es más intensa que la (001).

Los politipos no se han podido determinar ya que las principales reflexiones que definen a los mismos (CARROL, op. cit.) coinciden con las de algunos minerales acompañantes. No obstante, parecen pertenecer al politipo 1b debido a su pobre cristalinidad.

Minerales arcillosos interestratificados.—Los tipos hallados se encuadran en dos grupos.

El más abundante resulta de una interestratificación irregular de illita y un mineral expandible tipo esmectita, y se ha denominado *I-E*.

Se identifica comparando al área del pico de difracción a 10 Å de la fracción arcillosa no tratada (diagrama normal), glicolada y calentada a 300° C. Este área disminuye con el tratamiento con etilenglicol, no observándose ningún tipo de desplazamiento, lo que indicaría que se trata de una interestratificación con un bajo contenido en capas expandibles (montmorillonita), del orden de 15-10 por 100, y desde luego siempre inferiores al 20 por 100, según los trabajos de HOWER y MOWATT (1966) y REYNOLDS y HOWER (1970) (in THOREZ, op. cit.). Para su cuantificación se ha seguido el método utilizado por SCHULTZ (1964, p. CII).

Este mineral interestratificado presenta idénticas características al descrito en algunos niveles del Devónico Medio de los Apalaches (HOS-TERMAN y WHITLOW, 1983, p. 22).

En determinadas formaciones se han reconocido pequeñas cantidades de un interestratificado regular (I-M), tipo *allevardita* (denominado *rectorita* por algunos autores), con una reflexión comprendida entre 24 y 26 Å.

El otro interestratificado detectado pertenece al tipo clorita-vermiculita, *C-V*, y está restringido al Cámbrico Medio-Superior. Se reconoce por un pico a 14 Å que no se modifica con la glicolación, pero que baja a 12 Å con calentamiento a 300° C.

Incluso, en una muestra parecen haberse observado trazas de una interestratificación regular de

clorita y vermiculita (*C-V*)_R, con una reflexión a 29 Å y otra a 14,2 Å, que no expanden con etilenglicol, pero que se desplazan a 12 y 8 Å cuando se somete a un calentamiento a 550° C (BROWN, 1972, página 442 y THOREZ, 1975, p. 271).

Vermiculita.—Es un mineral escaso, habiendo sido localizado exclusivamente en el Devónico Inferior.

Se caracteriza por una reflexión a 14 Å que no se modifica con etilenglicol, pero se desplaza a 10 Å con calentamiento a 300° C. Este último tratamiento permite distinguirla del interestratificado *C-V*.

Los parámetros obtenidos sobre una muestra desorientada apuntan hacia una vermiculita trioctaédrica.

Paragonita.—Aparecen indicios en varias formaciones, aunque sólo en el Ordovícico y Carbonífero son bien perceptibles alguna de las reflexiones basales de esta mica. Concretamente la (002) a 9,6 Å forma una ligera joroba en la zona de ángulos bajos del pico (001) de la illita, y la (006) a 3,20 Å queda tenuamente definida.

En una muestra del Carbonífero más alto, las reflexiones coinciden con bastante exactitud con las correspondientes de la minnesotaita, aunque dadas sus escasas intensidades es difícil emitir un diagnóstico seguro.

Pirofilita.—Se concentra solamente en algún nivel del Carbonífero. Se reconoce por sus reflexiones a 9,16 Å (002), 4,6 Å (004) y 3,06 Å (006).

QUIMISMO DE LAS ROCAS PELITICAS

Con el fin de caracterizar de una manera integral a las pizarras paleozoicas, se efectuaron análisis químicos por absorción atómica, cuyos resultados detallados se muestran en las tablas II y III. Estos datos, expresados porcentualmente, se refieren a la muestra total.

La relación de la nomenclatura utilizada para las muestras con las distintas formaciones, se puede observar en la figura 5.

La sílice cuantificada comprende, además de la que se encuentra combinada, la relativa al cuarzo y amorfa, cuyos porcentajes se resumen en la tabla I.

TABLA II

Composición química de pizarras del Cámbrico (He, L y O), Ordovícico (B) y Silúrico (F y SP)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P. F.
He-1	74,24	12,44	3,01	<0,01	0,73	0,21	0,05	3,64	0,78	2,83
He-2	49,91	28,08	2,24	<0,01	1,46	0,52	0,09	8,49	1,54	6,71
He-3	52,78	23,83	5,11	0,01	1,44	0,57	0,09	7,94	1,65	5,42
L-1	54,60	17,35	2,55	0,03	4,15	4,12	0,03	5,84	0,64	8,68
O-1	55,82	18,33	9,07	0,02	2,54	0,92	0,55	4,12	0,88	7,43
O-2	55,50	19,06	8,69	0,02	2,45	0,42	0,42	3,13	0,84	6,57
O-3	65,50	14,56	2,43	0,02	1,86	2,43	0,05	4,03	0,72	6,70
B-1	44,33	32,41	2,62	<0,01	1,01	0,18	0,13	5,93	1,80	9,71
B-2	48,03	33,05	1,72	<0,01	0,63	0,09	0,11	3,58	1,82	9,20
F-1	44,50	22,08	4,78	0,03	1,20	0,20	0,08	4,94	1,12	20,26
F-2	50,00	20,76	7,51	0,05	2,00	2,25	0,18	2,83	1,19	11,65
F-3	61,20	18,95	5,60	0,01	0,78	0,11	0,09	4,22	1,02	7,14
F-4	57,58	22,64	5,87	0,02	0,88	0,09	0,09	4,02	1,02	6,82
SP-1	59,80	20,27	5,61	0,01	1,05	0,14	0,07	5,71	1,79	4,82
SP-2	54,50	22,51	5,74	0,00	1,32	0,18	0,05	6,29	1,09	8,86
SP-3	57,42	22,10	5,20	0,01	0,97	0,14	0,05	4,02	0,95	8,71
SP-4	71,64	12,27	3,02	0,01	0,71	0,09	0,05	3,52	0,78	2,66

TABLA III

Composición química de pizarras del Devónico (Vc, Vp, H, P, N y E) y del Carbonífero (V, G, Oll y SE)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P. F.
Vc-1	29,04	11,35	2,65	0,00	11,57	14,15	0,04	3,43	1,03	26,29
Vp-1	48,08	28,02	9,22	0,03	0,91	0,09	0,13	1,99	0,68	9,62
Vp-2	45,24	27,58	8,79	0,09	1,22	0,22	0,26	2,18	1,15	13,00
Vp-3	43,60	27,61	9,46	0,06	1,16	0,56	0,15	2,15	1,13	14,00
H-1	57,94	23,72	6,23	0,00	0,99	0,74	0,37	3,70	1,10	7,00
H-2	47,69	24,81	10,53	<0,01	0,57	0,32	0,65	3,30	1,29	8,47
P-1	74,92	9,75	2,83	0,02	0,73	0,69	0,05	3,51	0,93	2,45
P-2	21,60	9,84	3,14	0,04	0,82	29,80	0,03	2,55	0,50	28,71
N-1	57,51	17,62	8,58	0,02	0,96	0,46	0,32	3,06	1,00	8,71
N-2	61,53	19,26	3,38	0,00	0,66	0,09	0,27	3,30	1,14	8,71
E-1	58,87	17,98	7,23	0,05	0,83	0,37	0,04	4,49	0,97	7,29
V-1	64,68	14,28	2,85	<0,01	0,97	0,50	3,06	2,44	0,50	7,86
V-2	53,98	17,73	4,24	0,01	1,73	0,80	0,17	3,20	0,60	13,50
G-1	48,07	18,19	7,04	0,18	1,60	7,04	0,19	4,55	0,80	10,82
Oll-1	60,27	17,90	6,56	0,05	1,90	1,73	1,03	3,47	0,84	6,26
Oll-2	56,87	20,49	7,23	0,06	2,06	2,16	1,12	3,40	0,98	6,00
SE-1	52,25	21,70	5,10	0,05	1,64	4,19	0,23	3,03	1,02	8,82
SE-2	53,38	19,05	5,37	0,06	1,43	2,95	0,31	3,29	1,07	10,58

En la figura 4 se representa la variación de los elementos más abundantes en las lutitas respecto a la edad de las formaciones. De su análisis se deducen algunas consideraciones:

— La alúmina, con contenidos comprendidos entre 10 y 33 por 100, alcanza los valores mínimos en las muestras de las formaciones claramente

carbonatadas (Láncara, La Vid calcárea y Portilla) y de alguna manera se corresponde con la ausencia de caolinita en las mismas. Contrariamente, la máxima concentración se encuentra en las formaciones de Barrios (hasta un 33 por 100) y la Vid pizarrosa (hasta un 28 por 100) que, a su vez, presentan las mayores proporciones de kaolinitas.

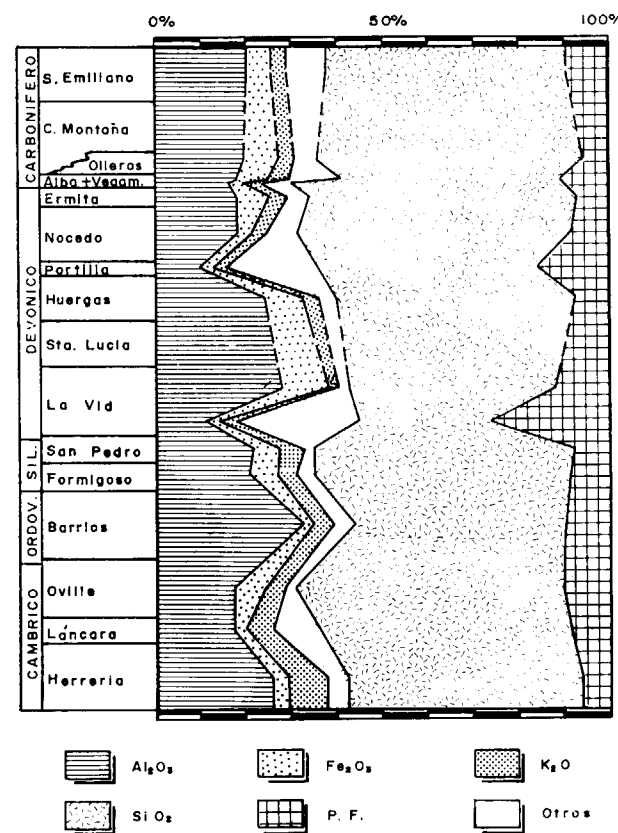


Figura 4.—Variación vertical de los elementos mayores, referidos al total de muestra.

— El hierro, expresado en el análisis como hierro total, se encuentra, en la mayoría de las formaciones, relacionado con la presencia de minerales ferruginos no arcillosos. Así, las unidades con los mayores porcentajes, tales como La Vid pizarrosa (hasta un 9,46 por 100) y Huergas (hasta un 10,53 por 100) contienen respectivamente lepidocrocita y goethita. Sin embargo, en algunas formaciones, con valores superiores al 7 por 100, por ejemplo Oville, Nocedo, Ermita y Olleros, el hierro debe de estar alojado exclusivamente en las redes silicatadas y muy probablemente en la illita, mineral dominante en las mencionadas unidades.

— En el mismo sentido, los mayores porcentajes de potasio (próximos al 6 por 100) se localizan en los niveles más antiguos (Herrería, Láncara, Barrios y San Pedro) que, excepto Barrios, coinciden con una alta presencia de illita, que

incluso llega a ser el único mineral arcilloso existente.

— Resulta sorprendente el alto contenido de sodio en las formaciones Vegamián y Olleros, superior al 1 por 100, y que podría ser explicado, aparte de la existencia de feldespatos, por la presencia de allevardita y paragonita. En este sentido es importante resaltar, como señala DUNOYER, de SEGONZAC (1970), que existen dos períodos de la historia postsedimentaria durante los cuales los filosilicatos pueden fijar Na: durante la diagénesis tardía, donde se puede formar la allevardita, y durante el metamorfismo de bajo grado, donde se suele formar la paragonita.

El enriquecimiento sódico que se produce en las dos formaciones mencionadas, parece ser una característica geoquímica singular.

— Además de los elementos mayores, se han analizado cinc y estroncio, así como plomo, níquel, cobre y cromo que no se han detectado.

El contenido en Zn se mantiene, como media, en torno a las 30-50 ppm., localizándose las máximas concentraciones en La Vid pizarrosa (125 ppm.), Vegamián (hasta 130 ppm.), Alba y Olleros, ambas con 105 ppm.

El SrO, ausente en muchas muestras, oscila entre 0,01 y 0,08 por 100, llegando inclusive a 0,11 por 100 en la formación Láncara. Su concentración está claramente relacionada con la presencia de carbonatos.

CARACTERES MINERALÓGICOS DE LAS LUTITAS

La estratigrafía del Paleozoico de esta región ha quedado establecida desde el trabajo de COMTE (1969), en el que define un conjunto de formaciones litoestratigráficas, cuya nomenclatura se mantiene hasta la actualidad con muy escasas modificaciones.

El desmuestre se ha realizado en formaciones de edad cámbrica, ordovícica, silúrica, devónica y carbonífera, excepto en aquellas que, debido a su constitución predominantemente carbonatada (por ejemplo, Santa Lucía y Caliza de Montaña), es difícil hallar horizontes arcillosos significativos.

En las formaciones, bien sean carbonatadas, areniscosas o cuarcíticas, se ha recogido material perteneciente a las intercalaciones lutíticas. De manera general, en la recolección de muestras prevaleció el criterio de la bondad del afloramiento respecto a su distribución estadística dentro de la columna estratigráfica.

Las formaciones consideradas han sido las siguientes:

— Cámbrico (Herrería, Láncara y Oville).

- Ordovícico (Barrios).
- Silúrico (Formigoso y San Pedro).
- Devónico (La Vid, Huergas, Portilla, Nocado y Ermita).
- Carbonífero (Vegamián, Alba, Olleros y San Emiliano).

En la figura 5 se muestra la distribución gráfica de los minerales arcillosos identificados. Para su confección se ha hallado la media aritmética de los valores obtenidos de las muestras de una determinada formación.

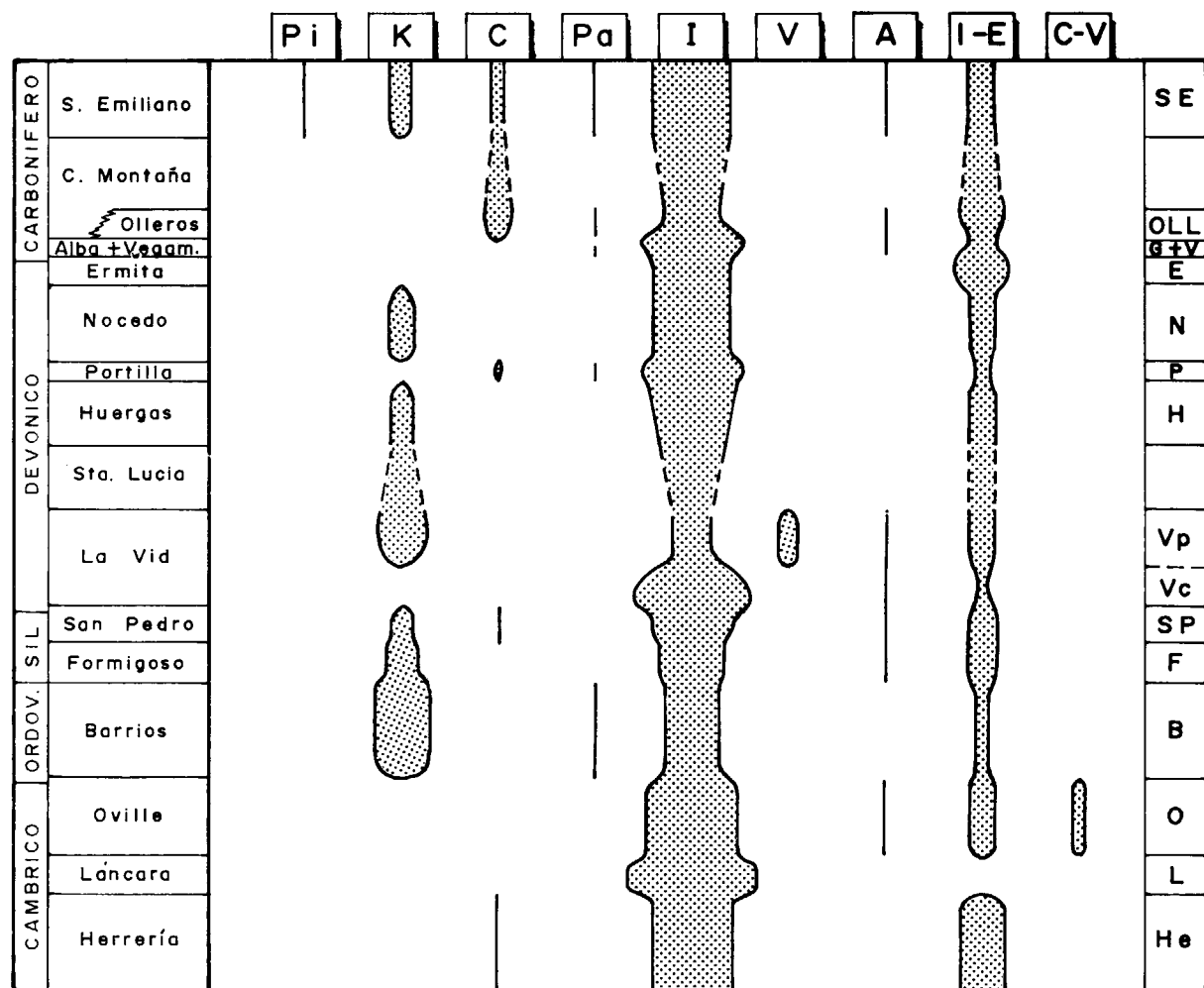


Figura 5.—Evolución del contenido de minerales arcillosos en la serie paleozoica del valle del Bernesga. La columna de la derecha representa las abreviaturas utilizadas en la denominación de las muestras (Pi: pirofilita; K: caolinita; C: clorita; Pa: paragonita; I: illita; V: vermiculita; A: allevardita; I-E: interestratificado irregular illita-esmectita; C-V: interestratificado clorita-vermiculita).

Formación Herrería (Georgiense)

Está constituida por unos 800 m. de materiales areniscosos y lutíticos, con esporádicas intercalaciones carbonatadas. El límite inferior de la formación no es visible en esta zona. La mitad superior está formada por un potente conjunto (450 metros) de cuarcitas, subarcosas y arcosas rosáceas y blanquecinas, con un típico moteado limonítico, e intercalaciones irregulares de pizarras, objeto de este estudio.

Las muestras se han recogido al O de Busdongo y en las inmediaciones de Camplongo (en la figura 1 se señalan como He). La coloración varía desde gris amarillenta (5Y7/2) o verdosa (5GY8/1) hasta la rojo pálida (10R6/2) o marrón anaranjada grisácea (5YR7/2).

La composición mineralógica media de la fracción arcillosa está formada por illita (57-70 por ciento) y el interestratificado irregular illita-esmectita (30-43 por 100). En alguna muestra se detectaron indicios de clorita.

La illita es predominantemente dioctaédrica del politipo 2M.

Formación Láncara (Georgiense Superior-Acadiense)

Se trata de 120 m., como máximo, de dolomías grises y amarillentas, calizas grises y una caliza nodulosa rojiza al techo (griotte cámbrica). Algunas hiladas pizarrosas.

El nivel estudiado se localiza al E de Busdongo y se trata de una lutita gris luminoso (N7) con variados carbonatos (calcita, ankerita y, sobre todo, dolomita) y hematites.

En la zona de Luna, se ha descrito la presencia de illita, interestratificado I-M y a veces contiene algo de clorita (BRIME, 1981).

La mineralogía de la fracción arcillosa está constituida enteramente por illita dioctaédrica.

Formación Oville (Acadiense-Ordovícico Inferior)

Comienza con un tramo muy característico de pizarras verdes (principal nivel desmuestreado) al que sigue una alternancia de pizarras arcillosas

y limolíticas con sublitarenitas, aumentando progresivamente la fracción arenítica hacia el techo. Todo el conjunto contiene abundante glauconita. El espesor total varía desde 140 a 350 m.

Las muestras se localizan en Camplongo y al SE del pico de Rozo, y presentan una tonalidad de gris oliva (10Y6/2) a gris luminosa (N8).

Según BRIME (op. cit.), en la zona del pantano de Luna, está constituida por illita y el interestratificado I-M.

En la fracción arcillosa, además de los dos minerales característicos de la mayoría de las formaciones, illita (68-76 por 100) e I-E (13-24 por ciento), se encuentra el interestratificado irregular clorita-vermiculita (6-19 por 100) que, puntualmente, tiende a la regularidad. El mineral C-V es exclusivo de esta formación y se concentra fundamentalmente en el tramo de las pizarras verdes, siendo más abundante hacia el muro.

La illita se presenta en los politipos 2M y 1M.

Análisis realizados con microsonda electrónica de una superficie de 2,4 mm² de fracción arcillosa, arrojan el siguiente resultado promedio: SiO₂=45 por 100; Al₂O₃=28 por 100; Fe₂O₃=4,6 por 100; MgO=4 por 100; CaO=0,12 por 100; K₂O=16 por 100.

Formación Barrios (Skidawiense)

Es predominantemente cuarcítica —cuarciarenitas— con hiladas de pizarras limolíticas.

Se desmustró en Busdongo y en la zona del pico de Rozo. Presentan las pelitas colores que varían desde gris amarronado (5YR6/1) a gris oliva (5Y8/1) y naranja pálido (10YR8/2).

Se han mencionado como minerales arcillosos constituyentes de esta unidad, en el valle de Luna: illita, caolinita, dickita y el interestratificado I-M.

Mineralógicamente, es característico el más alto contenido encontrado en caolinita (42-45 por 100), a la que acompañan illita (43-46 por 100), I-E (8-15 por 100) y trazas de paragonita.

La caolinita pertenece al politipo 1Md, aunque existen indicios del 1T. Por su parte, la illita se presenta bajo el politipo 2M.

Los microanálisis indican la siguiente compo-

sición media: $\text{SiO}_2=48$ por 100; $\text{Al}_2\text{O}_3=34$ por 100; $\text{Fe}_2\text{O}_3=1$ por 100; $\text{MgO}=1,6$ por 100; $\text{CaO}=0,07$ por 100; $\text{K}_2\text{O}=14$ por 100; $\text{TiO}_2=0,3$ por 100.

Formación Formigoso (Llandoverly Medio-Wenlok)

Representa a un conjunto de materiales lutíticos (80-200 m.), cuyo tramo basal es ampelítico y en el superior alternan pizarras con areniscas.

Las muestras provienen del N de Villasimpliz, N y E de La Vid y de Folledo. Presentan coloraciones de diversos tipos de grises (5Y6/1, N7, 5Y4/1, 5Y7/2, 5Y6/1), amarillenta (5Y6/4) y naranja (10YR7/4).

En la zona de Luna está formada por illita, caolinita (y dickita) y el interestratificado I-M (BRIME, op. cit.), mientras que en el cabo Peñas (Asturias (contiene illita y clorita como dominantes, a los que acompañan caolinita, pirofilita, paragonita y I-M (BRIME y PÉREZ-ESTAUN, 1980). Hay que resaltar que, en esta última localidad, la formación ha estado sometida a un anquimetamorfismo.

En esta unidad se han reconocido los mismos minerales arcillosos que en la anterior, excepto la paragonita: illita (42-69 por 100), caolinita (10-42 por 100) y el interestratificado I-E (15-35 por 100) que, ocasionalmente, muestra tendencia a allevardita.

Formación San Pedro (Wenlokiense Superior-Gediniense Inferior)

Se trata de una unidad fundamentalmente arenítica con abundantes óxidos ferruginosos que le imprimen un llamativo color rojizo.

La potencia del conjunto varía de 90 a 160 m. El tramo inferior se caracteriza por areniscas ferruginosas rojas e interestratos de pizarras verdosas. En la parte media, dominan areniscas cuarcíticas con intercalaciones pizarrosas, mientras que en la superior abundan las pizarras con intercalaciones cuarcíticas y areniscosas.

Las muestras estudiadas proceden del NO de Buiza y de las proximidades de La Vid. Su color es variable, desde la gama de los grises (5Y7/2, 5Y5/2, 5Y8/1, 5Y6/1) hasta verdosas (5GY7/2), amarillentas (10YR8/2) y sienas (10YR6/2).

Además de los minerales alotígenos banales, como cuarzo y feldspatos, se constató la presencia insistente de un fosfato magnésico-amónico, schertelita, así como de lepidocrocita y, más raramente, de glauconita.

Esta formación, en el embalse de Luna, contiene illita, caolinita e I-M. En la zona de estudio, la fracción arcillosa está constituida por illita (39-81 por 100), caolinita (0-31 por 100), I-E (16-30 por 100) y puntualmente clorita (12 por 100).

Formación La Vid (Gediniense-Emsiense Superior)

Es la primera formación enteramente devónica. Presenta una gran variación de espesores, de 130 a 400 m.

Desde el punto de vista litológico, se distinguen dos tramos. El inferior (40-90 m.), conocido como «La Vid calcárea», consiste en una sucesión de dolomías, calizas y margas arenosas, con algunas intercalaciones de pizarras. El superior (60-300 metros), «La Vid pizarrosa», está formado por pizarras arcillosas y calcáreas. Por encima de estas pizarras suele aflorar un tercer tramo (10-40 m.), fundamentalmente carbonatado.

El tramo pizarroso se ha desmuestreado en Folledo y en La Vid, mientras que el calcáreo en la proximidad de esta última localidad, de donde deriva el nombre de la formación. Las muestras presentan una coloración gris (N7, 5Y7/2), amarillenta (5Y6/4, 5Y7/6) y, puntualmente, anaranjada (10YR7/4).

En La Vid calcárea se ha encontrado un alto porcentaje de dolomita (46 por 100). Al igual que la formación San Pedro, el tramo pizarroso contiene schertelita y lepidocrocita.

En la región de cabo Peñas la unidad equivalente, denominada Complejo de Rañeces, y más concretamente su miembro Ferroñes, presenta illita, clorita, caolinita y pequeñas cantidades de I-M (BRIME y PÉREZ-ESTAUN, op. cit.).

La composición mineralógica de los dos tramos mencionados es bastante diferente. El calcáreo está constituido por illita (90 por 100) y el interestratificado I-E (10 por 100), mientras que el pizarroso contiene caolinita (31-40 por 100), illita (24-36 por 100), I-E (11-28 por 100) y vermiculita

(8-16 por 100). Este último mineral es exclusivo de este miembro. Ocasionalmente, el interestratificado I-E es regular (allevardita).

La illita del miembro pizarroso es esencialmente dioctaédrica del tipo 2M, mientras que la caolinita pertenece al politipo 1Md.

Formación Huergas (Couviniense Superior-Givetiense Medio)

El ámbito de afloramiento de esta unidad está limitado, dentro del valle del Bernesga, a la región comprendida entre los pueblos de Ciñera y Huergas.

De unos 200 a 300 m. de espesor, está formada por pizarras y areniscas. Localmente, presenta intercalaciones carbonatadas hacia el techo.

Las muestras estudiadas se han recogido al E de Vega de Gordón y al N de Pola de Gordón, presentando una coloración de amarillenta (5Y6/4) a marrón verdosa (5Y5/6).

La fracción arcillosa está compuesta por tres minerales: illita (37-84 por 100), caolinita (16-20 por 100) y el interestratificado I-E (0-43 por 100).

Coexisten dos politipos de la illita, el 1M y el 2M. La caolinita es del tipo 1Md y T.

Formación Portilla (Givetiense Superior-Frasniense Inferior)

Se trata de una formación eminentemente calcárea, con un espesor máximo reconocido de 200 metros. Posee un tramo intermedio más detrítico con hiladas pizarrosas, que han sido objeto de este trabajo.

Las muestras proceden del N de Pola de Gordón y presentan tonalidades grises (5Y8/1, 5YR6/1) y amarillentas (10YR8/2).

A veces, las lutitas son muy calcáreas con contenidos en calcita de hasta el 56 por 100).

Los minerales arcillosos determinados son: illita (67-100 por 100), I-E (0-27 por 100), clorita (0-6 por 100) e indicios esporádicos de paragonita. Es, junto a la formación Ermita, la única unidad totalmente devónica que no contiene caolinita.

Formación Nocedo (Frasniense Medio-Fameniense Medio)

El ámbito de afloramiento queda restringido al flanco septentrional del sinclinal de Alba.

Su potencia muestra gran variación. La parte interior está constituida por areniscas, calizas, conglomerados y pizarras, mientras que hacia el techo dominan las cuarcitas.

El desmuestre se ha realizado al S de Huergas y El Millar. Se trata de lutitas de color amarillento (5Y6/4) y siena (10YR6/2, 10YR4/2).

Un hecho destacable es la presencia de fosfatos, aunque de forma puntual.

La composición mineralógica de la fracción pelítica es: illita (58-59 por 100), I-E (19-23 por 100) y caolinita (19-23 por 100).

Formación Ermita (Fameniense Superior-Tournaisiense)

Posee una potencia extremadamente variable, desde 140 m., en el corte tipo de la ermita del Buen Suceso, hasta sólo 10 m., en la zona septentrional del valle del Bernesga.

Desde el punto de vista litológico, está compuesta por areniscas predominantemente ferruginosas, pero también silíceas y calcáreas. Escasas hiladas pizarrosas.

El desmuestre se ha efectuado en Pola de Gordón y se trata de una lutita de color naranja grisáceo (10YR7/4).

El contenido mineralógico es trivial: illita (58 por 100) y el interestratificado irregular I-E (42 por 100).

Un análisis efectuado con microsonda de la fracción arcillosa, proporcionó los siguientes datos: $\text{SiO}_2=44$ por 100; $\text{Al}_2\text{O}_3=29$ por 100; $\text{Fe}_2\text{O}_3=3$ por 100; $\text{MgO}=2,7$ por 100; $\text{CaO}=0,2$ por 100; $\text{Na}_2\text{O}=2$ por 100; $\text{K}_2\text{O}=18$ por 100.

Formación Vegamián (Tournaisiense Superior-Viseiense Inferior)

Aunque de reducida potencia, generalmente inferior a 5 m., posee una notable importancia cro-

nológica, y con ella se inaugura el sistema carbonífero.

Consiste en una sucesión de pizarras negruzcas y de areniscas arcillosas de grano fino. Es característico que, hacia el muro y techo, se encuentren nódulos fosfáticos.

Las muestras analizadas se localizan en los dos extremos de la región estudiada, Camplongo y Olleros de Alba. Su tonalidad oscila entre la gris oliva (5Y5/2) y la negra (5YR2/1).

Al igual que la formación precedente, los filosilicatos presentes son: illita (71-100 por 100) y el interestratificado I-E (0-29 por 10). A veces contiene trazas de paragonita.

Formación Alba (Viseiense)

Denominada comúnmente «griotte carbonífera», es la más constante y quizá homogénea de la Cordillera Cantábrica.

Se trata de una unidad fundamentalmente carbonatada, de unos 25 m. de potencia, cuyo tramo superior lo constituyen las típicas calizas nodulosas rojizas (griottes). En el tramo intermedio, donde abundan las radiolaritas, existen interestratos milimétricos de pizarras rojizas.

El desmuestre se ha realizado unos 500 m. al N de La Robla, en la orilla izquierda del Bernesga. La coloración dominante es la marrón rojiza pálida a moderada (10R5/4-10R4/6).

El mineral arcilloso más abundante es la illita (79 por 100) al que acompaña el interestratificado I-E (21 por 100), que tiende a hacerse regular (allevardita). La illita es bastante diferente de las anteriores, da un pico de difracción muy disimétrico y ancho en la base, tal y como queda matizado en la cristalinidad y en su índice de agudeza (fig. 6).

Formación Olleros (Namuriense Inferior)

Queda restringida al sinclinal de Alba, en la parte meridional de la zona estudiada (fig. 1).

Se apoya sobre la formación Alba y viene a ocupar la posición estratigráfica habitual del tramo inferior de la Caliza de Montaña.

Es una sucesión turbidítica de 400 m. de potencia máxima, donde alternan pizarras, más o menos calcáreas, con areniscas en la mitad inferior, a las que se unen calizas, muy fértidas, hacia el techo.

Las muestras se han recogido al N de La Robla y en la localidad que da nombre a la formación, Olleros de Alba. Las pizarras presentan un color gris amarillento (5Y7/2), oliva pálido (10Y6/2) y verde amarillento pálido (5GY7/2).

La fracción arcillosa está constituida por illita (45-51 por 100), I-E (29-34 por 100), con tendencia a allevardita y clorita (21-22 por 100). Existen indicios de paragonita.

El politipo dominante de la illita es el 2M.

Formación San Emiliano (Namuriense B-Westfaliense C)

Yace en contacto concordante sobre la Caliza de Montaña, pero el límite entre ambas formaciones es gradual y, a veces, poco definido. Muestra mucha variabilidad litológica en sentido lateral, claramente manifestada en la región de Villanueva de la Tercia y Casares de Arbas, donde afloran grandes intercalaciones calcáreas con marcadas digitaciones laterales.

Consiste en una alternancia de más de 500 m. de pizarras, areniscas y calizas, con algunas pasadas carbonosas.

Las muestras proceden de Villanueva de la Tercia, y se encuentran próximas al contacto con la formación infrayacente. La coloración es grisácea, variable desde verdosa a amarillenta (5Y6/1, 5Y5/2, 5Y7/2).

En el embalse de Luna, esta unidad está constituida por illita, caolinita, I-M, montmorillonita y puntualmente clorita (BRIME, 1981).

La mineralogía de la fracción lutítica es la más variada de las encontradas en el conjunto de las formaciones. Así, contiene illita (52-66 por 100), I-E (21-25 por 100), clorita (10-12 por 100), caolinita (0-15 por 100) y trazas de pirofilita, allevardita y paragonita (o minnesotaita).

La illita parece ser dioctaédrica, pero no se ha podido determinar el politipismo. La caolinita pertenece a los polimorfos 1Md y 1T.

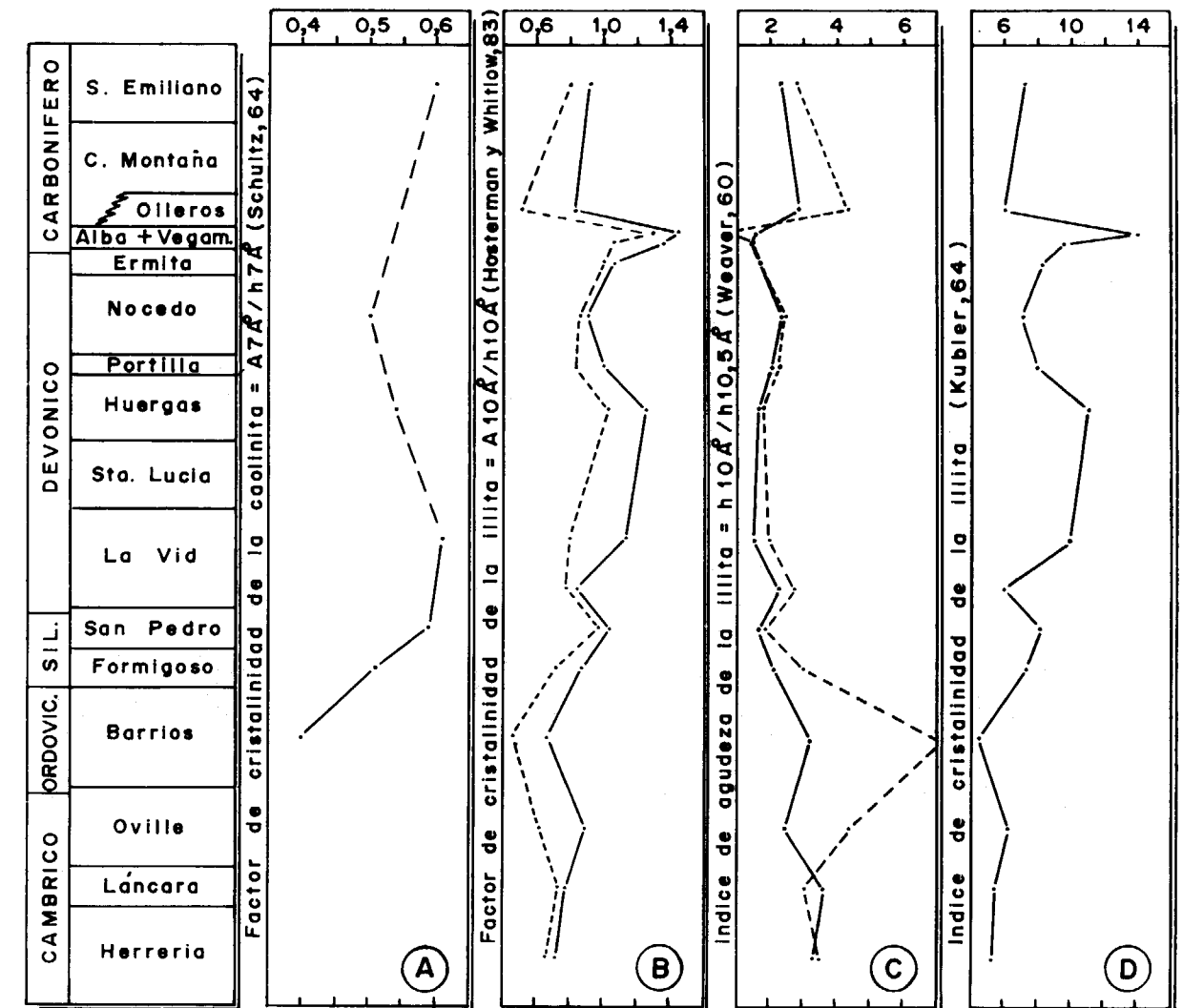


Figura 6.—Evolución con la profundidad de la cristalinidad de la caolinita (curva A) e illita (B, C y D). En B y C las curvas de trazo continuo representan medidas realizadas sobre agregados orientados y tratamiento con etilenglicol, mientras que las de trazo discontinuo se han elaborado con datos obtenidos a partir de una pastilla.

Un análisis efectuado con microsonda electrónica de la fracción pelítica, proporcionó la siguiente composición global: SiO₂=45 por 100; Al₂O₃=31 por 100; Fe₂O₃=2,6 por 100; MgO=2 por ciento; CaO=0,3 por 100; Na₂O=0,1 por 100; K₂O=16 por 100; TiO₂=0,1 por 100.

ESTUDIO DE LA CRISTALINIDAD DE LOS MINERALES ARCILLOSOS

Es un hecho bien conocido que el aumento de

los gradientes termodinámicos involucrados en los procesos diagenéticos avanzados y metamórficos incipientes conducen a la recrystalización de algunos minerales, especialmente de la illita.

El estudio de la cristalinidad de este mineral, basado en la morfología del pico de difracción a 10 Å, es un método indirecto muy valioso para caracterizar el grado de evolución de un sedimento, y ha sido utilizado con éxito para detectar el límite diagénesis profunda-metamorfismo precoz.

En la figura 6 se representan gráficamente di-

versos índices indicativos del grado de cristalinidad de la caolinita y de la illita. En dichas curvas se aprecia una disminución progresiva general de la cristalinidad hacia las formaciones más jóvenes. Las gráficas A y B, dibujadas respectivamente con datos del factor de cristalinidad de la caolinita e illita, y la D que recoge la variación del índice de cristalinidad (anchura del pico a 10 Å a la mitad de la altura del mismo), configuran una pendiente que, aunque posee alguna inflexión, muestra una tendencia netamente positiva. Como es lógico, la curva C, que representa el índice de agudeza de Weaver, es opuesta a las anteriores.

Del análisis de los datos precedentes, se pueden establecer ritmos evolutivos de la cristalinidad. El primero, abarcaría desde el Cámbrico hasta el Devónico Medio (Herrería-Huergas), con una disminución paulatina de la misma. El segundo cubriría desde el Devónico Superior hasta el Carbonífero Inferior (Portilla-Alba) y el último a las dos formaciones carboníferas más modernas.

Un problema importante es que la mayor parte de los índices utilizados para evaluar la cristalinidad dependen de las condiciones experimentales y, por lo tanto, no pueden ser comparados indiscriminadamente. En este estudio, los difractogramas se han realizado con un equipo Philips con la siguiente normativa: anticátodo de $\text{CuK}\alpha$ y filtro de Ni; 35 kV-15 mA; velocidad del goniómetro = $1^\circ/\text{min.}$; velocidad del papel = 10 mm/min. ($1^\circ = 10 \text{ mm.}$).

En estas condiciones, el límite diagénesis-anquizona, determinado a partir de muestras recogidas en la zona del cabo Peñas (Asturias), y contrastado con los datos de BRIME y PÉREZ-ESTAUN (1980), se corresponde con un valor del índice de Kubler de 3,5 mm., que no alcanza ninguna de las formaciones estudiadas.

CONSIDERACIONES GENERALES

El estudio realizado permite extraer algunas consideraciones que ayudan a mejorar el conocimiento de este grupo petrográfico, así como a corroborar lo reveladores que son los minerales arcillosos de las transformaciones diagenéticas y metamórficas.

La illita es un mineral ubicuo y el más abun-

dante. Su concentración sobrepasa el 50 por 100 en la mayoría de las muestras. El hecho de que el politipo dominante sea el 2M, acompañado ocasionalmente del 1M, indica que las lutitas paleozoicas han debido sufrir una diagénesis profunda o una ligera actuación metamórfica, ya que estos procesos favorecen la reacción $1\text{Md} \rightarrow 1\text{M} \rightarrow 2\text{M}$.

El interestratificado irregular illita-esmectita se encuentra casi siempre presente, con contenidos medios de alrededor del 25 por 100, aunque en ocasiones supere el 40 por 100. Su proporción disminuye, más o menos gradualmente, con el aumento de edad, hasta llegar a desaparecer en el Cámbrico Medio, sin embargo, sufre un aumento en el Inferior. Como se observa en la figura 5, su variación se realiza fundamentalmente a expensas de la illita. En tal sentido, se ha demostrado reiteradamente que las agradaciones diagenéticas del interestratificado I-E conduce progresivamente a illita (DUNOYER DE SEGONZAC, 1970).

En algunas formaciones, esta interestratificación tiende a hacerse regular (allevardita). La presencia de este mineral se ha relacionado con el comienzo de la anquizona.

La caolinita presenta una distribución irregular, no aparece hasta el Ordovícico y se concentra, contrariamente a lo que ocurre con la illita, en las formaciones terrígenas y por tanto de carácter más continental. Esta observación está en consonancia con el hecho demostrado de que el calcio tiende a inhibir la formación de este mineral. Por otro lado, la caolinita aumenta progresivamente hacia las formaciones más antiguas, alcanzando en las argilitas de Barrios concentraciones del 45 por 100.

La clorita también aparece irregularmente. A diferencia de la caolinita, es más abundante en las unidades más modernas, habiéndose encontrado en la formación carbonífera de Olleros porcentajes del 22 por 100.

Dos minerales magnesianos, la vermiculita y el interestratificado clorita-vermiculita, poseen una muy reducida distribución vertical, quedando restringidos, respectivamente, a las formaciones de La Vid pizarrosa y de Oville y, por tanto, deben de ser considerados como minerales índices de las mismas en esta región.

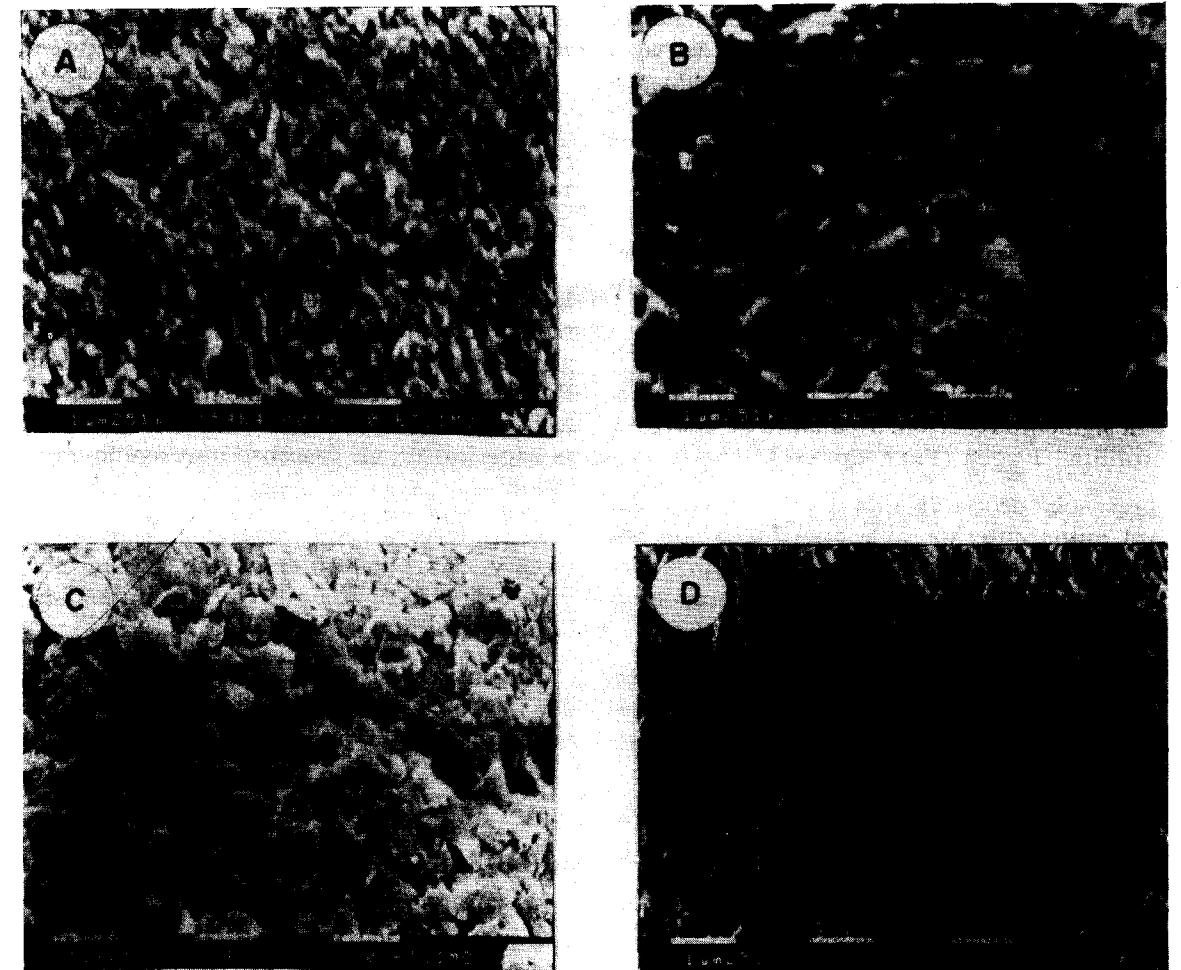


Figura 7.—Micrografías obtenidas con MEB de la fracción arcillosa de lutitas paleozoicas (X15.400). A: muestra de la formación Oville (Cámbrico). B: formación Ermita (Devónico). C y D: formación San Emiliano (Carbonífero).

La garagonita aparece intermitentemente, aunque siempre en cantidades exiguas, a lo largo de la serie paleozoica, y denota la existencia de un ligero metamorfismo de bajo grado y, más específicamente, suele caracterizar a la anquizona.

La pirofilita sólo se encuentra en la formación de San Emiliano. La coexistencia de pirofilita y caolinita en esta unidad coincide con la paragénesis apreciada en el Ordovícico del cabo Peñas y ha sido interpretada como indicadora de un metamorfismo de baja presión (BRIME, 1985).

Es destacable la ausencia de montmorillonita en la totalidad de las muestras estudiadas. Este hecho ratifica las conclusiones ya emitidas por GRIM (1968) al estudiar las series arcillosas anti-

guas de Estados Unidos. Es probable que la sola acción de la diagénesis debido al enterramiento haya sido la causa de la transformación de las posibles esmectitas en minerales tipo mica.

Con todos los datos anteriores se puede concluir que posiblemente el único mineral detrítico inalterado, además del cuarzo y feldespato, sea la caolinita. De manera que la mayor parte de los componentes arcillosos, fundamentalmente illita 2M, clorita e interestratificados, son el resultado de procesos diagenéticos avanzados o incluso metamórficos.

La illita 2M, así como el interestratificado I-E, derivan de illita desordenada (Md) y de esmectita.

La clorita podría haberse formado según la re-

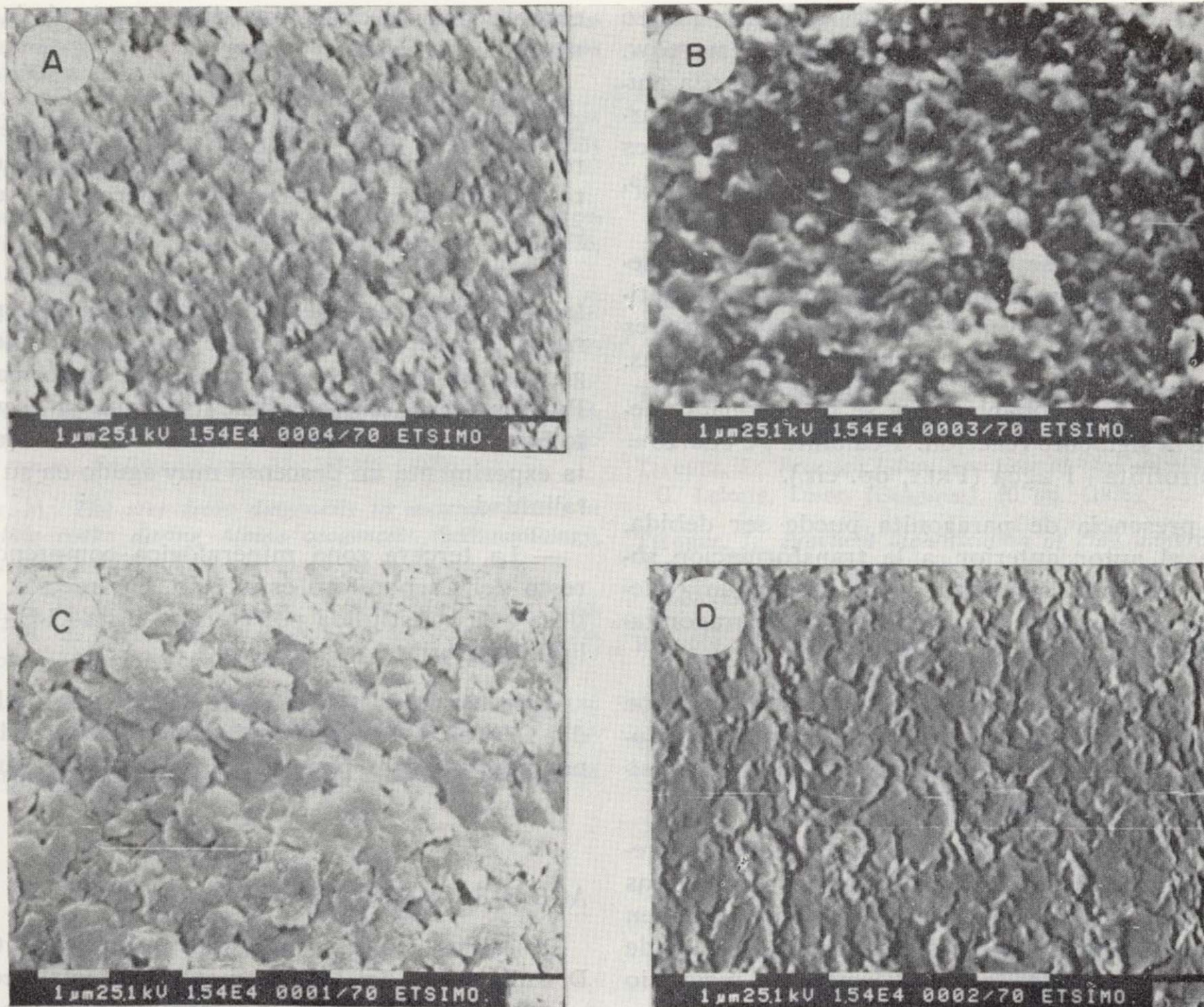


Figura 7.—Micrografías obtenidas con MEB de la fracción arcillosa de lutitas paleozoicas (X 15.400). A: muestra de la formación Oville (Cámbrico). B: formación Ermita (Devónico). C y D: formación San Emiliano (Carbonífero).

La garagonita aparece intermitentemente, aunque siempre en cantidades exiguas, a lo largo de la serie paleozoica, y denota la existencia de un ligero metamorfismo de bajo grado y, más específicamente, suele caracterizar a la anquizona.

La pirofilita sólo se encuentra en la formación de San Emiliano. La coexistencia de pirofilita y caolinita en esta unidad coincide con la paragénesis apreciada en el Ordovícico del cabo Peñas y ha sido interpretada como indicadora de un metamorfismo de baja presión (BRIME, 1985).

Es destacable la ausencia de montmorillonita en la totalidad de las muestras estudiadas. Este hecho ratifica las conclusiones ya emitidas por GRIM (1968) al estudiar las series arcillosas anti-

guas de Estados Unidos. Es probable que la sola acción de la diagénesis debido al enterramiento haya sido la causa de la transformación de las posibles esmectitas en minerales tipo mica.

Con todos los datos anteriores se puede concluir que posiblemente el único mineral detrítico inalterado, además del cuarzo y feldespato, sea la caolinita. De manera que la mayor parte de los componentes arcillosos, fundamentalmente illita 2M, clorita e interestratificados, son el resultado de procesos diagenéticos avanzados o incluso metamórficos.

La illita 2M, así como el interestratificado I-E, derivan de illita desordenada (Md) y de esmectita.

La clorita podría haberse formado según la re-

acción: esmectita+Al+K=illita+clorita+cuarzo (HOWER et al., 1976, in HOSTERMAN y WHITLOW, 1983), o mediante la siguiente: I—E=clorita aluminosa+illita+cuarzo+agua (FREY, 1970). El cuarzo no detrítico resultante de las transformaciones anteriores podría ser el que se observa, a veces, con el microscopio.

La allevardita se forma en medios ricos en metales alcalinos, mediante agradaciones diagenéticas de estructuras interestratificadas irregulares (I-E), pudiendo inclusive evolucionar hasta illitas.

La pirofilita probablemente se ha originado mediante la siguiente reacción: 1 calonita+2 cuarzo = 1 pirofilita+1 agua (FREY, op. cit.).

La presencia de paragonita puede ser debida, según el autor anterior, a la transformación sucesiva del interestratificado I-E en regular (allevardita), pasando posteriormente por paragonita-vermiculita.

El origen de la vermiculita es incierto, aunque se ha relacionado abundantemente con alteraciones hidrotermales en contacto con rocas intrusivas ácidas y básicas o ultrabásicas.

El interestratificado clorita-vermiculita representa un estadio en la degradación de vermiculitas degradadas hacia cloritas. Se ha demostrado en pizarras de Pennsylvania la continua conversión de vermiculita en clorita por fijación de magnesio (SHOVER, in DUNOYER DE SEGONZAC, 1970).

Las paragénesis observadas, así como los índices de cristalinidad, señalan que la totalidad de las formaciones estudiadas se encuentran en la zona de diagénesis más o menos avanzadas, aunque existen detalles indicadores de una muy débil actuación metamórfica. Así, la presencia de allevardita y paragonita, la aparición conjunta de pirofilita y caolinita, los aumentos apreciados en la cristalinidad de la illita y la coexistencia de los polimorfos 1M y 2M, o incluso sólo el 2M, son criterios suficientes para pensar en la proximidad de la anquizona.

Atendiendo a la distribución mineralógica (figura 5) y a la evolución de la cristalinidad de algunos minerales (fig. 6), se puede establecer la siguiente zonación vertical:

— La primera zona abarcaría todo el Cámbrico. Se caracteriza por la ausencia de caolinita y por la tendencia ligeramente positiva de la curva de

cristalinidad, es decir, una disminución de la misma hacia el techo.

— La segunda se extiende desde el Ordovícico hasta el Carbonífero más inferior. La paragénesis representativa sería: illita+caolinita+I-E±clorita±paragonita. Puntualmente, aparece la vermiculita.

A tenor de la morfología de las curvas de cristalinidad cabe establecer dos subzonas. La primera se corresponde con una rama de tendencia general positiva y se extiende desde la formación Barrios hasta Huergas, mientras que la segunda lo hace desde esta última hasta Alba, donde la illita experimenta un descenso muy agudo en su cristalinidad.

— La tercera zona mineralógica comprende el resto del Carbonífero estudiado. La fracción arcillosa está constituida por clorita+illita+I-E±caolinita±pirofilita±paragonita.

Aumenta la cristalinidad de la illita a los valores del Devónico, lo que podría ser explicado, al menos parcialmente, por causas geológicas puntuales.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestro reconocimiento a D. Julio Riba, del Departamento de Metalotecnia, y a D. Roberto Zapico, del Departamento de Metalurgia, ambos de la E. T. S. de Ingenieros de Minas de la Universidad de Oviedo, por su estimable colaboración en el estudio de algunas muestras con el microscopio electrónico de barrido y con la balanza térmica, respectivamente.

BIBLIOGRAFIA

- ALLER, J., y BRIME, C.: *Deformación y metamorfismo en la parte sur de la Cuenca Carbonífera Central (NO de España)*. Dixième Congrès Intern. de Stratigraphie et de Géologie du Carbonifère, Madrid, 1983, 3, 541-548 (1985).
- BEA, F.: *Análisis de silicatos por absorción atómica para elementos mayores*. Inédito.
- BRIME, C.: *Postdepositional transformations of clays in palaeozoic rocks of Northwest Spain*. Clay Minerals, 16, 421-424 (1981).
- BRIME, C.: *A diagenesis to metamorphism transition in the Hercynian of north-west Spain*. Mineralogical Magazine, 49, 481-484 (1985).

- BRIME, C., y PÉREZ-ESTAUN, A.: *La transición diagénesis-metamorfismo en la región del cabo Peñas*. Cuadernos Lab. Geol. Laxe, 1, 85-97 (1980).
- BROWN, G.: *The X-ray identification and crystal structures of clay minerals*. Mineralogical Society (Clay Minerals Group), London (1972).
- CARROL, D.: *Clay Minerals. A guide to their X-ray identification*. The Geological Soc. of Am., Special Paper, 126, 80 pp. (1969).
- COMTE, P.: *Recherches sur les terrains anciens de la Cordillère Cantabrique*. Mem. Inst. Geol. y Min. de España, 60, 440 pp. (1959).
- DUNOYER DE SEGONZAC, G.: *The transformation of clay minerals during diagenesis and low-grade metamorphism: a review*. Sedimentology, 15, 281-346 (1970).
- FREY, M.: *The step from diagenesis to metamorphism in pelitic rocks during Alpine orogenesis*. Sedimentology, 15, 261-279 (1970).
- GRIFFIN, G. M.: *Interpretation of X-ray diffraction data*. In: R. E. Carver (Ed.): *Procedures in Sedimentary Petrology*. Wiley Interscience, New York, 541-569 (1971).
- GRIM, R. E.: *Clay Mineralogy*. International series in the earth and planetary sciences. McGraw-Hill, 596 pp. (1968).
- HOSTERMAN, J. W., y WHITLOW, S. I.: *Clay mineralogy of Devonian shales in the Appalachian basin*. U.S. Geol. Survey Profes. Paper 1298, 31 pp. (1983).
- HOWER, J. M., y MOWATT, T. C.: *The mineralogy of illites and mixed layer illite-montmorillonite*. Amer. Min., 51, 825-854 (1966).
- KUBLER, B.: *Les argiles indicateurs de métamorphisme*. Rev. Inst. Fr. Petrol., 19, 1093-1112 (1964).
- SCHULTZ, L. G.: *Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and chemical data for the Pierre Shale*. U.S. Geol. Survey Profes. Paper 391-C, 31 pp. (1964).
- THOREZ, J.: *Phyllosilicates and clay minerals*. Ed. G. Lelotte, Dison (Belgique), 579 pp. (1975).
- THOREZ, J.: *Practica identificación de clay minerals*. Ed. G. Lelotte, Dison (Belgique), 90 pp. (1976).
- THOREZ, J.: *Practical identification of clay minerals. (free silica) in refractory clays*. J. Am. Ceram. Soc., 23, 18-22 (1940).
- REYNOLDS, R. C., y HOWER, J.: *The nature of interlayering in mixed-layer illite-montmorillonite*. Clays Clay Min., 18, 25-36 (1970).
- WEAVER, C. E.: *Possible uses of clay minerals in search for oil*. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol., 44, 1505-1518 (1960).

Recibido: Febrero 1987.

INFORMACION

Mineros destacados del Siglo XVIII

José Duro y Garcés (1796-1855)

Adjudicación de la cátedra de Química docimástica

Por J. M. LOPEZ DE AZCONA

En la biografía publicada por nosotros en Industria Minera dábamos pocos datos de los primeros años de la vida de este Inspector de Distrito de Segunda Clase del Real Cuerpo Facultativo de Minas (R. D. de 21 de septiembre de 1983). Cuando ordenaron el archivo del Instituto Geológico y Minero, por falta de espacio, tuve especial interés en que se guardasen todos los documentos relacionados con Fausto de Elhuyar y de Súbice (1755-1833), los cuales estuvieron en paradero desconocido durante unas décadas y afortunadamente fueron localizados hace unos

quince años y guardados en la librería acorazada de documentos valiosos. Entre estos documentos están los correspondientes al expediente del nombramiento de Duro como profesor de «Química docimástica de la Dirección General de Minas», los cuales contienen datos interesantes e inéditos de los primeros años de la vida del profesor. En este expediente prácticamente sólo intervienen tres personajes: Joaquín Cabezas (176...-1828), Elhuyar y Duro, ya que la del Ministro Luis López Ballesteros (1778-1853) se limitó a firmar las disposiciones oficiales.

Dios guarda á los m. de Madrid 11 de Mayo de 1828.

José Duro y Garcés

1. JOAQUIN CABEZAS

(1760-1828)

Presentó Elhuyar un proyecto de plantilla de personal al servicio de la Dirección General de Minas, la cual fue reducida en parte, pero se mostró intransigente con la supresión de la dotación destinada a la cátedra de química. En su informe (6 de mayo de 1826) dice: «Mantiene el profesor de KIMIA con 18.000 rs. por ser muy necesaria la plaza de un Profesor de Docimástica o sea, del arte de ensayar y hacer análisis de las sustancias metálicas que es indispensable y debe predecir para calcular con acierto y datos de utilidad en la explotación de una mina y

poder graduar su riqueza». La plantilla se aprueba (31 de agosto de 1826) manteniendo la dotación. Para cubrir la plaza se designó (R. O. de 18 de septiembre de 1826) al ingeniero de minas José Cabezas.

Pertenecía Cabezas a la promoción de la Real Escuela de Almadén de 1790, integrada por dos alumnos, escalafonado en la relación general de Ingenieros de Minas con el número 9 y Diego de Larrañaga y Gárate (1760-1814) con el número 10. En el escalafón de minas, hecho por Eugenio Mafflei y Ramos (1827-1892) figura erróneamente, como año de fallecimiento de Cabezas el 1827, dato copiado por muchos autores.

Fue Cabezas un destacado alumno, persona de gran prestigio profesional y por ello le encomendaron la traducción del alemán, cuando era alumno de 4.º curso, del laboreo de minas de Christoph Delius (1794), obra rectificada, actualizada y valiosamente incrementada.

A Francisco de Angulo (17...-1815), Director General de Minas, le pidieron (R. O. de 27 de septiembre de 1794) indicase las personas aptas, para posibles profesores de Almadén, propuso (7 de octubre de 1794) a los cadetes Diego de Larrañaga, Braulio Correas y Joaquín Cabezas, presentando un plan de formación en el extranjero, pensionaron a los dos primeros y éste quedó en Madrid, donde estableció contacto con Francisco de Chabaneau (1754-1852), promotor y primer profesor de la Cátedra de Química, quien lo incorporó al Real Laboratorio de Química. El segundo profesor de la Cátedra fue Christian Hergen (1760-1816) y el tercero Cabezas. En la documentación del Ministerio de Hacienda de 1799 figura el laboratorio en la calle del Turco, como director del Laboratorio Químico-Metalúrgico Chabaneau y como director interino Cabezas. A este Laboratorio, concordante con el Laboratorio de la Platina, el director del Laboratorio de Historia Natural (7 de noviembre de 1799) Joaquín Clavijo Fajardo (1730-1806), se dirige por conducto del ministro de Estado interino, Mariano Luis de Urquijo (1768-1817), para pedir la inmediata entrega por el Laboratorio de Química de «cuarenta libras de platina purificada y tres arrobas de la que tiene en grano...» a fin de hacer crisoles y otros utensilios; «toda vez que de una y otra hay porción considerable en poder de Joaquín Cabezas». Se había ausentado Chabaneau de España definitivamente (13 de mayo de 1797), y quedó Cabezas como Director del Real Laboratorio, dispuesto a restringir la salida de la platina, por su comercialización por los joyeros. Sospechó que detrás de esta demanda se encontraba José Luis Prouts (1754-1826).

Va instalando Cabezas el Laboratorio de la Cátedra de Química docimástica en la calle de Lobo, número 21, indispensable para la misión docente. Ya se encuentra achacoso con sus 66 años, pide lentamente el material, el de vidrio, de suministro obligado por la Real Fábrica de la Granja, por un total de 2.686 piezas, lo efectúa (19 de septiembre de 1827) al año de ser designado. El fuelle para el horno de forja y dos manuales, los recepciona Cabezas (13 de febrero de 1828). Esta lentitud enfrenta a Cabezas con Elhuyar, personas ambas de carácter fuerte. Con motivo de una entrevista violenta, entre ambos científicos (11 de abril de 1828), procedió Elhuyar a cesarlo

Madrid y febrero 13 de 1828.

Joaquín Cabezas

como profesor. El día 12 firmó la suspensión por el «desacato e insubordinación con que don Joaquín Cabezas se condujo el día 11 del corriente con el señor Presidente de la Dirección General de Minas ha resuelto, en acuerdo de hoy, que desde esta fecha quede suspenso de empleo», según documento adjunto».

Este disgusto, unido a su delicado estado de salud, fueron la causa de su fallecimiento (1828) a los pocos meses.

2. ESTUDIOS DE DURO

En la petición de la plaza de profesor de química docimástica, figura una amplia información de sus antecedentes.

Nace Duro, en la Villa de Yanguas (Soria), en 1797, y fue bautizado en la Iglesia Parroquial de Santa María y San Lorenzo. Inició el estudio de las primeras letras en el ambiente familiar. Comienza la segunda enseñanza en 1860, en la ciudad de Soria, estudiando con provecho y satisfacción de sus maestros, la latinidad, la geografía, la historia y la aritmética, que hacían parte por entonces de la enseñanza en dicha ciudad. A fines de 1809 pasa a Valladolid, en cuya universidad se matriculó con el objeto de continuar el estudio de las matemáticas, y así lo verificó por espacio de un año, hasta que las circunstancias en que se hallaba la Nación, le obligaron a entrar de cadete al servicio del Rey, en el Regimiento de Dragones de Soria, recién creado, donde permaneció hasta el año 1817, en que solicitó su retiro, para dedicarse de nuevo al estudio de las ciencias, objeto de su primera inclinación. Establecido en Madrid, asistió con puntualidad a las lecciones de física y de química que se hacían en el Colegio de Farmacia, como igualmente a las de mineralogía en el Real Gabinete de Historia Natural. Deseando ampliar estudios, se desplazó a París (febrero de 1820), donde permaneció siete años, ayudado por el industrial Rafael de Rodas.

Durante los dos primeros años de París, tuvo un maestro particular de matemáticas, con quien logró enterarse a fondo de las elementales, hasta la geometría analítica inclusive, y además concurrió con particular esmero, a las lecciones de química, que profesaban los célebres investigadores Nicolás Louis Vauquelin (1763-1829), Louis Jacques Thenard (1777-1857) y Pierre Louis Dulong (1785-1838) en el Colegio de Francia y en la Facultad de Ciencias. Asistió a un curso de Química con el vicedirector Barruel en la Escuela de Medicina, con quien por espacio de catorce meses se dedicó a conocer a fondo la parte analítica de la química, por las vías húmeda y seca, así como sus principales aplicaciones a las artes. Continuó con el estudio teórico y práctico de la física experimental con los profesores Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850), Jean-Baptiste Biot (1774-1862), Claude Servais Mathias Pouillet (1790-1868) en la Universidad de la Sorbona, y el de la mineralogía con Francois Sulpica Beudant (1787-1850) y con Brogniart durante año y medio. Con estos conocimientos, recorre los departamentos franceses más im-

portantes por sus industrias mineralúrgicas y de posible aplicación a España. Logró, a fuerza de sacrificios y de gastos, visitar los trabajos de laboreo y beneficio más importantes del país. Durante este proceso de formación estuvo asesorado por los profesores Antonio Gutiérrez y José Luis Casaseca, del Real Conservatorio de Artes de Madrid. Regresó de Francia en 1827.

3. PROVISION DE LA CATEDRA DE QUIMICA DOCIMASTICA

El delicado estado de salud y pérdida de facultades de Cabezas, le hacían a Elhuyar pensar en la sustitución de este profesor, y llevaba casi un año buscando a la persona idónea.

Dirección general

de Minas.

tom. var. en. l. id.



*tom. var. de la R. Com. Fla.
del ant. privan.*

de la de destino.



*Enterada la Dirección del
decano e inculcación con
que D. Joaquín Cabezas recomen-
do el día 11, del corriente con el
Sr. Excmo. de ella, tra. 9.º en-
cabo en acuerdo de hoy, que desde
esta fecha, quede suspenso del
empleo de profesor de Químicas
de la misma, y del que
del sueldo que como atal le
corresponde: y de orden de la
precitada Dirección lo comuni-
co al. para su inteligencia y
efectos consiguientes en era
consiguiente.*

Duro

*que al. m. a. l. Ma-
drid 12, de Abril de 1828,*

Fuente de Elhuyar

Sr. Comador Provisional de la Direc. g. de Minas.

Tuvo Duro el acierto de ponerse en contacto con el Director General de Minas, cuando regresó de París, incluso colaboró en algunas ocasiones. Con este trato pudo apreciar las buenas cualidades del científico, y lo consideró como la persona indicada para sustituir a Cabezas.

Cesado Cabezas (12 de abril de 1828), se asumía su provisión (R. D. de 18 de abril de 1828), antes del mes (11 de mayo de 1828) solicita Duro del Director General de Minas la plaza donde dice «se sirva tenerle presente en la consulta que haga a S. M. para proveer la citada plaza de profesor de Docimástica y Metalurgia, seguro de que el exponente procurará poner de su parte los medios que estén a su alcance para desempeñarla con el celo e interés que exige un encargo de esta clase».

Redacta personalmente Elhuyar (13 de mayo de 1828) la propuesta de adjudicación, y aunque da a entender que los que reúnen condiciones teórico-prácticas para desempeñarlas «son muy pocos», en el expediente de provisión sólo figura la petición de Duro y lo señala en la propuesta «como el más proporcionado para el indicado objeto» y al final añade «Los informes que de él ha tomado la Dirección, de personas que lo han conocido en París y lo han comunicado, con motivo de la analogía de sus tareas, confirman su dedicación a los indicados estudios, la aplicación y aprovechamiento con que los ha seguido y la estimación y ventajosos conceptos que por esas cualidades y las de su arreglada conducta, buen carácter y finos modales, se ha grangeado entre los que le han tratado en aquella corte, de donde hace un año que ha regresado y agregando a ellas su adhesión y amor a la Real Persona de nuestro Augusto Soberano...», termina proponiéndolo por conducto del Excmo. Sr. Secretario de Estado del Despacho de Hacienda.

Comunica Ballesteros (25 de mayo de 1828) a Elhuyar el nombramiento de Duro, y en esta misma fecha, se lo comunica al interesado el Director General de Minas. Con su eficaz colaboración las clases se inauguran a los seis meses (noviembre de 1828).

Con este nombramiento, se considera Duro recompensado sus esfuerzos y sólo le falta el último paso. El trato con Elhuyar durante el último año le facilita el conocimiento de una joven, natural de la ciudad de Arequipa, del Virreinato de Perú, María Alvarez Tomás, hija

legítima de Antonio Alvarez Ximénez y de María Isabel Tomás y Ramírez, de estado noble y soltera, residente en Aranjuez. Por conducto reglamentario solicita (27 de junio de 1828) la oportuna autorización para contraer matrimonio en Aranjuez y unos días de permiso con tal motivo. Con la misma data le concede Elhuyar los oportunos permisos.

El buen concepto de la Dirección General de Minas, hacia Duro, lo vemos en el informe (3 de septiembre de 1834) de Isidro Sainz de Baranda (1806-18...), sobre la reorganización de la Escuela de Almadén en Madrid, en cuanto a la preparación del plan académico, para lo que propone crear una comisión, y añade «Felizmente la Dirección tiene para desempeñar esta comisión, a los profesores don José Duro y don Lorenzo Gómez Pardo y al Inspector de Distrito de segunda clase don Pedro María Zubiaga».

Recibe Duro una mala noticia, la dotación de su Cátedra queda suprimida (1834). La dotación fue restablecida al año siguiente (1835). Ingresó directamente como ensayador de la Casa de la Moneda, y no le interesó la reposición en la Cátedra.

4. VICENTE GONZALEZ ARNAO

Fue pensionado (1827) en París, Vicente González Arnao, para ampliar sus conocimientos en Ciencias Naturales. Recibe comunicación de que perfeccione sus estudios en ciencias químicas. Al regreso de París (1828), lo nombran ayudante de la Cátedra de Química Docimástica con un sueldo anual de 8.000 reales. Cesó por supresión del crédito cuando Duro. Fue destinado al Laboratorio de Docimástica y Metalurgia como Ingeniero tercero del Real Cuerpo Facultativo de Minas.

5. BIBLIOGRAFIA

PAPELES DE ELHUYAR: *Archivo reservado del Instituto Geológico y Minero de España.*

LÓPEZ DE AZCONA, J. M.: *José Duro y Garcés (1796-1855).* Indus. Minera, núm. 244, diciembre de 1984.

La minería española en la Edad Moderna

Una aproximación a su estudio (1)

Por MARIA SOLEDAD RELANZON

I. INTRODUCCION

Desde la noche de los tiempos, la Minería se halla presente en la Historia de España. En las más remotas fuentes surge una y otra vez la alusión a la riqueza de nuestro subsuelo. Pero, a pesar de ser un tema tan profundamente enraizado en la historia, encontramos que su estudio no ha sido afrontado en profundidad. Es un asunto del que podríamos decir que no ha tenido suerte con los historiadores.

Quizá sea esto lo que nos movió a seguir con entusiasmo la sugerencia del profesor CEPEDA acerca de la posibilidad de centrar el tema de esta Memoria de Licenciatura en la situación de la Minería en la Edad Moderna. Así comenzó este trabajo que hoy ve la luz.

Nuestro objetivo al emprender el camino no ha sido sino el de trazar unas líneas de aproximación al estudio de la Minería en esa época crucial de nuestra historia, la más gloriosa por un lado pero también, y quizá por ello, la más discutida. La época en que España parecía la dueña de los mayores recursos económicos conocidos y

(1) Memoria de Licenciatura presentada por María Soledad Relanzón López, en la Facultad de Geografía e Historia, Departamento de Historia Moderna de la Universidad Complutense de Madrid.

Este trabajo terminará su publicación en el número próximo, estructurándose de la siguiente forma:

Fasc. I.—Enero-febrero 1987: Cap. I. Introducción, y Cap. II. Aproximación al estudio de la Historia de la Minería.

Fasc. II.—Marzo-abril 1987: Cap. III. Legislación de Minas, Cap. IV. El control de la riqueza minera, y Cap. V. Conclusiones.

también la época en la que la penuria de su Real Hacienda atravesaba sus momentos más dramáticos.

Para alcanzar nuestro objetivo, hemos dividido el trabajo en tres partes muy diferenciadas:

— Una primera dedicada a la historia de la Minería española. Un recorrido rápido por ella desde los primeros tiempos hasta los albores del siglo XIX en que la Revolución Industrial nos introduce en la sociedad contemporánea.

— La segunda parte se centra en la legislación que regula esta actividad industrial. Desde muy temprano la preocupación de la Corona queda reflejada en las sucesivas leyes que se van dictando. Encontramos ya las primeras disposiciones en las Partidas y, desde ellas, podemos seguir la evolución a través de las diferentes leyes, ordenanzas y disposiciones, hasta desembocar en ese modelo de minuciosidad legislativa que son las Ordenanzas del Nuevo Cuaderno.

— En la tercera parte hemos tratado de conocer una institución de la que apenas nos llegan noticias, quizá porque se desconoce incluso su existencia: la Junta de Minas.

Tenemos plena conciencia de las limitaciones de este estudio y de lo mucho que queda por hacer en este terreno, pero esperamos que, en un futuro próximo, las lagunas existentes se vayan rellenando para poder alcanzar un conocimiento más profundo de la historia de este sector, cuyo importancia para la vida económica del país es evidente.

En ningún momento ha sido nuestra intención abordar el tema desde un punto de vista puramente económico, ni hacer un estudio cuantitativo de las riquezas mineras de la Península. Hemos de confesar no obstante que, de

haberlo intentado, hubiésemos fracasado de forma rotunda pues rara, rarísima vez hemos tropezado con datos económicos de suficiente amplitud, salvo en el caso del Establecimiento de Almadén.

Las Minas de Almadén fueron durante mucho tiempo la mejor joya de la Corona. Si ya en tiempos antiguos fue el mayor y mejor centro productor de cinabrio, podemos imaginar lo que significó en un tiempo, el siglo XVI, en el que su importancia no hizo más que acrecentarse debido al invento del beneficio de la plata por amalgamación con mercurio. De ahí se deriva la riqueza de su documentación, tanto del archivo del propio centro —hoy en el Archivo Histórico Nacional— como del Archivo General de Indias. En éste se conserva una copiosa información en cuanto a cantidades de cinabrio embarcadas con destino a las minas americanas, así como los precios que el mercado imponía. Gracias a ello la historia de las minas de Almadén han sido exhaustivamente estudiadas —primeramente por MATILLA TASCÓN y continuada después por ZARRALUQUI y V. MARTÍN— desde la época romana hasta nuestros días.

Desgraciadamente no es este el caso del resto de los yacimientos mineros españoles, cuya documentación es fragmentaria, dispersa y desordenada. Ni que decir tiene que la fuente principal para su estudio son los legajos conservados en el Archivo General de Simancas. Allí, en las Secciones de Diversos de Castilla, Mercedes, Contadurías Generales, hallamos las pragmáticas de Felipe II revocando las mercedes de minas e incorporando éstas a la Corona y todo el material que en el desarrollo de esta Memoria hemos empleado: expedición de títulos, órdenes, asientos, cédulas, etc. La ingente cantidad de papel que han dejado los inacabables pleitos sostenidos por lograr el asiento de las ricas explotaciones de Guadalcanal, las numerosas solicitudes de permiso para búsqueda y beneficio de minas, los repetidos registros de nuevos ingenios, etc., todo ello dirigido a la Junta de Minas, nos habla de su importancia y atribuciones. Lamentablemente no hemos hallado la correspondencia a estas peticiones, por lo que no podemos saber la importancia real de la extensión de este sector.

Al adentrarnos en el siglo XVIII vemos cómo la sociedad ilustrada va dando preferencia a la industria del carbón. Multitud de escritos en forma de representaciones, cartas, informes, etc., empezando por los de JOVELLANOS y CAMPOMANES, nos llevan hasta Asturias, hacia donde se ha desplazado la importancia de la industria extractiva y con ella las fuentes documentales.

En cuanto a la bibliografía, debemos confesar que la que hemos hallado ha sido escasísima y, en gran parte, anticuada. Un tema tan tremendamente importante para la historia no ha merecido sin embargo una atención constante. Existen, sí, estudios monográficos sobre algún establecimiento, como el ya citado sobre las Minas de Almadén, pero no una historia documentada y general

sobre la Minería de los Siglos Modernos. Quizá la explosión súbita que supuso el hallazgo de las minas americanas hizo que las peninsulares, mucho más modestas, quedasen relegadas hasta caer en el olvido. Habrá que esperar a la Edad Contemporánea para que la historiografía recupere su interés por ellas y podamos encontrar una serie de estudios centrados casi siempre en el carbón o en los grandes centros mineros —Linares, Peñarroya, Riotinto, etc.— y que, curiosamente, suelen ir firmados, no por historiadores interesados por el tema, sino por Ingenieros de Minas apasionados por la Historia. Esto ocurrió en el siglo XIX y sigue ocurriendo en el XX, como nos demuestran MAFFEI, RUA FIGUEROA, ADARO, LÓPEZ DE AZCONA, etc.

Pero para la época que nos ocupa hemos tenido que recurrir a aquellos autores que en el siglo pasado trataron de hacer un balance de nuestra maltrecha economía, como es el caso de D. Eugenio LARRUGA —cuyos manuscritos conservados en el Archivo del Ministerio de Hacienda han sido nuestros principales cooperadores en el desarrollo de esta Memoria—, o D. Tomás GONZÁLEZ, quien, desde su puesto de Director del Archivo de Simancas, recopiló todo aquel material a su alcance para dejarnos la mejor guía de las minas de Castilla que pedir podamos.

Bibliografía más moderna sobre este tema la encontramos —una vez más gracias al esfuerzo de un Ingeniero de Minas como es D. Antonio DEL VALLE— en las actas del VI Congreso Internacional de Minería que se celebró en León en 1970 y a cuya información hemos recurrido una y otra vez.

En cuanto a los archivos de los organismos que, a nuestro entender, debieran relacionarse con el tema, no nos han sido de gran provecho: unos por inexistentes, como es el caso de la Dirección General de Minas o del Ministerio de Industria, que no conservan fondos antiguos; otros por carecer de la información solicitada (Instituto Geológico y Minero) o tener los fondos antiguos en condiciones poco accesibles (Escuela Superior de Ingenieros de Minas). Pero hemos de poner de manifiesto que en todos ellos han tratado de cooperar y ayudar con su mejor voluntad.

En este punto quiero hacer llegar nuestro agradecimiento a D. Antonio MATILLA TASCÓN que nos señaló el camino a seguir. También a los Ingenieros de Minas cuya ayuda hemos solicitado —José Luis QUÍLEZ, Francisco AYALA, Fernando VÁZQUEZ...— encontrando en todos ellos su interés y apoyo incondicionales. También nuestro agradecimiento sincero a los ilustres juristas D. Miguel Ángel PÉREZ MORALES y D. José María MARÍN CORREA, que nos han guiado magistralmente en el mundo de la legislación minera.

Capítulo aparte merece D. José CEPEDA ADAN, director de este trabajo, sin cuyo apoyo y ayuda nunca se hubiera realizado. A él y a todos los profesores del Departamento de Historia Moderna de la Universidad Complutense que nos han brindado su cooperación, muchas gracias.

II. APROXIMACION AL ESTUDIO DE LA HISTORIA DE LA MINERIA

1. LA MINERIA EN LA HISTORIA DE ESPAÑA

El subsuelo español encierra unas riquezas muy sobresalientes, sobre todo por su extraordinaria variedad. Ello se debe a las particularidades geológicas y metalogénicas de la Península Ibérica, a las que se deben la acumulación de yacimientos de interés minero en las alineaciones orográficas de los márgenes de la Meseta. Como estas formaciones montañosas han sido siempre fácilmente accesibles desde las costas, las riquezas minerales que atesoraban pudieron ser conocidas desde tiempos muy remotos. En ellas ha radicado un foco de atracción para pueblos invasores, que fundaron colonias y factorías.

Los indicios arqueológicos evidencian que la extracción y fusión de minerales metálicos se practicaban ya toscamente hace casi 7.000 años y se remontan a poco después de la Edad de Piedra. El oro, la plata, el cobre y el estaño (constituyentes del bronce), el hierro, el plomo, el mercurio y las rocas ornamentales fueron objetivos perseguidos por los pueblos del Mediterráneo Oriental. De modo que, desde los bellísimos trabajos de oro y cobre del Neolítico hasta las explotaciones de plata de cartagineses y romanos, la prehistoria y la historia antigua de España están influidas profundamente —e veces decisivamente— por sus riquezas minerales.

Fuentes documentales que lo corroboren no son escasas. Ya en el Antiguo Testamento hallamos numerosas referencias a las riquezas de Tarsis (Tartessos). Quizá la más antigua es la del profeta Isaías: «contra todas las naves de Tarsis, contra todos los barcos cargados de tesoros...» (Is. II. 16) «...los navíos de Tarsis en cabeza, para traer a tus hijos de lejos junto con su plata y su oro...» (Is. XI. 9 (1)). Ezequiel es más explícito con los tesoros: «Tarsis era cliente tuya (se dirige a Tiro), por la abundancia de toda riqueza. Con plata, hierro, estaño y plomo abastecía tus mercados» (2), y también el libro de los Reyes: «Cada tres años venía la flota de Tarsis trayendo oro, plata, marfil, monos y pavos reales» (3). También hallamos referencias en el libro de los Salmos (4).

El problema surge cuando algunos historiadores como BLÁZQUEZ o BARNETT ubican la Tarsis bíblica en la India, pues no creen que pueda coincidir con Tartessos (5). Este último es el mítico centro minero y metalúrgico que, sin lugar a dudas, no pudo ser otro que el de Huelva, la

antigua Onuba, donde hoy se encuentra el complejo de Minas de Río Tinto (6).

No hallamos fuentes literarias que corroboren esta aserción, pero sí encontramos gran cantidad de testimonios arqueológicos que prueban la antigüedad de estas explotaciones. Dice GARCÍA BELLIDO que los inmensos escoriales de explotaciones anterromanas y romanas, los instrumentos y máquinas mineras aparecidas en sus galerías, así como los varios hallazgos arqueológicos e incluso epigráficos demuestran hasta la saciedad su antigüedad e importancia (7).

Los primeros tiempos de la colonización fenicia en España no han dejado fuentes documentales. El poema de AVIENO nos sirve para rastrear algunos nombres de ciudades en las que dice que habitaron los fenicios, pero como fuente no deja de ser muy pobre (8). Los hallazgos arqueológicos nos han dado luz sobre ciertas actividades típicas, como la salazón de pescado, muy relacionada con la minería de la sal, pero muy poca sobre la minería y la metalurgia.

Aproximadamente cien años antes de nuestra era, Diodoro nos refiere el carácter de las primitivas transacciones fenicias con el Occidente: la adquisición de plata. Estos negocios precedieron a la fundación de colonias propiamente dichas. El mismo texto nos dice que con este comercio, que los fenicios practicaron durante mucho tiempo, se enriquecieron enormemente y que fundaron muchas colonias en Sicilia, Libia, Cerdeña e Iberia (9).

No sabemos cuál era el metal más codiciado. Los textos antiguos hablan preferentemente de la plata e incluso, en algunos de ellos, se atribuyen a los fenicios ganancias fabulosas gracias a su comercio. Diodoro, siguiendo a Poseidonios, el mejor cantor de las riquezas mineras de España, relata: «Dícese que, en tiempos antiguos, habiendo (en Iberia) muchos bosques y muy poblados de árboles, como unos pastores lo incendiasen, se quemó toda la región montañosa de tal modo que, ardiendo durante muchos días, fue arrasada por entero la superficie de la tierra y por ella corrió gran cantidad de plata, ya que habiéndose fundido el mineral que se extrae, se formaron torrentes de metal puro». Dado que su uso era ignorado por los indígenas, los mercaderes fenicios que supieron lo ocurrido la adquirirían mediante cualquier pequeño cambio por otras mercancías. Por ello, llevándola los fenicios a Grecia y Asia y a todos los demás pueblos, obtenían grandes ganancias. Y a tanto llegaron los mercaderes en

(6) GARCÍA BELLIDO, A.: «El "Tartessos Chalkos" y las relaciones del SE con el NO de la Península en la época tartésica». VI Congreso Internacional de Minería. Cátedra de San Isidoro. León, 1970.

(7) *Ibidem*, p. 35.

(8) AVIENO, R. F.: *Ora Maritima*. Imprenta del Patronato de Huérfanos de Intendencia e Intervención Militares. Madrid, 1923.

(9) DIODORO: V, 35, 5.

(1) También referencia en Is. XXIII, 1, 6, 10, 14, y LXVI, 19.

(2) EZEQUIEL: XXVII, 12.

(3) 1 REYES: X, 22.

(4) SALMOS: LXXII, 10.

(5) Citados por GARCÍA BELLIDO en *Fenicios y Cartagineses en Occidente*. C. S. I. C. Instituto Arias Montano. Madrid, 1942.

su afán de lucro que, después de cargadas las naves, so- brando aún grandes cantidades de plata, quitaron el plomo de las anclas y las hicieron de plata. Así, practicando este comercio durante mucho tiempo, los fenicios se enriquecieron y fundaron muchas colonias, unas en Sicilia y en las islas vecinas, otras en Libia y en Cerdeña y en Iberia (10).

Indudablemente la fundación de Cádiz tuvo como fin inmediato el comercio con los metales tartésicos. El estaño y el cobre (necesarios para fabricar bronce) eran abundantes allí, pero no sólo eso. La piritita de estas minas contiene también plata y oro, aunque en porcentajes pequeños. Existen en la actualidad criaderos, ya conocidos y explotados intensamente por los antiguos, donde el oro y la plata aparecen con leyes mucho más ricas (11).

El oro debió obtenerse también en las arenas auríferas de algunos ríos; así el actual Guadiaro, denominado Chysus por Avieno (12). Los textos más antiguos de los poetas griegos hablan del oro, la plata, el cobre y el estaño de Tartessos. Hacia el año 630 a. C. Kolaios viaja a Tartessos, de donde regresa a Samos cargado con más de 1.500 kg. de plata (13).

En la «Ora Maritima» Avieno cita el Mons Argentarius en la región de Tartessos y el río portador del estaño, que lleva el metal hasta las murallas de la ciudad. En otro pasaje describe al río Tartessos como fluyendo de una montaña de plata y acarreando en sus aguas el preciado estaño hasta la ciudad. El estaño, siempre vinculado a Tartessos, no es sin embargo su principal riqueza.

Según BLÁZQUEZ, la descripción que hace Estesicoro (Estr. III, 2, 11) sobre las fuentes del río Tartessos se ajusta con asombroso rigor al nacimiento del río Tinto, en la «Cueva del Lago». El paisaje está dominado por el llamado Cerro Salomón, formado por una inmensa masa de óxido de hierro totalmente roja; los antiguos, al describir el río Tartessos mencionan estaño, pero ningún río arrastra estaño en sus aguas. El único que cautiva la atención del viajero por la peculiar sustancia que lleva en su disolución es el Tinto, que lleva sulfato férrico. BLÁZQUEZ, de acuerdo con LUZÓN, dice que sólo esto justifica las reiteradas alusiones a él en las fuentes antiguas (14).

Otra de las explotaciones de los Tartessos serían las

(10) *Ibidem*, V, 35, 5 y 55. También hallamos esta misma leyenda en ESTRABÓN III, 138; ATHENAIOS VI, 233, y otros.

(11) GARCÍA BELLIDO, A.: *El Tartessos...*, p. 35.

(12) Citado por GARCÍA BELLIDO en *Fenicios y Cartagineses...*

(13) HERODOTO: IV, 152.

(14) BLÁZQUEZ, J. M.: *Tartessos y los orígenes de la colonización fenicia en Occidente*. Universidad de Salamanca, 1968.

minas de plata de Cástulo, las cuales financiarían en parte la segunda guerra púnica. En sus proximidades se hallaba la célebre mina Baebelo, que rentaba a Aníbal 300 libras diarias.

Tiro dejó en herencia a Cartago un vasto imperio colonial en Occidente, imperio que Cartago no sólo va a mantener sino a acrecentar con nuevas colonias.

Pero a pesar de todo lo dicho y la enorme riqueza documental que poseemos, la arqueología, en lo que se refiere a las explotaciones mineras propiamente dichas, es tremendamente pobre en hallazgos. Se puede decir que todo lo encontrado pertenece al período romano. De todas formas damos unas cifras recientes. Un ingeniero, J. PINEDO, habla de la plata y el oro extraídos en las minas de Huelva. En los primeros meses de 1900 se embarcaron en Huelva varios millares de toneladas de mineral conteniendo una considerable cantidad de plata y menor de oro y «junto al lugar donde se extrajeron estos últimos minerales se encontraron huecos originados por labores antiguas» (15). También GARCÍA BELLIDO nos dice que «el total de escorias antiguas aforadas en el siglo XIX dio más de 20 millones de toneladas de las que, según estima, 4 millones eran escoria de explotaciones fenicias o tartésicas» (16). Pero es probable que estas minas no fuesen explotadas por los mismos púnicos sino que, bajo su vigilancia, serían los mismos indígenas quienes realizaran el laboreo (17).

Periodo Romano

En la época helenística y romana son extraordinariamente frecuentes los elogios de las riquezas mineras de la Península Ibérica: Teofrasto, Polibio, Artemidoro, Poseidonio, Estrabón, Diodoro, Livio, Trogo, Floro, Mela, Marcial, Plinio, etc. Loas en las que, sin duda, la fantasía corre pareja a la realidad, pero no por ello dejan de aportar unos datos preciosos para el historiador. Así podemos leer: «Está casi toda (España) llena de metales de plomo, de hierro, cobre, plata y oro: la Citerior abunda también de piedras lustrosas y lúcidas como espejos; la Bética, de minio y también de canteras de mármol». «Desde el Pirineo está llena de metales de oro, plata, hierro y plomo negro y blanco» (18). Sin duda exagera, aunque Estrabón le da la razón y aún añade que «en cuanto a la riqueza de sus metales no es posible exagerar el elogio de Turdetania y de la región lindante, porque en ninguna parte del

(15) PINEDO, J.: *Piritas de Huelva. Su historia y su aprovechamiento*. Madrid, 1963, p. 35.

(16) GARCÍA BELLIDO, A.: *El Tartessos...*, p. 35.

(17) GARCÍA BELLIDO, A.: *Fenicios y Cartagineses...*

(18) PLINIO: *Historia Natural*, III, 3, y IV, 20.

mundo se ha encontrado hasta hoy ni oro, ni plata, ni hierro en tal calidad y cantidad (19).

¿Es la minería el señuelo que trae a los romanos a Hispania? Qué duda cabe que sí, e incluso es la razón de su permanencia. La riqueza minera aparece machacadamente en la literatura romana, sea de la época republicana, sea del Imperio. BLÁZQUEZ nos transcribe un texto de Diodoro con la descripción de las explotaciones mineras: «Mucho más tarde, los Iberos aprendieron las peculiaridades de la plata y pusieron en explotación minas de importancia. Por lo cual obtuvieron plata estupenda y, por decirlo así, abundantísima, que les produjo ganancias espléndidas. La forma con que los Iberos explotan las minas que trabajan la plata es así más o menos: siendo, como son, admirables sus minas en reservas de cobre, oro y plata, los que trabajan las de cobre extraen, excavando la tierra, una cuarta parte de este metal sin ganga; de los que trabajan las de plata los hay que, sin ser profesionales, extraen en tres días un talento de Eubea. Pues toda la mina está llena de polvo de plata o condensado, que emite destellos. Por ello es de admirar la naturaleza de la región y la laboriosidad de los hombres que allí trabajan. Al principio, cualquier particular, aunque no fuese un experto, se entregaba a la explotación de las minas y obtenía cuantiosas riquezas debido a la excelente predisposición y abundancia de la tierra argentífera. Luego ya, cuando los romanos se adueñaron de Iberia, itálicos en gran número, atestaron las minas y obtenían inmensas riquezas por su afán de lucro. Pues comprando gran cantidad de esclavos los ponen en manos de los capataces de los trabajos en las minas. Y éstos, abriendo bocas en muchos puntos y excavando la tierra en profundidad, rastrean los filones ricos en plata y oro. Y bajo tierra no sólo extienden las excavaciones a lo largo, sino también en profundidad estadios y estadios; y trabajando galerías trazadas al sesgo y formando recodos en forma muy variada, desde las entrañas de la tierra hacen aflorar a la superficie la mena que les proporciona ganancias... Los que explotan las minas de Hispania obtienen de sus trabajos montones de riquezas a la medida de sus esperanzas. Porque las primeras labores resultan productivas por la excelencia de la tierra para este tipo de explotación y, luego, se van encontrando venas cada vez más brillantes, henchidas de plata y oro; y es que toda la tierra de los alrededores es un trenzado de venas dispuestas en circunvalaciones de diferentes formas. Algunas veces los mineros se topan en lo profundo con ríos que corren bajo tierra, cuyo ímpetu dominan rompiendo las embestidas de sus corrientes, para lo que se valen de las galerías transversales. Pues aguijoneados por sus bien fundadas esperanzas de lucro, llevan a fin sus empresas particulares y —lo más

(19) ESTRABON: *Geografía*, III, 146. Citado por BLÁZQUEZ en «Fuentes literarias griegas y romanas referentes a las explotaciones mineras de la Hispania romana». *VI Congreso Int. de Minería*. Cátedra de San Isidoro. León, 1970, página 125.

chocante de todo— hacen los drenajes valiéndose de los llamados «caracoles egipcios», que inventó Arquímedes de Siracusa cuando pasó por Egipto. A través de éstos hacen pasar el agua de uno en uno sucesivamente, hasta la boca de la mina, y así desecan el emplazamiento de ésta y lo acondicionan debidamente para el desarrollo de las actividades de la explotación. Como este artefacto es enormemente ingenioso, mediante un trabajo normal, se hace brotar fuera de la mina gran cantidad de agua, cosa que llama mucho la atención, y toda la corriente del río subterráneo aflora a la superficie con facilidad... Los que pasan su vida dedicados a los trabajos de minas hacen a sus dueños tremendamente ricos porque la cantidad de aportaciones gananciosas rebasa el límite de lo creíble; pero ellos, bajo tierra, en las galerías día y noche, van dejando la piel, y muchos mueren por la excesiva dureza de tal labor. Pues no tienen cese ni respiro en sus trabajos, sino que los capataces, a fuerza de golpes, los obligan a aguantar el rigor de sus males, y así echan a barato su vida en condiciones miserables; pero los hay que por vigor corporal y fortaleza de ánimo soportan los padecimientos largo tiempo. Aunque hay más de un asunto sorprendente en torno al trabajo de minas que acabamos de describir, uno no podría pasar por alto sin gran admiración el hecho de que ninguna de las minas es de explotación reciente; por el contrario, todas fueron abiertas por la codicia de los cartagineses en la época en que eran dueños de Iberia (20).

Curiosa analogía con lo que ocurriría quince siglos más tarde. Las riquezas mineras atraen una colonización intensiva por parte de los itálicos, lo que llevará a la romanización y civilización de Hispania. La explotación, tanto de las minas como de la población indígena en unas condiciones durísimas en las que el esclavo no cuenta más que como fuerza de trabajo que se repone fácilmente cuando es necesario, ingenios y adelantos técnicos que se emplean para lograr un mayor rendimiento en la explotación. Factores todos ellos que se repetirán —la Historia es una repetición constante— casi con exactitud en la conquista y colonización de América. Volvemos sobre ello.

Pero no es sólo la riqueza llamémosla «presente» de las minas. Los romanos tienen la creencia, recogida por Plinio y que también perdurará a través de los siglos como veremos en la Historia Natural de BOWLES, acerca de la capacidad que tienen las minas de «criar» nuevo mineral cuando se las abandona. Ello implica la idea de una riqueza permanente, inagotable e ilimitada.

En la época republicana, el oro se concentraba en la Turdetania así como en la cuenca de algunos ríos. Con la llegada del Imperio comenzará el aprovechamiento de los yacimientos detríticos de cuarzo aurífero del NO, entre

(20) DIODORO: V, 36, 38. Citado por BLÁZQUEZ: *Ibidem*, páginas 125-127.

le desembocadura del Duero y del Carrión, que antes no pudieron ser explotados por razones militares. Por FLORO (IV, 12) sabemos que Augusto, una vez terminadas las guerras cántabras, mandó hacer unos estudios del subsuelo del país. Esta decisión debió ser consecuencia de una prospección sistemática de los filones auríferos del NO, dentro del inventario general de los recursos del Imperio —particularmente las minas— que, desde el año 29 a. C. Mecenas había aconsejado realizar (21).

Según Plinio, que estuvo en Hispania y tuvo acceso a los archivos del Imperio, en el siglo I de la Era, las minas hispanas proporcionaban al erario romano nada menos que 20.000 libras de oro anuales (22), pero carecemos de datos fiables para hacer unas estadísticas. Sólo Livio nos transmite unas cifras, englobándolas en el pago de impuestos y sacadas también de los archivos imperiales.

Las técnicas para la obtención del oro son diversas, pues no exige la misma sacar las pepitas de los placeres de los ríos que el laboreo de los yacimientos detríticos. Estos apenas se explotaban mediante pozos o galerías, sino provocando el «hundimiento de los montes». A esta técnica Plinio le da el nombre de «arrugia» o «ruina montium»: se cavan galerías y minas que se entibian cuidadosamente. Finalizada la operación, se prendía fuego al entibado y se producía el hundimiento. Previamente se habían llenado unas cuencas de retención, situadas en los puntos más altos, mediante una red de acueductos o «corrugi». Al soltar este agua estancada se provocaba una catarata que caía sobre los escombros, arrastrando el mineral y dirigiéndolo hacia unos canales de decantación, «los agogae», donde iba sedimentando y se separaban las partículas de oro y cuarzo (23). Se ha calculado que los romanos arrancaron por este procedimiento unos 500 millones de roca aurífera. Sin duda las Médulas, en la provincia de León, que todavía hoy nos sobrecogen por su grandeza, son un claro exponente de este tipo de trabajo. Asimismo el túnel de Montefurado (Lugo) sería otro vestigio de la minería romana. Pero en el siglo II el oro hispano, si no agotado, sí debía hallarse muy disminuido. Esto al menos es lo que suponen algunos historiadores, como ROSTOVZEFF, ya que, a partir de la conquista de la Dacia por Trajano, la actividad económica se desplazó hacia allá. A pesar de todo, las minas auríferas hispanas se siguieron explotando, pues las necesidades del Imperio así lo exigían.

La plata era más abundante y a ello se debía que los beneficios producidos por sus minas fuesen muy superiores. Las más importantes serían las de Cartagena —hasta el punto que su descubridor, el ibero Aletes, fue divinizado— y las de Cástulo. Ambas habían sido explotadas

(21) DOMERGUE, Claude: «Les exploitations aurifères au NW de la Péninsule Ibérique sous l'occupation romaine». *VI Congreso Int. de Minería*. León, 1970, p. 167.

(22) PLINIO: XXXIII, 78.

(23) DOMERGUE, C.: *Op. cit.*, p. 172.

ya por los cartagineses que, como dice Diodoro «a base de ellas fueron incrementando su poder, asalariando a los de mayor fortaleza, y gracias a éstos llevaron a cabo muchas guerras importantes. Y es que, en general, siempre que los cartagineses llevaban a cabo sus guerras no ponían su confianza en sus propios ciudadanos, ni en el grupo de las partidas de tropas reclutadas de entre sus aliados, sino que a los romanos, siceliotas y habitantes de Libia los pusieron en los mayores aprietos batiéndolos en la batalla del dinero, merced a la riqueza de recursos que las minas les brindaban» (24).

La creación de la ciudad de Cartagena por Asdrúbal se debió sin duda a la necesidad de controlar y explotar las ricas minas de plata de los alrededores, cuyo producto transportaban por mar. Diodoro afirma que cuando las naves estaban cargadas, cortaban los plomos atados a las anclas, sustituyéndolos por lingotes de plata, para que prestasen el mismo servicio (25). Puede que el gran número de anclotes de plomo hallados en el litoral de Cabo de Palos, algunos con inscripción griega y otros anepígrafos, sea la confirmación de este texto (26).

A Cartago Nova seguían en importancia las minas de Cástulo, centro minero de una gran región plagada de minas: Linares, Jaén, etc. Rara vez se explotaban a cielo abierto. Lo normal era el sistema de pozos y galerías. Polibio, en la pormenorizada descripción que hace de Cartagena, habla del laboreo, lavado y separación de minerales (27). ROSTOVZEFF cree que en el siglo II, al igual que con las de oro, las minas de plata hispanas habrían empezado a decaer, lo que sería una explicación para el auge que toman entonces las de Britannia.

De una importancia especial serían las minas de Sisapo, único centro productor de cinabrio del mundo Antiguo, lo que explica su explotación en régimen de monopolio absoluto del mercado romano. Plinio lo explica: «El minio más conocido es el de la región sisaponense en la Bética, mina que es propiedad del pueblo romano. Nada se vigila con más cuidado, no está permitido refinarlo en el lugar, sino que se envía a Roma en bruto y bajo precinto en cantidades de unos 2.000 libras de peso al año (BLÁZQUEZ dice que otros códigos dan la cifra de 10.000). En Roma se lava. Con el fin de que no alcance precios muy altos, una ley ha fijado su valor en venta, que es de unos 70 sextercios la libra. Se adultera de muchos modos, lo que proporciona grandes beneficios a las compañías» (28), y Vitrubio lo corrobora añadiendo que los talleres para su preparación se encontraban en el Templo de Flora y el de Quirino, y que una forma corriente

(24) DIODORO: V, 38.

(25) *Ibidem*, V, 35 y 37.

(26) BLÁZQUEZ, J. M.: *Fuentes literarias...*, p. 128.

(27) POLIBIO: III, 10 y 11.

(28) PLINIO: XXXIII, 118.

de adulterarlo era con cal (29). Trogo Pompeyo afirma que Hispania es la región que produce mayor cantidad de minio y de la mejor calidad (30). Es curioso observar que Roma no utilizó el cinabrio para obtener mercurio, sino únicamente para el minio.

Algunos minerales férricos, como la almagra, también eran utilizados como colorantes, pero, por supuesto, eran mucho menos codiciados que el cinabrio de Sisapon.

Otros minerales apreciados serían el plomo, muy unido a la plata, de la que se considera un subproducto de su beneficio. En algunas minas, pocas, se explota sólo el plomo, como en Azuaga (Badajoz). Del cobre, muy abundante, también se extraía la azurita (un colorante muy apreciado, del que, debido a la abundancia en Hispania, hubo de regularse la venta en Roma para evitar la saturación de los mercados con el consiguiente desplome de los precios). En cuanto a las salinas, la documentación es muy pobre. La industria de salazón y de adobo de carnes, aunque era de carácter local, aumentaba constantemente. Pero los autores se refieren sólo, con gran admiración por cierto, a los yacimientos de sal gema de Cardona, en la provincia de Barcelona, y los de Egelastae en las proximidades de Linares.

En su Historia Natural, Plinio nos da una relación completa de los minerales explotados en Hispania, así como algunas de sus aplicaciones: chrisocola, bórax, sori, piedra imán, cinc, vitriolo, cinabrio, etc. Algunos de ellos, como el sori, son hoy desconocidos.

En el Derecho Romano no se reconoce la propiedad privada del yacimiento minero. Los minerales eran producto del suelo, por lo que pertenecían al propietario del mismo; para extraerlos se necesitaba su permiso. En este caso, el propietario era el Pueblo Romano primero, el Emperador más tarde. Prácticamente era el Fisco el que disponía de casi la totalidad de las minas. La explotación se arrendaba a unas compañías, en un principio las «societas de publicani», más tarde serían particulares o «possessores». De este régimen se exceptuaban las minas de oro, que siempre se reservó el Estado.

Para el conocimiento del régimen jurídico por el que se regían las minas romanas en la Península Ibérica, fuente importantísima y única son las Leyes de Aljustrel o Lex Metalis Vipascensis (31), dos tablas de bronce halladas en Aljustrel (Portugal), en las que se detalla toda la reglamentación y administración de las minas de plata y cobre de Vipasca. Es fácil sospechar que las restantes minas tendrían una legislación similar a ésta.

El distrito minero estaba regido por el «procurator me-

(29) VITRUBIO: *Arquitectura*, 8, 9, 4.

(30) TROGO POMPEYO: 4, 4, 16.

(31) D'ORS, A.: *Epigrafía jurídica de la España Romana*. Madrid, 1953.

tallorum», representante del Fisco y que con mucha frecuencia era un liberto imperial. Vipasca I fija los derechos de los arrendatarios o «conductores» de los diversos servicios de la localidad: impuestos subastados, baños públicos, pregones, etc. Asimismo habla de los refundidores de escorias y minerales concentrados y de la ocupación de pozos mineros. En la segunda tabla se determina el régimen de explotación, medidas para impulsar las prospecciones, constitución de sociedades, seguridad y buena conservación de las minas, es decir, todo aquello relacionado con los aspectos jurídicos y técnicos.

El dueño de la mina de Vipasca era el Estado. No explotaba directamente los pozos sino que concedía el derecho de ocupación de un terreno (locus putei), arriendo que duraba el tiempo que los colonos realizasen las prospecciones. Una vez hallado el mineral, se concertaba la venta entre las dos partes. Vipasca II también contiene información sobre los impuestos, precios de los pozos en disfrute temporal, sanciones para explotaciones clandestinas y un registro de las ocupaciones de los pozos. El ocupante no podía fundir el metal antes de haber pagado al Fisco. Los pozos de plata eran explotados según lo previsto por la ley, pero a diferencia de los de cobre, no se imponía el pago total al contado. Se podía pagar a plazos previo adelanto de 4.000 sextercios. Las tablas de Aljustrel son una fuente inagotable para el tema que nos ocupa.

Las sociedades productoras acostumbraban a sellar los lingotes. Sellos con el nombre de la empresa y su localización. Por ello hoy conocemos varias: Montis Argentarii Ilueronensi, Metallum Samariense, Metallum Antonianum, etcétera. Este metal, como indican las marcas laterales, pertenece al Emperador.

Para llevar a cabo esta inmensa labor se requiere una mano de obra muy abundante que, sin duda, proporcionaban las masas de esclavos conseguidas en las guerras de la Península. Estos esclavos, junto con los condenados del derecho común (damnati ad metalla), trabajaban bajo la vigilancia de tropas armadas en una situación sumamente mísera. Al triste cuadro de Diodoro antes citado podemos añadir la descripción de Plinio sobre los obreros que trabajaban en el subsuelo en labor ininterrumpida, por rotación de equipos. «Pasan, dice, meses sin ver la luz del sol y su vida peligra a cada instante; las pesadas herramientas muerden con dificultad un terreno excesivamente duro; hay que calentar la roca para, inmediatamente después, refrescarla con vinagre; las galerías se llenan de vapor y de humo: se ahogan; la oscuridad es total; los hombres se pasan unos a otros las cargas de escombros día y noche sin interrupción. En una palabra, estos hombres viven bajo tierra (32). Hace algunos años fue excavado un poblado minero, fechable entre los siglos II-I a. C., en la zona de La Unión (Cartagena). Los materiales obte-

(32) PLINIO: XXXIII, 71.

nidos señalan un nivel de vida inferior al de la población campesina.

Los obreros metalúrgicos y los peones de las minas poseían asociaciones (collegia) cuyas actividades eran variadas; entre ellas, subvenir a los enterramientos de sus afiliados. De las lápidas halladas, es de destacar que todas señalan la procedencia de los mineros. De ello se deduce que hubo gran inmigración de mano de obra libre de Galicia y Portugal; también de Aquitania, de donde parece que se importó la tecnología.

Edad Media

Al igual que ocurre con tantas cosas, la Edad Media extiende un velo sobre la minería. El silencio cae sobre las fuentes. Ya no se habla de ella, ya no se mencionan sus riquezas. En tiempos de los visigodos es probable que ni siquiera existiese.

San Isidoro habla de los metales en el Libro 16 de sus Etimologías, pero no aporta ningún dato. Parece que se apoya en Plinio para sus comentarios, hasta el punto que a veces diríase que le traduce.

Tampoco existe una legislación minera. Sólo algunas leyes dedicadas a fabricación o adulteración de moneda o metales preciosos en el Libro VII de la Lex Visigothorum. Las explotaciones quedan en el olvido. El oro y la plata que Leovigildo empleó para acuñar su moneda no es probable que saliese del laboreo de minas, sino del despojo a que sometió a los ciudadanos hispanorromanos y de los botines de guerra refundidos.

Según los indicios arqueológicos, las minas romanas empiezan a ser abandonadas hacia el siglo V d. C. Parece que fue un abandono total. No hay ningún indicio de actividad minera en época visigótica. Esta debió quedar reducida a pequeñas explotaciones artesanas, de tipo familiar, sin la menor trascendencia para la economía del país. Algo debió de existir, pero parece que se prestaba más atención a los procesos de tratamiento de metales preciosos por fusión en crisol, seguramente en los talleres de los orfebres, más que en las minas (33).

A la falta de fuentes documentales, sobre todo para la Alta Edad Media, hemos de añadir un desinterés total por parte de los historiadores económicos hacia este tema. Apenas hemos podido encontrar algunas notas sueltas en la Historia Económica Mundial de V. VÁZQUEZ DE PRADA, pero en ningún caso suficientes. La fragmentación de la Península en esos momentos quizá dificulte el estudio de un tema ya de por sí fragmentario. La excepción que confirmaría la regla la constituirían, según GUAL CAMARE-

(33) DÍAZ Y DÍAZ, Manuel: «Metales y Minería en la época visigoda». *VI Congreso Internacional de Minería*. Cátedra de San Isidoro. León, 1970, p. 272.

NA (34), unas monografías de GALLARDO y MADURELL sobre las fargas catalanas, y las pocas noticias sobre la época musulmana contenidas en los trabajos de IMAMUDDIN (35).

Cuando los musulmanes ponen de nuevo en explotación algunas minas, éstas ya han perdido su denominación romana, indicio claro y evidente de una larga discontinuidad. Tal es el caso de Sisapo, que los musulmanes llamarán Almadén, lo que demuestra el abandono en que se hallaban. Estas fueron las minas más importantes —aunque ninguna recuperó su pasado esplendor— si juzgamos por el párrafo de El Kotabi donde dice «en el Castillo de Obal, a una jornada del norte de Córdoba, hay una mina donde se extrae mercurio y cinabrio, que exportan al mundo entero. Hay en ella empleados 1.000 obreros, unos en el fondo para extraer las piedras, otros transportando madera con la cual se calcina el mineral y otros en la fabricación de los vasos en los que se funde y sublima el mercurio. EDRISI cuenta en el «Kital Rodjar» haber visitado estas minas donde le dijeron que desde la superficie del suelo al punto más bajo de la explotación había más de 250 brazas» (36).

Resulta difícil entender cómo la industria extractiva española, que había sido el motor que impulsó la conquista de nuestro suelo por las civilizaciones precedentes, deja de ser interesante en un momento determinado. ¿Agotamiento de las vetas? Quizá el estado de guerra casi permanente sea un impedimento, aunque esto mismo fue el motor que impulsó las labores en época de romanos y cartagineses al necesitar reforzar su erario. Muy importante, y así lo apunta LUZÓN, sería la escasez de árboles, materia absolutamente necesaria como combustible de los hornos (37).

En Al-Andalus las minas parece que dejaron de ser patrimonio del Estado, como lo habían sido en época romana, para ser explotadas por particulares. Existían en toda España minas de diversa naturaleza que aprovecharon los musulmanes, aunque en una escala mucho menor que lo habían hecho sus antecesores. Fueron importantes para la economía andaluza: el oro, que se siguió explotando en los placeres de los ríos, como ya habían hecho los romanos, sobre todo en el Tajo (AL-IDRISI dice en su «Descripción de España» que en la desembocadura del

(34) GALLARDO Y MADURELL: *Fargas Catalanas*. Citado por GUAL CAMARENA en «El hierro en el Medievo Hispano». *VI Congreso Int. de Minería*. Cátedra de San Isidoro. León, 1970.

(35) CARBONELL, A.: «La Minería y la Metalurgia entre los musulmanes en España». Separata de la *Revista Minera*. Madrid, 1929, y IMAMUDDIN, S. M.: *The Economic History of Spain*. Dacca, 1963.

(36) Citado por LUZÓN, J. M., en «Instrumentos mineros de la España musulmana». *VI Congreso Int. de Minería*. Cátedra de San Isidoro. León, 1970, p. 238.

(37) *Ibidem*, p. 238.

Tajo se hallan pajas de oro), Segre y Guadalquivir; el mercurio de Almadén (la mina por antonomasia: almadén = la mina); el plomo se la Bética; el hierro de la Baja Andalucía y la sal gema, que competía con la sal marina para atender la enorme demanda de los pueblos del norte de Europa.

En los reinos cristianos será el hierro el más abundante de todos los minerales extraídos. No en vano constituía la base de la industria de armas en un momento en que, por cierto, eran muy utilizadas. Existía un importante tráfico interno de este producto, pero naturalmente dirigido a las clases privilegiadas, dada su alta cotización (38).

La Corona de Aragón no figura como potencia de primer orden, ni en cuanto a su producción ni, por supuesto, a exportación. Quizá el producto más comercializado fuese la sal. Existen muchos contratos llevados a cabo entre financieros italianos y magnates catalanes, incluso los propios reyes. La Costa Brava era rica en zonas coralíferas, a propósito de lo cual VICENS VIVES compara en importancia el coral con los productos mineros. Además Cataluña detentaba su monopolio en el Mediterráneo Occidental. El hierro, base del notable desarrollo de la industria catalana, se extraía de la zona pirenaica y pre-pirenaica catalana, aragonesa y navarra y en las estribaciones del Sistema Ibérico.

En Castilla, los filones férricos se extendían, como en la actualidad, de Guipúzcoa a Santander. Recordemos que la posesión de las minas vizcaínas de hierro es uno de los motivos de la sublevación de los nobles castellanos contra Alfonso X el Sabio en 1273. Le piden que «el fierro que torne a aquel estado en que solía ser en tiempo de su padre» (39).

Las fuentes documentales nos hablan de los privilegios y exenciones otorgados a los que acudan a trabajar a las zonas mineras. No es de extrañar dado que, al tratarse de zonas de difícil acceso, es de imaginar lo laboriosa que resultaría su explotación. Muchas minas pertenecían a monasterios, abadías, cabildos u órdenes militares. Lo corriente era destinar el mineral a la fragua más cercana para su reducción a metal.

Difícil es separar la minería del hierro de la metalurgia en la época medieval. Es raro el fuero, privilegio o carta puebla de un lugar que no cite la herrería, a veces como monopolio o regalía del señor (40). No obstante, estas herrerías no pueden ser clasificadas como industria siderúrgica propiamente dicha. También se citan las ferrerías que se localizaban principalmente en el País Vasco, pues además de ser la región productora, era rica en agua y bosques, materiales ambos absolutamente necesarios para

(38) GUAL CAMARENA: *Op. cit.*, p. 279.

(39) BALLESTEROS BERETTA, A.: *Alfonso X el Sabio*. Salvat. Barcelona, 1963. Citado por GUAL CAMARENA, *op. cit.*

(40) GUAL CAMARENA: *Op. cit.*, p. 280.

la explotación. A partir del siglo XIII ya alcanzan una importancia considerable. Se conservan cuentas de la época de Sancho IV (1293) que hablan de una exportación de más de 8.000 quintales de hierro. También se conservan las ordenanzas del Señorío de Vizcaya de 1440 sobre ferreñas, que nos permiten conocer su organización y funcionamiento.

La legislación minera comienza a perfilarse. De los primeros balbuceos que aparecen en las Partidas del Rey Sabio, en 1348 nos encontramos que el Ordenamiento de Alcalá fija ya los derechos de los Reyes sobre las minas de oro, plata y otros metales, agua y pozos de sal, así como la prohibición expresa de labrarlas sin Real Licencia. Poco después, en 1387, Juan I otorgará facultad de buscar minas y beneficiarlas a cualquier súbdito de la Corona.

Esto no obstante, la minería había dejado de ser algo atractivo. A comienzos del siglo XV, portugueses y andaluces comienzan su actividad exploratoria por las costas del Sahara. Su fin era el rescate de algunos productos, entre ellos el oro. Además, desde 1430 los nazaries granadinos pagaban a Castilla 20.000 doblas de oro anuales en concepto de parias. Las necesidades del reino quedaban satisfechas por estos canales.

En la España de los Reyes Católicos sólo florece como industria la de los hierros del norte y la de los tejidos al amparo de las lanas mesteñas.

Se acerca el momento en que la fiebre del oro abrasará de nuevo al viejo pueblo ibero; pero esta vez, lejos de su suelo, serán los españoles los que estén fuera de las minas, en el lugar de los explotadores.

América pre-colombina

No es nuestra intención entrar en el tema de la minería indiana, tema muy bien estudiado aunque inagotable. Únicamente queremos hacer una referencia, pues el hablar de la minería española nos obliga a ello, siquiera muy brevemente.

Lo primero que debemos tener en cuenta es el estado primitivo de las culturas precolombinas. Las más avanzadas no habían salido todavía de la Edad del Bronce en el siglo XV. Sin el hierro, es fácil suponer que sus técnicas y herramientas no podrían estar muy desarrolladas. A pesar de ello se produce una metalurgia admirable: instrumentos, piezas de adorno, orfebrería. El tema de la metalurgia en la América precolombina ha sido estudiado ampliamente, tanto en lo que se refiere a la producción de metales como a las formas de intercambio o canales comerciales.

Así pues, a la llegada de los españoles, los únicos metales utilizados allá para la fabricación de utensilios serían: oro, plata, cobre y a veces bronce. En cuanto a su

origen y extensión seguiremos las indicaciones de J. ALCINA FRANCH (41).

El oro nativo se encuentra en gran cantidad en Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia, y en menor cantidad en las Antillas, Guayana, Altiplano de Brasil, Centroamérica y Chile. Los cronistas aseguraban que la región aurífera más rica era la de Caravaya, cerca del Lago Titicaca. El sistema de trabajo era el del lavado de arenas en los placeros de los ríos o cavando unos simples hoyos de poca profundidad de los que se extraía el metal. Este es el tipo de mina que nos describe FERNÁNDEZ DE OVIEDO refiriéndose a las de Buriticá: «...hallaron las minas que los indios tenían cada uno señaladas para sí, e vieron en ellas vetas o venas de oro que iban por la barranca, que era a modo de piçarral quassi blancaço, e avía algunos de tres estados de hondo. Decían los indios que en un día cojía cada indio ochenta o noventa pessos, segund señalaban o la daban a entender» (42).

La plata se cultiva en la zona Perú-Bolivia y en Mesoamérica. En la primera, la producción sería mucho más temprana, pues se conocen piezas que datan de principios de la Era Cristiana, mientras que en la segunda no se utilizaría hasta el siglo X. De la abundante plata utilizada por los aztecas CLAVIJERO decía que procedía de las minas de Tlaxco, Tzompanco y de otras regiones. En cuanto a las minas de Potosí, el gran centro productor de la plata, «no fueron explotadas en tiempos de los Incas. ... aunque cerca de Potosí labraron las minas de Porco, que está a seis leguas...» (43).

El área del cobre es, sin duda, la más extensa de todas las referidas a la producción y consumo de metales en América: cubre la mayor parte de Norteamérica, desde Alaska a la costa atlántica y desde ésta al sudoeste, siendo la tradición de los indios de esta región la más antigua de todo el continente, ya que se remonta a los 3.000 años a. C., lo que representa un fenómeno singular en la historia mundial, en tanto que es la única zona del globo en la que se utilizó un metal antes de lograrse la fabricación de la cerámica (44). Se utilizan numerosas minas mencionadas por los cronistas: Méjico: minas del Cerro del Aguila en Guerrero y las de Zacatotlan; Guatemala: en los Altos Cuchumatanes Colombia: minas de Moniquirá; Ecuador: Cerro Jaboncillo (Manabi); Chile: las de Chiquicamata y Loa.

(41) ALCINA FRANCH, J.: «Los metales de la América pre-colombina». *VI Congreso Internacional de Minería*. Cátedra de San Isidoro. León, 1970.

(42) FERNÁNDEZ DE OVIEDO, G.: *Historia General y Natural de las Indias, Islas y Tierra Firme del Mar Océano*. Volumen II, p. 456.

(43) ACOSTA, Fray José de: *Historia Natural y Moral de las Indias*. Vol. II, p. 308.

(44) ALCINA FRANCH: *Op. cit.*, p. 315.

Aleación que podemos llamar bronce (con más de 2% de estaño) se halla en Méjico y Panamá, pero en casos excepcionales. En líneas generales podríamos decir que el área del bronce pertenece exclusivamente a la región andina.

El plomo tiene unas áreas de utilización muy limitadas. Los ejemplos más antiguos de este tipo de metalurgia se dan en la costa ecuatoriana. Según CLAVIJERO, en Mesoamérica se extraían de Izmiquilpan.

El mercurio era conocido pero poco utilizado. CLAVIJERO señala que los mexicas lo explotaban, pero él no sabía para qué lo utilizaban. Los mayas también explotaban yacimientos de cinabrio. Sin embargo los Incas, aunque conocían el mercurio, no lo utilizaban porque —dice GARCILASO— lo creían dañino para la salud «porque vieron que les causava el temblor y perder los sentidos».

No conocían ningún procedimiento para extraer y utilizar hierro. Únicamente los incas utilizaron hierro meteorico para algunos utensilios. En quechua existe incluso una palabra para designar al hierro: quellay .

En contrapartida poseían dos productos desconocidos en Europa: tumbaga y platino. La primera era una aleación de oro y cobre, muy utilizada en la zona colombiana así como en la costa ecuatoriana y peruana. El platino, que no llegará a Europa hasta la segunda mitad del siglo XVIII, traído por Antonio de Ulloa, era conocido desde antiguo en la costa ecuatoriana y en la provincia colombiana de Chocó.

Todos estos metales, en mayor o menor cantidad, van a irrumpir en la vida española, trastocando con sus efectos su economía, sus hábitos y hasta su mentalidad.

2. LA RIQUEZA MINERAL EN LA EDAD MODERNA

Después de la oscura noche medieval las fuentes vuelven a insistir sobre la riqueza minera del subsuelo español, siempre teniendo presentes las noticias de tiempos antiguos y, como ellas, exagerando en sus afirmaciones. Pero, como bien dice don Tomás GONZÁLEZ, «yo creo muy bien que en estas antiguallas habrá grande ponderación y no menor inexactitud, confundiéndose tal vez los tiempos y las cosas, y haciéndose acaso de un átomo un monte; pero no estoy lejos de inclinarme a que estas noticias, como sucede con otras muchas de tiempos remotos, tienen algún origen o fundamento verdadero» (45).

La política llevada a cabo por las monarquías en los nacientes estados modernos es cara, muy cara. La economía, prácticamente basada en la agricultura, se tambalea con el paso de las tropas de unas guerras interminables.

(45) GONZÁLEZ, Tomás: *Registro y relación de Minas de la Corona de Castilla*. B. N. 2/41055, 6. Prólogo.

Pero, además, estas tropas y estas guerras exigen dinero. Hay que buscar recursos. Sobre todo hay que buscar metales que permitan disponer de esa imprescindible liquidez necesaria para efectuar los pagos a la tropa. Los metales preciosos fueron buscados y explotados con ahínco. «Estos (el oro y la plata) dieron lugar a especulaciones y empresas que no mereció el proletario hierro. Para conseguir plata se gastaron tesoros de ingenio, como los revelados en los bellos esquemas del libro de AGRÍCOLA... Para beneficiar la plata se equiparon y acondicionaron los magníficos yacimientos de mercurio de Almadén...; buscando plata se realizaron los mayores progresos mineros (galerías, desecación de aguas, ventilación...)» (46).

La producción de oro y plata era muy irregular, nunca muy flexible de modo que, según los casos, uno de los dos metales era relativamente más abundante que el otro hasta que, con mayor o menor lentitud —dice Braudel—, la situación se invertía, y así sucesivamente (47).

Desde el comienzo de la Edad Moderna apenas se percibe una lenta inflación del oro. El oro era un metal escaso, pero se encontraba en muchos lugares de Europa, aunque en ninguno de ellos se pudiera hablar de minas ricas en este metal. Pero lo cierto es que había oro. De todas formas el principal proveedor seguía siendo África. De ello se deriva el que podamos hablar de una relativa abundancia de oro.

La plata, metal menos valioso y de difícil producción, pues requiere grandes inversiones, va a revalorizarse con esta inflación del oro, lo que, a su vez, va a servir de acicate y estímulo para su producción. Será el momento en que se afirmen las grandes fortunas de los propietarios de las minas de plata de Bohemia y los Alpes: WELSER y sobre todo FUGGER, reyes sin corona los llama BRAUDEL, y cuya presencia en España a partir de mediados del siglo XVI, será de trascendental importancia para nuestra economía.

Esta situación de relativa abundancia, con la consiguiente inflación del oro y escasez de plata se mantendrá hasta la depresión de mediados del siglo XVI. Este será el momento decisivo: las condiciones comerciales de los diferentes sectores económicos sufren un cambio radical. Los tesoros de América hacen su aparición: primero el oro, después, en la segunda mitad del siglo XVI, la plata. Y la presencia de estos metales será a gran escala. Este aporte masivo de plata tiene como consecuencia socavar la prosperidad de las minas alemanas que ya nunca se recuperarán del todo. España pasa a ser la gran suministradora de oro y plata de Europa. Sin embargo —y paradójicamente— no es la dueña de esos inmensos recursos. La política europeísta de los Austrias y su constante

(46) BRAUDEL, Fernand: *Civilización material, Economía y Capitalismo* (s. XV-XVIII). Alianza Editorial. Madrid, 1984, p. 331.

(47) *Ibidem*, p. 400.

endeudamiento los ponen en manos de los banqueros genoveses primero, alemanes después.

Entre 1590 y 1650 (el largo siglo XVI de BRAUDEL) asistimos al nivel más alto de la larga fase de prosperidad sobre la que se asentó la evolución económica europea desde el siglo XV. Sin embargo, para España, la derrota de la Invencible ocurrida ese mismo año, va a suponer su final como economía dominante. Todo anuncia el estancamiento y crisis del XVII.

¿Es la necesidad de aumentar el erario lo que impulsó a Felipe II a promulgar las Ordenanzas de Minas? J. ZARRALUQUI opina que el verdadero resurgimiento de la minería no se produce ahora, sino cuando Juan I autoriza la libre explotación de las minas por todos sus súbditos. «Coincide este resurgimiento de la minería en España con la aparición, a fines del siglo XV y principios del XVI, de la famosa obra de J. AGRÍCOLA «De Re Metallica», considerada como la iniciación de la metalurgia y cuyas ideas con respecto al laboreo de minas han subsistido hasta bien entrado el siglo XVII» (48). Cierto, a partir de aquí se suceden las medidas que tienen por objeto animar a la población a la búsqueda y laboreo de minas y que culminan con las Reales Ordenanzas promulgadas por Felipe II.

Siguiendo las fuentes documentales, bastante abundantes para este período, podemos rastrear el estado de la minería en la Península durante la Edad Moderna. Como dice Tomás GONZÁLEZ, «desde principios del siglo XV (época a la que alcanzan los archivos de Simancas) hasta el siglo XVIII, siempre hay personas que insisten en la existencia de minas de oro, plata y otros metales en los sitios donde se aseguraba que ya las labraban los cartagineses, romanos y moros» (49). No quiere esto decir que se encuentren y pongan en explotación minas riquísimas, ni siquiera ricas. Pero sí es cierto que van dejando una nutrida documentación por la que hoy podemos conocer los lugares donde se ubicaba la riqueza minera. Otra cosa muy distinta sería la de tratar de cuantificar esa riqueza. «Al no ser explotadas por la Real Hacienda (excepto las de azogue de Almadén, azufre de Hellín, plomo de Linares, y alguna otra) no constan en los libros de Gobierno, ni los productos, ni los ensayos ni operaciones de explotación. No se publican primero por temor al fisco y también por temor a que otros se aprovechen de sus inventos y aparatos, luces y trabajos. No así las trabajadas por el Gobierno, el cual ha de llevar una contabilidad exacta...» (50).

Pero esto tampoco es enteramente cierto, ya que no

(48) ZARRALUQUI, Julio: *Los almadenes del azoque. La historia frente a la tradición*. Consejo de Administración de las Minas de Almadén y Arrayanes. Madrid, 1934, tomo I, página 331.

(49) GONZÁLEZ, T.: *Op. cit.*, pp. III-IV.

(50) *Ibidem*, p. I.

siempre fueron explotadas estas minas por el Estado. Podemos incluso asegurar que lo normal es más bien lo contrario, es decir, la explotación por particulares mediante asientos. Así encontramos a los omnipresentes FUGGER asentados en Almadén desde fechas muy tempranas.

Estas minas son, sin lugar a dudas, las mejor documentadas. Su importancia no tiene pareja en la minería hispana de la época que nos ocupa, pues no debemos olvidar que, a partir de 1555 se introduce en América el beneficio de la plata por amalgamación —o método de patio—, del que el azogue es la base, y las minas de Huancavélica no se descubrieron hasta 1563. «Desde aquel tiempo se comenzó a proveer el asiento de Potosí de azogues conducidos de las minas de Huancavélica, y de ellas mismas se surtieron todos los minerales del Perú por más de dos siglos, en una cantidad prodigiosa de azogue, hasta que, habiendo comenzado a decaer el año de 1752, en adelante se transportaron también al Perú los azogues de Almadén, que antiguamente surtían sólo a las de México, con cinco o seis mil quintales al año, desde cuyo tiempo se aumentó la saca hasta 18.000 quintales anuales» (51); y también añade: «Con todo, no habiendo bastado las sacas de una y otra mina para surtir a ambos reinos del Perú y México, ha contratado nuestra Corte con la Cámara Imperial de Alemania para que anualmente nos pongan en Cádiz cantidad de azogues para proveer los Reales Almacenes de estos Reinos con los precisos repuestos de estos ingredientes».

Con respecto a estos contratos, A. MATILLA TASCÓN, que ha estudiado exhaustivamente la historia de las minas de Almadén, nos da cuenta exacta de ellos. Ya desde 1614 se toman asientos para la provisión de diversas cantidades de azogue de las minas de Idria, que serían entregadas en Cádiz o en Sevilla. Estos asientos, firmados con Albertinelli, Oberolz y Balbi, correrán diversa suerte, pero serán siempre insuficientes, dadas las necesidades (52). Por otra parte, «la ley del azogue de Alemania era tan baja, que valía más un quintal de Almadén que dos de allá» (53).

De todo ello se deduce que Almadén representa para la Corona uno de los pilares básicos que sustentan la Real Hacienda. Sin su ayuda la plata no llegaría, al menos en las cantidades que le son imprescindibles para mantener la maltrecha economía española. Esto hace que su caso se singularice y aísle del resto de las minas es-

(51) CAÑETE y DOMÍNGUEZ, P. V.: *Guía histórica, geográfica, física, política, civil y legal del Gobierno e Intendencia de la Provincia de Potosí, 1782*. Editorial Potosí. Potosí, 1952.

(52) MATILLA TASCÓN, A.: *Historia de las Minas de Almadén*. Consejo de Administración de las Minas de Almadén y Arrayanes. Madrid, 1958, pp. 224 y sig.

(53) A. G. I. Indig. general, leg. 1777. Citado por MATILLA TASCÓN, p. 233.

pañolas. Se la mima y privilegia. De ahí su importancia y su riqueza documental.

¿Explotada por el Estado? Si seguimos, y así lo hacemos, las investigaciones de MATILLA TASCÓN, vemos que los períodos en que esto sucede son mínimos. Desde la incorporación del Maestrazgo de Calatrava (dueño de Almadén) a la Corona por los Reyes Católicos, comienzan los arriendos a particulares, siendo el primero el asiento que firmaron con Alonso Gutiérrez hacia 1488. Este asiento, dice MATILLA, enlaza perfectamente con los que, en el siglo XVI, se concertarán con los FUGGER (54). Las cláusulas que contiene el asiento se repetirán, con ligeras variantes, en siglos posteriores. He aquí las principales:

— Período de arrendamiento. En este caso por cuatro años.

— Durante este período de tiempo podrá sacar todo el azogue, bermellón, piedra azabache que quiera y llevarlo a cualquier parte del reino o donde quisiere.

— Se le autoriza a tener socios extranjeros, siempre que no excedan de dos o tres personas.

— No habrá de pagar alcabala ni diezmo en aquellos materiales necesarios para las obras.

— Podrá cortar toda la leña necesaria en todos los lugares, términos y dehesas de la Orden.

— Los bueyes que le sean necesarios podrán pacer en las dehesas de la villa, sin pagar pechos, tributos ni herbaje.

— Gozarán de exención de derechos el azogue y bermellón que transporte, así como los pertrechos que compre con destino a la mina. Asimismo estarán exentos de pechos y tributos el dicho Alonso Gutiérrez, sus oficiales y el personal de la mina.

— Alonso Gutiérrez usará, en nombre de la Mesa Maestral, jurisdicción civil y criminal en todo el término de la mina «con inhibición de todo otro juez o alcalde segund que fasta aquí se acostumbró».

— Las herramientas y aperos que hubiere en la mina quedarán en poder de los Reyes o Mesa Maestral al término del arrendamiento.

— El metal extraído hasta cuatro meses después de vencido el arrendamiento, quedará propiedad del arrendatario.

— Alonso Gutiérrez pondrá los alguaciles, pero habrán de ser vecinos de la villa. La Alcaldía Mayor de la villa la ejercerá él mismo o la persona que nombre. También podrá nombrar oficiales de la mina a diez vecinos que quedarán exentos de pechos. Asimismo podrá nombrar cinco personas en la villa de Almagro para que sean fran-

(54) MATILLA TASCÓN: *Op. cit.*, p. 24.

cos, libres y exentos de huéspedes, salvo en el caso de que la Familia Real esté en dicha villa.

— Llevará unos libros de cuentas donde anotarán los préstamos efectuados que no podrán sobrepasar la cuantía de 6.000 maravedís.

— También deberá levantar nueva casa para fabricar el bermellón en lugar donde no hubiere vecinos, pues la actual ha quedado rodeada de ellos con el consiguiente peligro, tanto de enfermedades como de robos.

— Podrá tener hasta 30 moros, vecinos de Almadén, excusados de pagar castillos.

— De la Dehesa de Castilseras no se podrá sacar leña más que con destino a la mina (55), etc.

En muchas de las cláusulas se especifica y repite la fórmula «según que fasta aquí se acostumbró» o «es condición de los arrendamientos pasados» lo que indica claramente que, durante la época medieval la Orden de Calatrava también arrendaba la mina. MATILLA nos da cuenta de todos estos arrendamientos anteriores efectuados casi siempre con catalanes y sobre todo con genoveses.

A principios del siglo XVI los Monarcas deciden sustituir el viejo sistema de arriendos por otro de administración regia. Se nombró un gobernador para la mina, nombramiento que recae primeramente en Luis Xuárez, vecino de Toledo, el cual estará al frente de la mina durante tres años —de 1503 a 1506—, época que quedará bien documentada a través de las cuentas que rindió al final de su mandato.

Pero el sistema de administración regia no debió funcionar, pues muy pronto se abandona. Ya en 1511 aparece como arrendador de la mina Pedro Díaz de la Caballería. De esta forma vuelve a manos de particulares, de las que ya no saldrá más que de forma esporádica al término de unos asientos y en espera de concertar los siguientes.

El disfrute de la mina de Almadén va incluido en el arriendo general de las rentas de los Maestrazgos de Calatrava. Con el primer arrendamiento de éstas, otorgado por Carlos V a Antonio FUGGER en 1525, la Casa-Banca alemana tomará posesión de las minas de Almadén. Su presencia será ya constante, salvo algún pequeño paréntesis. Las inmensas deudas que el emperador había contraído con ellos así lo garantizaban. Como dice CARANDE, «atendería por fin Carlos V sus obligaciones, después de escuchar reclamaciones malsonantes de Jacobo el rico, que no moriría († 30 de enero de 1526) sin haber logrado la prenda que le sirvió para indemnizarse: el arriendo de los Maestrazgos» (56).

(55) *Ibidem*, pp. 24 y sig.

(56) CARANDE, Ramón: *Carlos V y sus banqueros. Sociedad de Estudios y Publicaciones*. Madrid, 1967, tomo II, página 45.

En algún momento la competencia será fuerte. Así, cuando los Hochstetter tratan de hacerse con el monopolio del azogue. Las minas de Idria y Bohemia les pertenecen y ambas, junto a las de Almadén, son las únicas productoras. «Los Hochstetter, que monopolizaban el azogue de Idria y Bohemia, pretenden hacerse con el arriendo de las minas de Almadén para evitar su competencia en los mercados de Italia y, a pesar de apadrinarlos Fernando de Austria, no lo consiguen; parece, sin embargo, que el fracaso no les disgustó demasiado, informados de que las excesivas existencias de azogue almacenadas en Almadén en 1528, unos 2.000 quintales, habrían dificultado la venta.

Las pérdidas sufridas por los Hochstetter en el negocio de los azogues, debido a la baja de precios en los mercados, les acarreó la ruina. A partir de 1528 la producción de Idria desciende vertiginosamente, según Strieder, mientras que la de Almadén se mantiene firme hasta 1550» (57).

Cinco años más tarde, con la introducción del sistema de patio en el beneficio de la plata americana, comenzará la gran ascensión de Almadén. Ello explica la puja entre Fugger y Welser en el arriendo de 1533-37, que se llevara Welser. Pero en 1537 volverán los Fugger. Después del incendio de 1550, que las dejó arruinadas, y hasta 1563, las minas se les fueron de las manos, para recuperarlas con el asiento de 1563-72. Ya no las dejarán hasta finales de 1645. Son los años de auge del azogue debido a los insistentes pedidos de América.

«Finaliza el año 1645 y con él acaba también la administración que durante ciento veinte años habían ejercido los asentistas alemanes en el Establecimiento minero de Almadén, pasando aquél definitivamente a manos de la Real Hacienda. Comienza entonces una nueva etapa, sembrada de adversas vicisitudes ocasionadas, en primer lugar, por el estado en que aquéllos dejaron las excavaciones y la penuria del Tesoro nacional» (58).

Por Real Cédula de 25 de agosto de 1646 dada en Zaragoza (59), se nombra administrador de las mismas a don Mateo Naguelio, con los mismos emolumentos y privilegios de que gozó con los FUGGER. Conservó el cargo hasta julio de 1651. «A partir del cese de Naguelio comienza la danza y contradanza de directores, nombrados, más que por sus merecimientos, por la calidad y cantidad de intrigas puestas en juego para obtener el cargo. Baste saber que, desde el dicho año 1651 hasta 1664 hubo seis administradores y tres visitadores, sin que se apreciara, en sentido favorable, ni la gestión de los unos ni las recomendaciones y prevenciones de los otros» (60).

(57) *Ibidem*, p. 422.

(58) ZARRALUQUI: *Op. cit.*, tomo I, p. 387.

(59) A. G. S. Contadurías Generales, núm. 852.

(60) ZARRALUQUI: *Op. cit.*, p. 388.

La incompetencia del sistema de administración se demuestra ya desde sus comienzos. La decadencia de la mina, en el momento preciso en que más falta hacía el mercurio, es evidente. Se suceden los informes, visitas y ordenanzas, que por lo demás nadie acata, sin que al parecer se hallen soluciones, pues los resultados, caso de haberlos, son menguados. La administración era el caos y la dirección facultativa, según los ingenieros Bernáldez y Rúa Figueroa, simbolizada por el charlatanismo o la ignorancia.

Francisco Javier Villegas, superintendente nombrado en 1749, dándose cuenta de las necesidades de Almadén y tratando de paliar la situación, formó nuevas ordenanzas que sustituyeran a las de 1735. Pero nunca fueron aprobadas ni el informe que elevó a la Junta fue atendido (61). El Establecimiento siguió rigiéndose por disposiciones particulares que no lograban restablecer el orden.

En 1794 se comisiona a don Tomás Angulo para que visite la mina, denuncie abusos y proponga remedios. «Así lo hizo este delegado especial en un informe —otro más de los muchos evacuados sobre el mismo tema— dirigido al Excmo. Sr. D. Diego de Cardoqui. Se aceptaron algunos extremos del mismo y se nombró director de las minas a un hermano del informante, con el encargo de redactar otras nuevas ordenanzas, sin perjuicio de que, por Decreto de 16 de septiembre de 1795, se había mandado formar una Junta, compuesta de varios ministros de los Tribunales Supremos, para que corrigiesen los defectos de las antiguas y «se proveyese remedio a ese mal urgente». A nosotros no ha llegado noticia alguna de los trabajos de esa Junta, pero sí el rumor de que no llegó a reunirse» (62).

Y en este estado de indecisión irá el Establecimiento arrastrando una vida decadente, entre gobernadores ineptos y administradores incompetentes, hasta que, la gran penuria económica y las urgentes necesidades del gobierno de Fernando VII llevan, una vez más, a la firma, el 7 de junio de 1834, del contrato que ponía las minas de Almadén en manos de la Banca Rothschild. En ellas quedaría hasta que el 31 de diciembre de 1921 se hizo cargo de todo lo referente a la administración, explotación y comercialización de los productos de las minas de Almadén el Consejo de Administración de las minas de Almadén y Arrayanes, que en el día de hoy continúa (63).

Siguen en importancia y en riqueza documental las Mi-

(61) El informe de Villegas se conservó en el Archivo de Almadén, pero hoy está desaparecido. Una gran parte se inserta en la «Reseña histórica» de RUA y BERNÁLDEZ y también en la «Revista Minera», tomos XII y XIII, años 1861 y 1862.

(62) ZARRALUQUI: *Op. cit.*, p. 393.

(63) MARTÍN y MARTÍN, V.: *Los Rothschild y las Minas de Almadén*. Instituto de Estudios Fiscales. Ministerio de Hacienda, 1980, p. 438.

nas de plata de Guadalcanal. Guillermo BOWLES, en 1775, nos dice de ellas, a propósito de un informe que hizo a petición de don José de Carvajal, Ministro de Estado: «Del extracto que hice para aquel Ministro se sacan dos verdades y cinco conjeturas. Las dos verdades son, que los dos hermanos Fúcares abandonaron esta mina el año de 1635 y que entonces las betas de plata eran muy ricas. La primera conjetura es que habiendo querido el Ministerio subir el arriendo y poner nuevos derechos a los dichos condes Fúcares, éstos introdujeron una corriente de agua en la mina, que para sus trabajos tenían desviada, y la inundaron y abandonaron precipitadamente. La segunda, que estos Asentistas pusieron máquinas y acuñaron moneda dentro de la misma mina para defraudar los derechos del Rei, con cuyo dinero se grangearon protectores poderosos en la Corte, y así pudieron evadirse de España. La tercera, que la última galería se hundió, y que aunque ahora se compusiese, no daría para los gastos de la obra. La cuarta, que hai un manantial de agua en el último pozo tan abundante, que sería de un coste inmenso el desaguarle, y se correría el riesgo de no hallar la beta, o de hallarla exhausta. La quinta, que la abundancia de Plata de las minas de América hizo olvidar los trabajos de ésta, y la política persuadió que debía reservarse para cuando aquéllas pudiesen faltar» (64). Dejando de lado el pobre concepto que le merecían los banqueros alemanes, su impresión debía de ser certera, pues concuerda perfectamente con los documentos hallados.

Fue descubierta hacia 1551. Estando don Felipe en Flandes a recibir del Emperador el Reino de España y su hermana doña Juana de Regente, «con residencia ordinaria en la villa de Valladolid, se recibieron avisos secretos que unos vecinos de la villa de Guadalcanal llamados Martín y Gonzalo Delgado, habían descubierto en el término de Molinillo, propio de dicha villa, unas minas abundantes de metal de plata muy rico, y aun alguna cantidad de oro, con tales ponderaciones de importancia y riqueza, que la Princesa, oído el dictamen de sus ministros y consejeros, resolvió tomar conocimiento, y poner cobro y recaudo en ellas para ayuda a los gastos del Estado» (65). Se empezaron las obras de desagüe y se benefició durante treinta y seis años. En ellos —dice LARRUGA— fue tan copiosa y rica la plata que dio un promedio de 70.000 ducados de plata por semana, lo que hace 112 millones en los treinta y seis años. Se enviaba a Sevilla, donde está documentado en la Casa de Contratación. Se hundió por mala o falta de entibación. Al hundimiento siguió aguararse y quedar desamparada en

(64) BOWLES, Guillermo: *Introducción a la Historia Natural y a la Geografía Física de España*. Edición de 1775, páginas 62-63.

(65) GONZÁLEZ, Tomás: *Nueva historia documentada de las célebres minas de Guadalcanal, desde su descubrimiento en 1555 hasta que dejaron de labrarse por cuenta de la Real Hacienda*. B. N. 1/44223, tomo I, p. 32.

un momento en que la mina parecía más rica que nunca. Gracias a esa riqueza había surgido en su entorno «un lugar muy cumplido» con calles bien trazadas, mesones, tiendas de mercaderes, etc., y mercados francos» (66).

Anteriormente al asiento con los Fúcares, las fuentes documentales ponen de manifiesto el interés de la Corona por procurar su beneficio. Así, el asiento firmado en Madrid el 28 de octubre de 1569 entre Felipe II y Alonso Criado, y que otorgó las minas de Guadalcanal, Cazalla, Aracena y Galaroza y las que él descubriera en ese término, aunque no serán suyas ni podrá entrar en las que ya estuvieren registradas en él antes de la fecha del dicho asiento. El documento delimita la parte de la Corona y la de Alonso Criado y pone las condiciones: los pesos y ensayos se harán por los Contadores Mayores y Oficiales de Guadalcanal; se prohíbe que se saque nada de forma fraudulenta, etc.

El 13 de noviembre de 1569 se firma otro asiento en Madrid, a nombre de Juan Martín Trechoso, para buscar y descubrir minas en el término de Guadalcanal. Otro, en 1573, con Garci López y Antonio Flores. Más extraño resulta el asiento firmado con Juanes Julios, médico natural de Arras, en el condado de Artois. Todos ellos nos hablan del deseo de Felipe II de que se trabajase en ellas.

Los FUGGER harán acto de presencia en 1632 a través de sus factores Juan Jacome Holzafel y Juan Cristóbal Eberlin, con quien se firma un asiento. «A consecuencia del asiento tomado con los Fúcares, y providencias sucesivas que quedan apuntadas, se comenzaron a desaguar y beneficiar las minas; y al poco tiempo principiaron a divulgarse rumores de que se habían abierto nuevos pozos, y a correr noticias confusas de su extraordinaria riqueza, ponderando la grandeza y producto asombroso de una vena que se decía iba fija en el suelo de la mina, con más de media vara de grueso en común; y adelantándose muchas personas a asegurar que de noche, y por caminos ocultos, se llevaban inmensas partidas de plata virgen fuera del reino» (67). Naturalmente se expide una real comisión, que contraviene lo estipulado en el asiento, con el fin de investigar si las habladurías son ciertas y poner remedio. El encargado de ella será Martín Soto, ensayador de las minas del Reino, a quien encargan que pase a la de Guadalcanal para reconocerla y ver qué metales había en las vetas descubiertas (68). En consecuencia, Martín Soto sale para Guadalcanal llevando como compañero a Gregorio Romero. Este envía una carta el 26 de diciembre del mismo año, explicando cómo, cuando los factores tuvieron noticia de la llegada de los comisionados reales, ordenaron cesar el trabajo de los ingenios, lo que dio lugar a inundaciones en los pozos, como era de rigor en invierno. También informaba que, a través

(66) LARRUGA, Eugenio: *Memorias Económicas y Políticas*. Tomo XXXVI, Memoria 159.

(67) GONZÁLEZ, Tomás: *Nueva historia...*, tomo II, p. 667.

(68) A. G. S. Contadurías Generales, núm. 855.

de relatos y conversaciones mantenidas con los operarios de las minas, se había enterado que había mucha riqueza y grandes vetas tapadas cuidadosamente con tablones, guijo y lodo, por orden de Juan de Hanhgelhoe, hacedor principal. También había más de 100 espuestas llenas de mineral cosidas y escondidas, a más de lo que habían llevado al convento de San Francisco, de la villa de Guadalcanal y lo que habían transportado hasta Almadén.

Después de realizar la visita y comprobar que efectivamente había gran cantidad de metal y sacar muestras para los ensayos, Martín Soto se vio precisado a poner en prisión al administrador de los Fugger y al juez conservador don Francisco Gutiérrez (69). De todo esto se siguieron una serie de juicios y averiguaciones sobre el cumplimiento del asiento por parte de los Fugger.

En 1725 comienza en torno a estas minas una turbia historia seguida de pleitos interminables que acaba por hundir más, si cabe, la otrora mina riquísima. Pero vamos con la historia:

En 1725 se firmó un asiento, por un período de treinta años, para el producto y beneficio de dichas minas (Guadalcanal, Aracena, Cazalla, Galaroza y Riotinto) con cierto caballero sueco llamado don Liberto Wolters. En el asiento se especificaban las diferentes cláusulas con las condiciones requeridas, prerrogativas, privilegios y exenciones que se le otorgaban, etc., como era de rigor.

El intento de poner en funcionamiento las minas inundadas era empresa hartamente costosa. Para allegar fondos se convino formar una compañía «con caja y tesorería» que permitiese poder sufragar las necesidades que se fuesen presentando y pagar a las gentes que habían de venir del Norte a trabajar en ellas.

El público, llevado de esta novedad y creyendo de buena fe en la inmensa riqueza que la mina atesoraba y que tanto ponderaba Wolters, quien calculaba unos 300.000 pesos diarios, respondió con generosidad, como demuestra el primer ingreso que fue de 10.000 doblones. En poco tiempo se recaudó una fuerte suma, pero no sirvió para el fin previsto, esto es la mina, sino para aumentar los motivos de litigio, ya que ahora había que administrar, además de la mina, una fortuna. Dos años seguidos de ruidosas disputas y disipación de caudales dieron como resultado una ruinosa separación: Wolters se quedó con las minas de Riotinto y Aracena y la Compañía con las de Guadalcanal, Cazalla y Galaroza.

La presidencia de la Compañía recayó entonces en el Conde Cogorani, quien intentó, durante seis meses, poner las minas en condiciones de ser explotadas. Pasado este tiempo, desengañado y convencido de la inutilidad de sus esfuerzos por conseguir desaguar la mina, falto de «operarios inteligentes», hubo de reconocer que su trabajo era todavía menos eficiente que el de Wolters. La Com-

(69) GONZÁLEZ, Tomás: *Nueva historia...*, tomo II, p. 670.

pañía puso entonces la empresa en manos de una dama inglesa: María Teresa Herbert.

Hija del duque de Powis, caballero inglés que se dedicaba en su país al cultivo de la minería, María Teresa supuso que tendría ciertas facilidades para traer operarios ingleses que le ayudaran en su quehacer. Buscó un testaferro, don Andrés Galwey, quien firmó el contrato con la Compañía.

De las condiciones expresadas en el contrato, dos van a ser especialmente importantes, pues en torno a ellas van a girar los turbios manejos que harán interminables los pleitos:

1. Galwey evacuará y secará la mina a su costa y riesgo, proveyéndose de maquinaria, ingenieros, etc., en el plazo de un año, empezando su ejecución, como muy tarde, en julio de 1728.

2. Una vez seca, trabajará la mina, pagando la Compañía los 3/5 a su costa, sin obligación de contribuir a otros gastos.

Efectivamente María Teresa Herbert comienza los trabajos en julio de 1728. Estos fueron improbos y costosos, pero al fin sus esfuerzos fueron recompensados. Avisó a la Compañía, pero ésta intenta no darse por enterada, esperando que pase el plazo estipulado y evitar el pago de su parte.

En este intermedio sobreviene una epidemia que obliga a parar los trabajos. Con ello vuelve a subir el agua, lo que obliga a María Teresa a continuar los desagües durante todo el tiempo que duran las enfermedades. Rápidamente el apoderado de la Compañía denuncia el incumplimiento del trato.

Finalmente, el 26 de octubre de 1732, se consigue evacuar totalmente las aguas. La mina está seca. Se avisa nuevamente a la Compañía. El apoderado, Francisco Maeda, con evidente mala fe, excusa su asistencia «suponiendo —dijo— que no estaban limpias las zafra y brozas de la mina».

Doña María Teresa acudió entonces a la Junta de Ministros de S. M. a quien dio a conocer todas las causas y pleitos habidos con la Compañía. La sentencia de la Junta fue favorable a la señora, notificándosele al dicho Francisco Maeda. La Compañía puso toda clase de impedimentos hasta que, el 19 de febrero de 1733, «no sin gran dificultad se comunicó a la dicha Compañía en Junta plena por la dolosa conducta con que los Directores se iban ocultando» (70).

Viendo la Compañía que no iba a tener más remedio que pagar costas y deudas (María Teresa había adelan-

(70) LARRUGA, Eugenio: *Junta de Comercio, Moneda y Minas*. Manuscrito en el Archivo del Ministerio de Hacienda.

tado 12.000 doblones) «no tuvo más recurso que el de haber obtenido subrepticamente Decreto de supresión de la erigida Junta de Sevilla, y carta-orden del señor Gobernador del Consejo de Castilla, dirigida a don Pedro Maseu, uno de los jueces de ella, en que se le mandaba remitir los pleytos que en ella pendían al Real Consejo de Hacienda, como se ejecutó» (71). Llegó la orden al tiempo de dictar sentencia (6 de julio de 1737): en ella se decía que no habiendo cumplido la dicha doña María Teresa con el desagüe y desecación, había de hacerlo. Esta sentencia, absolutamente contraria a la dada por la Junta en Sevilla en 25 de noviembre de 1732, suplica no obstante a los jueces que si la señora pudiere probar que el desagüe fue hecho se le favoreciese en lo posible.

Examinadas las diligencias se halla:

1. El 31 de julio de 1732 las obras de desagüe y desecación estaban terminadas.

2. Se dio aviso oportuno al apoderado de la Compañía, el cual no compareció, presumiblemente por no pagar la parte correspondiente. El 27 de octubre fueron citados formalmente él o quien él nombrase (nombró a cuatro representantes), y los de doña María Teresa (12 peritos), y todos ellos por separado aceptaron y reconocieron que la mina estaba en condiciones y que en igual forma estuvo desde el mes de julio anterior.

3. El apoderado de la Compañía pidió que cuatro sujetos nombrados por él reconociesen la última calle de la mina. Los cuatro dijeron que estaba en condiciones.

4. Para que no hubiera más dudas el apoderado de María Teresa pidió que, a él mismo acompañado del apoderado de la parte contraria, se les permitiesen reconocer un pocillo que habían descubierto en el mes de julio en la última calle de la mina. Se nombraron dos peritos para acompañarlos y todos ellos estuvieron de acuerdo en que se estaba trabajando en él.

5. El apoderado de la Compañía, en connivencia con el Juez Conservador —que era su suegro— declara el 18 de noviembre «que aunque las minas se hallasen desagüadas, no obstante se hallaban algunas calles con zafra, muchos pozos sin escaleras para su servicio, por lo que era manifiesto no haberse cumplido dicha contrata, evacuando las minas de todo lo necesario para que los trabajadores entrasen sin repugnancia» (72).

Todos estos pleitos van dando lugar a una copiosa correspondencia. Por ella vemos que durante este tiempo los ingleses están trabajando en la mina. Los de la Compañía hacen todo lo posible para que aquéllos no se queden con todo el mineral, etc., etc. Por fin, el 24 de abril de 1742, Felipe V promulga una Real Cédula por la que, por no haber cumplido la Compañía, se subroga el

(71) *Ibidem*.

(72) *Ibidem*.

derecho de estas minas en doña María Teresa Herbert, duquesa de Powis. Otra Real Cédula de 23 de noviembre de 1742 le concederá facultad para formar Compañía de Accionistas. Otra Real Cédula de 7 de mayo de 1743 confirma la concesión a la duquesa de Powis de las minas de Guadalcanal, Riotinto, Cazalla, Aracena y Galaroza por un período de treinta años, con la obligación de comenzar a sacar metal de la de Guadalcanal en dos años y medio contados desde el 1 de abril de 1743.

Pero los pleitos de María Teresa continúan. En el Consejo de Hacienda se sigue expediente contra don Manuel Tiquet y don Liberto Wolters, a cuyo favor se declararon las minas de Riotinto y Aracena, quedando las otras tres para la duquesa de Powis.

Por otra parte está la guerra, que impide el tráfico normal con Inglaterra, de donde su padre debía enviarle diferentes géneros, maquinaria y operarios para el desagüe de las minas de Guadalcanal. Si a esto añadimos que los asentistas de la pólvora, salitre y sal común, con quienes tenía estipulado el suministro, al coste y costas que tenían con la Real Hacienda, no cumplieron su compromiso, por lo que tuvo contra ellos «diferentes y dilatados recursos», se entenderá perfectamente que la duquesa no pudiese mantener lo pactado.

A pesar de todos los contratiempos —el comisario de Marina de Sevilla también le puso trabas para el corte y conducción de madera, aun cuando tenía un privilegio por el capítulo 4 de la citada Cédula— «el ingeniero y otras personas inteligentes» montaron una máquina para el desagüe de la mina llamada Pozo Rico. Previamente habían limpiado los pozos contiguos. En ello invirtió 12.000 doblones, esperando poder recuperarlos en breve. Pero el tiempo se agotaba. Doña María Teresa pidió una prórroga de otros dos años y medio, que la Junta General de Minas le concedió, empezando a contar desde el 1 de enero de 1747. También se le confirmó la concesión de aprovisionamiento de pólvora, salitre, sal común, plomo y demás géneros necesarios, al mismo precio por el que los asentistas tuviesen contratado con la Real Hacienda. En cuanto al azogue, se daba orden al Superintendente de Almadén para que se le entregase lo necesario al precio de 400 reales de vellón el quintal.

En 1750 firmó la duquesa una contrata con don Juan Bautista Privat y Juan Weter por la que les vende 600 acciones de las 6.000 que intenta crear para ayudarse. Los dichos señores le obligan a poner en funcionamiento el Pozo Rico de Guadalcanal. Correrán a sus expensas los gastos de desplazamiento, salarios, labores y beneficios. Pero estos señores no cumplieron, por lo que doña María Teresa hubo de pedir una tercera prórroga que le fue concedida por Real Cédula de 7 de junio de 1751 y aun otra más el 18 de diciembre de 1756. Mientras se resolvía el pleito que se seguía en el Parlamento de París entre ella y Privat y Weter, trató a un ingeniero escocés para que comenzase; se le concedió una prórroga de término por Real Cédula de 1765.

En este momento don Felipe Fernando de Oconry presentó al Rey un memorial exponiendo el perjuicio y las pérdidas que ocasionaba el tener detenidas las dichas minas. Apela en él a las riquezas extraídas por los Fugger y termina diciendo que se le han ofrecido en París varios acaudalados señores para encargarse de ellas si se cancelaba el asiento de la duquesa de Powis. El Rey envió el memorial a la Junta de Comercio, Moneda y Minas quien, en consulta de 13 de agosto de 1767 decretó que la duquesa había perdido todos sus derechos por la omisión que había tenido para con las minas. En consecuencia Oconry podía formar compañía con los señores parisinos. Para ello ponía algunas condiciones, una de ellas que no podía formar sociedad con naturales de estos Reinos hasta que estuviesen las minas trabajando a pleno rendimiento, así como la obligación de que, al menos uno de los asociados residiese en España. El conde de Clonard aceptó ser él quien se trasladase. Mientras lo hacía nombró como apoderado suyo en Madrid a don Alfonso Bernardino de Cervantes, quien presentó los papeles necesarios en la Junta el 9 de octubre. Pedían beneficiar las tres minas bajo las mismas condiciones que había disfrutado la duquesa de Powis. Se expidió la correspondiente Real Cédula el 22 de noviembre de 1767 a favor del conde de Clonard y por un período de tiempo de treinta años, concediéndole el goce, laboreo y beneficio de las citadas minas y dándole un plazo de seis meses para dar principio a su poblamiento y trabajos.

Cuando el conde de Clonard tomó posesión de las Reales Minas de Guadalcanal, aquello no era sino un pomposo nombre para unas ruinas. La mina se hallaba inundada hasta la misma boca de los pozos; del poblado no quedaban sino vestigios, y escombros de lo que habían sido casas y oficinas. El Pozo Rico no era más que un precipio. El panorama era desalentador, pero el viejo eco de lo que habían sido y las riquezas que atesoraban, su gloria en tiempos de los Fugger, etc., les dio ánimos para continuar. Los ingenieros Josept Richard y Luis Lecamus estudiaron las propuestas pertinentes, que enviaron a París. La Compañía aprobó sus planes y dieron comienzo las obras. Se instaló nueva maquinaria. Trajeron maquinistas, barreneros, picadores, carpinteros, en fin, los más hábiles profesionales que encontraron en Bretaña. Empiezan a trabajar en Guadalcanar. En octubre de 1772 se había levantado un poblado completo con talleres, almacenes, capilla, etc. Se limpiaron los pozos, galerías, contraminas. Por fin se halló el mineral que, según el ensayador, producía de 10 a 12 por 100, resultado que, ni que decir tiene, alentó enormemente a la Compañía.

La mina de Cazalla también se desaguó, limpiándose varias galerías. Pero el mineral hallado allí no era rico y sí muy trabajoso de arrancar. Por ello determinó la Compañía esperar hasta ver de encontrar la maquinaria precisa. No obstante se construyeron casas para los ingenieros y demás empleados. Se techaron los pozos y se puso guardia para custodiarlos.

Todos estos trabajos y capital invertidos repercutían favorablemente en las inmediaciones a pesar de que no se hallase la famosa plata. Aumentó la población, lo que trajo consigo un crecimiento en las necesidades. Se fomentó la agricultura y se notó una elevación en el nivel de vida en todo el contorno. Se vio «una opulencia de la que antes carecía» (73). Naturalmente, también la Real Hacienda aumentó notablemente sus ingresos por este concepto.

En 1775 unos ingenieros traídos de Sajonia descubrieron una veta de plata rosicler bastante rica y de calidad superior, asegurando, con gran ilusión, ser uno de aquellos bancos de increíble riqueza explotada por los antiguos, a juzgar por las concavidades que presentaba. Todo ello concuerda con lo que escribía BOWLES por la misma época: «Varios autores antiguos y modernos han celebrado la riqueza prodigiosa de esta mina. El cardenal Cienfuegos, en su Historia de San Francisco de Borja, hace un elogio grande de ella. La Historia de la Casa de Herasti, p. 264, dice que esta mina había producido 8 millones de pesetas cuya suma se empleó con otras en la fábrica del Escorial. Alonso Carranza, en su Tratado de Monedas de España, p. 101, afirma que una semana con otra se sacaban de Guadalcanal sesenta mil ducados...» Pero en nota a pie de página explica: «...eso se escribía hace veinte años. Después las cosas han mudado de semblante, porque una Compañía de extranjeros ha emprendido el beneficio de estas minas con el permiso del Rei... no han podido dar con la beta a pesar de gastar mucho...» (74).

Quizá por ello la Compañía se disolvió, las minas quedaron desamparadas y se abandonó todo.

Pero la tradición sobrevive a cualquier infortunio. LARRUGA nos informa que «aquí en las inmediaciones existe entre le vulgo la tradición de que en uno de los planes hay una muralla fuerte, y detrás una puerta de hierro, y allí están imponderables riquezas; pero puede ser fabulosa esta tradición, por no haber encontrado en los muchos papeles y documentos antiguos que he examinado relativos a estas minas el menor antecedente» (75). Y, quizá también, gracias a esta tradición, don Juan Martín de Hoppensak y don Antonio Zacarías de Helms, directores jubilados de las minas de Almadén y del Perú, sin asustarse por el fracaso de los anteriores arrendatarios, obtienen permiso, por Real Cédula de 25 de abril de 1795 para volver a poner en funcionamiento las dichas minas. Esperan poder formar una compañía con varios socios polacos, alemanes y holandeses (especifican que no admitirán francés alguno), que habían manifestado el deseo de asociarseles si se les concedían las gracias y privilegios que pedían en el memorial de 28 artículos que presentaron al Rey. Este lo pasó a la Junta de Comercio,

(73) *Ibidem*.

(74) BOWLES, G.: *Op. cit.*, p. 63.

(75) LARRUGA: *Junta de Comercio...*

Moneda y Minas para que lo examinase y dictaminase en consecuencia.

En cuanto al resto de las minas, muy variadas y abundantes por cierto, no tenemos más que noticias incohexas. Reales cédulas y provisiones que nos dan el lugar en que se hallan y los nombres de quienes las denuncian o quieren beneficiarlas, así como el metal o metales que se pretende sacar, pero nunca hallamos unas cuentas o series que permitan hacer un estudio serio de la situación minera. Tenía razón LARRUGA cuando escribía —adelantándose a su época— a propósito de las «piedras nieles» halladas en los contornos de Madrid «que son negras con unas vetas pardas y blancas y cornerinas (que se dice tener virtud para curar la sangre). Así lo afirman algunos historiadores, sin explicarnos los sitios en que se crían, ni si se ha sacado algún producto de estas piedras o si se ha hecho algún uso de ellas; pero este vicio es común en nuestras historias, reducidas por lo común a pintar sitios y batallas, a regar campos con sangre humana, describir fundaciones de ermitas, y otras cosas de esta clase: callándose las demás noticias políticas que hubieran sido de mucho provecho a la nación y motivado el fomento de sus verdaderos intereses» (76).

De muchas otras minas nos hablan los documentos. Don Tomás GONZÁLEZ recopiló todos los existentes en el Archivo General de Simancas en esa extraordinaria obra que es el «Registro y relación de Minas de la Corona de Castilla». Pero si prescindimos de las grandes explotaciones a las que nos hemos referido, encontramos que las referencias son pobres y dispersas. Abundan las reales cédulas a pedimento de particulares que dicen haber hallado una mina y se disponen a trabajar en ella. Pero rara vez llegamos a saber con qué resultados. Creemos que casi siempre adversos. En el siglo XVIII don Eugenio LARRUGA en sus «Memorias políticas y económicas» de las diversas regiones incluye las minas que poseen. Casi todas llevan la apostilla «abandonadas en el día», «están desiertas hoy», «quasi arruinadas al presente», etc.

Según las Ordenanzas, la mina es propiedad del que la denuncia, con la condición de que la trabaje y pague la parte correspondiente a la Corona. Quizá esto impulse a denunciar cualquier hallazgo. Pero luego comienzan las dificultades. Los trabajos que una mina requiere son largos y sobre todo costosos antes de que pueda empezar a producir, si es que esto llega a suceder. Vienen los abandonos, bien por parte de los particulares ante los obstáculos surgidos, bien por parte de las autoridades al considerar, tras los ensayos, que las minas no son productivas. Veamos un ejemplo de los muchos posibles: En la jurisdicción de Mestanza (La Mancha) se denunciaban varias minas de alcohol (galena) y plomo por algunos vecinos del lugar, por supuesto profanos en la materia. En una de ellas —la única que se puso en explotación— tra-

(76) LARRUGA: *Memorias...*, tomo I, p. 33.

bajaron durante seis meses el denunciante y otro hombre «habiendo sacado unas 10 ó 12 arrobas de piedra que en medio tenía una veta angosta, que decían ser alcohol plomizo, cuyo material se recogió de orden del Caballero Intendente de Ciudad Real, que mandó no se trabajase en dicha mina, por lo que está desierta, y lo mismo las cuatro restantes, que no han trabajado cosa alguna» (77). Y así podríamos citar decenas de ejemplos.

¿Qué se dice que pueden dar estas minas? La variedad de minerales es riquísima pero, desgraciadamente, la cantidad no. Si seguimos las fuentes documentales vemos cómo el oro brilla por su ausencia. Algunas referencias a él nos indican que existe, siempre en muy pequeñas cantidades, en los placeres de los ríos antaño auríferos como el Sil, Tajo o Guadalquivir, o hallazgos residuales en las cercanías de antiguas explotaciones como las Médulas o Monferrato. A veces topamos con la denuncia de una mina de oro, aunque lo normal es que vaya asociado a la plata o el cobre, y aún así es raro; pero más raro todavía es que se trabaje en ella.

En la extremeña localidad de Brozas, partido de Alcántara y patria del Brocense «príncipe de los gramáticos y uno de los mayores humanistas y sabios de su tiempo, más celebrado todavía de los extranjeros que de nosotros» (78), un platero llamado Manuel Rubio dio cuenta a la Junta de Minas, en 1765, que en algunas ocasiones un pastor le había llevado granos de oro asegurando haberlos hallado en el Arroyo del Gato. Ya en 1746 otro vecino de Brozas, José Medrano, había solicitado licencia para beneficiar unas minas a orillas del Salor. Pero no existe mayor fundamento para afirmar que hubiera oro en la región. Existe una carta hallada por LARRUGA, y que cita en sus «Memorias políticas», escrita al Ministerio de Hacienda por don Manuel García de Villalpando, Administrador de las Rentas generales y de Tabaco en la Alberca, jurisdicción de Plasencia. Tiene fecha 18 de enero de 1755 y en ella Villalpando asegura haber observado durante algunos años cómo algunos vecinos de varios pueblos y alquerías de las Hurdes «se ejercitaban desde la primavera hasta el fin del verano en sacar oro de buena calidad entre las arenas de los ríos que corren por aquel país: cuyo metal cae con los golpes de las aguas de la eminencia de aquellas sierras a la corriente» y que luego vendían a 15 reales de vellón el adarme. Los compradores lo revendían después en Salamanca a los batidores de oro a 19 reales, o en Madrid o Sevilla a 22 reales. Según sus noticias, sacarían al año entre 10 y 11 libras de oro» (79). Convengamos que es una cantidad irrisoria, que no da pie a hablar de explotaciones auríferas.

Pueden verse muchas otras referencias a minas de plata repartidas por toda la Península, pero cuyos resultados también parecen, cuando menos, dudosos.

(77) *Ibidem*, t. XVII, Memoria 84.

(78) *Ibidem*, t. XXXV, Memoria 157.

(79) *Ibidem*.

El reino es muy rico en cobre. Las explotaciones principales son, naturalmente, las de Riotinto y Aracena, cuya historia corre pareja a las de Guadalcanal, ya que formaban parte del mismo asiento hasta que, como consecuencia de los pleitos habidos entre la duquesa de Powis y don Liberto Wolters, se separa la propiedad por Real Cédula de 27 de julio de 1726. Asimismo se reconoce la gran riqueza peninsular en plomo, cuyas principales minas son las de Linares. Muy importante también es la producción de hierro de Vizcaya, Granada y Teruel y el estaño de Galicia.

Las noticias recogidas nos hablan de un sinfín de minas de metales o metaloides de importancia menor: azufre, cinc, alumbre, caparrós, galena, vitriolo, calamina, zafre, azabache, cobalto —de la de Plan dice BOWLES que es «cosa tan rara que no se conoce más que otra semejante en Europa (la de Schoenberg, en Sajonia) (80)—, ocre, piedra-imán (magnetita), amatistas, etc. La mina de sal gema de Cardona, masa enorme de sal, única en el mundo, según BOWLES, quien nos la describe así: «...su situación es al pie del peñasco de sal que por el lado del río Cardonero se ve cortado casi perpendicularmente. Este peñasco es una masa de sal maciza, que se levanta encima de tierra cosa de cuatrocientos pies, sin rajadas, hendeduras ni capas; y en los alrededores no se halla hieso; tendrá una legua de circuito, y su elevación no es menor que la de cualquiera de las otras montañas circunvecinas. Como se ignora su profundidad, no se puede saber sobre qué materia posa. La sal, por lo común, es blanca desde la cima hasta el pie; pero la ha también roxa, la qual creen los del país que es buena para los dolores... Esta prodigiosa montaña de sal, desnuda de otra cualquiera materia, es única en Europa» (81).

En el tomo 36 de las «Memorias» de LARRUGA nos encontramos con un extraño metal: el blanquillo. «En tiempo del señor Felipe IV y al principio de su reinado, se descubrió en término de Zalamea un metal que llamaron blanquillo». Se pensó utilizarlo para hacer moneda de vellón y subrogarla en lugar de la que corría. Ello dio lugar a una extensa polémica entre el Consejo y la Junta de Minas, sin que se llegara a un acuerdo práctico.

A veces topamos con noticias curiosas. Entre los minerales descritos en la zona de Madrid, hallamos unas piedras llamadas de San Isidro por encontrarse junto a la ermita. No son sino cristal de roca excelente para hacer joyas, pero que no se emplean pues no se sabe hacer más que por procedimientos muy caros. «Dice que estas piedras fueron descubiertas por Jayme TREZZO, guardajo- yas del rey Felipe II, de quien habla Ambrosio DE MORALES en la "Descripción de España", p. 46, y asegura que de dichas piedras labró TREZZO un diamante tabla tan grande como dos uñas del pulgar juntas: y algunos dicen

(80) BOWLES, G.: *Op. cit.*, p. 397.

(81) *Ibidem*, pp. 410-411.

que es el que lleva el Rey en el sombrero, que llaman "el estanque", que valuaron en 156.800 ducados de plata.

«El maestro Enrique Flórez, deseoso de ver si conservaría aquel terreno la matriz, excitó la curiosidad de don Gerónimo Gil, abridor de buril y fundidor de letras, para que procurase hacer este descubrimiento, y, en efecto, lo consiguió; y se labraron algunas piedras, siendo una de ellas la sortija que el Exmo. Sr. Conde de Aguilar presentó a nuestra Serenísima Princesa» (82). Y añade: «Como estamos tan escasos de investigaciones mineralógicas en España, no podemos decir sino lo que consta por documentos y testimonios públicos o por tradición», palabras absolutamente válidas en el día de hoy y que ratifican el estado del estudio de la Minería española en la Edad Moderna.

3. PREOCUPACION DE LA CORONA. LEYES. ORDENANZAS Y DISPOSICIONES

Durante la Edad Media, el pasado esplendor de la minería ibérica cae en el olvido. La fragmentación de la propiedad y la economía medievales no son lo más adecuado para fomentar la industria extractiva. Pero poco a poco la Corona irá tomando conciencia de la necesidad de despertar a la minería del largo letargo en que se encuentra sumida.

El interés y la preocupación de la Corona es, por supuesto, única y exclusivamente de orden fiscal. Ya Juan I en Briviesca, en lo que podemos llamar primeras leyes de Minas, establece los primeros impuestos: deducidos los gastos de explotación, las 2/3 partes serán para la Corona. La cuantía exagerada de este impuesto cierra las fuentes de la riqueza pública que él mismo se proponía agotar en su exclusivo provecho. Aunque la ley aparece en extremo liberal y beneficiosa para la época en que fue dictada, no por ello deja de ser impotente para producir los resultados apetecidos. Es cierto que se otorgan gran cantidad de privilegios, pero no es menos cierto que lo dudoso y azaroso de esos resultados le restan los estímulos necesarios (83).

Cuando entramos en la Edad Moderna vemos que la preocupación de la Corona sigue siendo la misma: recaudación de impuestos. Los Reyes Católicos no se ocupan en ningún momento de la minería peninsular. Bien es verdad que los tiempos no eran propicios para ello. Sin embargo, la primera disposición referente a ello en relación con América es muy temprana. En Medina del Campo dictan una Real Cédula con fecha 5 de febrero de 1504

(82) LARRUGA: *Memorias...*, t. XXXVI, Memoria 158.

(83) PASTOR, Julián, y RODRÍGUEZ, Ramón: *Historia de los impuestos mineros en España*. Madrid, 1878. B. N. 2/48719.

por la que se establece que libremente puedan todos buscar y beneficiar minas de oro, plata, plomo, estaño, azogue, hierro u otro cualquier metal, debiendo pagar a la Corona la quinta parte de lo que se extrajera sin hacer descuento alguno. Para ello se prohíbe hacer uso de los metales hasta haber puesto en ellos el sello o marca real.

Es posible que el éxito minero conseguido en el Nuevo Mundo haga que se descuiden las minas peninsulares, de resultados tan inciertos a pesar del optimismo demostrado por algunos, como cuando nos dice LARRUGA que vamos a buscar fuera de casa la riqueza que entre nosotros nace haciendo lo que con los hombres eminentes: despreciamos lo que tenemos cerca.

Pero las necesidades apremiantes y cada vez mayores de la política del Emperador hacen que no se olviden los posibles ingresos que puedan venir por esta vía. Carlos I no sólo mantiene los impuestos establecidos por sus abuelos, sino que añade algún otro. Julián y Ramón Pastor y Rodríguez nos hablan de dos. El primero sería el 1,5 por 100 en concepto de derechos de fundición, señoreaje y braceaje (impuesto que será confirmado por Felipe III) y el segundo el vulgarmente llamado entonces derechos de «cobos» y que consistía en un 1,5 de la plata en pasta que se labraba. Llamado así, nos cuentan, por haber sido una gracia pedida por don Francisco de los Cobos para sí y su descendencia. El emperador se lo otorga, sin reparar quizá en la cuantía de lo que se le pide. Cuando recapacite le hará renunciar, aunque a cambio de una compensación económica para sus herederos. Se incorporó este impuesto a la Real Hacienda, cobrándose a un tiempo ambos derechos de «quinto y cobos» (84).

Conforme va avanzando el siglo, la preocupación por la minería va creciendo. Felipe II dictará las Ordenanzas que regirán todo lo relacionado con ella durante los siguientes 300 años. Felipe III establecerá una primera Junta en un intento de centralizar todo lo que a minas se refiera. Felipe IV ratificará, ya con carácter definitivo, dicha Junta de Minas; más tarde se incorporará a la Junta de Comercio y Moneda.

Siempre con vistas al mayor beneficio económico, la Corona se preocupa de dar toda clase de facilidades a cuantos tengan algo que proponer para aumentar los rendimientos. En diversas ocasiones ha mandado se escriban y publiquen tratados facultativos que puedan interesar para la labor de minas. Así, encontramos:

— «Sobre los metales», de Bernardo Pérez de Vargas, impresa en Madrid en 1569.

— «Libro de las Reducciones de oro y señoreaje de plata, con las reglas y tablas generales de lo uno y de lo

(84) *Ibidem*. Declaran que esta explicación la han sacado de un manuscrito anónimo de la Biblioteca del Consejo de Estado.

otro», compuesto por Juan de la Serna e impreso en Cádiz en 1620.

— «Tratado de ensayadores», de Juan Fernández del Castillo, impreso en Madrid en 1623.

— El más famoso de todos ellos, «El arte de los Metales, en que se enseña el verdadero beneficio de los de oro y plata por azogue, y el modo de fundirlos todos, y cómo se han de refinar y apartar unos de otros», de Alvaro Alonso Barba, párroco de Potosí, impreso en Madrid en 1640 y después en Indias para el uso de los mineros de allá.

— «Comentarios a las Ordenanzas de Minas, dedicados al Católico Rey Nuestro Señor, Don Carlos III», por don Francisco Javier de Gamboa, publicado en Madrid en 1761.

— «Nueva teórica y práctica del beneficio de los metales de oro y plata por fundición y amalgamación», por don José Garcés y Eguía, dedicado al señor Rey D. Carlos IV, e impreso en Méjico el año 1802.

— «Beneficio común o Directorio de beneficiadores, con reglas ciertas para los negrillos», compuesto por don Fernando Montesinos, impreso en Lima en 1638.

— «El Arte general en que se descubren los medios más eficaces para el beneficio de los metales de plata por azogues, y para su verdadera ejecución se da a conocer los efectos de su naturaleza, para que los colores que mostrasen sus lices se les apliquen los materiales magistrales, para que los metales den toda ley, con nuevas prevenções para su mejor beneficio, que hasta hoy no se han alcanzado, de cuya utilidad hará demostración la experiencia», compuesto por Miguel Rojas, natural de Alba de Tormes, en Castilla la Vieja, y ensayador mayor del Perú.

— «Tratado de la generación de los metales y sus compuestos», por Ramos de Valdárrego, etc.

Todas estas obras, editadas por la Corona para el mayor interés de las ciencias, son de escasa divulgación. Alguna, como la de Alonso Barba, se convierte en una especie de manual del minero, salta nuestras fronteras y es traducido a otros idiomas. Se conocen las ediciones: españolas (1640, 1675, 1680), inglesas (1670 de Lord E. Montagu y 1674), alemana (1676), italiana (1675)... y así 35 ediciones en seis idiomas, siendo citado como modelo de los adelantos técnicos, compartiendo honores con el libro de Jorge Agrícola.

Se fomenta el afán investigador potenciando la puesta en funcionamiento de todos aquellos inventos que puedan parecer útiles, aunque algunos no dejen de ser disparatados. Así, la Real Cédula de 19 de abril de 1615 concediendo al capitán Martín de Ocampo usar durante diez años de un arbitrio de azogue para beneficiar metales por medio de un nuevo y curioso aparato: el barro se amasa con miel para evitar el azogeo al tiempo que ahorrar

combustible (85); o la proposición presentada a la Junta el 22 de septiembre de 1685 por el Maestre de Campo don Julio Banfi para transmutar el hierro en acero fino. Para ello pedía licencia para establecer una fábrica, además de privilegios, exenciones y mercedes. Después de algunos años de dudas, la Junta decide otorgarle lo que pide, que es mucho, quizá debido a que las guerras hacen necesario el acero.

Menos suerte tuvo don Juan Francisco Rodríguez Navarro, minero y beneficiador de metales, que presentó a la Junta un memorial en el que habla de su habilidad para convertir cualquier hierro en acero y «hacer limas y otros instrumentos de este metal, como los que se traen de Milán». Pero la Junta decide que primero tiene que demostrar sus habilidades. El Rey manda que «... la Junta dispondrá que este interesado haga constar primero la transmutación de el yerro en azero, y los ynstrumentos que él nomina y de lo que executare me dará cuenta para tomar resolución...» (86).

En la Gaceta de 9 de junio de 1779 se publica la concesión, a Francisco Malo de Molina, de un privilegio para construir una máquina o molino de viento, destinada a sacar agua de pozos o minas de cualquier profundidad. A propuesta del superintendente de Almadén don Gaspar Soler, se concedió licencia al inventor para que pasara al Establecimiento y construyera allí su máquina, cosa que hizo. ZARRALUQUI tacha a MALO de charlatán e iluso (88).

Otro invento curioso se debe a un carpintero francés, cuyo nombre se silencia, que instaló una noria para el desagüe de la mina almadenense del Pozo y que para ponerse en movimiento necesitaba ¡20 hombres!

O las experiencias de nuevos hornos. Así, el de reverberación que sustituyó a las jabecas (u ollas en que se fundía el metal) en Almadén ya antes de 1645, lo que causa el asombro de Escosura alegando que fue Barba el primer autor de metalurgia que describió estos hornos y su «Arte de los metales» no se publicó hasta 1640.

El horno de aludeles o arcaduces. El primero que funciona en Almadén se inaugura el 25 de octubre de 1646. Lo construye Juan Alonso de Bustamante (que les dará su nombre) a su regreso de Perú, donde funcionan ya normalmente, y cuya invención parece se debe a Lope Saavedra Barba (87). Estos hornos fueron conocidos normalmente como bustamantes.

Ya a finales del siglo XVIII el Consejo de Indias, por Real Orden de 1 de abril de 1796, envía a los ingenieros de Minas don Diego Larrañaga y don Francisco de la Garza a que perfeccionasen sus estudios en el extranjero

(85) A. G. S. Contadurías Generales, núm. 852.

(86) *Ibidem*.

(87) Citado por ZARRALUQUI, *op. cit.*, en nota 194, p. 252.

(88) *Ibidem*, p. 190.

ro, al tiempo que viesan las reformas que aquí se podrían introducir en cuanto a adelantos técnicos observados. En Idria estudian las cuatro clases de hornos que allí utilizaban y las posibilidades de ponerlos en funcionamiento en Almadén.

En 1555 Bartolomé de Medina descubre su método de beneficio mediante el azogue. Del gran éxito de este procedimiento, también llamado «de patio», nos da idea el que, a los siete años de su descubrimiento, sólo en Zacatecas funcionaban 35 haciendas de beneficio con base en dicho método, lo que permitió explotar menas que por su escasa ley no eran aptas para la fundición (89).

El beneficio por amalgamación por el procedimiento de patio era un proceso en frío que constaba de cuatro etapas: a) molienda de las menas de plata con mazos o morteros, completado en molinos o arrastras; b) amasado —los repasos—, con los pies o por caballerías, de la masa molida y humedecida y mezclada con sal, mercurio y generalmente piritas de cobre tostadas (magistral), en tortas extendidas sobre el piso del patio abierto o del cobertizo; c) lavado con agua del material en tinajas provistas de un molinillo agitador, para separar la amalgama de plata; d) por último, desazogado o destilación de la amalgama, generalmente en unos aparatos llamados capellinas, con objeto de liberar la plata y recuperar el mercurio. Este proceso duraba tres o cuatro semanas.

En 1590 A. Alonso Barba inventa, en Bolivia, su célebre «beneficio de cazo y cocimiento», proceso en caliente, como indica su nombre. La amalgamación se realizaba sometiendo la mena, finamente pulverizada, a cocimiento con agua y mercurio hasta su ebullición, en calderas de cobre bien refinado, dotadas de un molinillo para agitar la masa. La ebullición debía conservarse durante todo el proceso, añadiéndose el agua necesaria y avivando el fuego. Este procedimiento reducía a horas los días que exigía el método en frío (90).

BARGALLÓ, en su obra «La Minería y la Metalurgia en la América española durante la época colonial», nos da una relación de mejoras llevadas a cabo por «una serie de inteligentes mineros, obreros, doctores, abogados, sacerdotes, militares...» en relación con el beneficio de amalgamación: Alonso Martínez de Leiva, 1560 en Nueva España; el sacerdote Antonio Boteller en 1562; el minero Juan Capellín, de Taxco, en 1576; Gaspar Ortiz, de Potosí, con su tratamiento de menas y lamas quemadas con salmuera, en 1586; Carlos y Juan Andrea Corzo, mineros de Potosí, con su beneficio con raeduras de hierro que reducía la pérdida de mercurio, en 1587; el bachiller y clérigo Garci Sánchez con sus métodos a base de azufre, en 1588; el mismo Garci Sánchez con un método que utiliza escorias y tierras, que también se atribuye a Domingo

(89) PRIETO, Carlos: «La Minería en el Nuevo Mundo». *Revista de Occidente*. Madrid, 1977, p. 158.

(90) *Ibidem*, pp. 160 y ss.

Gallego; Juan Fernández Montarro, de Potosí, en 1588, con el uso del copapiri y salmuera; Francisco Pacheco y Pedro Poblete, con la amalgamación, previa quema de las menas negrilla con pacos, en Perú en 1602; un franciscano, con el beneficio de tintin; el capitán Pedro Mendoza Meléndez, Pedro García de Tapia y el doctor Berrio de Montalbo, en 1643, con su beneficio de la barrilla en Nueva España; Juan Corrosegarra, de Perú, con el beneficio de la pella de plata en 1678; Lorenzo de la Torre, en Perú, con su beneficio de la colpa, en 1738; el presbítero Juan de Ordóñez, en Pachuca, con un nuevo beneficio de estufas, en 1758 (las estufas se aplicaban en Nueva España ya en el siglo XVI); el abogado José Garcés y Eguía, que perfeccionó el lavado y beneficio de patio en general, en 1799; también habría que citar a Federico Soneschmidt, minerólogo alemán comisionado en Nueva España, que perfeccionó algunos aspectos del beneficio de patio a fines del siglo XVIII.

Pero todos estos inventos o innovaciones no tienen gran repercusión. HUMBOLDT, en su «Ensayo» (91), nos dice a propósito del método de BARBA: «En 1590 ALONSO BARBA propuso la amalgamación en caliente o por cochuras en tinajas de cobre, lo cual se llama beneficio de cazo y cocimiento, y que es el que M. DE BORN propuso en 1786», a lo que apostilla BARGALLÓ «si los metalúrgicos centro-europeos hubiesen prestado la atención de que eran merecedores a los métodos inventados en las Indias, seguramente que el beneficio de amalgamación se habría implantado en Schemnitz o en Freiberg a raíz de la invención de BARBA (1609 a 1616), o tal vez antes, ya que el descubrimiento de MEDINA data de 1555» (92).

A pesar de todo ello, los adelantos técnicos reales en nuestra minería fueron escasos, quedándose rezagada con respecto a la practicada en otros países europeos. Esto es un hecho en el que coinciden todos los comentarios de aquellos extranjeros contratados por la Corona para trabajar aquí. Las técnicas para el beneficio de los metales puede decirse que perduraron durante tres siglos sin apenas modificación desde un punto de vista práctico y económico, a pesar de los adelantos que la química había logrado ya en el siglo XVIII.

Naturalmente será en el XVIII cuando más se note la preocupación por este sector. Los dirigentes ilustrados se interesan por el mejor aprovechamiento de los recursos naturales y para ello han de conocer su situación real. Ya nos advierte BOWLES: «En el siglo en que estamos, se hacen grandes esfuerzos para promover las Artes y conocer las materias que en ellas se emplean. Muchos sabios y hombres instruidos han hecho el giro del mundo para conocer su figura, dilatar el comercio y rectificar la Geografía, pasando para ello riesgos y trabajos increíbles» (93). En este contexto se insertan los viajes de estu-

(91) HUMBOLDT, Alexander von: *Ensayos*, libro IV, XI.

(92) Citado por C. PRIETO, *op. cit.*, p. 162.

(93) BOWLES: *Op. cit.*, p. 14.

dio que realizan los sabios y eruditos, no sólo fomentados, sino financiados y sostenidos por la Corona. Estos viajes, efectuados por los hombres de más prestigio de su época, fueron recogidos con todo detalle en sus obras. Así, la «Introducción a la Historia Natural y a la Geografía Física de España» de Guillermo BOWLES, en la que nos describe toda la Península, subsuelo incluido; el viaje de Antonio de ULLOA y de Jorge JUAN, que parten en la expedición de la Condamine y en el que Ulloa descubrirá el platino, dando cuenta exacta de todo ello en su «Relación Histórica del Viaje a la América Meridional»; Juan Celestino MUTIS y su viaje a Nueva Granada, donde estudió las especies reproductoras de quinina entre otras; RUIZ y PAVÓN a Perú y Chile, y Félix de AZARA a Río de la Plata. Descubrieron especies nuevas y realizaron observaciones importantes, de las que luego aprovechará Darwin para su teoría sobre las mismas. Todos estos viajes culminarían con el periplo de Alexander VON HUMBOLDT realizó por el Continente sudamericano. Sale de Europa el 5 de junio de 1799 a bordo de la corbeta Pizarro acompañado del botánico Aimé BONPLAND. Desde ese momento va anotando todas sus experiencias, que se convertirán, al decir de uno de sus biógrafos, en pasajes de la historia espiritual de Europa. Observa y anota el cielo y los astros, las aguas y tierras, las montañas, la nieve y la lluvia, los grandes y pequeños animales, los hombres y sus costumbres, el clima; todas y cada una de las cosas que ve van quedando anotadas y descritas. Valiéndose de su amplia erudición y su prodigiosa memoria, compara Humboldt sus impresiones y observaciones con las que otros exploradores habían realizado en otros lugares del mundo. En una palabra, incorporó y ordenó el Nuevo Mundo en el acervo cultural europeo, planteando problemas y fijando objetivos que debían proyectarse hacia el futuro. El reunir su material científico absorbió totalmente su vida y su fortuna. La obra que resultó de ello constaba de 20 volúmenes y, a su publicación, costó 2.753 táleros prusianos. Se dice que el propio Humboldt no tuvo dinero suficiente para quedarse con un ejemplar.

Preocupación fundamental de la Monarquía Ilustrada es la de dotar al país de una Marina moderna y fuerte. Para ello potenciará las Reales Fábricas militares y Arsenales. A fines del XVIII encontramos:

- Real Fábrica de armas de fuego portátiles de Plencia, más tarde trasladada a Oviedo.
- Real Fábrica de municiones de Molina de Aragón.
- Real Fábrica de armas defensivas de Tolosa.
- Fundición de artillería de bronce de Sevilla.
- Arsenales de Cartagena y del Ferrol. Más tarde, de Cádiz.
- Real Fábrica de cordería de Jubia (necesidad de planchas de cobre para forrar los fondos de navíos).
- Fábrica de anclas de Marrón (arrendada por la Marina).

Y los establecimientos de Trubia y Sargadelos, de carácter paramilitar.

También habrá de preocuparse seriamente de la Metalurgia y Siderurgia. Ya en fechas muy tempranas, Vizcaya posee una metalurgia importante. «La presencia, en Vizcaya, del mar y de cadenas montañosas con sus rápidos ríos, sus bosques de hayas y sus ricos yacimientos, explica la aparición temprana de una metalurgia importante. Hasta principios del XVIII España vendía aún hierro a Inglaterra, y fue español el hierro con el que los ingleses equiparon los barcos que lucharon en el mar contra las flotas hispánicas» (94).

El beneficio de las minas de hierro de Somorrostro es libre. BOWLES se asombra en su viaje por el Norte: «...a todo el mundo es lícito cavar en ellas, sacar la cantidad de mineral, o vena como allí la llaman, que le parece, venderla o llevarla por tierra o por mar a donde quieren, sin pagar derechos ni usar formalidades...» (95).

Pero no será en Vizcaya, aunque sí en sus cercanías, donde se haga ese primer intento de industria siderúrgica española: la Real Fábrica de Liérganes y la Cavada, en la provincia de Santander. «Los altos hornos de Liérganes fueron los únicos de España —salvada la existencia precaria del de San Miguel de Ronda, a partir de 1730— hasta muy finales del siglo XVIII, y su producción representaba, por tanto, el total de la española de hierro colado y la única posibilidad de hacerse con piezas de determinadas características sin recurrir al extranjero» (96). De ella saldrán los mejores cañones de la época aunque, al decir de Alcalá-Zamora, también serán los más feos.

Emplazada en un lugar ideal, con bosque espeso y agua abundante, esta industria se alimenta del hierro de las minas cercanas de Pámanes, Sobarzo, Cabarceno, Montecillo y, sobre todo, de las de Vizcaya y Somorrostro. «Asimismo intervino la Cavada en el aprovechamiento de las venas de Somorrostro, cuya mezcla con las de Santander era esencial para una buena carga de los hornos. Las célebres minas bilbaínas son muy antiguas; los técnicos de las fábricas de fundición se limitaron a proponer y realizar algunas reformas, en especial en el sector de Jarrezuela, donde Wolfgang de Muncha (97) aplicó métodos más modernos de explotación durante el período que estuvo a su cargo» (98).

Pero la intensiva explotación de las minas entraña un peligro que en esta época empieza a ser preocupante: la deforestación. La degradación enorme de los montes, al ser la madera la primera fuente de energía —BRAUDEL

(94) BRAUDEL: *Op. cit.*, t. I, p. 329.

(95) BOWLES: *Op. cit.*, p. 327.

(96) ALCALÁ-ZAMORA, y QUEIPO DE LLANO, J.: *Historia de una empresa siderúrgica española. Los Altos Hornos de Liérganes y La Cavada, 1622-1834*. C. S. I. C. Santander, 1974, p. 18.

(97) Wolfgang de Muncha, ingeniero austriaco que dirigió la Fábrica en los últimos años del siglo XVIII.

(98) ALCALÁ-ZAMORA: *Op. cit.*, p. 23.

lo denomina la «civilización de la madera»— es un mal generalizado. «En Wieliczka (Polonia), a partir de 1724, hubo que renunciar a tratar con fuego las salinas de su enorme mina y contentarse con la explotación de los bloques de sal gema, por el desmonte de los bosques circundantes» (99). Es la industrialización que, tímidamente, va haciendo acto de presencia. «Los historiadores saben que el retroceso del árbol jalona los avances de la agricultura medieval y que la aniquilación del mismo, sobre todo en zonas forestales ricas, advierte en los tiempos de un probable proceso de industrialización y de crecimiento económico. Inglaterra y Francia vieron destruidos muchos de sus arbolados en los siglos XVII y XVIII. HAMILTON (*War and Prices in Spain*) propuso como síntoma del retraso español respecto a las dos naciones occidentales la mejor conservación de los bosques peninsulares. P. VLAR (*La Catalogne dans l'Espagne Moderne*) le replicó, dudando de la validez universal de la hipótesis para la que, por lo menos, constituía excepción Cataluña en el siglo XVIII» (100).

Y ello es causa de grave preocupación para la Corona. Ya desde las primeras Ordenanzas de Felipe II, se reiteran las prescripciones encaminadas a mantener y repoblar los montes. Las Reales cédulas se suceden —muestra evidente de que no se acatan— ante el temor y la alarma del avance de la deforestación. Se dictan medidas energéticas «para poner los montes en la buena forma que es menester y restablecer la que tuvieron siempre». Y algo se debió conseguir, aunque no fuese mucho. Jovellanos da su impresión en el viaje que realizó para visitar las minas del Norte de España, comisionado por S. M.: «Todo el camino (de Bilbao a Zornoza) es por montes excepcionalmente cuidados y por lo común jóvenes, prueba de que se ha plantado y replantado mucho, de que se ha gastado mucho carbón, y de que éste vale mucho...», o bien: «Hay por todo el camino mucho arbolado, pero nuevo y bien cuidado (de Zornoza a Durango)» (101).

Preocupación primordial durante la Ilustración fue la educación y la enseñanza. Para un ilustrado, la educación era fuente de felicidad. Para Jovellanos eran múltiples las fuentes de prosperidad social, pero todas tenían un mismo origen: la instrucción pública (102). Los déspotas ilustrados, preocupados por la felicidad y el bienestar de sus súbditos, se dedicaron de lleno a la tarea de elevar su nivel cultural. Manifestación muy significativa de este espíritu ilustrado será la aparición de múltiples entidades dedicadas al fomento de las artes y de las ciencias. Unas patrocinadas por la Corona, otras de carácter meramente privado. Entre estas últimas tendrán una im-

(99) BRAUDEL: *Op. cit.*, t. I, p. 315.

(100) ALCALÁ-ZAMORA: *Op. cit.*, pp. 43-44.

(101) JOVELLANOS G. M.: *Diarios*. Instituto de Estudios Asturianos. Oviedo, 1953, p. 167.

(102) JOVELLANOS: *Memoria sobre educación pública, o sea, tratado teórico práctico de enseñanza, con aplicación a las escuelas y colegios de niños*. B. A. E., LI, p. 230.

portancia fundamental las Sociedades Económicas de Amigos del País. La más antigua de todas ellas, la Sociedad Bascongada de Amigos del País, se organizó en Vergara en 1764. Pronto iba a ser imitada en muchas regiones. Pero será precisamente la Bascongada la que más interese a nuestro tema, ya que desde su fundación pone especial interés en todo lo relacionado con el laboreo de minas y la metalúrgica, sobre todo del hierro, como demuestra el hecho de que, ya en los títulos IV y V de sus Estatutos (1773) se incluyen unas reglas que tratan de las comisiones de ciencias y artes útiles, de industria y comercio. Dan premios a los que sobresalen en el arte de la ferrería; publican en los «Extractos» de sus Juntas todas las noticias que juzgan importantes relativas a minas, tanto de España como del extranjero; pensionan alumnos que vayan a estudiar minería en los países más adelantados en este campo (entre ellos se encontrarán los hermanos Elhuyar); traen profesores extranjeros. Todo ello culminará con la fundación en Vergara de un Seminario que pronto alcanzó gran relieve, hasta el punto de que, por Real Cédula de 26 de marzo de 1778, se establecen en él varias cátedras de química, mineralogía y metalurgia, dotadas por el Rey con 30.000 reales para sueldo de profesores. En ese mismo año llegarán a Vergara los ilustres profesores Francisco CHABANEAU y Luis José PROUST, sabios eminentes que iban a tener gran influencia en nuestro país.

Otro establecimiento que contó con escuela de mineralogía, metalurgia, matemáticas y dibujo fue la Real Fábrica de la Cavada, escuela floreciente a finales del siglo XVIII, que desapareció al abandonarse la fábrica.

En 1785 don Antonio Valdés Bazán, secretario del Despacho de Marina, crea el Cuerpo de Ingenieros de Marina. Las necesidades bélicas requieren armas y barcos eficaces. Para conseguirlos se necesita la adopción de nuevas técnicas entre las que se contaba con la utilización del coque para la fusión del mineral de hierro.

El Real Instituto Asturiano de Náutica y Mineralogía, creación de Jovellanos, citado por Gonzalo Anes como máximo exponente, en España, de la exaltación de las «ciencias útiles», habría de ser «la enseñanza elemental de las ciencias exactas y naturales» dirigidas al estudio de la náutica y la mineralogía (103).

En 1789 propone Jovellanos al Rey la creación en Gijón de una escuela dedicada a la enseñanza de la mineralogía. No lo logró inmediatamente e incluso recibió algunas críticas, llegando Casado de Torres a decirle que no concebía cómo un hombre tan patriótico y abierto había podido pensar «en el monopolio de este comercio (el carbón) en favor de Gijón», a lo que Jovellanos razonó diciendo que no era su intención favorecer por demás a

(103) ANES ALVAREZ, Gonzalo: «El interés por la Minería en la España de la Ilustración». *Bicentenario del descubrimiento del wolframio por los hermanos ELHUYAR*. 1783-1983. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid, 1983.

su pueblo, sino que Gijón era el puerto más conveniente para las minas de carbón más importantes que eran las de Siero y Langreo (104). Por fin el Rey firmará las Ordenanzas, cuya copia llegó a Oviedo —donde está Jovellanos— el 1 de enero de 1794. La solemne inauguración y los festejos organizados durarán varios días. Hay distribución de aguinaldos, repique de campanas y salvas de artillería. Por la noche Te Deum e iluminación general «En las primeras (ventanas) estaba repartida la siguiente inscripción: "Carlos IV, protector de las ciencias — padre y delicia de sus pueblos — funda en Asturias y establece en Gijón — un Instituto de Náutica y Mineralogía — para enseñar las ciencias exactas y naturales — para criar hábiles mineros y diestros pilotos — para sacar del seno de los montes el carbón mineral — para conducirlo en nuestras naves a todas las naciones"» (105). En seguida comienzan los estudios de las matemáticas. Al año siguiente los de náutica, y los de mineralogía en enero de 1796.

Pero, sin lugar a dudas, las dos instituciones que marcan el cénit del interés y preocupación de la Corona por el saber en la rama de minas serán las que fundó S. M. Carlos III a ambos lados del Atlántico: la Escuela de Minas y el Real Colegio de Minería, pioneras en el mundo junto con la Academia de Freiberg, que fue la primera, fundada en 1767, Schemnitz en 1770 y San Petersburgo en 1772. La de París, posterior a la española, fundada en 1778. La de Londres no se inaugurará hasta 1851.

La Escuela de Minas no nace en Madrid sino, como bien cabe suponer, en Almadén, la joya de nuestra minería, en palabras de Maffei.

Cuando llega Bowles a Almadén en 1753 encuentra unas minas que nada tienen que ver con las que la leyenda ha descrito. La ruina que las amenaza le hace aconsejar sobre «la necesidad de personas que supiesen dirigir las minas con más seguridad y utilidad de lo que lo hacían los naturales». Como consecuencia de ello se trae de Alemania a don Carlos Henning Koehler (primer director alemán) con el ánimo de que enseñase a los mineros españoles los sistemas de trabajo utilizados en Sajonia. A su muerte, ocurrida en julio de 1757, nombran como director interino a don Enrique Cristóbal Storr, «ingeniero subterráneo del centro». En esos momentos ya se han cumplido los dos años del incendio que amenaza la ruina total de la mina. Storr logra dominarlo, consiguiendo en seguida elevar la producción de azogue. Como premio recibe el nombramiento de director en propiedad por Real Cédula de 14 de julio de 1777. En ella se le asigna la obligación de enseñar matemáticas, geometría subterránea y mineralogía. Esta Real Cédula se puede considerar como el acta fundacional de la Escuela de Minas española. En un principio constará de una sola cátedra y un solo profesor. La Real Orden de 13 de marzo de 1778 mandó que se destinasen a la Escuela de Almadén, costeados por la

(104) JOVELLANOS: *Diarios*, p. 325.

(105) *Ibidem*, p. 369.

Real Hacienda, seis estudiantes de matemáticas de Madrid y Barcelona, con un salario de 12 reales diarios. Será la primera promoción de ingenieros de minas. Sus nombres: Francisco Carlos de la Garza, Andrés José Rodríguez, Pedro Palacios Ximan, Pedro Subiela, José Cherta y Carlos Buxo.

En 1785 se instalan los alumnos en el edificio construido para Academia. Allí fue evolucionando la enseñanza minera hasta que los acontecimientos de 1810, con la entrada de los franceses en Almadén, puso en peligro su existencia. Pero siguió abierta hasta que los sucesos políticos de 1820 obligaron a cerrarla. Y éste hubiese sido el fin de la Escuela fundada por Carlos III, si no hubiesen ocurrido una serie de acontecimientos. Con la emancipación del Virreinato de Nueva España, don Fausto de Elhuyar regresa a la Península. Aquí es nombrado Director General de Minas. Una de sus preocupaciones primordiales será devolver a la Academia de Almadén el rango que le corresponde, y lo tendrá muy presente cuando elaborare la nueva Ley de Minas de 1825. El Real Decreto de 23 de abril de 1835 manda establecer la Escuela de Ingenieros de Minas en Madrid, en la misma casa que ocupa la Dirección General en la calle del Florín, número 1, dejando la de Almadén como escuela práctica. En el verano de 1860 se trasladarán a la Plaza del Conde de Barajas, número 8, a un inmueble propiedad del duque de Fernán-Núñez, pero el 21 de marzo de 1879 han de interrumpirse las clases por amenaza de hundimiento. Siguen las mudanzas hasta que en 1884 se consigue autorización para comprar un solar en la calle de Ríos Rosas donde se levantará el edificio cuyo proyecto fue encomendado al arquitecto Ricardo Velázquez, terminándose las obras en 1894.

El Real Seminario de Minería de Nueva España iniciará su andadura en 1792. Las Reales Ordenanzas que Carlos III expidió en 1783 disponen en su artículo 18 que el Real Tribunal General ha de erigir un centro donde se impartan las enseñanzas de ciencias matemáticas y física experimental, artes mecánicas, mineralogía y metalurgia, y que otorgará el título de peritos beneficiadores «para que las minas puedan trabajarse con acierto y seguridad y conseguir completamente el logro de sus riquezas». El número inicial de alumnos fue de «veinticinco niños españoles o indios nobles de legítimo matrimonio, siendo siempre preferidos los parientes o descendientes propios de mineros, principalmente aquéllos cuyos padres estuviesen vecindados en los Reales de minas», dando entrada libre e instrucción gratuita a todos cuantos quisiesen asistir a las lecciones y admitiendo a pupillaje a los que pagasen su manutención. Las Ordenanzas expresan que este Colegio recibirá el título de Real Seminario de Minería.

Pero el cumplimiento de este artículo se demora. Los apremiantes problemas que se van planteando distraen la atención del Director General del Real Cuerpo de Minería don Joaquín Velázquez Cárdenas de León.

El 19 de octubre de 1789 se nombra Virrey de Méjico al conde de Revillagigedo. Hombre eficaz, cabal y honra-

do, dispuso inmediatamente que se buscara solución rápida a todos los problemas pendientes; uno de ellos era la fundación del Real Seminario.

Don Fausto Elhuyar, personaje señero de nuestra minería y descubridor del wolframio, nuevo Director General de Minas, maduró un plan que presentó ante el Real Tribunal el 12 de enero de 1790. Este plan fue aceptado e inmediatamente comenzaron las disposiciones para tratar de hallar el lugar donde ubicar lo que iba a ser el primer Real Seminario. Fue la casa número 19 de la calle del Hospicio de San Nicolás, perteneciente a la Orden de los Agustinos Descalzos de las Islas Filipinas. El primer día del año de 1792 se efectuó la fundación solemne del Colegio. De España llegó el profesor de matemáticas don Andrés José Rodríguez y de lengua francesa don Mariano Chanin; la Academia de San Carlos de Méjico proveyó las cátedras de dibujo con don Esteban González para planos lineales y geográficos y don Bernardo Gil para dibujo figurativo; la Física quedaba a cargo de un minero mejicano, don Francisco Antonio Bataller, quien había ejercido como maestro en el madrileño Real Colegio de San Isidoro. Para este primer año habían solicitado plaza seis jóvenes filipinos que, luego de formarse en las ciencias de la minería, habían de regresar a su tierra.

Casi de forma simultánea Fausto Elhuyar hace gestiones para encontrar el lugar donde levantar el definitivo Colegio, ya que la casa del Hospicio de San Nicolás no resulta en absoluto adecuada. Lo encontrará en el solar llamado de Nilpantongo, perteneciente a la Real Academia de San Carlos, quien lo venderá al Tribunal por 30.000 pesos. El 22 de mayo de 1797 Manuel Tolsá daría comienzo a su, sin lugar a dudas, obra cumbre que en sólo dieciséis años estaría levantada. El 3 de abril de 1813, con el edificio ya ocupado, se hizo la última anotación en el libro de la obra: el Palacio de Minería, considerado en su género el edificio más bello y más importante de América —al decir de sus ex-alumnos— estaba concluido.

4. LA REVOLUCION INDUSTRIAL Y EL AUUGE DEL CARBON Y EL HIERRO

La revolución científica experimentada durante el siglo XVII produce unos cambios profundos en las estructuras sociopolíticas y económicas europeas. Los Estados se modernizan. El aumento de la producción y el crecimiento económico serán lentos pero firmes. Las Luces estimulan el interés por las Ciencias y los métodos científicos. El optimismo nacido de la revolución científica hace creer al hombre que la técnica puede vencer a la Naturaleza. Se prepara la primera revolución industrial, que aparecerá en Inglaterra a mediados del siglo XVIII con las primeras invenciones en el campo de la industria textil lanzadera volante de Kay en 1733, telar hidráulico de Arkwright en 1769, la hilandería mecánica de Crompton

en 1779 y el telar automático de Cartwright en 1787— y la aplicación de las máquinas de vapor —la de Newcomen en 1712 y la de Watt en 1765— que hacen posible el uso de potencias muy superiores a las disponibles hasta ese momento. Pero la importancia del carbón de Newcastle en Inglaterra es muy anterior. Ya desde 1627 conocen la fabricación del coque que es, incluso, objeto de un privilegio y la primera combustión del carbón mineral en el Derbyshire data de 1642-1648 (106).

La mecanización de la industria incrementa la demanda de carbón, hierro y acero, que comienzan a ser utilizados sistemáticamente en sustitución de la madera. La extracción de carbón se efectúa todavía de forma primitiva, bajo condiciones siempre peligrosas y con resultados escasos. El peligro de explosión no se verá reducido hasta la invención de la lámpara de seguridad de Sir Humphrey Davy en 1815. Los primeros intentos de mecanizar el arranque del carbón también se darán en Inglaterra: en 1761 Menzies construye una máquina movida por caballerías. Los nuevos métodos para detectar la presencia de monóxido de carbono y grisú; la ventilación de las minas; los sistemas de desagüe; todos los adelantos se encaminan hacia la consecución de una mayor seguridad. La gran minería del carbón está en marcha.

A principios del XVIII la producción de hierro era primitiva, limitada y muy cara. Su obtención por medio de carbón vegetal necesitaba enormes cantidades de madera. En 1709, un siderúrgico inglés, Abraham Darby, utilizó por primera vez coque en vez de carbón vegetal para obtener hierro, pero el producto resultante (arrabio) era poco maleable y con alto contenido de carbono. En 1760 John Smeaton inventó un horno alto. En 1784 Henry Cort perfeccionó un horno de reverbero para pudelado, capaz de mantener una temperatura constante lo suficientemente baja como para mantener el producto siderúrgico en estado pastoso; también desarrolló los primeros trenes de laminación. Aunque el más grande de aquellos primeros siderúrgicos fue John Wilkinson, quien contribuyó enormemente al desarrollo de maquinaria de hierro, sobre todo con su método de fabricación de cilindros. En 1779 se construyó el primer puente de hierro fundido sobre el Severn; en 1790 era botado el primer barco de hierro.

Esta expansión de la producción de carbón y hierro fomentó el desarrollo de nuevos procesos para la conversión, a gran escala, del hierro en acero. A principios del XVIII el acero se producía todavía por el proceso lento y arcaico de eliminación de las impurezas de hierro fundido en cajas de arena. La introducción de nueva maquinaria requería más acero, cuya resistencia era 20 veces mayor que la de la madera, 10 veces mayor que la de la piedra y 5 veces mayor que la del hierro fundido. En 1859 Henry Bessemer revolucionó la industria del acero al desarrollar el proceso que lleva su nombre, basado en el

(106) BRAUDEI: *Op. cit.*, p. 319.

empleo de un chorro de aire para oxidar y eliminar las diversas impurezas del hierro fundido. Por las mismas fechas Williams Siemens y Pierre Martin introdujeron el horno de reverbero para la producción de acero. Estos procesos eran tan eficaces que el acero sustituyó al hierro en la industria moderna.

Pero salgamos de Inglaterra. En España, aunque muy despacio, también se va introduciendo un nuevo sentido de la economía minera. Los metales industriales —quizá por ser más abundantes, seguro que por ser más necesarios— van desplazando a los metales preciosos. Como dice J. NADAL, los intereses mineros y los industriales no se presentaban como antagonicos sino como complementarios. Perdidas las colonias, el oro y la plata, que simbolizan la riqueza, debían buscarse en el fomento de las manufacturas y para ello era imprescindible contar con el combustible que las alimenta (107). «Porque no se ha de creer que el oro y la plata deben formar exclusivamente la riqueza metálica (o, por hablar con más exactitud, la industria metálica, puesto que generalmente se dice que estas materias no son verdadera riqueza sino ramo de industria); antes bien estriba principalmente en los otros minerales que sirven mejor para las artes fabriles y mecánicas indispensables para el cultivo, para la edificación y para los menesteres de la vida culta: singularmente el hierro, que abre el seno fecundo de la tierra y la fuerza a darnos el sustento diario; el cobre que se emplea en los usos más útiles de los talleres y fábricas; el plomo, el acero y finalmente el carbón de piedra que, en el día, después de la perfeccionada invención del vapor, debe considerarse como uno de los artículos más conducentes a la prosperidad y riqueza general, pudiendo decirse que la nación que posea más combustible, será quizá la más rica» (108). Párrafo que resume, de forma contundente, el sentir del momento.

España se estimaba entonces muy rica en carbón. El subsuelo peninsular encierra grandes masas de carbón, pero de momento no rinden. Durante prácticamente toda la Edad Moderna los esfuerzos y anhelos de la Corona se han volcado en la minería indiana de los metales preciosos y en el mercurio de Almadén, dejando un poco abandonado el resto. Entramos en el siglo XVIII con una minería hullera que empieza a despertar, enormemente retrasada con respecto a la inglesa. «La hulla, que puede llamarse agente de la luz y de la misteriosa fuerza del vapor, no era conocida en nuestro suelo cuando ya se la utilizaba para mil objetos en los países vecinos, que la trabajaban desde el siglo XIII, pues sus manifestaciones más remotas datan de 1742 en que se concedió el primer permiso para beneficio del carbón en Villanueva del Río (Sevilla) a favor de D. Juan Ledis, que no pudo llevar

(107) NADAL, Jorge: *El fracaso de la revolución industrial en España, 1864-1913*. Editorial Ariel. Barcelona, 1975, página 127.

(108) GONZÁLEZ, Tomás: *Registro...*, p. VIII.

a efecto la explotación pues los pueblos de las inmediaciones se opusieron tenazmente por creer perjudicial para la salud el uso de ese combustible. Diecinueve años más tarde, esto es en 1761, y a consecuencia de un informe de la Junta de Comercio, Moneda y Minas, se concedió licencia para beneficiar aquellos criaderos a D. Antonio de Aguirre y Cía.» (109). De estos mismos yacimientos encontramos otras cuatro solicitudes entre los años 1768-1770. Una de ellas dio lugar, al ser aprobada, a la formación de una Cía. que no debió tener mucho éxito, ya que a partir de 1773 comienza a llegar a Sevilla el carbón inglés, más barato y de mejor calidad.

Por los mismos años comienza la extracción de los lignitos de la zona de Teruel, el carbón del yacimiento de las Rozas de Valdearroyo en Santander y el de los yacimientos de la provincia de Barcelona en cantidad suficiente para atender a las fraguas vecinas. GONZALO ANES calcula que la producción total española de carbón de piedra podría ascender, hacia 1789, a unas 5.000 toneladas métricas anuales (110).

Pero, naturalmente, esta cifra resultaba a todas luces insuficiente y la Corona y los ilustrados se dispusieron a poner en orden este sector. El carbón de piedra no era considerado metal ni semimetal, por lo que no estaba comprendido en las leyes de minas que derivaban del Ordenamiento de Alcalá ni posteriores. JOVELLANOS era partidario de la total libertad de aprovechamiento del carbón y que cualquiera pudiese buscarlo y explotarlo en su beneficio, siempre que lo hiciese en su propiedad o mediante un acuerdo previo con el dueño del terreno (111). Se dicta la ley de 20 de mayo de 1780 concediendo privilegios y franquicias a los eventuales explotadores de las dichas minas de Villanueva del Río o de cualquier otro punto de España. La necesidad de estas explotaciones de carbón de piedra se debe a «la escasez de montes y aumento del consumo de leñas que padecía el país (Novísima Recopilación: Ley I, Tít. XX, Libro IX). La duración de las franquicias era de 20 años. Pero esta Real Cédula no deja en claro el derecho de propiedad, ni cuál es la parte que corresponde al dueño del terreno y cuál al descubridor. JOVELLANOS aconseja al Rey «se digne expedir otra que pusiese más en claro el derecho de sus vasallos» (112).

El 26 de diciembre de 1789 se promulgan las reglas para el beneficio del carbón de piedra, célebres por exceptuar a éste del principio general de la regalía minera y declarar, por el contrario, libre su beneficio, tráfico y exportación. Este régimen se confirmó por la ley de 24 de agosto de 1792, que dispuso una serie de medidas

(109) ALDANA, Lucas de: *Consideraciones generales sobre la industria hullera de España*. Madrid, 1862, p. 5.

(110) ANES, G.: *Op. cit.*, p. 58.

(111) JOVELLANOS: *Informe sobre el beneficio del carbón de piedra y utilidad de su comercio*. B. A. E., L.

(112) *Ibidem*.

encaminadas a hacer efectivos la explotación y tráfico del combustible: creación de una escuela minera en Asturias, otorgamiento de primas a los buques españoles que hiciesen un mínimo al año de dos viajes con carbón de un puerto a otro de la Península, promesa de mejorar los transportes terrestres y fluviales, etc. En prueba de que la preocupación que sentía desbordaba el estricto marco legislativo, Carlos III comisionó en 1789 a Jovellanos para que fuese a su patria asturiana a «promover el comercio y cultivo del carbón de piedra» (113).

En fechas anteriores, convencido de la importancia creciente del carbón de piedra, el Consejo de Castilla recomendó a las Sociedades Económicas de Amigos del País que prestaran atención a los posibles yacimientos. Algunas lo hicieron. La Bascongada creó el Real Seminario de Vergara, donde se impartieron las primeras clases de mineralogía y donde los hermanos ELHUYAR consiguieron aislar un nuevo metal, el wolframio, dando cuenta a la misma en la Junta general inaugurada en Vitoria el 28 de septiembre de 1783. Otras Sociedades se dedicaron a prospecciones: la de Tárraga dará cuenta del descubrimiento de una mina de carbón en las inmediaciones de la villa; la de Baza denunciará dos minas, también de carbón, en 1786 (114).

Pero las necesidades bélicas del momento exigían de las Reales Fábricas armas y pertrechos. Ello hacía necesaria la utilización de las nuevas técnicas metalúrgicas. El carbón se hacía imprescindible para la fusión del hierro. El Secretario del Despacho de la Marina, D. Antonio Valdés Bazán, comisiona al capitán de navío D. Francisco Casado de Torres para que girase una visita a los lugares de los yacimientos e hiciese un informe. Este recomendó convertir en coque el carbón e impulsar las prospecciones en Asturias. «Las minas de Langreo quedaron bajo la jurisdicción de la Marina; y la llamada «Empresa del Nalón» y la Cavada tuvieron mucho tiempo un funcionamiento coordinado. Esta última presionó para que Langreo elaborase coque y realizó los primeros experimentos importantes efectuados en España con el objeto de fundir en horno alto con el célebre "coak" o "cuac" a partir de 1793» (115). Pero el intento de fundir cañones con el coque procedente de Asturias en los hornos altos de la Cavada resultó un fracaso por no alcanzar el punto de fusión de la mena, como también fue un fracaso utilizar carbón en los hornos de Trubia. JOVELLANOS nos lo explica. En mayo o abril de 1796 «se dio fuego a un horno alimentado al cok procedente de Langreo; pero ya fuese por falta de práctica de los obreros, ya por la mala calidad del combustible, o quizá por la poca inteligencia en la fabricación del cok, es lo cierto que este ensayo no tuvo buen resultado» (116). En 1797 no se había logrado

(113) NADAL: *Op. cit.*, p. 125.

(114) A. H. N. Consejos Suprimidos, leg. 3658, exp. 11.

(115) ALCALÁ-ZAMORA: *Op. cit.*, p. 23.

(116) JOVELLANOS: *Informe sobre el carbón...*, p. 252.

todavía «una sola bomba» y sí sólo unos «pocos y malos lingotes, acaso tan costosos como si fueran de plata». En 1798 se envió a Francisco Datoly a Le Creusot con el fin de que aprendiera los modernos métodos de fundición y luego pudiera enseñarlos aquí, pero tampoco esta misión se vio coronada por el éxito. Agotadas todas las posibilidades, los hornos de Trubia hubieron de apelar al carbón de leña, que se empleó hasta 1808 en que, con la invasión francesa, cesaron los trabajos (117).

Sin embargo los yacimientos asturianos eran suficientes para servir la demanda. JOVELLANOS dice que se extraía todo el carbón necesario para los reales arsenales, todo lo que pedían en los puertos del Reino y cuanto querían cargar los buques de otros países, como ya había sucedido con algunos de Portugal y Filadelfia, así como lo que consumían las manufacturas locales y algunos pocos hogares que empezaban a utilizarlo. Si no se sacaba más, era porque nadie lo quería, ya que había cuanto se quisiese, y además de buena calidad. Casado de Torres, en conversación con JOVELLANOS, afirma que el resultado de sus análisis los hacía muy superiores a los de Newcastle, aunque en general halla que «no son muy anchas nuestras minas» (118).

A la ineficaz explotación hay que añadir el transporte del carbón, caro y sobre todo difícil. Es esclarecedora una frase de los Diarios de JOVELLANOS, en que nos habla de un minero: «... el cual sacó una porción (de carbón), parte de la cual se llevó en chalanas a Ribadesella y parte existe sin conducir. Dicese que es excelente pero que la conducción es cara...» (119). Se saca poco y se abandona parte porque la conducción es cara. Para solucionar el problema se estudia la posibilidad de hacer navegable la red fluvial (Nalón, Aller y Trubia) para el transporte de los carbonos.

Casado de Torres, encargado del proyecto, tiene conciencia de lo costoso de la obra; por ello afirma que es suficiente con abrir el paso del Nalón desde Sama a Pravia en un primer momento. Son 12 leguas y la obra es fácil, «se reducirá a estrecharle con estacas, limpiando el cauce que se formare, pues debe ser capaz para una chalana yente y otra viniente, y éstas deben tener 16 pies de manga» (120).

Por vía terrestre las dificultades de transporte se multiplican, ya que los yacimientos se encuentran en terrenos poco accesibles, donde las vías de comunicación, ya de por sí deficientes y peligrosas, no llegaban en absoluto.

Esta dificultad del transporte abortó la posibilidad de la comercialización del carbón, aunque J. NADAL dice que fue sobre todo la falta de demanda. «El país no estaba

(117) NADAL: *Op. cit.*, p. 125.

(118) JOVELLANOS: *Diarios*, p. 323.

(119) *Ibidem*, p. 124.

(120) *Ibidem*, p. 324.

preparado para el cambio. El nuevo combustible contaba con escasísimos adeptos, prevaleciendo los prejuicios opuestos a su empleo. Las manufacturas, igual que los hogares, permanecían aferrados al carbón tradicional de leña. El ejemplo de lo que ocurría en otras latitudes, especialmente en Inglaterra, hacía poca mella en el ánimo de los peninsulares» (121).

Sin embargo, la extracción de mineral sigue adelante. Pero se intenta su aprovechamiento en las inmediaciones de los yacimientos. El hierro abunda en la Península. BOWLES dice de él que «es el más útil de todos los metales y también el más común. No hai provincia en España que no tenga a lo menos una mina en capas de hierro blando, acarreado por las aguas...» (122). Esto no obstante, el principal centro extractor de hierro de la Península se localiza en la cuenca Norte por la abundancia de los yacimientos, su superior calidad y, sobre todo, su privilegiada situación de cara a los grandes mercados extranjeros. Bilbao sobre todo ha gozado de una situación ventajosísima a causa de la especial riqueza de sus menas, la baratura de la explotación, la proximidad de la ría y la solicitud prestada por sus poderes públicos (123).

Empiezan a erigirse, además de las Reales Fábricas y Arsenales, pequeñas fábricas e industrias particulares. Así una fábrica de acero en Alcañiz en 1798, que utilizaría los lignitos como combustible; una fábrica de trefilería de acero en 1801, también en Alcañiz; una fábrica de ferreteria en San Juan de las Abadesas, cerca de los yacimientos de hierro catalanes, etc. Pero la guerra de la Independencia vino a truncar la mayor parte de estas iniciativas.

Pero el carbón había penetrado en la economía y la gente se interesaba en su búsqueda. «El verdadero oro y plata de España, todo en una pieza, las verdaderas minas que tenemos que beneficiar, si queremos tener oro y plata; y la gran palanca a que tenemos que aplicar la mano, si deseamos mover de un impulso todos los ramos principales de industria, es ese negro, feo, despreciado pero preciosísimo mineral que llamamos hornaguera o carbón de piedra. Combustible ha de ser el elemento de nuestra felicidad, éste es la base de toda nuestra industria y éste la tabla de nuestra salvación política» (124). Y en busca

de ese tesoro se cava el suelo. El derecho de propiedad sobre yacimientos favoreció la prospección, aunque la gran parcelación hizo que los costes fuesen elevados. Sin embargo la producción fue en aumento aunque siempre dirigida sólo a cubrir la demanda local, ya que las dificultades de transporte impidieron que se crease un mercado nacional. Pero las dificultades por las que atraviesa Hacienda y las guerras con Inglaterra impiden que las empresas se modernicen, con lo que las cifras de producción quedan estancadas a partir de 1805 (125).

La Ley de Minas de 1825 vendrá a cambiar las cosas. Al declarar que pertenecían a la Corona todos los yacimientos de minerales del Reino, se terminó con la situación de privilegio en que estaban los de carbón de piedra. Se definió rígidamente el derecho de propiedad sobre las minas al atribuírselo a la Corona. Comenta G. ANES que si se hubiese mantenido la propiedad particular, se hubiera formado un mercado de recursos mineros explotables, con su sistema de precios que orientaría la conducta de los empresarios que se dedicasen a la explotación. No fue así, y este papel lo jugó la política de concesiones seguida por la Corona, para la que empleó procedimientos discrecionales con un efecto distinto al que hubiera resultado de utilizar el sistema de precios (126).

En el momento cumbre de la revolución industrial, cuando la demanda de cobre comienza a multiplicarse gracias a la introducción de la electricidad en las comunicaciones humanas desde 1837 y sobre todo a las necesidades del ácido sulfúrico que la nueva química inglesa emplea en la obtención de sosa cáustica y fertilizantes agrícolas; cuando el convertidor Bessemer para la obtención del acero hace que la siderurgia británica se vuelque sobre las reservas vizcaínas, más baratas y de menor contenido en fósforo, «la minería (hispana), en manos indígenas desde su despertar, cayó en manos extranjeras a partir de la ley minera de 1869. De entonces en adelante, coincidiendo igualmente con la gran depresión, la riqueza del subsuelo se convirtió en un simple enclave exterior (expresión empleada por N. SÁNCHEZ ALBORNOZ en "España hace un siglo", p. 143), dependiente del Reino Unido y de Francia» (127).

Gregorio González Azaola, Comisionado por S. M. en las Reales Fábricas de la Cavada. Imprenta de David. París, 1829. Citado por NADAL, p. 128.

(125) ANES, S.: *Op. cit.*, p. 69.

(126) *Ibidem*, p. 73.

(127) NADAL: *Op. cit.*, pp. 52-53.

(121) NADAL: *Op. cit.*, p. 124.

(122) BOWLES: *Op. cit.*, p. 32.

(123) NADAL: *Op. cit.*, p. 115.

(124) *Hornaguera y hierro. Verdadero recurso poderoso que le queda a España para recuperarse de tantas pérdidas como ha sufrido en los últimos 200 años...*, por don

Noticias

PRESENTACION DE «LA MINERIA EN EXTREMADURA»

El día 19 de marzo de 1987 se procedió, por la Junta de Extremadura, a la presentación del libro de «La Minería en Extremadura» en la Feria de Muestras de Don Benito (FEVAL) con motivo de la inauguración del Certamen Monográfico de Piedras Naturales (PINAT), celebrado del 19 al 22 de marzo.

Este libro, realizado por la propia Junta de Extremadura, fue encargado por ésta al Instituto Geológico y Minero de España durante 1986, y puede considerarse como uno de los resultados de la íntima colaboración que ambos Organismos vienen manteniendo desde 1984, año en que se firmó un Convenio Marco.

El trabajo consta, además del propio libro de «La Minería en Extremadura», de un mapa geológico-minero, y de un mapa hidrogeológico. Ha colaborado, sobre todo en la elaboración del libro, la Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S. A.

Tal y como señala el Consejero de Industria y Energía en el propio prólogo del libro, éste constituye un documento básico cuyo objetivo, en base a la recopilación y análisis de toda la información existente en la actualidad, es establecer la situación de la minería en Extremadura, en sus distintos aspectos: técnico, económico, científico, humano, etc., como punto de partida para planificar una política de desarrollo minero.

En primer lugar, se aborda el estado actual de la infraestructura geológico-minera de Extremadura entendiéndose por tal la cobertura, por los distintos mapas temáticos (geológicos, metalogenéticos, de Rocas Industriales), a escala 1:50.000 y 1:200.000 del Mapa Nacional, que el IGME viene desarrollando como uno de sus objetivos principales, establecidos en sus propios estatutos. Dicha infraestructura se complementa a partir de hoy con los mapas geológico-minero e hidrogeológico que la Consejería de Industria, Energía y Minas ha decidido llevar a cabo y de las que hablaremos posteriormente.

A continuación se describen los distintos yacimientos o depósitos de Extremadura, tanto de minerales metálicos y energéticos como de rocas y minerales industriales, enfocándolos desde tres puntos de vista: se analiza la investigación realizada para cada sustancia, se describen los yacimientos más importantes de cada una de ellas

desde un punto de vista geológico y metalogenético, y se analiza el potencial minero en Extremadura para cada sustancia estudiada.

Posteriormente se analizan las distintas explotaciones mineras, activas o con actividad reciente, centrandose en el análisis, además de en una descripción física de dichas explotaciones, en un estudio de los distintos factores y problemas que afectan a las mismas (arranque de mineral, concentración, leyes, metalurgia, transporte, incidencia en el medio ambiente, etc.).

Por último, se contempla en el libro un análisis económico de la minería extremeña, en el cual se pone de manifiesto las incidencias de ésta en otros sectores económicos a nivel autonómico y nacional, y la contribución del sector minero en la economía de Extremadura.

La minería extremeña supone el 0,3 por 100 del PIB de Extremadura, mientras que en España la contribución de la minería al PIB nacionales es del 1,2 por 100.

En cuanto al valor de la producción minera de Extremadura respecto a la nacional es del 0,3 por 100. Sin embargo, para algunas sustancias, en particular, supuso en 1986 el 100 por 100, como ocurre con el Sb y el W.

Como conclusión, se pone de manifiesto el enorme interés que presentan ahora mismo determinadas sustancias, especialmente relacionadas con los minerales y rocas industriales: granitos, mármoles, pizarras, arcillas especiales, etc.

Asimismo, se muestra gran interés, tanto por los Entes Públicos como privados, por los metales preciosos, particularmente Au.

El Mapa geológico-minero de Extremadura se ha realizado a escala 1:300.000. Al objeto de conseguir una mejor claridad interpretativa visual, se ha duplicado la cartografía geológica, situando en una plancha los indicios y minas de minerales metálicos y energéticos (carbón y uranio), y en la otra las minas y canteras de minerales y rocas industriales. Van acompañados ambos mapas de una memoria con una descripción de la geología extremeña y una descripción general de los yacimientos de minerales metálicos y energéticos. Finalmente, se incluye una breve descripción, por sustancias, de los yacimientos de los minerales y rocas industriales, considerando, asimismo, los indicios de interés.

Se ha dedicado un gran esfuerzo a conseguir una base geológica, en una síntesis adecuada al conocimiento minero, a su importancia, y a su densidad de indicios. Se ha utilizado una información geológica abundante, ya que se dispone de la cartografía MAGNA, a escala 1:50.000, de casi la mitad de Extremadura, complementada con numerosos estudios recientes, de tesis doctorales, y trabajos de investigación, tanto nacionales como extranjeros.

Se ha concedido especial atención a la bibliografía, tanto de trabajos publicados como de inéditos, pero de los que existen informes a disposición del público en el Servicio de Documentación del IGME. Esta bibliografía es fundamental para el investigador, ya que los estudios habrán de sufrir, con toda seguridad, numerosas revisiones e interpretaciones, a medida que vayan surgiendo nuevas ideas.

Otra característica fundamental del presente trabajo ha sido la inclusión de los listados de: indicios de mi-

nerales metálicos y energéticos, y de explotaciones e indicios de minerales y rocas industriales, con sus características geológicas y mineras esenciales y, sobre todo, con las coordenadas UTM de todos ellos, con lo que pueden visitarse en el campo para comprobación, o realización de nuevos estudios. Cuando, por necesidad de espacio para no difuminar la geología, se ha representado en el mapa sólo un indicio genérico que agrupa a varios, éstos conservan en el listado sus coordenadas individuales para mantenerlas accesibles en su totalidad.

Finalmente, el Mapa Hidrogeológico de Extremadura que, con un doble carácter didáctico y de análisis de los conocimientos actuales se presenta, está compuesto de dos documentos: el Mapa, en el cual se reflejan cartográficamente, y conforme a unas normas internacionales, las diferentes formaciones geológicas por su carácter de permeabilidad, semipermeabilidad e impermeabilidad, y la Memoria, en la cual se desarrollan y analizan los diversos factores que conforman la hidrogeología extremeña.

Notas bibliográficas

ESTRATIGRAFIA

861126. **Aplicación de la mineralogía a la correlación de series estratigráficas: El ejemplo del Cretácico Subbético.** LOPEZ GALINDO, A.

V Reunión cient. de la Soc. Esp. Mineral. Murcia (1985). *Bol. Soc. Esp. Mineral.*, vol. 8, 295-306, 35 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Roca clástica, Pelita, Mineralogía arcilla, Composición mineralógica, Análisis cuantitativo, Cretácico sup., Correlación, Zona Bética, Zona Subbética, Provincia Almería.

861127. **Mineralogía y estratigrafía de sedimentos neógenos del corredor de la Alpujarra, Cordillera Bética, España.** ORTEGA HUERTAS, M.; NIETO GARCIA, F.; RODRIGUEZ FERNANDEZ, J., y LOPEZ GARRIDO, A. C.

V Reunión cient. de la Soc. Esp. Mineral. Murcia (1985). *Bol. Soc. Esp. Mineral.*, vol. 8, 307-318, 19 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Serravalliense, Mioceno medio, Tortoniense, Messiniense, Mioceno sup, Ciclo sedimentario, Variación nivel, Transgresión, Asociación mineral, Illita, Paragenita, Clorita, Grupo mica, Grupo clorita, Cristalografía, Grado cristalización, Alpujarras, Cordillera Bética, Zona Bética.

861191. **Albense y Cenomanense de la región Atienza-Salcobaco, Cordillera Ibérica, Provincia de Guadalajara.** SEGURA, M.; CARENAS, B., y GARCIA, A.

Rev. mat. proc. geol. (1985), vol. 3, 211-226, 21 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Albense, Cenomanense, Corte geológico, Arenisca, Caliza dolomítica, Cronoestratigrafía, Macizo Ibérico, Provincia Guadalajara.

GEOMORFOLOGIA

861146. **Formaciones endokársticas en la Cuenca de Ojo Guareña, Burgos.** MERINO CRISTOBAL, L., y COLERO ALONSO, A.

El Geólogo (1986), núm. 17, 21-23, 4 ref., esp., bibl. IGME.

* Karst, Morfología disolución, Precipitación química, Estalactita, Caverna, Provincia Burgos.

861166. **II Coloquio de Estratigrafía y Paleogeografía del Pérmico y Triásico de España, La Seu d'Urgell, 23-25 septiembre 1985.** MATEU, F., y MARZO, M.

Inst. est. Ilerdenses (1985), 3 vols., esp., bibl. IGME.

* Comunicaciones, Guía de la excursión: Stephaniense, Pérmico y Triásico inf. del Pirineo Catalán, Guía de la excursión: Triásico de los Catalánides.

861286. **Evolución geomorfológica de los Valles de Anchuelo y Pantueña al sur de Alcalá de Henares (Madrid).** GONZALEZ MARTIN, J. A., y ASENSIO, I.

Rev. mat. proc. geol. (1985), vol. 3, 125-145, 18 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Valle, Morfología fluvial, Terraza, Glacis, Morfodinámica, Granulometría, Inversión relieve, Cuaternario, Provincia Madrid

GEOLOGIA MARINA

861148. **Resultados de la Campaña Alsarev en el Mar de Alborán. Mayo 1982.** GIL FERNANDEZ, J.

Inf. tec. Inst. Esp. Oceanogr. (1985), núm. 34, 9 p., 8 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Expedición crucero, Mar de Alborán, Temperatura, Salinidad, Agua mar, Provincias Málaga, Almería.

GEOLOGIA DEL INGENIERO

861144. **Cálculo del porcentaje de taqueo en voladuras.** GONZALEZ FERNANDEZ, E.

Cant. explot. (1986), núm. 228, 24-29, esp., bibl. IGME.

* Mineralogía arcilla, Método MEB, Análisis imagen, Teoría, Metodología.

861132. **Minerales utilizados en la industria farmacéutica.** GALAN, E.; LISO, M. J., y FORTEZA, M.

V Reunión cient. de la Soc. Esp. de Mineral. Murcia (1985).

Bol. Soc. Esp. Mineral., vol. 8, 369-379, 20 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Mineral, Propiedad fisicoquímica, Utilización sustancia, Medicina, Histórico.

861136. **Exposición de minerales del Museo Nacional de Ciencias Naturales.** GARCIA GUINEA, J.; SANCHEZ PEREZ, B., y GUTIERREZ BLANCO, E.

V Reunión cient. de la Soc. Esp. Mineral. Murcia (1985).

Bol. Soc. Esp. Mineral., vol. 8, 407-419, 13 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Museo, Mineral, Colección, Normalización, Dato, Clasificación, Metodología, Provincia Madrid.

861137. **Simetría en el arte y su aplicación a la enseñanza en cristalografía.** BESTEIRO, J., y OSCAR, M. C.

V Reunión cient. de la Soc. Esp. Mineral. Murcia (1985).

Bol. Soc. Esp. Mineral., vol. 8, 421-433, 9 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Metodología, Enseñanza, Cristalografía, Simetría, Periodicidad.

861138. **Uso del ordenador en la enseñanza de las clases de simetría cristalográfica.** ARANA, A.; RODRIGUEZ, J. V.; REQUENA, A., y FERNANDEZ, M. T.

V Reunión cient. de la Soc. Esp. Mineral. Murcia (1985).

Bol. Soc. Esp. Mineral., vol. 8, 435-437, esp., res. ing., bibl. IGME.

* Cristalografía, Simetría, Enseñanza superior, Programa ordenador.

861139. **Enseñanza práctica de la mineralogía descriptiva: uso del ordenador.** ARANA, R.

V Reunión cient. de la Soc. Esp. Mineral. Murcia (1985).

Bol. Soc. Esp. Mineral., vol. 8, 439-440, esp., bibl. IGME.

* Enseñanza, Mineralogía, Ordenador.

861140. **Programa de cálculo para la asignación de índices a un diagrama de polvo.** ARANA, R.; MENENDEZ-BARZANALLANA, R., y SALINAS, A.

V Reunión cient. de la Soc. Esp. Mineral. Murcia (1985).

Bol. Soc. Esp. Mineral., vol. 8, 441-442, esp., bibl. IGME.

* Diagrama polvo, Programa ordenador.

861141. **Cálculo de parámetros reticulares en diagramas de polvo.** ARANA, R.; BARZANALLANA, R., y SALINAS, A.

V Reunión cient. de la Soc. Esp. Mineral. Murcia (1985).

Bol. Soc. Esp. Mineral., vol. 8, 443-444, esp., bibl. IGME.

* Cristalografía, Constante reticular, Programa ordenador.

861142. **Cálculo de ángulos interfaciales en cristales.** ARANA, R.; MENENDEZ-BARZANALLANA, R., y SALINAS, A.

V Reunión cient. de la Soc. Esp. Mineral. Murcia (1985).

Bol. Soc. Esp. Mineral., vol. 8, 445-446, esp., bibl. IGME.

* Cristal, Forma cristal, Goniometría, Programa ordenador.

861143. **Programa para la ordenación y la utilización de la información relativa a las muestras de los museos de minerales y rocas.** ROMERO, J.; MARTIN RAMOS, J. D., y SEBASTIAN, E.

V Reunión cient. de la Soc. Esp. Mineral. Murcia (1985).

Bol. Soc. Esp. Mineral., vol. 8, 447-448, esp., bibl. IGME.

* Museo, Mineral, Normalización, Clasificación, Ordenador.

861281. **Bases conceptuales e históricas de la dinámica cristalina.** COY YLL, R.

Rev. mat. proc. geol. (1985), vol. 3, 11-46, 38 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Teoría, Cristalografía, Mineralogía, Difracción RX, Espectrometría Raman.

861282. **Modificación del hábito cristalino por acción de colorantes orgánicos. I. Influencia de la Fuchina ácida sobre la morfología y la velocidad de crecimiento del sulfato potásico.** MARTIN VIVALDI, J. L.; AMOROS, J. L., y DOVAL, M.

Rev. mat. proc. geol. (1985), vol. 3, 49-70, 13 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Cristal, Sulfato, Potasio, Hábito, Impureza, Crecimiento cristalino, Velocidad, Morfoscopia, Colorante, Ensayo laboratorio, Metodología.

861284. **Politipismo de las muscovitas del sector oriental de la Sierra de Guadarrama (Sistema Central Español).** GARCIA ROMERO, E.; DOVAL, M., y RODAS, M.

Rev. mat. proc. geol. (1985), vol. 3, 89-106, 24 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Grupo mica, Muscovita, Politipismo, Roca encajante, Roca metamórfica, Pegmatita, Granito, Difracción RX, Provincia Madrid, Sierra de Guadarrama.

861294. **Nota sobre los procesos de síntesis de sulfatos con hidróxilos, con relación a los precursores de hidroxisulfatos.** CAMPA, J. A.

Rev. mat. proc. geol. (1985), vol. 3, 255-257, esp., bibl. IGME.

* Síntesis, Sulfato, Hierro, Oxidación, Hidróxido, Metodología.

MINERALOGIA: SILICATOS

861097. **Defectos de crecimiento en cristales de cuarzo. Estudio por topografía de Rayos X.** CABALLERO, M. A.; GONZALEZ MAÑAS, M., y DOMINGUEZ, S.

V Reunión cient. de la Soc. Esp. Mineral. Murcia (1985).

Bol. Soc. Esp. Mineral., vol. 8, 9-22, 18 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Defecto cristalino, Cuarzo, Grupo sílice mineral, Dislocación cristalina, Crecimiento cristal, Macla, Análisis RX.

MINERALOGIA: NO SILICATOS

861099. **Efecto de la irradiación X en corindones sintéticos y naturales. Influencia sobre la dinámica de la red.** ALVAREZ, M. A.; DOMINGUEZ-BELLAS, S., y CABALLERO, M. A.

V Reunión cient. de la Soc. Esp. Mineral. Murcia (1985).

Bol. Soc. Esp. Mineral., vol. 8, 29-35, 18 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Corindón, Rubí, Zafiro, Óxido, Estructura cristalina, Defecto cristal, Síntesis, Difracción RX, Espectrometría IR.

861100. **Luminiscencia fotoestimulada del Mn²⁺ en Rodocrosita.** COY-YLL, R., y CALDERON, T.

V Reunión cient. de la Soc. Esp. Mineral. Murcia (1985).

Bol. Soc. Esp. Mineral., vol. 8, 37-41, 12 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Ensayo laboratorio, Carbonato, Rodocrosita, Estructura cristalina, Luminiscencia, Espectrometría, Espectro, Calentamiento, Manganeso.

861106. **Nordstrandita, Al(OH)₅, en las bauxitas de Haro (La Rioja).** SEBASTIAN, E. M.; RODRIGUEZ GORDILLO, J.; RODRIGUEZ GALLEGO, M.; MARTIN RAMOS, J. D.

V Reunión cient. de la Soc. Esp. Mineral. Murcia (1985).

Bol. Soc. Esp. Mineral., vol. 8, 125-135, 18 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Metabasita, Difracción RX, Fluorescencia, Grupo epidota, Epidota, Composición mineralógica, Lámina delgada, Análisis cuantitativo, Estructura cristalina, Constante reticular, Provincia Murcia.

861111. **Estudio mineralógico de la Prehnita de Cehegín, Murcia.** PEREZ SIRVENT, C.; ARANA, R., y GALVEZ, J.

V Reunión cient. de la Soc. Esp. Mineral. Murcia (1985).

Bol. Soc. Esp. Mineral., vol. 8, 137-143, 16 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Prehnita, Sorosilicato, Dato mineral, Análisis químico, Malla cristalina, Constante reticular, Análisis térmico, Provincia Murcia.

861121. **Mineralogía de los filosilicatos de las metapelitas de la Formación Azuaga, SE de Badajoz.** LOPEZ MUNGUIRA, A.; GARCIA-CERVIGON, A., y CHACON MORENO, J.

V Reunión cient. de la Soc. Esp. Mineral. Murcia (1985).

Bol. Soc. Esp. Mineral., vol. 8, 239-245, 21 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Filosilicato, Análisis cuantitativo, Mica, Clorita, Caolinita, Cristalografía, Dato RX, Metapelita, Provincia Badajoz.

861129. **Cloritas magnesianas en lutitas del Trías Medio de la Sierra de Espadán, Cordillera Ibérica, Castellón.** BASTIDA, J.; AMIGO, J. M., y REVENTOS, M. M.

V Reunión cient. de la Soc. Esp. Mineral. Murcia (1985).

Bol. Soc. Esp. Mineral., vol. 8, 335-346, 37 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Clorita, Grupo clorita, Illita, Caolinita, Filosilicato, Pizarra no metamórfica, Grado cristalización, Diagrama polvo, Análisis químico, Fórmula, Evaporita, Muschelkalk, Provincia Castellón, Macizo Ibérico.

861109. **Estudios térmicos sobre minerales de interés metalúrgico. VI. Determinación de parámetros cinéticos de la descomposición térmica de la Jarosita, Natrojarosita, Amoniojarosita y Argentojarosita.** ARANA, R.; GALVEZ, J.; LOPEZ ROCA, M. F., y PALAZON, J.

V Reunión cient. de la Soc. Esp. Mineral. Murcia (1985).

Bol. Soc. Esp. Mineral., vol. 8, 117-123, 22 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Jarosita, Natrojarosita, Ammoniojarosita, Argentojarosita, Sulfato, Análisis térmico diferencial, Análisis termogravimétrico, Diagrama polvo, Energía activación, Franja de reacción, Constante reticular.

861112. **Estudio mineralógico y textural de las mineralizaciones de hierro de la zona «Tío Elías» del yacimiento de Ojos Negros (Teruel).** URQUIZA, A.; GARCIA, R.; POZO, M., y LEGUEY, S.

YACIMENTOLOGIA DE METALES

861115. **Estudio de las mineralizaciones de Manganeso de Asturias.** GONZALEZ CASTRO, G.; LOREDO, J., y GARCIA IGLESIAS, J.

V Reunión cient. de la Soc. Esp. Mineral. Murcia (1985). *Bol. Soc. Esp. Mineral.*, vol. 8, 173-179, 7 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Pirolusita, Manganita, Magnesio sustancia, Mineralización, Filón, Proceso exógeno, Paragénesis, Roca volcánica, Cámbrico, Asturias.

861116. **El «stock» granodiorítico de Garlitos (Badajoz) y las mineralizaciones filonianas asociadas.** ALARCON, M.; FENOLL, P.; PASCUAL, E., y RODRIGUEZ GORDILLO, J. V Reunión cient. de la Soc. Esp. Mineral. Murcia (1985). *Bol. Soc. Esp. Mineral.*, vol. 8, 181-195, 18 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Stock, Granodiorita, Emplazamiento, Carbonífero, Fractura, Filón, Yacimiento hidrotermal, Cobre sustancia, Plomo sustancia, Cinc sustancia, Paragénesis, Asociación mineral, Análisis mayores, Norma petrográfica, Provincia Badajoz.

861117. **Estudio del stockwerk asociado a la apófisis adamellítica de Logrosán, Cáceres, España.** GUIJARRO, J.; MONSEUR, J., y GUTIERREZ MAROTO, A.

V Reunión cient. de la Soc. Esp. Mineral. Murcia (1985). *Bol. Soc. Esp. Mineral.*, vol. 8, 197-205, 27 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Estaño sustancia, Stockwerk, Adamellita, Filón, Fracturación, Geometría, Microtectónica, Yacimiento hidrotermal, Condición pneumatolítica, Paragénesis, Inclusión fluido, Control tectónico, Provincia Cáceres.

861119. **Los depósitos de F-(Pb-Zn) del coto minero de Turón, Granada.** GERVILLA, F.; TORRES-RUIZ, J.; MARTIN, J. M., y FENOLL, P.

V Reunión cient. de la Soc. Esp. Mineral. Murcia (1985). *Bol. Soc. Esp. Mineral.*, vol. 8, 219-228, 15 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Fluorita sustancia, Plomo sustancia, Cinc sustancia, Roca carbonatada, Diagénesis precoz, Dolomitización, Yacimiento estratiforme, Karst, Filón, Paragénesis, Ausiense, Provincia Granada, Zona Bética.

861160. **Ensayos metalúrgicos sobre minerales acuíferos para su posible aprovechamiento mediante la técnica de lixiviación en montones.** BONILLA, A.; GONZALEZ, M., y ORTEGA, A.

Rev. metal. (1985), vol. 21, núm. 6, 357-365, 8 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Roca silicatada. Análisis cuantitativo, Oro sustancia, Lixiviación, Cianuro, Ensayo laboratorio, Metodología, Provincia Almería.

YACIMENTOLOGIA DE SUSTANCIAS NO METALICAS

861120. **Mineralogía y génesis de los yacimientos de Ver-**

miculita del macizo de Ojén (Serranía de Ronda, Málaga). LUQUE, F. J.; RODAS, M., y DOVAL, M.

V Reunión cient. de la Soc. Esp. Mineral. Murcia (1985). *Bol. Soc. Esp. Mineral.*, vol. 8, 229-238, 22 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Vermiculita sustancia, Dique, Roca encajante, Ultrabasita, Composición mineralógica, Difracción RX, Análisis mayores, Génesis yacimiento, Provincia Málaga.

PETROLEO

861332. **Desarrollo de un modelo cero-dimensional de yacimiento de gas.** ELORZA TENREIRO, F. J.

Seminario de Análisis numérico. Madrid (1984), 1-8, 6 ref., esp., bibl. IGME.

* Modelo matemático, Algoritmo, Desarrollo pozos, Gas natural, Inyección, Agua, Retención, Presión.

861333. **Problemas y métodos en simulación numérica de yacimientos de hidrocarburos. Un enfoque algorítmico unificado.** DOMINGUEZ DE LA RASILLA, J. M.

Seminario de Análisis numérico. Madrid (1984), 71-80, 12 ref., esp., bibl. IGME.

* Simulación numérica, Modelo matemático, Ecuación matemática, Algoritmo, Yacimiento hidrocarburos, Desarrollo pozos.

SUELOS

861128. **Los suelos desarrollados sobre sedimentos Neógenos y Cuaternarios en el sector de Berja (provincias de Almería y Granada).** ORTEGA, M.; AGUILAR, J.; MARIÑES, A., y SIMON, M.

V Reunión cient. de la Soc. Esp. Mineral. Murcia (1985). *Bol. Soc. Esp. Mineral.*, vol. 8, 319-333, 26 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Suelo, Suelo poco desarrollado, Suelo pardo, Perfil suelo, Composición mineralógica, Roca madre suelo, Neógeno, Roca carbonatada, Roca clástica, Conglomerado, Provincias Almería, Granada.

FISICA DEL GLOBO

861149. **La cola del campo magnético terrestre.** HONES, E. W. Jr.

Invest. cienc. (1986), núm. 116, 18-26, esp., bibl. IGME.

* Planeta Tierra, Campo magnético, Viento solar.

ENERGIA

861095. **Producción y consumo de carbón en la CEE.**

Bol. inf. UNESA (1986), vol. 16, núm. 175, 25-30, esp., bibl. IGME.

* CEE, Carbón, Producción, Consumo, 1981-85.

861156. **Buenas perspectivas para la exploración y producción de hidrocarburos en España en 1986.**

Oilgas (1986), vol. 19, núm. 218, 25-32, esp., bibl. IGME.

* Hidrocarburo, Prospección, Perspectiva, Informe actividad, Sondeo, Inventario, España.

861157. **Los convenios de operaciones para la investigación y explotación de hidrocarburos.** CUBILLO, J.

Oilgas (1986), vol. 19, núm. 218, 43-46, esp., bibl. IGME.

* Hidrocarburo, Prospección, Asociación sociedad, Legislación, España.

861158. **El yacimiento gasista Gaviota se pondrá en explotación en el segundo trimestre del año.**

Oilgas (1986), vol. 19, núm. 218, 73-78, esp., bibl. IGME.

* Campo hidrocarburo, Gas natural, Explotación, Investigación, Producción, Previsión, Golfo de Gascuña, España.

ECONOMIA MINERA

861147. **Metalurgia de los nódulos polimetálicos.** CAMARA, A.

Ind. min. (1986), núm. 256, 31-35, 11 ref., esp., bibl. IGME.

* Manganeso sustancia, Cobre sustancia, Níquel sustancia, Cobalto sustancia, Nódulo, Metalurgia, Fusión, Lixiviación, Metodología.

861151. **La producción italiana de rocas ornamentales y su mercado internacional.**

Marmo Machine en español (1986), núm. 7, 22-41, esp., bibl. IGME.

* Roca, Material ornamentación, Mármol sustancia, Granito sustancia, Exportación, Italia.

861152. **El mercado francés.**

Marmo Machine en español (1986), núm. 7, 53-79, esp., bibl. IGME.

* Roca, Material ornamentación, Granito sustancia, Mármol sustancia, Utilización sustancia, Investigación, Sociedad, Inventario, Francia.

861153. **Reestructuración industrial de la comarca de mármol de Macael.**

Marmo Machine en español (1986), núm. 7, 80-105, esp., bibl. IGME.

* Mármol sustancia, Canteras, Explotación, Planificación, Programa, Investigación, Producción, Consumo, Provincia Almería.

861164. **La nueva línea especial de crédito para la investigación minera.** AZCARATE, J. E.

Rocas miner. (1986), núm. 170, 17-21, esp., bibl. IGME.

* Política Estado, Financiación, Prospección minera, Préstamo, España.

861165. **La investigación comunitaria en el campo de las minas, rocas y minerales: Programa de investigación de materiales para el período 1986-1989.** RUIZ SIERRA, J.; GARCIA CARCEDO, F.; MEDINA, F., y LOPEZ GOMEZ, F. A.

Rocas miner. (1986), núm. 170, 56-60, 6 ref., esp., bibl. IGME.

* Programa, Planificación, CEE, Hierro sustancia, Siderurgia, Carbón, Materia prima, 1986-1989.

NORMAS PARA LOS AUTORES

Los trabajos que se reciban para su publicación en el BOLETÍN GEOLÓGICO Y MINERO serán revisados para decidir si procede su publicación.

Los autores deberán atenerse a las siguientes normas:

Texto.

Se entregará mecanografiado a doble espacio por una sola cara y con amplios márgenes. Este texto se considerará definitivo, deberá venir leído por el autor y perfectamente puntuado y con las correcciones de las erratas de mecanografía que fuesen precisas. En él será marcada la fecha de recepción y prioridad.

Cuando en el trabajo se acompañen figuras, cuadros y fotografías, el autor deberá dejar un pequeño espacio con indicación del lugar donde han de intercalarse si es posible.

Todos los trabajos en lengua española irán precedidos de un breve resumen en español e inglés o francés. Los de idiomas extranjeros lo llevarán en su idioma y también en español.

En todo momento los autores conservarán una copia del texto original.

Idiomas.

Excepcionalmente podrán publicarse trabajos en otros idiomas (preferiblemente inglés o francés), siempre que abarquen temas sobre España y sean de autores extranjeros.

Bibliografía.

Se incluirá al final de cada trabajo la relación de las obras consultadas por orden alfabético de autores, empleándose las normas y abreviaturas usuales.

En casos excepcionales se podrá citar alguna obra no consultada.

Parte gráfica.

Los originales de figuras, cuadros y fotografías se entregarán aislados, indicándose en ellos el título del trabajo, nombre del autor y número de la ilustración. La parte gráfica vendrá preparada para ser reproducida a las anchuras máximas de 80 mm. (una columna) y 170 mm. (doble columna). Se evitará en lo posible la inclusión de encartes, así como se reducirá a lo indispensable el número de figuras y fotografías. En las ilustraciones a escala, ésta se expresará solamente en forma gráfica, con objeto de evitar errores en caso de reducir el original. Todas las figuras irán numeradas correlativamente según su orden de inserción.

Pruebas.

Serán enviadas a los autores para que realicen las correcciones de erratas de imprenta producidas en la composición, no admitiéndose modificación alguna, adición o supresión al texto original.

Las pruebas serán devueltas por el autor en el plazo máximo de quince días, pasados los cuales la Redacción decidirá entre retrasar el trabajo o realizar ella misma la corrección, declinando la responsabilidad por los errores que pudieran persistir.

Los originales de texto y figuras quedarán en poder de la Redacción.

Tiradas aparte.

Se asignan 30 tiradas aparte con carácter gratuito por trabajo publicado. Cuando el autor desee un número mayor del indicado deberá hacerlo constar por escrito en las pruebas y abonar el precio de este excedente.

La Redacción del BOLETÍN introducirá cuantas modificaciones sean necesarias para mantener los criterios de uniformidad y calidad del mismo. De estas modificaciones se informará al autor.

Toda la correspondencia referente a las publicaciones
deberá dirigirse a:

Leopoldo Aparicio. Instituto Geológico y Minero de España

Ríos Rosas, 23. 28003-Madrid



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA
Ríos Rosas, 23 - 28003 Madrid