

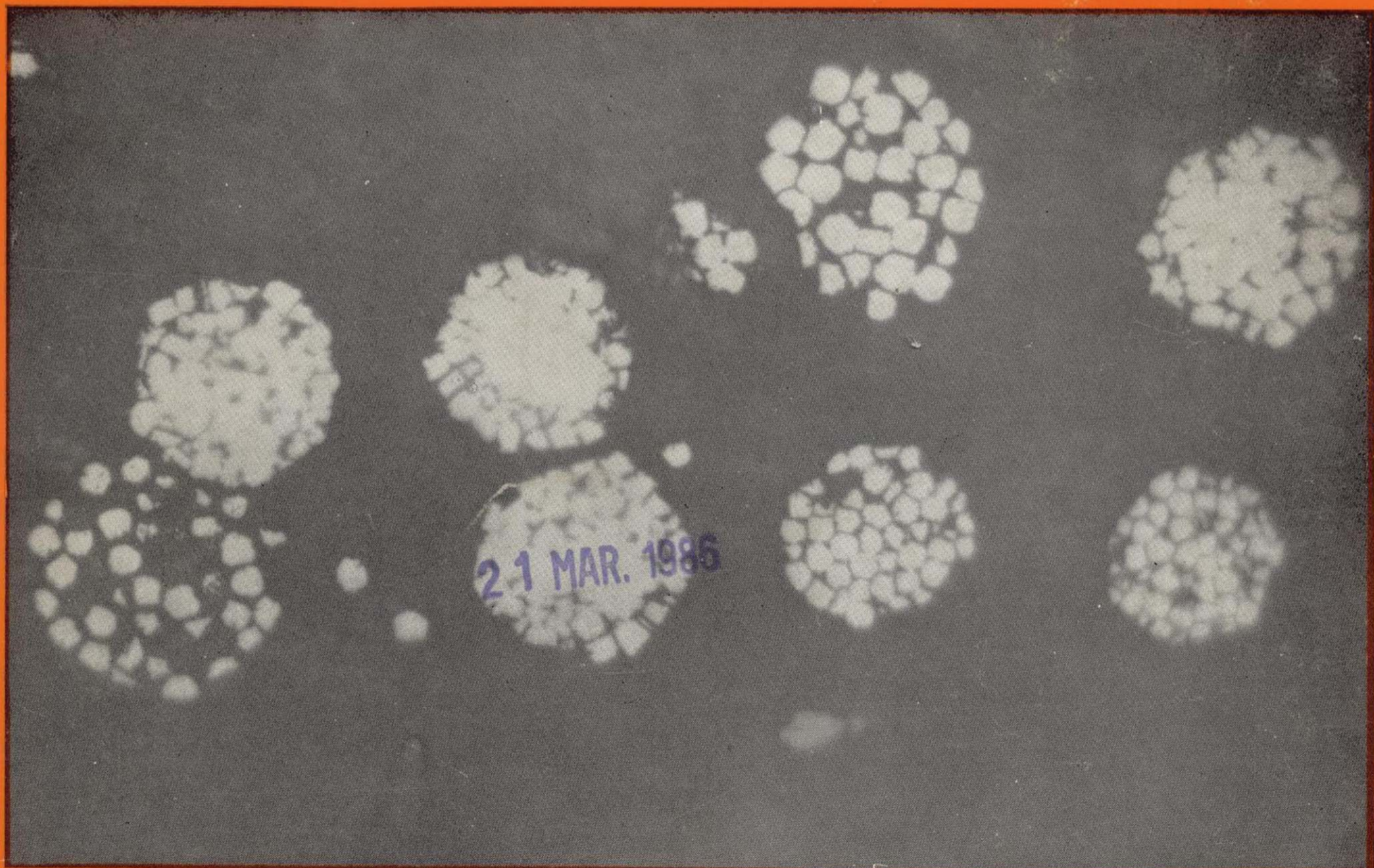
En este número:

- Procedencia de los conglomerados cantabrienses del Grupo Cea en la región del Manto del Esla (Zona Cantábrica, valles del Esla y Cea).
- Presencia de *Delgadella souzai caudata* (Delgado, 1904), en el Cámbrico Inferior de Nogales (Badajoz).
- Las formaciones aluviales de la depresión presomontana de Cinco Villas.
- Estudio geológico de las concentraciones de Co-(Ni-Cu-Fe) en el Silúrico de San Juan de Plan, Valle de Gistáin (Pirineo de Huesca).
- Los yacimientos Pb-Zn del tipo Reocín en el sector oeste de Cantabria: Estudio comparativo y aspectos genéticos.
- Un modelo Simero de simulación de las escorrentías superficial y subterránea.
- Detección mediante gravimetría de cuerpos graníticos ocultos en la región de Campo de Calatrava (Ciudad Real).
- Alterabilidad de areniscas asturianas utilizadas en monumentos.

REVISTA BIMESTRAL DEL IGME FUNDADA EN 1874 T. XCVI. Sexto Fascículo. Noviembre-Diciembre 1985

boletín geológico y minero

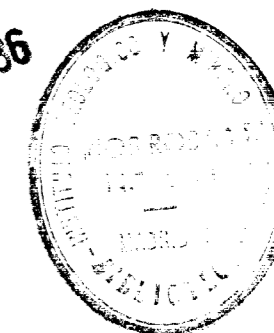
geología • minería • aguas subterráneas • geotecnia • estudios de minerales • mineralurgia



Tomo 96
Fascículo VI
Noviembre-Diciembre 1985

Boletín Geológico y Minero

21 MAR. 1986



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

SUMARIO

Geología	J. ALLER, J. L. ALONSO y A. PÉREZ-ESTAÚN: Procedencia de los conglomerados cantabrienses del Grupo Cea en la región del Manto del Esla (Zona Cantábrica, valles del Esla y Cea) ...	3
	MARÍA DOLORES GIL CID: Presencia de Delgadella souzai caudata (Delgado, 1904), en el Cámbrico Inferior de Nogales (Badajoz) ...	14
	F. J. GRACIA PRIETO: Las formaciones aluviales de la depresión presomontana de Cinco Villas ...	18
Minería	R. CASTROVIEJO BOLIBAR y T. NODAL RAMOS: Estudio geológico de las concentraciones de Co-(Ni-Cu-Fe) en el Silúrico de San Juan de Plan, valle de Gistáin (Pirineo de Huesca) ...	29
	M. BUSTILLO REVUELTA y S. ORDÓÑEZ DELGADO: Los yacimientos Pb-Zn del tipo de Reocín en el sector oeste de Cantabria: Estudio comparativo y aspectos genéticos ...	48
Aguas subterráneas	E. SANZ PÉREZ: Un modelo Símero de simulación de las esorrentías superficial y subterránea ...	54
Geofísica	J. E. BERGAMÍN, R. CAPOTE y A. CARBÓ: Detección mediante gravimetría de cuerpos graníticos ocultos en la región de Campo de Calatrava (Ciudad Real) ...	75
Geotecnia	ROSA M.ª ESBERT ALEMANY y L. VALDEÓN MENÉNDEZ: Alterabilidad de areniscas asturianas utilizadas en monumentos ...	81
Información	J. M. LÓPEZ DE AZCONA: Mineros destacados del siglo XVIII: Timoteo Alvarez de Veriña y Cardecha ...	89
	G. NÚÑEZ ROMERO-BALMAS: La minería alpujarreña en la primera mitad del siglo XIX. Capítulos 9, 10 y 11 ...	91
	Noticias y Notas bibliográficas ...	99
	Indice de Materias ...	113
	Indice de Autores ...	116

DIRECCION Y REDACCION

Ríos Rosas, n.º 23 - 28003-Madrid

Teléfono 441 70 67

ADMINISTRACION

Doctor Fleming, 7 - 28036-Madrid

Teléfono 250 02 03

IGME

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA



SERVICIO DE PUBLICACIONES — MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

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

Los derechos de propiedad de los trabajos
publicados en esta obra fueron cedidos por
los autores al Instituto Geológico y Minero de
España.

Queda hecho el depósito que marca la Ley.

EXPLICACION DE LA PORTADA

Piritas framboidales en un horizonte del Precámbrico (Alcudiense) de España
Foto de los Dres. G. Monseur y J. Guíjarro (Universidad Autónoma de Madrid)

ISSN 0366 - 0176
Depósito legal: M. 3.279 - 1958

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

21 MAR. 1986

GEOLOGIA

Procedencia de los conglomerados cantabrienses del Grupo Cea en la región del Manto del Esla (Zona Cantábrica, valles del Esla y Cea)

Por J. ALLER (*), J. L. ALONSO (*) y A. PEREZ-ESTAUN (*)

RESUMEN

Un problema pendiente respecto a los materiales de edad Cantabriense que constituyen el Grupo Cea (Zona Cantábrica, NO de España) es el de la situación del área madre de los diferentes cuerpos conglomeráticos que aparecen en esta sucesión. En base a un análisis de las texturas de las cuarcitas presentes en estos conglomerados, que indican las condiciones metamórficas del área madre de las diferentes unidades conglomeráticas, y al resto de los datos que proporciona la geología de la zona, se propone un área madre meridional, situada en la Zona Astur-occidental-leonesa, para los conglomerados cuarcíticos, y un área fuente más proximal, situada en la Zona Cantábrica, para los conglomerados polimícticos.

ABSTRACT

A problem about the Cea Group materials (Cantabrian age), cropping out in the Esla Nappe area (Cantabrian Zone, NW Spain), is the provenience of the different conglomeratic lithosomes in this succession. The quartzite microstructural analysis in the conglomerates, indicating metamorphic conditions in the mother area of the different units, and the consideration of all the other regional geological data have led to the conclusion of a southward mother area (placed in the Westasturian-leonese Zone) for the quartzitic conglomerates, and a nearer one (placed in the Cantabrian Zone) for the polymictic conglomerates.

INTRODUCCION

El Manto del Esla, cuyo emplazamiento se produjo durante el Westfaliense, es una de las unidades alóctonas mejor caracterizadas de toda la Zona Cantábrica, y se localiza en el sector sur-oriental de ésta, limitado al sur por los materiales mesozoico-terciarios que constituyen la Cuenca del Duero (fig. 1). En esta región, aparecen varias sucesiones de edad Carbonífero Superior que se sitúan discordantes por encima del resto del Paleozoico, y que evidencian en muchos casos un depósito realizado en condiciones de inestabilidad en la cuenca con deformaciones sinsedimentarias. En este trabajo se hace referencia a uno de estos conjuntos, concretamente a los materiales del Grupo Cea, de edad Cantabriense, y que aparecen formando varios sinclinales con orientación aproximada Este-Oeste inmediatamente al este del

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

área del Manto del Esla. Los materiales del Grupo Cea han sido objeto de estudio por parte de geólogos de diferentes escuelas en las últimas décadas (WAGNER, 1957; HELMIG, 1965; WAGNER y otros, 1969; HEWARD y READING, 1980; IWANIW, 1984; KRIEST, 1984; DIERENDONCK, 1984). En la actualidad, se dispone de una buena información cartográfica sobre ellos (ALONSO, 1985) y, asimismo, desde el punto de vista sedimentológico, todos los autores parecen básicamente de acuerdo en explicar estos depósitos como el resultado de la actuación de un sistema más o menos complicado de abanicos aluviales. No obstante, la búsqueda de un área madre para los frecuentes conglomerados que aparecen en este sector, y sobre todo para los que presentan exclusivamente cantos cuarcíticos, ha sido un problema clásico en la interpretación de esta unidad, al no ser fácil reconocer en la actualidad cuál es el área próxima que puede haber actuado como tal. De todos modos, a partir de la observación de un mapa geológico de la Zona Cantábrica y zonas adyacentes, pueden su-

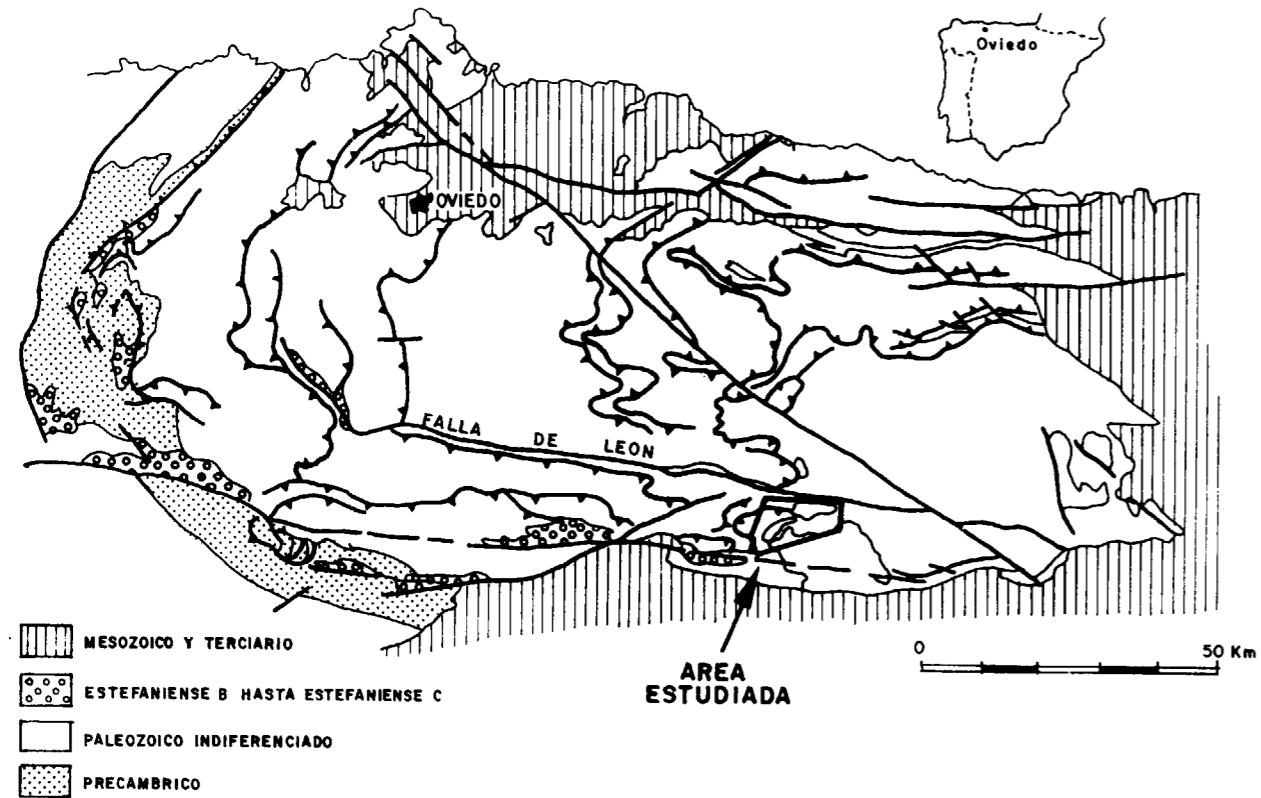


Figura 1.—Situación del área del Manto del Esla en el conjunto de la Zona Cantábrica.

gerirse algunas zonas potenciales con frecuentes afloramientos cuarcíticos, como por ejemplo: el área del Manto del Ponga, la zona de afloramiento del Conglomerado de Curavacas o, por último, el sector de la Zona Asturoccidental-leonesa (ZAOL), que debe existir al sur de la zona estudiada por debajo de los recubrimientos mesozoico-terciarios.

En una publicación reciente, se ha sugerido una solución para este problema (ALONSO, *op. cit.*), proponiéndose un área madre en la Zona Asturoccidental-leonesa (ZAOL) para los conglomerados cuarcíticos, y otra situada en la Zona Cantábrica para los conglomerados polimícticos. Aparte de las implicaciones sedimentológicas de este hecho, la existencia de rocas madre en áreas con grados metamórficos distintos debe manifestarse también en las texturas existentes en las cuarcitas. De este modo, el objeto de este trabajo ha sido precisamente el análisis de las texturas de las cuarcitas y areniscas presentes tanto en los conglomerados cuarcíticos como en los polimícticos, a fin de poder determinar el grado metamórfico

del área madre de estos conglomerados en base a los datos existentes sobre la variación en las texturas de las cuarcitas al aumentar el grado metamórfico.

**SINTESIS ESTRATIGRAFICA
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los datos que se presentarán en este capítulo constituyen una síntesis de lo que ha sido analizado pormenorizadamente por uno de nosotros (ALONSO, *op. cit.*) en un trabajo anterior. A grandes rasgos, en la sucesión de edad Cantabriense que se sitúa discordante por encima del Manto del Esla, desde un punto de vista estratigráfico puede distinguirse una Unidad Basal, integrada por conglomerados cuarcíticos y polimícticos, así como facies detríticas más finas. La distribución de esta Unidad Basal, así como las subunidades que se han diferenciado en la misma, se muestran en la figura 2. Sobre esta unidad se superponen los conglomerados polimícticos, areniscas,



Figura 2.—Distribución de las diferentes unidades estratigráficas en que se ha dividido el Grupo Cea en el área estudiada (ALONSO, 1985).

limolitas y pizarras de las Capas de Tejerina, que en algunas ocasiones presentan delgadas intercalaciones de conglomerados cuarcíticos. Desde un punto de vista sedimentológico, todos los autores que han estudiado estas series están de acuerdo en que corresponden a depósitos debidos a abanicos aluviales, y, asimismo, existe también un acuerdo general sobre la doble procedencia de estos materiales; de esta forma, los conglomerados cuarcíticos, que presentan un mejor redondeamiento, habrían sufrido un transporte más largo desde un área madre más alejada. Tampoco existen problemas para admitir que la entrada en la cuenca de los materiales del Conjunto Peña Verde-Remolina debió producirse desde el NO; así como la de los de las Capas del Duerna desde el SO.

Es a la hora de concretar la situación del área madre de estos materiales cuando se pierde el acuerdo. Para HEWARD y READING (1980), la ausencia inmediatamente al NO de la zona estudiada de un área que disponga de las litologías necesarias para haber funcionado como área madre les lleva a invocar un desplazamiento de desgarre muy importante para la Falla de León, que supondría el límite de cuenca por el NO, y en base a esto, proponen para el depósito de los materiales carboníferos de la Zona Cantábrica un modelo consistente en un sistema de cuencas asociadas a fallas de «strike-slip». Sin embargo, debe decirse que el movimiento de la Falla de León que se deduce de datos geológicos objetivos (MARCOS, 1968, 1979; ALLER, 1984) es totalmente insuficiente para situar un área madre al NO de la zona estudiada que pueda haber proporcionado cuarcitas como las que van a ser descritas en este trabajo. KRIEST (1984) y DIERENDONCK (1984) consideran que los cantos del conglomerado cuarcítico podrían ser cantos retrabajados del Conglomerado de Curavacas, que aparece en extensos afloramientos al NE de la zona estudiada. No obstante, esto tampoco soluciona el problema de acuerdo con los siguientes argumentos: en primer lugar, los aportes proceden del NO y no del NE; en segundo lugar, en los conglomerados cuarcíticos nunca han sido descritos cantos retrabajados ni tampoco cantos de conglomerados, que deberían existir en caso de proceder los aportes de un área madre bastante próxima y con conglomerados. Solucionar esto, como lo hacen las autoras citadas, sugiriendo que el Conglomerado de Curavacas no estaba aún consolidado en el Cantabriense, resulta

difícil de admitir al pensar que en esta época existían ya más de 1.000 m. de sucesión depositados por encima de él en algunas zonas (Lechada, Curavacas); mientras que en otras, como la que estamos estudiando, ya había sido plegado.

ALONSO (*op. cit.*) sugiere la posibilidad de que los conglomerados cuarcíticos hayan sido transportados por un valle largo desde la ZAOL. Esta hipótesis está de acuerdo con todos los datos paleogeográficos y con la evolución tectónica del área, pero tiene, por otro lado, implicaciones respecto a las texturas que deben presentar estas cuarcitas, si proceden, como se sugiere, de un área madre con un cierto grado metamórfico. Respecto a los conglomerados polimícticos, se sugiere en este mismo trabajo un área madre en la Zona Cantábrica, situada en las proximidades de nuestra zona de estudio, y con un límite de cuenca más bien hacia el O que hacia el N o NO, donde se han descrito materiales cantabrienses en facies más pelíticas (ALONSO HERRERO, 1981; LORENZO, comunicación personal).

METODOLOGIA UTILIZADA

En los últimos tiempos se han publicado una serie de trabajos que describen la variación de las texturas de las cuarcitas en una determinada región en relación con el aumento del grado metamórfico (WILSON, 1973; MARJORIBANKS, 1976; GA PAIS, 1979; BASTIDA, 1982). La conclusión de estos trabajos es que es posible establecer para una determinada zona una relación entre las variaciones texturales que sufren las cuarcitas al aumentar el grado metamórfico y la variación que se produce en las rocas pelíticas en relación con este mismo gradiente, y que viene determinada por la aparición de los sucesivos minerales índice. Este hecho permite, una vez conocida esta relación, determinar a partir simplemente de la observación de la textura de una cuarcita cuál es, con cierta precisión, el grado metamórfico del sector donde ha sido recogida.

Para la ZAOL, las relaciones entre las texturas de las cuarcitas y el grado metamórfico han sido establecidas por BASTIDA (1982). Estos datos se han completado con las observaciones que se han podido realizar en algunas cuarcitas de la Zona Cantábrica, que muestran en general granos detríticos poco deformados, estando la deformación,

cuando existe en lámina delgada, relegada en general a bandas con reducción del tamaño de grano. Todos estos datos pueden considerarse sintetizados en la figura 3. En este esquema, se muestra la diferenciación de unos estadios texturales, cuya relación con las zonas de metamorfismo queda establecida.

ZONAS METAMORFICAS	CLORITA	BIOTITA	GRANATE
TIPOS MICROSTRUCTUR.			
GRANOS DETRITICOS POCO DEFORMADOS	■		
GRANOS DEFORMADOS Y POCO O NADA RECRISTALIZADOS	■ ■ ■ ■ ■		
GRANOS NUEVOS Y VIEJOS		■ ■ ■ ■ ■	
ENGROSAMIENTO DE GRANO		■ ■ ■ ■ ■ ?	

Figura 3.—Relación entre los estadios texturales de evolución de las cuarcitas y el grado metamórfico para la Zona Asturoccidental-leonesa (según BASTIDA, 1982).

RESULTADOS OBTENIDOS

Se estudiaron las texturas de cuarcitas y areniscas presentes en los conglomerados cuarcíticos y polimícticos de edad Cantabriense que aparecen en el área del Manto del Esla. Las localidades donde se recogieron muestras aparecen indicadas en la figura 4. En cada una de estas localidades se recogieron cinco muestras, sobre las que se realizaron láminas delgadas. Como resultado de las observaciones realizadas, pudieron identificarse cuarcitas pertenecientes a diferentes tipos microestructurales.

Resumiremos a continuación las características de cada uno de los estadios del esquema de BASTIDA (*op. cit.*) que se han podido distinguir en nuestra zona, indicando los criterios que en base a su descripción y a nuestros propios datos resultan más adecuados para caracterizarlos:

1. Granos detríticos poco deformados

Se observan perfectamente los granos detríticos que muestran escasas evidencias de deformación intracristalina, apareciendo solamente algunas ex-

tinciones ondulantes. Los subgranos y las bandas y lamelas de deformación son excepcionales.

2. Granos deformados y poco o nada recristalizados

Los granos detríticos, cuyos contornos son aún reconocibles en algunos casos, manifiestan evidencias muy claras de haber sufrido deformación intracristalina. Prácticamente todos los granos presentan extinción ondulante o bandas de deformación. Los subgranos y lamelas de deformación son frecuentes y los bordes de grano son, en general, irregulares con morfologías suturadas o festoneadas. En algunos casos se observa, principalmente en los bordes de grano, la formación de granos nuevos por recristalización, de tamaño mucho menor que los granos detríticos, y que no presentan signos de deformación. En algunos casos, estas cuarcitas muestran ya una orientación preferente de los granos de cuarzo (figs. 5A y B).

3. Granos nuevos y viejos

En este estadio, los granos nuevos originados por recristalización, principalmente en los bordes de granos viejos, alcanzan ya un desarrollo notable, llegando a constituir una fracción importante de la roca. Los granos viejos presentan las mismas características que se describieron en el apartado anterior, y los nuevos, del mismo modo, presentan en general extinción uniforme o, en algunos casos, ondulante muy suave (figs. 5C y D). Es frecuente la existencia de una orientación preferente en estas rocas, que viene definida principalmente por la orientación de los granos viejos.

Desde un punto de vista regional, y siempre según BASTIDA (*op. cit.*), la transición del estadio 1 al estadio 2 coincide aproximadamente con el paso de la Zona Cantábrica a la Zona Asturoccidental-leonesa, encontrándose todavía algunas cuarcitas en el estadio 1 en la parte más oriental de ésta. La transición del estadio 2 al estadio 3 se produce en la parte más occidental de la Unidad del Navia y Alto Sil, que como es bien sabido constituye la unidad más externa de la ZAOL.

Los datos obtenidos permiten agrupar las muestras estudiadas en una serie de grupos con características afines, que serán descritos a continuación:

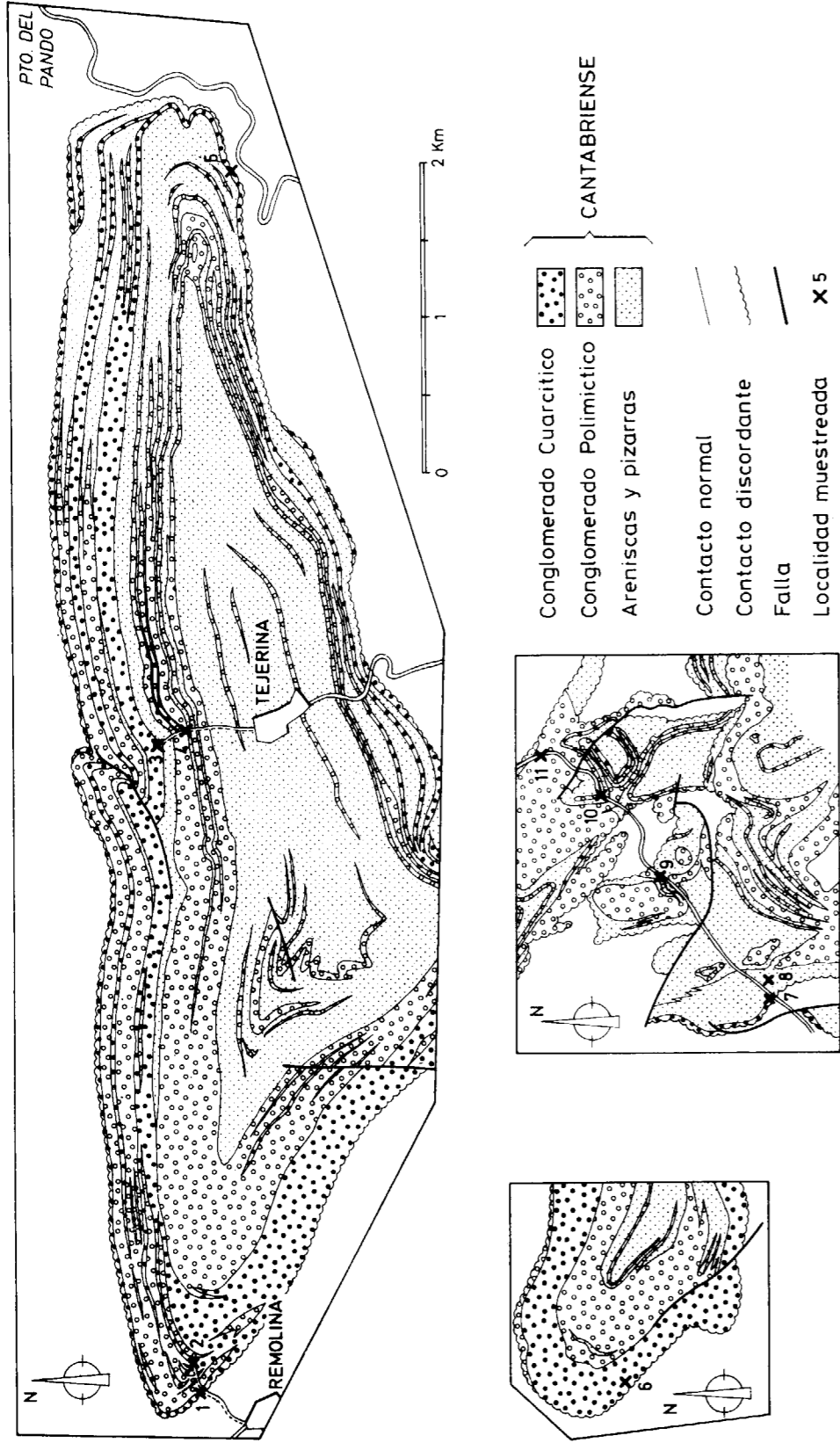


Figura 4.—Esquemas geológicos indicando las distintas litologías existentes y la posición de las localidades muestreadas. La situación de estos esquemas se muestra en la figura 2.

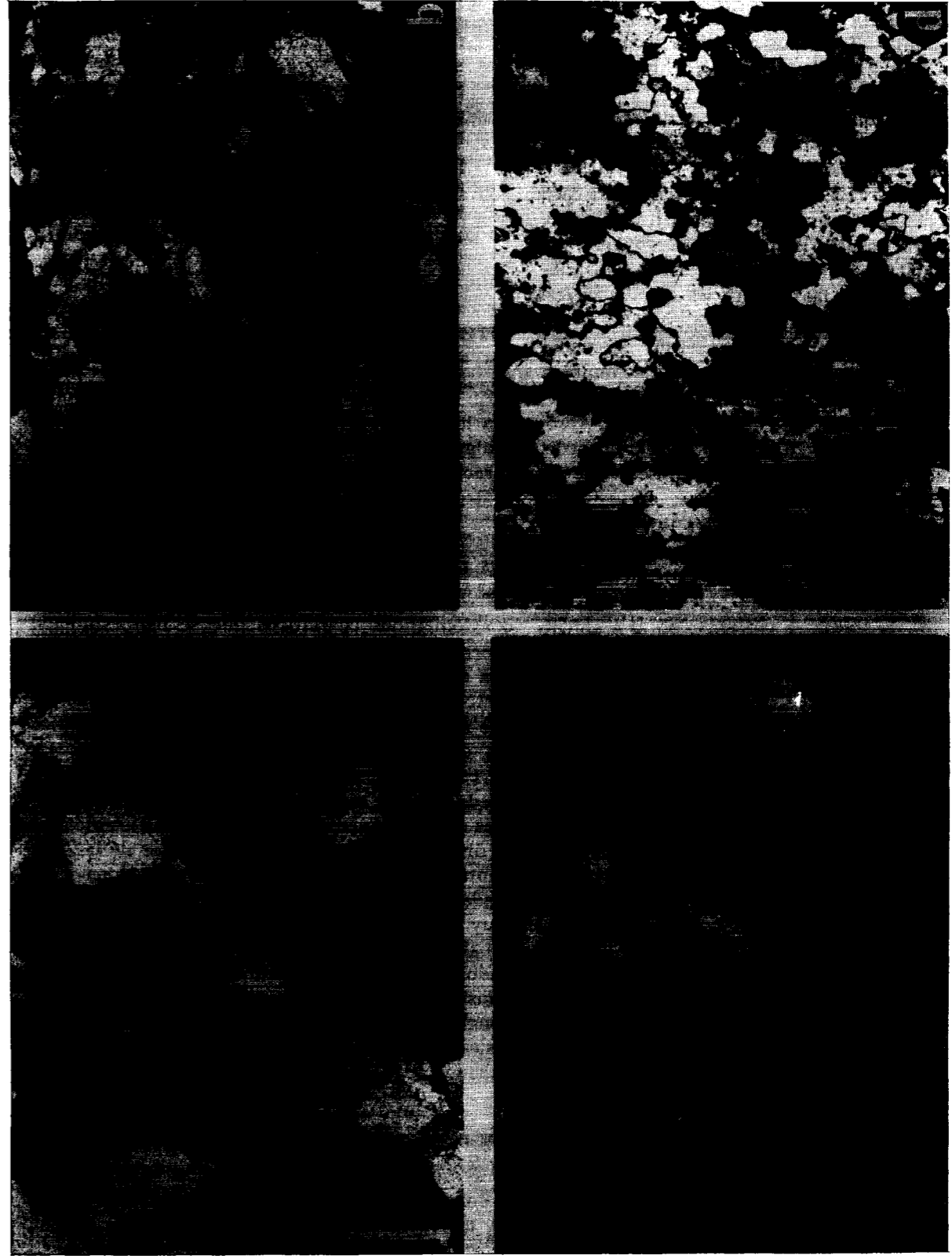


Figura 5.—Aspecto característico en lámina delgada de diferentes estadios de deformación presentes en las cuarcitas de los conglomerados cuarcíticos. Escala aproximada común para las cuatro fotografías indicada en *a*) (barra blanca), 200 μ . Nícoles cruzados. *a*) y *b*) Muestras en el estadio 2: granos con evidencias de deformación y poco o nada recristalizados. En *b*) se aprecia una cierta orientación preferente de los granos. *c*) y *d*) Muestras en el estadio 3: se observa la frecuente presencia de granos nuevos, de tamaño menor y aspecto indeformado. Obsérvese la reducción general del tamaño de grano desde *a*) hasta *d*).

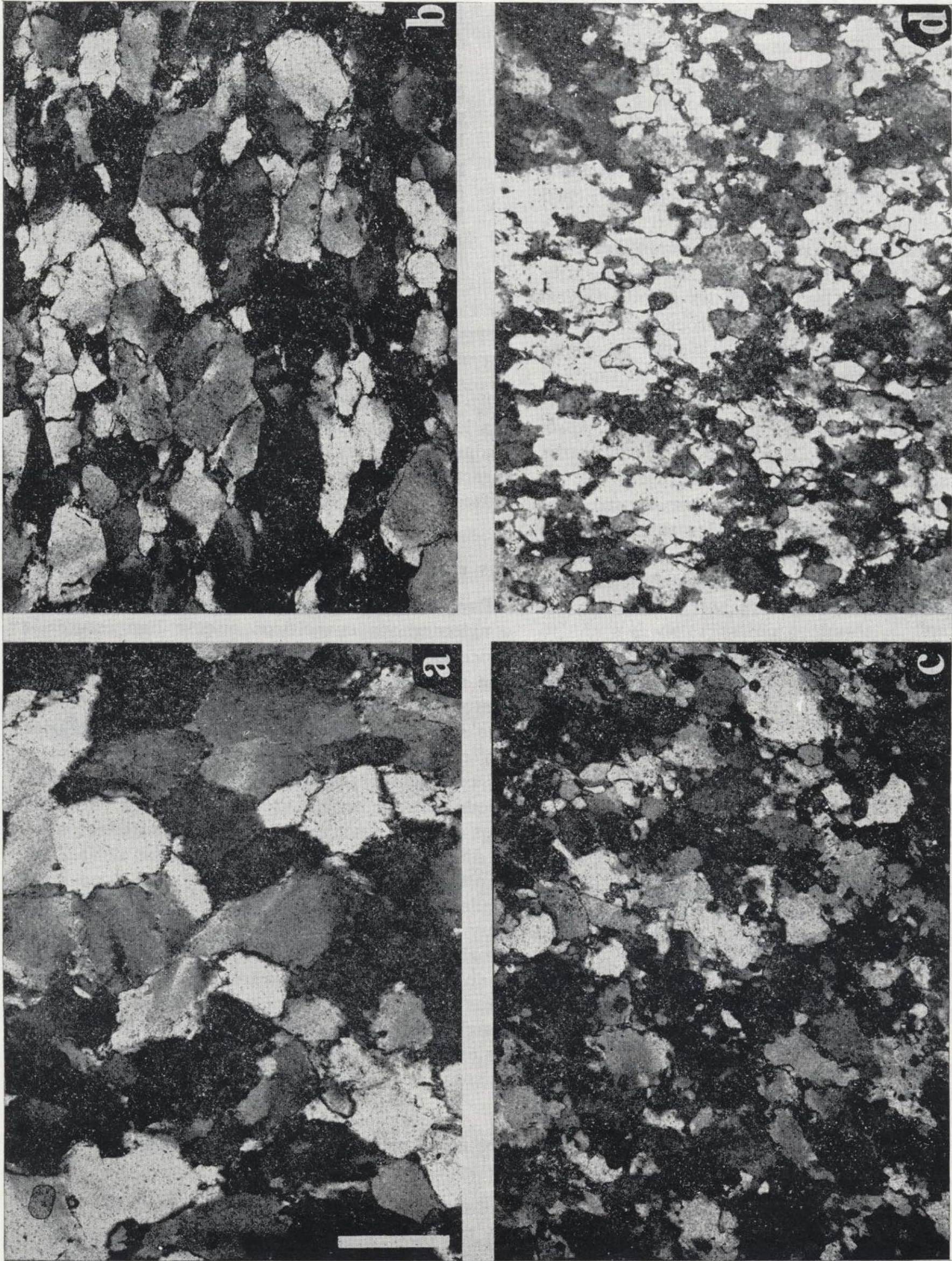


Figura 5.—Aspecto característico en lámina delgada de diferentes estadios de deformación presentes en las cuarcitas de los conglomerados cuarcíticos. Escala aproximada común para las cuatro fotografías indicada en *a*) (barra blanca), 200 μ . Nícoles cruzados. *a*) y *b*) Muestras en el estadio 2: granos con evidencias de deformación y poco o nada recrystalizados. En *b*) se aprecia una cierta orientación preferente de los granos. *c*) y *d*) Muestras en el estadio 3: se observa la frecuente presencia de granos nuevos, de tamaño menor y aspecto indeformado. Obsérvese la reducción general del tamaño de grano desde *a*) hasta *d*).

— *Las cuarcitas y areniscas de los conglomerados cuarcíticos del Conjunto Peña Verde-Remolina.*—Todas las cuarcitas recogidas en los conglomerados cuarcíticos que se han estudiado (localidades 1, 3, 5, 6 y 7 de la figura 4), que se pueden considerar integrados en el Conjunto Peña Verde-Remolina, pertenecen básicamente a los tipos estructurales 2 y 3 (fig. 5). Solamente en algún caso excepcional se encuentran muestras con rasgos que caracterizan la transición del estadio 1 al 2, si bien más próximas a este último. En todas las localidades estudiadas están presentes los tipos microestructurales 2 y 3, siendo en unos casos más frecuente uno y en otros otro. Debe decirse también que se encuentran todos los estadios intermedios de evolución entre ambos tipos. Aproximadamente un 20 por 100 de las muestras estudiadas corresponden a areniscas que en base a sus características microestructurales son asimilables también a los tipos 2 y 3 de las cuarcitas. En estas areniscas es frecuente la recristalización de sericita definiendo una esquistosidad.

— *Las areniscas de los conglomerados de las Capas del Duerna.*—En este miembro de la Unidad Basal, solamente se encontraron (localidad 8) cantos de areniscas muy escasamente deformadas, que pueden considerarse asimilables al estadio 1 de evolución microestructural de las cuarcitas.

— *Las areniscas y cuarcitas de los conglomerados polimícticos del Conjunto Peña Verde-Remolina.*—Este miembro fue muestreado exclusivamente en la localidad 2 en las inmediaciones de Remolina. Las muestras estudiadas son básicamente cuarcitas, existiendo también alguna arenisca. Microestructuralmente se encuentran en esta localidad desde muestras indeformadas pertenecientes al estadio 1, hasta otras que evidencian evoluciones texturales clasificables como de tipo 2 y hasta 3.

— *Las areniscas y cuarcitas de los conglomerados polimícticos de las Capas de Tejerina.*—Este miembro fue muestreado, como puede verse en la figura 4, en cuatro localidades donde las características que se han podido

observar son diferentes. En el arroyo de La Duerna (localidades 9, 10 y 11) se encuentra una variedad del mismo tipo que la que presentan los conglomerados polimícticos de Peña Verde-Remolina, con mezcla de areniscas y cuarcitas en el estadio 1, y otras atribuibles a los estadios 2 y 3 (estas últimas poco frecuentes). En el sector de Tejerina (localidad 4), sin embargo, se encontraron básicamente areniscas y cuarcitas en el estadio 1, con alguna cuarcita en el estadio 2.

INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS Y CONCLUSIONES

En base a los datos que se acaban de exponer y a los datos regionales previos, es posible llegar a algunas conclusiones respecto a la situación y características de las áreas madre de los diferentes cuerpos conglomeráticos.

Los conglomerados cuarcíticos

Puede afirmarse que el material de todos los conglomerados cuarcíticos que se han estudiado procede básicamente de la ZAOL. Este material, que entra en la cuenca por el O, debe tener, por tanto, una procedencia meridional. El hecho de que se atravesase una parte de la Zona Cantábrica sin que exista incorporación de nuevos aportes en este sector requiere alguna explicación, pero puede tratarse sencillamente de que nos encontramos en un segmento del abanico lo suficientemente distal como para que todo el sector de la Zona Cantábrica que se encuentra entre la zona estudiada y la ZAOL (que por otro lado no debe ser muy grande) quede cubierto por otras facies más proximales de este abanico sin que sea erosionado por él. Un área madre con estas características explica perfectamente la ausencia en los conglomerados que estamos estudiando de materiales calcáreos que, como es bien sabido, apenas existen en la ZAOL.

Los conglomerados polimícticos proximales de las Capas del Duerna

Como ya se había indicado previamente (ALONSO, *op. cit.*), se trata de facies muy proximales en las que se han reconocido exclusivamente arenis-

cas poco evolucionadas que deben proceder de un área muy próxima dentro de la Zona Cantábrica.

Los conglomerados poligénicos de mezcla del Conjunto Peña Verde-Remolina

En estos materiales aparecen juntos elementos que proceden con toda seguridad de la Zona Cantábrica, como calizas devónicas o areniscas indeformadas, y cuarcitas evolucionadas en los estadios 2 y 3 que deben proceder de la ZAOL. El hecho de que este cuerpo conglomerático se interdigite en una zona próxima (los alrededores de Remolina) con los conglomerados cuarcíticos hace pensar que con toda seguridad debe haberse producido una mezcla, de forma que a un depósito con área madre en la Zona Cantábrica se han agregado elementos de los conglomerados cuarcíticos procedentes de la ZAOL.

Los conglomerados polimícticos de las Síntesis final Capas de Tejerina

Las asociaciones que se han descrito correspondientes al río de La Duerna presentan un cuadro muy similar al que se acaba de describir. Como en el caso anterior, existe mezcla de ele-

mentos procedentes con toda seguridad de la Zona Cantábrica y de otros de la ZAOL, y, como en él, existen lentejones próximos de conglomerados cuarcíticos, que al ser removilizados pueden haber proporcionado estos últimos elementos.

Con respecto a los conglomerados de la Zona de Tejerina, los términos del razonamiento son diferentes. Por un lado, la ausencia de niveles de conglomerados cuarcíticos próximos en la serie a los conglomerados polimícticos hace más difícil pensar en un aporte de elementos exógenos. Por otro lado, la presencia de alguna cuarcita de tipo 2 en medio de materiales de la Zona Cantábrica puede explicarse de una forma sencilla suponiendo que el área madre de estos depósitos, situada básicamente en la Zona Cantábrica, llegaba a involucrar un pequeño sector de un área con materiales del tipo de los que existen en la parte más externa de la ZAOL.

En la figura 6A se ha intentado representar esquemáticamente las posibles direcciones de los aportes para los conglomerados de la Unidad Basal del Grupo Cea. La curvatura que se observa en alguna de estas direcciones es en gran parte debida a la deformación posterior al depósito del grupo, tal como ha sido sugerido por ALONSO (*op. cit.*). En la figura 6B se reproduce un esquema

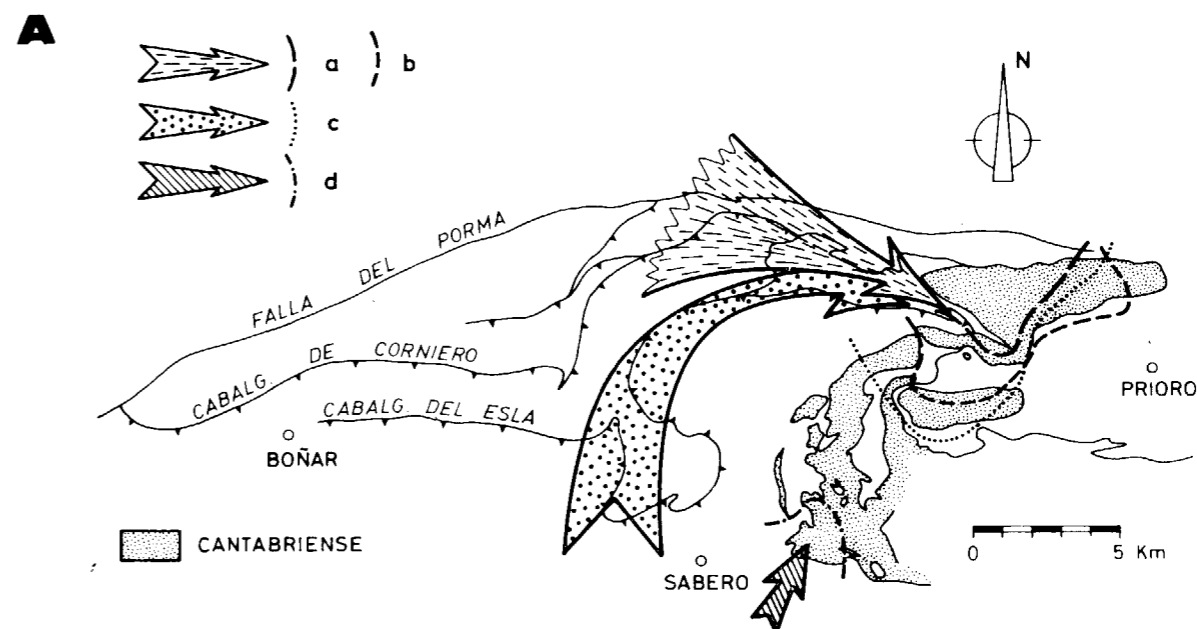
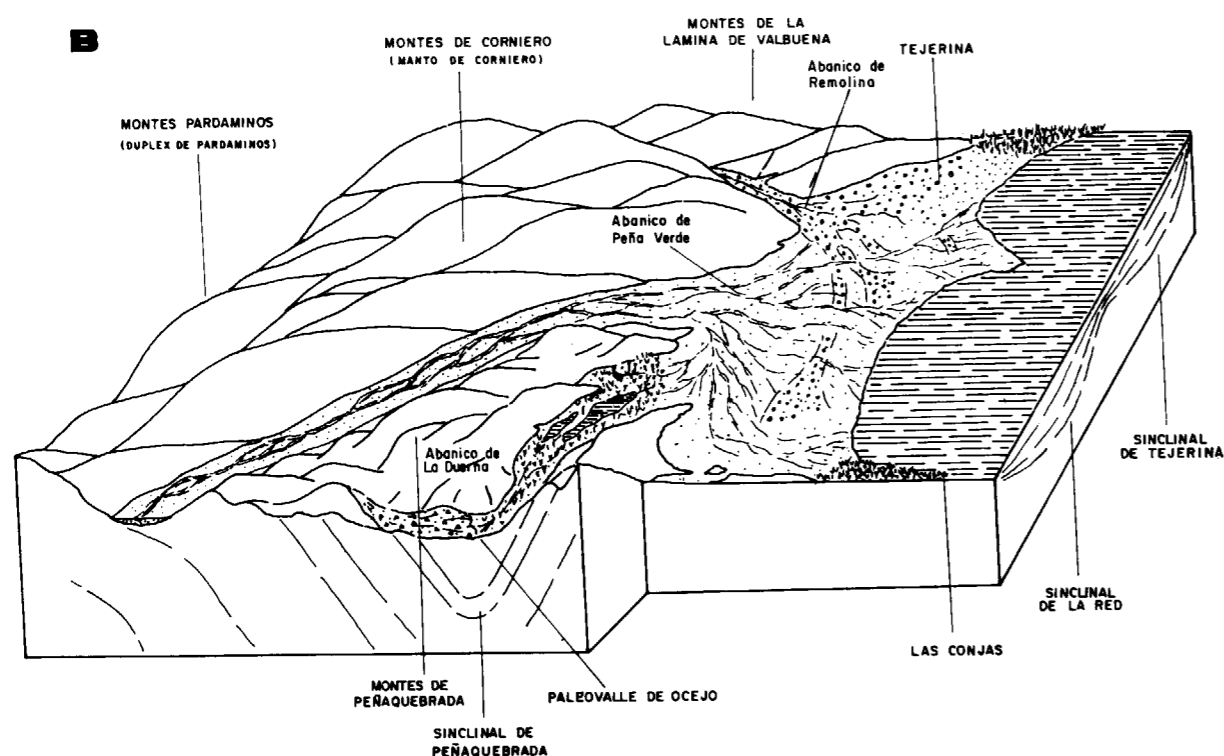


Figura 6.—A) Direcciones de aporte de los distintos abanicos y límites de extensión de los diferentes cuerpos conglomeráticos. a) Límite de los conglomerados masivos polimícticos en el abanico de Remolina; b) Límite de los conglomerados polimícticos en el abanico citado; c) Límite de los conglomerados cuarcíticos masivos en el abanico de Peña Verde, y d) Límite de los conglomerados en el abanico del Duerna.



B) Reconstrucción idealizada de la situación del sector del Esla en el momento del depósito de la Unidad Basal de los materiales cantabrienses.

idealizado de la situación del sector del Esla en el momento del depósito de la Unidad Basal de los materiales cantabrienses.

Para los conglomerados del tramo más alto del Grupo Cea (Capas de Tejerina), el área madre debió tener una posición similar a la que tenía la de los conglomerados polimícticos del Conjunto Peña Verde-Remolina, aunque con una extensión mayor, ya que estos conglomerados se extienden sobre toda la Unidad Basal.

BIBLIOGRAFIA

- ALONSO, J. L.: *Estructura y evolución tectonoestratigráfica de la región del Manto del Esla*. Tesis Doctoral, Univ. de Oviedo (1985).
- ALONSO HERRERO, E.: *Estudio geológico de la zona de Riaño-Valdeburón (León, Noroeste de España)*. Tierras de León, 43-44, 30 pp. (1981).
- ALLER, J.: *La estructura del sector meridional de las Unidades del Aramo y Cuenca Carbonífera Central*. Tesis Doctoral, Univ. de Oviedo (1984).

BASTIDA, F.: *La esquistosidad primaria y las microestructuras de las cuarcitas en la Zona Asturoccidental-leonesa*. Trab. Geol., Univ. Oviedo, 12, 159-185 (1982).

DIERENDONCK, A. I. van: *The relationship between sedimentation and tectonism in the southern Esla Nappe Region, Cantabrian Mountains, Spain*. M. Sc. Doctoral Thesis, Utrecht (1984).

GAPAIS, D.: *Déformation progressive d'une quartzite dans une zone plissée (Segment hercynien de Bretagne Centrale)*. Bull. Min., 102, 249-264 (1979).

HELMIG, H. M.: *The geology of the Valderrueda, Tejerina, Ocejo and Sabero coal basins (Cantabrian Mountains, Spain)*. Leidse Geol. Meded., 32, 75-149 (1965).

HEWARD, A., y READING, A. G.: *Deposits associated with a hercynian continental strike-slip system, Cantabrian Mountains, Northern Spain*. Spec. Publi. Int. Ass. Sedi., 4, 105-125 (1980).

IWANIW, E.: *The sedimentology and floral palaeoecology of Lower Cantabrian Basin margin Deposits, NW León, Spain*. Doctoral Thesis, Univ. Sheffield (1984).

KRIEST, J.: *The sedimentary and tectonical evolution of the northern Esla-Nappe area, Cantabrian Mountains, Spain*. M. Sc. Doctoral Thesis, Utrecht (1984).

MARCOS, A.: *Nota sobre el significado de la «Leon line»*. Brev. Geol. Astúrica, 7, 1-5 (1968).

MARCOS, A.: *Facies differentiation caused by wrench deformation along a deep-seated fault system (Leon line, Cantabrian Mountains, North Spain)*. Discussion. Tectonophysics, 60, 303-309 (1979).

MARJORIBANKS, R. W.: *The relation between microfabric and strain in a progressively deformed quartzite sequence from Central Australia*. Tectonophysics, 32, 269-293 (1976).

WAGNER, R. H.: *Nota sobre la estratigrafía del terreno hu-*

llero de Sabero (León). Estu. Geol., XIII (35-36), 229-239 (1957).

WAGNER, R. H.; VILLEGAS, F. J., y FONOLLA, F.: *Description of the Lower Cantabrian Stratotype near Tejerina (León, NW Spain), with palaeontological notes by R. H. Wagner and M. A. Calver*. C. R. 6th Cong. Carb. Sheffield, 1967, 1, 115-138 (1969).

WILSON, C. J. L.: *The prograde microfabric in a deformed quartzite sequence, Mt. Isa, Australia*. Tectonophysics, 19, 39-81 (1973).

Recibido: Noviembre de 1985

GEOLOGIA

Presencia de *Delgadella souzai caudata* (Delgado, 1904) en el Cámbrico Inferior de Nogales (Badajoz)

Por MARIA DOLORES GIL GIL (*)

RESUMEN

Se cita, describe y figura por primera vez fauna de Trilobites (*Delgadella souzai caudata*) en el Cámbrico Inferior de Nogales (Badajoz).

RESUME

On fait la description et figuration pour la premiere fois d'une faune de Trilobites (*Delgadella souzai caudata*) au Cambrienne inferieur de Nogales (Badajoz).

1. INTRODUCCION

El material objeto de este trabajo procede, en su totalidad, del yacimiento situado a la salida de Nogales hacia Santa Marta (Badajoz) (fig. 1). Este yacimiento es inédito y viene a integrarse entre los ya conocidos en el Cámbrico de Ossa Morena, aportando interesantes datos paleontológicos sobre el Cámbrico Inferior al NO de Zafra (fig. 1).

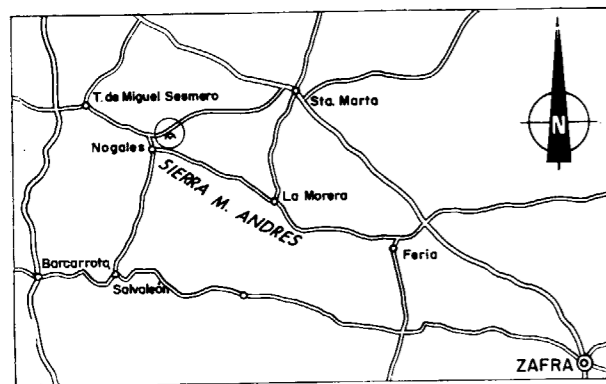


Figura 1

Geológicamente este yacimiento está dentro de la Formación detritica superior (CA_p) y más concretamente a muro de las pizarras versicolores (A. MUELAS y J. SAUBRIER, 1977), Hoja 828 del Mapa Geológico E. 1:50.000, pp. 14-15. La edad que nos proporciona la fauna encontrada en Nogales es Cámbrico Inferior B (Marianense) y es equivalente a las capas de Cala (Andalucía). El contenido fósil ha consistido hasta ahora en Trilobites Agnóstidos semejantes a los descritos por RICHTER en 1941 para el Cámbrico Inferior de Cala.

Hasta el momento, el género *Delgadella* se ha encontrado en Cala (RICHTER, 1941), Alanís (SDZUY, 1961) y Alconera (LIÑÁN, E., y PEREJÓN, A., 1981). Estos últimos autores sitúan la presencia de este género de Trilobites dentro del «miembro La Hoya» en su tramo superior, dándole a éste una edad Marianense Superior.

En el yacimiento de Cala aparece, según RICHTER (1941), asociado a: *Eodiscus (Serrodiscus) serratus*. Richter 1941, *Eodiscus (Eodiscus) llarenai*. Richter 1941, *Strenueva cf. annio*. Cobbold, *Strenueva vigilans*. Matthew, *Eodiscus (Serrodiscus) speciosus*. Ford. *Callavia? lotzei*. Richter 1941, *Bonniella? hispanica*. Richter 1941, *Photolenus schneideri*. Richter 1941, *Micmacca schwarzbachi*. Richter 1941, *Lusatiops Lusitanicus*. Schwarzbach, y *Scenella reticulata* Billings.

En el trabajo de SDZUY de 1961, *Delgadella* aparece citada para el yacimiento de Alanís y posteriormente (en 1971) este mismo autor la vuelve a citar en relación con *Hicksia*, *Judomia*, *Serrodiscus*, *s. silesius*, *Gigantopygus* y *Triangulaspis*, caracterizando, lo que este autor denomina Cámbrico Inferior B-C (Marianense alto); esta fauna sería equivalente a la de Cala, Llerena y Alanís en la zona de Ossa Morena.

LIÑÁN, E., y PEREJÓN, A., en 1981, dan para los ejemplares del género *Delgadella* de Alconera una asociación de Trilobites consistente en *Serrodiscus*, *Triangulaspis*, *Hicksia*, *Strenueva* y *Termirella*.

Material

En nuestro caso, Nogales sólo ha proporcionado trilobites de la especie *Delgadella souzai caudata* (DELGADO, 1908). Hemos obtenido hasta el momento cuarenta y seis ejemplares, de los cuales un tercio de ellos ofrece unas buenas garantías determinativas.

Se han encontrado moldes externos e internos sobre todo de pigidios, estando ausentes prácticamente los cefalones, al menos completos, si bien contamos con fragmentos.

El tamaño de los ejemplares coincide con los indicados por RICHTER en 1941 y por SDZUY en 1961, oscilando entre 3,5 y 4 mm. Asimismo las descripciones y detalles morfológicos del material figurado y descrito por ambos autores son sensiblemente aplicables a nuestros ejemplares; sobre el material citado por LIÑÁN y PEREJÓN en 1981 no hemos podido establecer una comparación mínima al carecer este trabajo de figuración y descripción individualizada de las especie citadas.

Estudio paleontológico

RICHTER en 1941 da al material de Cala la denominación de *Eodiscus (Weymouthia) caudatus* (DELGADO, 1904) y posteriormente SDZUY en 1961 establece la posición de estas formas haciendo unas consideraciones entre ellas y la fauna descrita por TEIXEIRA para Vila Boim, a las cuales nos remitimos (SDZUY, 1961, p. 521).

2. SISTEMATICA

Familia: Pagetidae kobayashi 1935.

Género: *Delgadella* Walcott 1912.

Especie tipo: *Lingulepis lusitanica* Delgado 1904.

(=*Microdiscus souzani* Delgado 1904.)

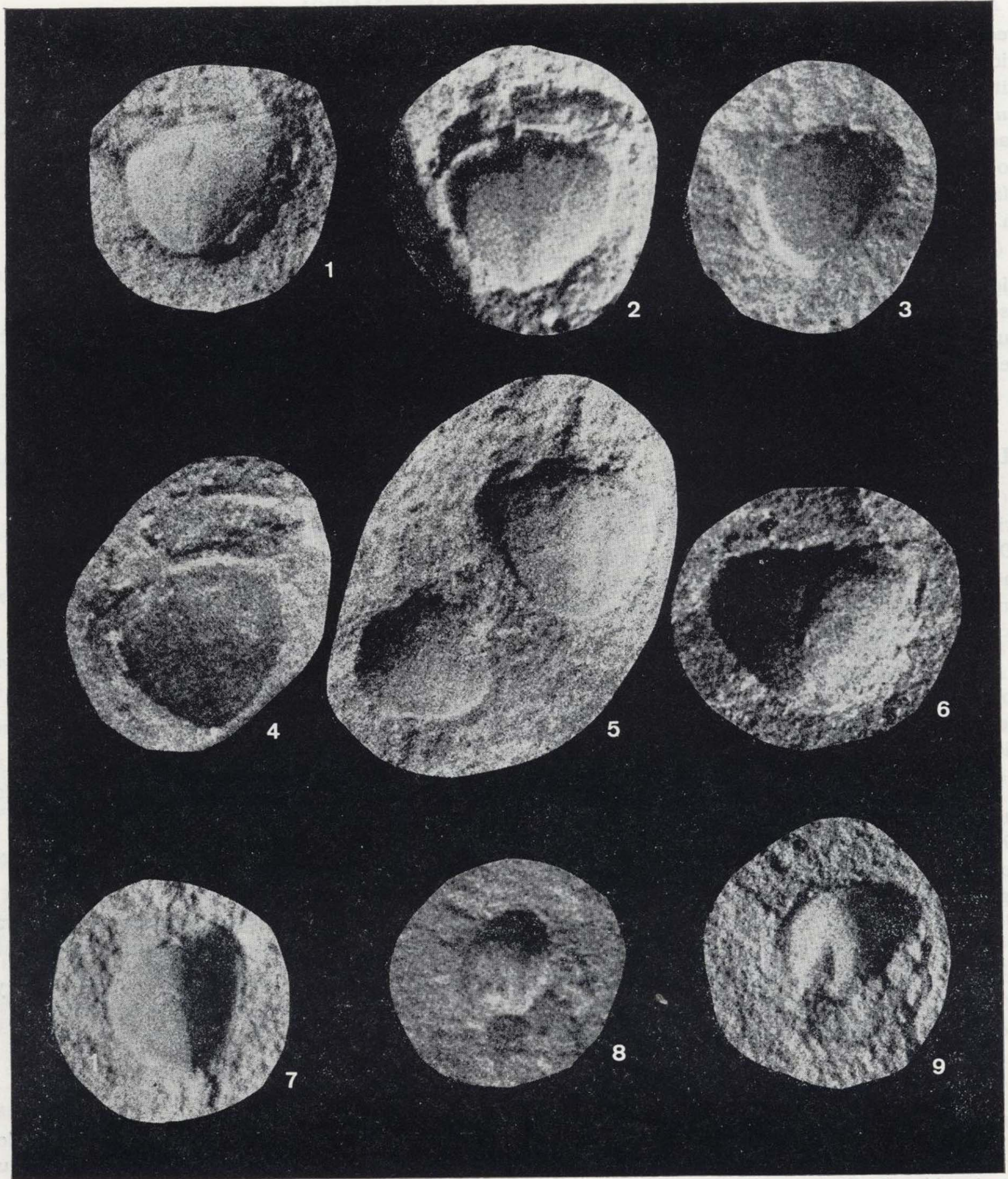
Delgadella souzai caudata Delgado 1904.

1904. *Microdiscus caudatus* afin. Delgado Haut. alemtejo, p. 349, tof. 3, fig. 12.
1904. *Microdiscus subcaudatus* sp. n. Delgado ib., p. 350, fig. 5.
1904. *Microdiscus wenceslari* sp. n. Delgado ib., p. 350, fig. 3.
1904. *Microdiscus woodwardi* sp. n. Delgado ib., p. 353, fig. 3.
1904. *Microdiscus souzai* sp. n. Delgado ib. p. 351, fig. 3.
1917. *Deldadoia (Caudata Delgado) Vogdes*. Pal. Crustacea, p. 81.
1935. *Delgadodiscus (caudatus Delgado) Kobayashi* South Chosen, pp. 112-113.
1936. *Delgadodia (Caudata Delgado) Whitehouse*. North eastern Australia, p. 81.
1941. *Eodiscus (Weymouthia) caudatus*. Delgado, Richter, p. 30, figs. 2, 3.
1952. *Delgadella souzai caudata* (Delgado). Teixeira, Vila Boim, S.12, lám. 13, fig. 5.
1958. *Weymouthia caudata* (Delgado) Lotze. Stratigraphie des spanischen Kambrium, p. 744.
1961. *Delgadella souzai caudata*. Delgado. Sdzuy. Das Kambrium spaniens, p. 521, lám.

DESCRIPCION

Escudo cefálico de borde entero, redondeado, prácticamente liso, es decir, sin aparentes crenulaciones, ni ornamentación; glabela muy poco marcada, difusa y sólo está limitada por dos cortos y débiles surcos que sólo están presentes en la zona basal; relieve muy uniforme, pasando casi sin transición desde la región glabellar al resto del cefalón; área preglabellar con una extensión si-

(*) Departamento de Paleontología e Instituto de Geología Económica U.C.M.-C.S.I.C.



EXPLICACION DE LA LAMINA

Núms. 1 a 7.—Moldes internos de pigidios de Delgadella souzai caudata, DELGADO, 1904. Tamaño de los ejemplares: 3.4 mm. Localidad: Nogales (Badajoz).

Núms. 8 y 9.—Escudos cefálicos de Delgadella souzai caudata, DELGADO, 1904. Tamaños: Núm. 8, 3 mm.; Núm. 9, 4 mm. Localidad: Nogales.



EXPLICACION DE LA LAMINA

Núms. 1 a 7.—Moldes internos de pigidios de *Delgadella souzai caudata*, DELGADO, 1904. Tamaño de los ejemplares: 3-4 mm. Localidad: Nogales (Badajoz).
 Núms. 8 y 9.—Escudos cefálicos de *Delgadella souzai caudata*, DELGADO, 1904. Tamaños: Núm. 8, 3 mm.; Núm. 9, 4 mm. Localidad: Nogales.

milar a la ocupada por media de la altura glabellar; sutura marginal bien diferenciada, presentando un recorrido siempre dorsal y subparalelo al borde externo del cefalón; ausencia de ojos; el tórax consta de tres segmentos torácicos; cada una presenta una zona central o raquis torácico de bordes subparalelos, lisos, las zonas pleurales se presentan lanceoladas en sus bordes con pequeñas hendiduras transversales poco pronunciadas. El pigidio es típico y muy bien diferenciado; es ligeramente acumulado en el borde posterior, si bien mantiene la tónica general; borde entero y forma sub-semiesférica, afilada sagitalmente.

El raquis pigidial, según estemos en presencia de un molde externo o interno, podremos observarlo con mayor claridad; en los moldes internos estaremos en presencia de una morfología con menos relieves, más liso y que aparentemente no presenta un raquis (sag) marcado; en los moldes internos se aprecia, con luz rasante, un raquis central, débil, que puede alcanzar al borde posterior; este raquis presenta una forma cónica aguda y en la zona anterior se inicia con una anchura que puede alcanzar 1/3 de la anchura total del pigidio; tanto en el molde externo como en el interno se aprecian claramente el surco marginal bien diferenciado y que en nuestros ejemplares presentan un trazado claro y neto paralelo al borde.

Tamaño: los tamaños de cefalón, 4,00 mm.
 los tamaños de pigidio, 3,3-3,5 mm.

Distribución

Cámbrico Inferior: zona 8 (souzai-chneideri) (LOTZE y SDZUY, 1961), Marianiense Superior, SDZUY, 1971. Equivalente con Margas medias de Herrerías y Pizarras de Vila Boim.

CONCLUSIONES

Dado que la división en pisos dentro del Cámbrico Inferior tiene un principal elemento, la exis-

tencia o no de asociaciones de trilobites, es importante constatar con la existencia de *Delgadella souzai caudata* en el NO de Zafra; con esta cita se amplía la presencia de este género en el Cámbrico Inferior español, que hasta ahora estaba citado para Cala, Alanís y Alconera; todos estos yacimientos están incluidos en la zona de Ossa Morena (JULIVERT, 1975).

Depósito del material: Dpto de Paleontología, Facultad C. Geológicas.

Este trabajo ha sido efectuado con subvenciones del Subproyecto 456, «Bioestratigrafía y Paleoecología del SW del Macizo Hespérico», de la CAICYT.

BIBLIOGRAFIA

- GIL GIL, D.: *Nota preliminar sobre el contenido faunístico y edad del Cámbrico de Zafra y Alconera (Badajoz)*. Bol. Geol. y Min., 84-1, pp. 26-31, 2 figs., 2 cuadros. Madrid (1973).
- LIÑÁN, E., y PEREJÓN, A.: *El Cámbrico inferior de la «Unidad de Alconera», Badajoz (Sw de España)*. Bol. R. Soc. Española Hist. Nat. (Geol.), 79, 125-148, Madrid (1981).
- MUELAS, A., y SUBRIER, J.: *Hoja núm. 828 (Barcarrota). Mapa Geológico de España, E. 1:50.000. IGME, 40 pp., 1 mapa, Madrid (1977)*.
- RICHTER, R. y F.: *Die Fauna des Unter-Kambriums von Cala in Andalusien*. Abh. senckenberg naturforsch. Gess., 455, pp. 1-90, 14 láms., Frankfurt (1941).
- SDZUY, K.: *Das Kambrium Spaniens. Teil II Trilobiten*. Akad. Wiss. Lit. Abh. math.-naturw. kl., 7-8, pp. 217-408, láms. 1-34, Mainz (1961).
- SDZUY, K.: *Acerca de la correlación del Cámbrico inferior en la Península Ibérica*. I Congr. Hisp-Luso-Amer. Geol. Econ., 2, secc. I, pp. 753-768, Madrid (1971).
- SDZUY, K.: *Das Kambrium der acadobaltischen Faunenproving*. Zbl. Geol. Paläont. Teil II, jahrg. H 1/2, pp. 1-92, Stuttgart (1972).
- TEIXEIRA, C.: *La faune cambrienne de Vila Boim au Portugal*. Bol. Soc. Geol. Portugal, 10, pp. 169-188, 1-18 lám. Porto (1953).

Recibido: Julio de 1985

GEOLOGIA

Las formaciones aluviales de la depresión presomontana de Cinco Villas (*)

Por. Fco. J. GRACIA PRIETO (**)

RESUMEN

En el área de las Bardenas - Cinco Villas se pone de manifiesto la existencia de una elevación relativa del borde pirenaico, con la generación de glaciares y depósitos encostrados, previa al exorreísmo de la cuenca, en el Neógeno Superior. Asimismo, se cita la posibilidad de existencia de un nivel pliocuaternario erosionado, del que arrancan glaciares cuaternarios. Se postula una posible evolución para el sistema fluvial Arba-Riguel-Barranco de Valareña, relacionada con la formación de extensos niveles de glaciares-terrazas. Para el Cuaternario reciente, se han distinguido dos etapas de acumulación, la última de ellas de edad medieval, separadas por episodios de erosión. Estos últimos son funcionales actualmente.

ABSTRACT

The existence of a relative uplift of the pyrenean range is evidenced, with the generation of glaciares and crusted deposits in the upper Neogene, previous to the Ebro Basin's opening. Evenly, the possibility of existence of an eroded plio-quaternary level is drawn, based upon some glaciares developed at its base. A possible evolution for the Arba-Riguel-Bco. de Valareña fluvial system is established, related to the creation of extensive glaciares-terraces levels. It has been distinguished two accumulation stages for the recent Quaternary; the last one has a medieval age. These episodes are alternated by erosional phases, which are functional nowadays.

1. INTRODUCCION

La comarca de Cinco Villas se localiza al oeste de la provincia de Zaragoza, en la región noroccidental de la Depresión del Ebro (fig. 1). Los ríos principales son el Arba de Luesia y el Riguel, que surcan el área de norte a sur, y que confluyen aguas abajo de Ejea de los Caballeros. Cabe destacar también el Barranco de Valareña y el de Tudela, que van a desembocar en los ríos Riguel y Ebro, respectivamente. Climáticamente nos encontramos en un dominio semiárido, con inviernos fríos y húmedos, y veranos cálidos y muy secos.

Son pocos los trabajos de interés que estudien la geomorfología de esta zona, y entre ellos debemos destacar los de HERNÁNDEZ PACHECO (1949), ALASTRUE (1953), MENSUA et al. (1977) e IBARRA

(1984). En lo que a la evolución geomorfológica se refiere, debemos citar a MENSUA e IBÁÑEZ (1977), que elaboran una cartografía a escala 1:100.000 de los depósitos cuaternarios de las Cinco Villas, proponiendo una evolución para el sistema fluvial Arba-Riguel.

Geológicamente la zona está ubicada en el centro de la Depresión del Ebro, en su parte occidental. Presenta materiales terciarios continentales con estructura tabular, sucesivamente más jóvenes hacia el sur. Al oeste (Bardena Blanca) afloran yesos y margas oligocenos y aquitanienses, correspondientes al cierre periclinal del anticlinal diapírico de Falces (CRUSAFONT et al., 1966). En la mitad norte del área (montes de Sádaba) aparecen las areniscas y lutitas de la formación Uncastillo (SOLER y PUIGDEFÁBREGAS, 1970), de edad Aquitaniense-Burdigaliense. En la mitad sur (Bardena Negra) afloran los materiales calcáreos, arcillomargosos y yesíferos de las formaciones Alfaro y Tudela, según CASTIELLA et al., 1977; la edad esti-

mada por estos autores es Aquitaniense-Pontense. Las series terminales del Mioceno Superior quedan representadas por las calizas culminantes de Sancho Abarca, en la Plana de la Negra (SOLÉ, 1954), constituyendo esta plataforma el relieve más destacado de la región (630 m. de altura absoluta). Los relieves estructurales dominantes son mesetas y plataformas sobre materiales resistentes (areniscas o calizas), alrededor de las cuales se forman depresiones y valles de fondo plano, excavados en las margas circundantes.

Los depósitos cuaternarios se encuentran ampliamente extendidos por toda el área, estando representados principalmente por los amplios mantos aluviales del río Arba de Luesia y del Barranco de Valareña (entre los cuales discurre el Riguel), y por los glaciares de las Bardenas. Estos últimos parten de los relieves calcáreos tabulares y van a enlazar con las terrazas de los ríos citados (fig. 1). Para su estudio, vamos a dividir todos estos depósitos en tres grupos generales: terrazas, glaciares-terrazas y glaciares.

2. LOS SISTEMAS DE TERRAZAS

El río Arba de Luesia, que nace en las sierras prepirenaicas de Sto. Domingo, presenta en el área un trayecto más o menos rectilíneo, de norte a sur, con una sinuosidad muy baja. Hemos reconocido cuatro niveles de terrazas, cuyos depósitos muestran secuencias Gm → Fm muy claras (tomando la terminología de MIALL, 1977). La composición de los cantos (arenisca, cuarcita, caliza y lidita) indica una procedencia claramente prepirenaica. Hay que señalar el significativo aumento del grado de encostramiento desde los niveles más recientes hasta los más antiguos, sobre todo en el caso de las terrazas T₃ y T₄.

El Bco. de Valareña nace al suroeste de Sádaba, y desemboca en el río Riguel, formando un amplio arco hacia el oeste. Se distinguen tres niveles de terrazas, cuyos depósitos presentan una composición similar a los del Arba de Luesia.

El río Riguel nace en la sierra prepirenaica de Uncastillo, y presenta un recorrido muy rectilíneo en nuestra zona, de norte a sur. Confluye con el Bco. de Valareña en las proximidades de Santa Anastasia. Únicamente presenta un nivel de

terrazas reciente, T₁, con los caracteres ya citados para los ríos anteriores.

Finalmente, el Bco. de Tudela, que nace al pie de la Plana del Farillo y desemboca en el río Ebro, tiene los caracteres de una auténtica rambla. Se distinguen dos niveles de terrazas, cuyo depósito presenta, a diferencia de los de los ríos anteriores, una composición exclusivamente calcárea.

Un carácter especial de la depresión presomontana de Cinco Villas es la escasa incisión de sus cauces fluviales principales. La correlación entre niveles de terrazas de distintos ríos no es muy fácil, y en las zonas de confluencia esta complicación es máxima. Sin embargo, tras una toma sistemática de datos altimétricos para todos los niveles estudiados, podemos ofrecer el siguiente cuadro de correlación:

Nivel	Río Arba	Bco. de Valareña	Río Riguel	Bco. de Tudela	
	Mensua e Ibáñez (1977) Metros	Gracia (1985) Metros	Gracia (1985) Metros	Gracia (1985) Metros	
T ₁	—	4-6	4	4-5	3-4
T ₂	10	8-9	11-14	—	8
T ₃	10-25	15-18	18	—	—
T ₄	15-35	26-33	—	—	—

3. LOS SISTEMAS DE GLACIS-TERRAZAS

En el interfluvio entre los ríos Riguel y Arba se extiende una amplia llanura modelada en glaciares (fig. 1), denominada Saso de Sádaba, cuyo origen es difícil de establecer. Presenta más de 100 km² de superficie, con una pendiente del 1 por 100 hacia el sur. El depósito presenta gravas polimícticas de procedencia prepirenaica, buen redondeamiento de los cantos, lentejones arcillolimosos, morfologías canaliformes, imbricación de cantos, y una potencia muy constante de 3-4 m. (hecho ya señalado por ALASTRUE, 1953). A techo se desarrollan potentes costras calcáreas. Entre los ríos Riguel y Bco. de Valareña existe un llano de características semejantes, denominado Saso de Miraflores. El enlace de estos depósitos con los correspondientes niveles de terrazas de los ríos Arba y Bco. de Valareña, hace que distingamos

(*) Proyecto CAICYT núm. 1437/82.

(**) Departamento de Geomorfología y Geotectónica. Facultad de Ciencias. Zaragoza.

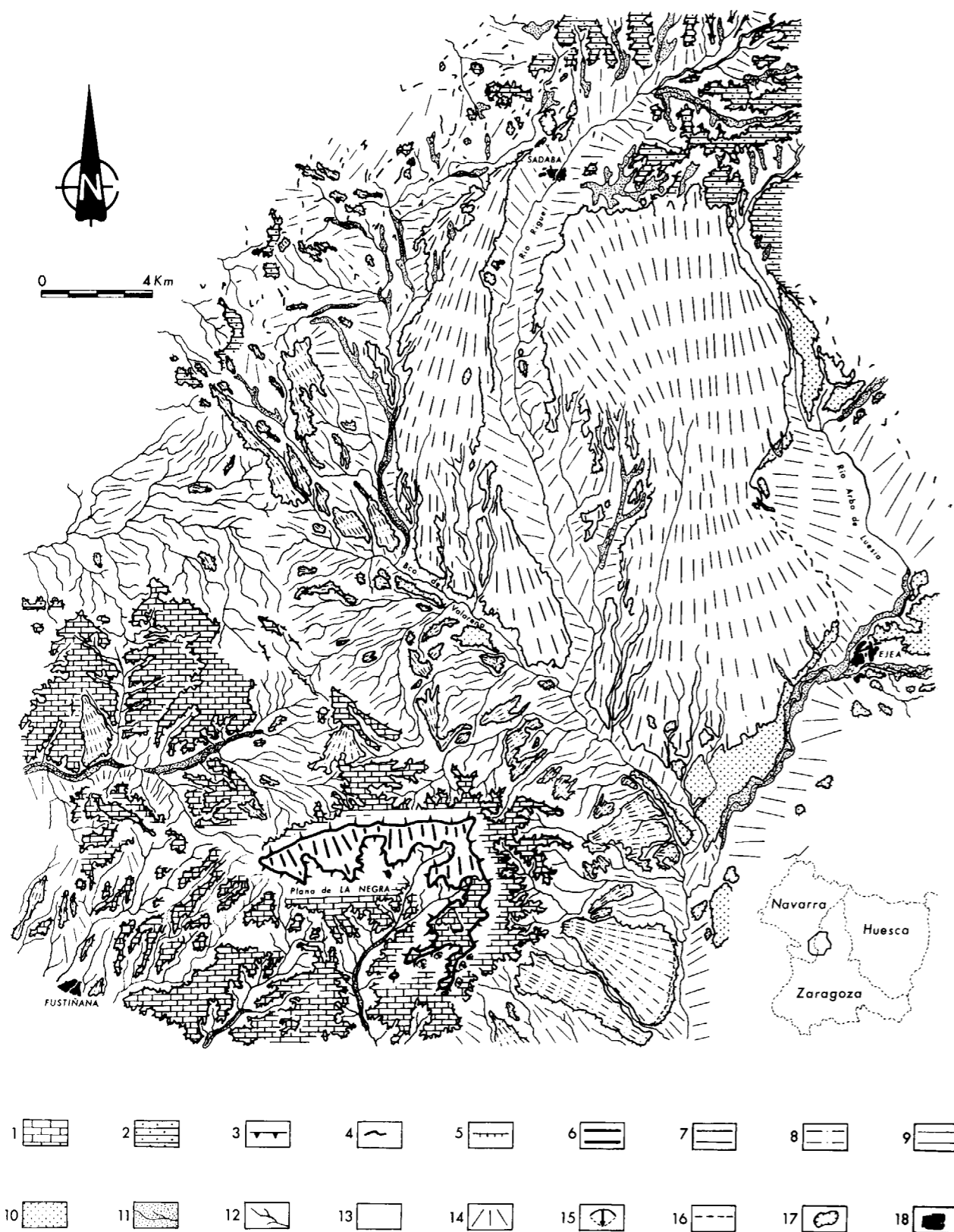


Figura 1.—Mapa geomorfológico del área estudiada. LEYENDA: 1. Plataformas y mesas en calizas. 2. Plataformas y mesas en areniscas. 3. Escarpe estructural. 4. Paleocanales de arenisca. 5. Escarpe de depósitos cuaternarios. 6. Glacis de la Plana de la Negra. 7. Glacis-terrazas. 8. Glacis cuaternarios. 9. Derrames subactuales. 10. Terrazas. 11. Cauce actual y valles de fondo plano. 12. Barranco de incisión. 13. Vertiente desnuda. 14. Vertiente regularizada. 15. Deslizamientos rotacionales. 16. Contacto supuesto. 17. Depresiones cerradas. 18. Núcleos de población.

estos dos sistemas de forma independiente: glacis-terrazas del Arba (para el Saso de Sádaba), y glacis-terrazas del Bco. de Valareña (para el Saso de Miraflores).

En sus zonas más distales, la similitud de estos depósitos con los de terrazas de los ríos Arba y Barranco de Valareña, y la escasez de afloramientos, hacen difícil la delimitación entre lo que sería propiamente glacis o terraza. Estas circunstancias nos han llevado a denominar a estos sistemas como «glacis-terrazas» (GT).

Tras el análisis altimétrico se observa un cierto escalonamiento de superficies en ambos sistemas. Así, se aprecian tres niveles para el glacis-terrazza del Arba (GT₅, GT₄ y GT₃), y tres para el del Barranco de Valareña (GT₃, GT₂' y GT₂). El reconocimiento de niveles en el campo no es fácil, ya que han sufrido una escasa disección; a esto se une la intensa regularización de sus vertientes y los trabajos de abancalamiento generalizado para uso agrícola.

ALASTRUE (1953) invoca para estos depósitos un origen fluvial por canales muy numerosos; sus frecuentes manchas de aluviones podrían enlazarse en mantos de gran extensión. Según MENSUA (1964), los glacis del Valle del Ebro están condicionados por la «existencia de un relieve estructural (en nuestro caso los montes de Sádaba y la sierra de Santo Domingo) y de rocas blandas (las margas y arcillas aquitanienses de la depresión de Cinco Villas), cuya planación no ofrece resistencia». Esta «planación» se realiza por aluvionamiento, mediante redes de canales anastomosados cuyo movimiento lateral es muy activo; no existe un canal principal, sino todo un conjunto de corrientes que «barren» la superficie del piedemonte (TRICART, 1981). La génesis de un nivel de glacis-terrazza se situaría, en efecto, en un aluvionamiento por corrientes anastomosadas (tipo braided), pero donde una de ellas tuviera un desarrollo mucho mayor que el resto. Este canal principal tendría un caudal superior al de los demás y una extensión mayor. El resultado de esta dinámica fluvial consistiría, así, en un depósito con características fluviales (creado por el curso braided principal), cuya morfología se asemejaría a la de un glacis (por el efecto de migración lateral de las demás corrientes anastomosadas).

La interrupción de esta dinámica no se realizaría de forma brusca, sino mediante un estadio

póstumo de actividad de pequeñas corrientes efímeras de baja energía, creación de áreas encharcadas, etc., con la generación de depósitos de costra calcárea a techo de las acumulaciones anteriores. Se han estudiado algunos perfiles de costra de estos depósitos (fig. 2). En ellos se observa una seriación de facies constante, de muro a techo: costra brechoide, pulverulenta, nodulosa y acintada. La generación de este tipo de depósitos carbonatados, según diversos autores (ELLOY y THOMAS, 1981; BLÜMEL, 1982; SANCHEO, 1985) está relacionada con pequeños cambios climáticos, en una alternancia de etapas de intensa aridez con otras de dinámica acuosa y desarrollo de organismos vegetales. Por otra parte, su asociación con sedimentos fluviales (depósitos de terraza infrayacentes) se sitúa en una inactividad morfodinámica de la red fluvial, produciéndose una sedimentación carbonatada en pequeños canales y en zonas restringidas.

A la vista de los datos expuestos, intentaremos establecer una evolución para el sistema fluvial, basándonos en la distribución y escalonamiento de los niveles diferenciados.

Los niveles GT₅ y GT₄ del Arba son los más antiguos del sistema, y se sitúan por debajo de los depósitos pliocuaternarios más próximos (Cerro de Monlora, en la depresión del Arba de Biel; IBARRA, 1984). Podemos suponer que el inicio de este dispositivo sedimentario en glacis-terrazas debió darse en el Pleistoceno. Durante este período ya existían los ríos Arba de Biel y Arba de Luesia, a la vez que en la cuenca de este último se desarrollaban los niveles GT₅ y GT₄ de glacis-terrazas (figura 3A).

La formación del nivel GT₃ significa el desplazamiento del canal braided principal de oeste a este. La existencia de niveles GT₃ en las proximidades del Bco. de Valareña nos indica que este curso fluvial empezó a ser activo entonces (o quizás antes), creando depósitos de terraza en sus tramos más bajos, cerca ya de la confluencia con el Arba (figura 3B).

Los niveles GT₂' y GT₂ del Bco. de Valareña se originarían igualmente por emigración de este nuevo sistema braided hacia el oeste. Mientras, el río Arba de Luesia depositaría sus acumulaciones de terrazas, formando los niveles bajos (fig. 3C).

Tras el relleno sedimentario de esta cuenca de

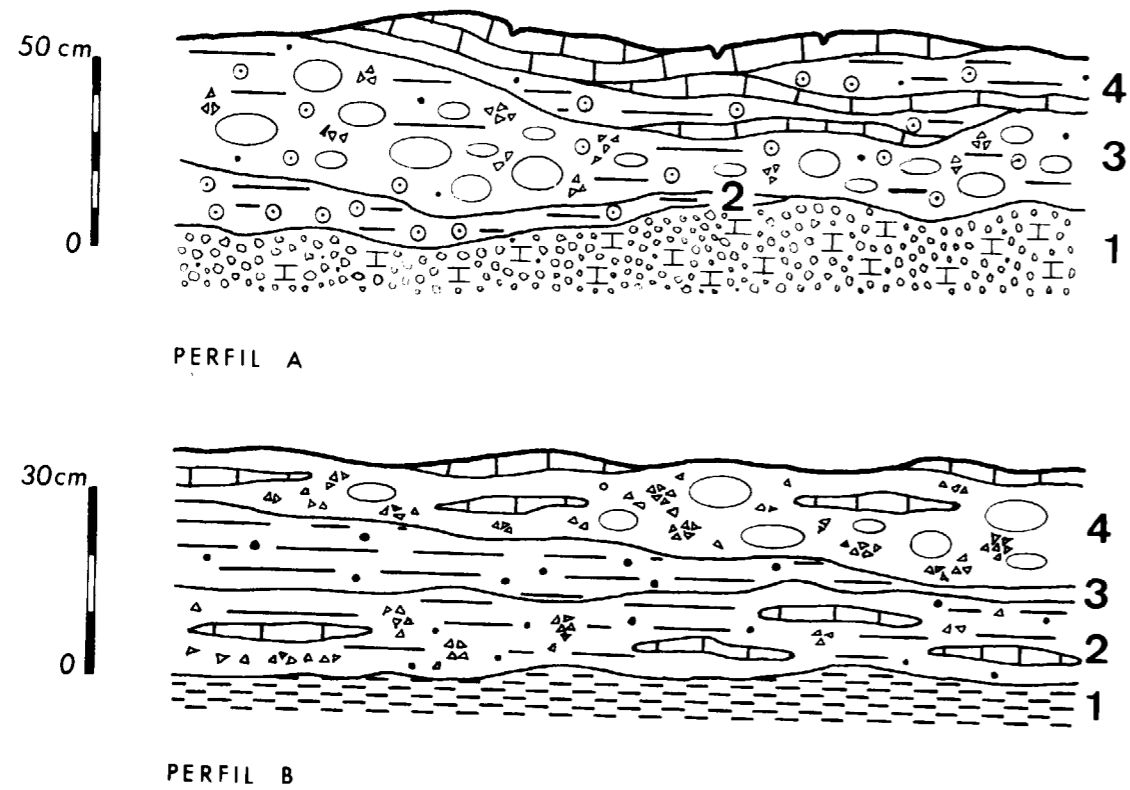


Figura 2.—Perfiles de costras en depósitos de glaci-terrazas. **PERFIL A:** Caliche del nivel GT₅ del Arba en Torres del Bayo; 1. Gravas encostradas. 2. Costra pulverulenta con ooides. 3. Costra nodulosa con cantos, algo pulverulenta y retrabajada. 4. Costra acintada, algo pulverulenta, con grietas de desecación. **PERFIL B:** Caliche del nivel GT₂ del Bco. de Valareña, en Sádaba. 1. Sustrato arcillo-limoso. 2. Costra pulverulenta retrabajada con niveles acintados. 3. Costra pulverulenta masiva con cantos. 4. Costra nodulosa, retrabajada, con niveles acintados.

Cinco Villas, y existiendo ya una red fluvial bien jerarquizada (constituida por el Bco. de Valareña y los Arbas), los nuevos aportes que llegaran a esta zona quedarían canalizados en cauces bien individualizados. Esto se traduciría en la creación de valles fluviales bien definidos, y en el depósito de los niveles de terraza más recientes, T₁. Es posible entonces cuando debió instalarse el río Riguel, quizá aprovechando el contacto existente entre las dos formaciones aluviales anteriores (fig. 3D). El nivel T₁ ha sido posteriormente fosilizado por derrames subactuales, ampliamente desarrollados en toda la zona.

El paso de un flujo confinado a un flujo abierto, sin límites laterales, lleva consigo una disminución en su competencia de transporte (con el consiguiente depósito), a la vez de una disminución en la profundidad de flujo (y creación de

pequeñas corrientes someras). Esto ocurre con los sistemas de glaci-terrazas del Arba y del Bco. de Valareña. Para los niveles más altos (GT₅, GT₄, e incluso GT₃) no podemos saber qué corriente fluvial de procedencia prepirenaica pudo sufrir esta brusca «descompresión», con la generación del Saso de Sádaba. Sin embargo, los niveles GT₂ y GT₁ puede ser que se originaran por la salida del propio río Riguel desde la Sierra de Sto. Domingo a la depresión de Cinco Villas. De esta forma, quizá este río existió antes de lo que hemos supuesto. En cualquier caso, si esto sucedió así, el Riguel no pasó a formar un cauce individualizado hasta los últimos tiempos, durante la generación de la terraza T₁; por otra parte, la denominación de «glaci-terrazas del Bco. de Valareña» nos parece que sigue siendo correcta, ya que este curso en todo momento sirvió de nivel de base para las corrientes anastomosadas del Saso de Miraflores.

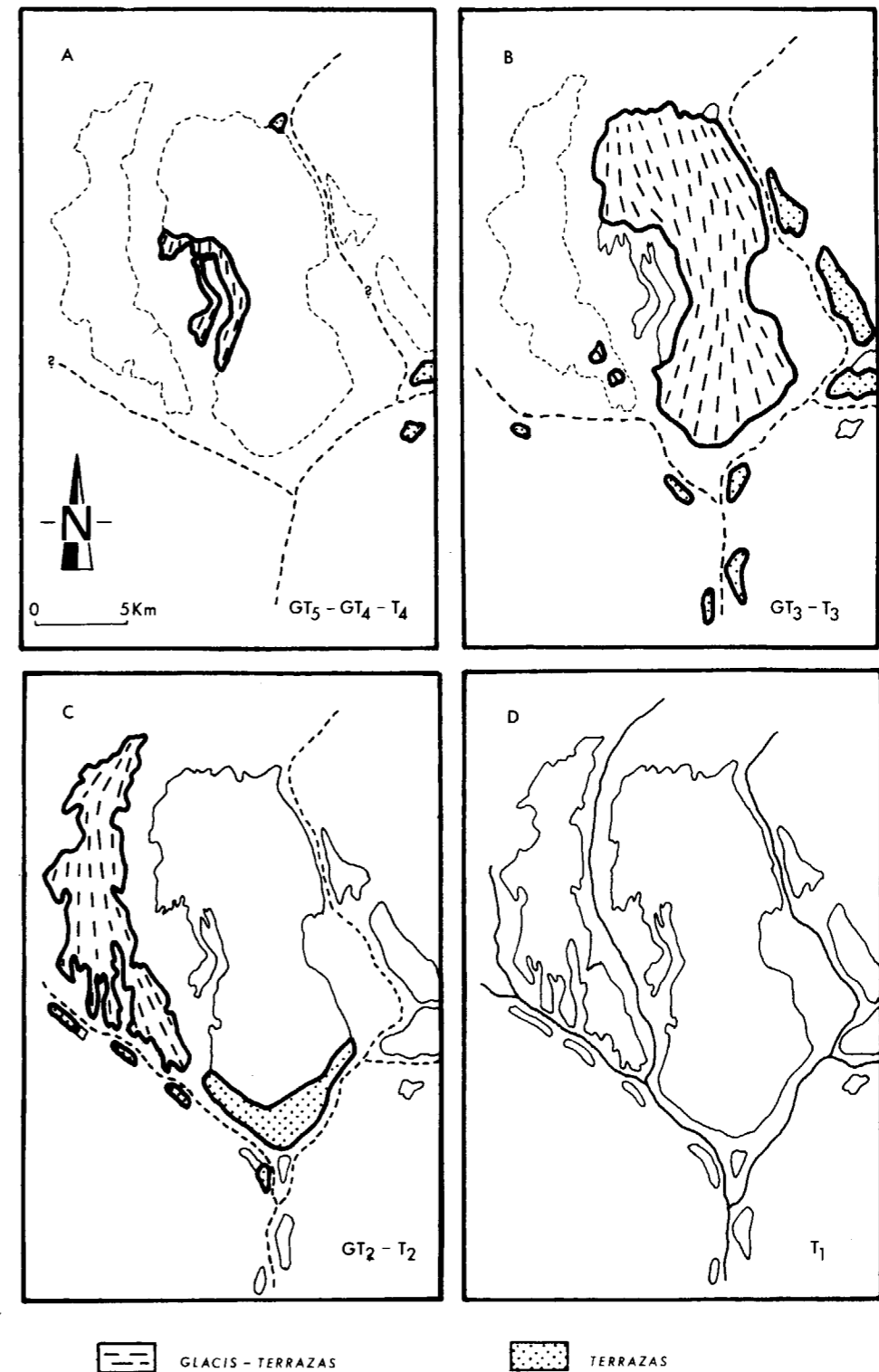


Figura 3.—Evolución del sistema fluvial Arba - Riguel - Bco. de Valareña.

4. LOS GLACIS

4.1. El glacis de la Plana de la Negra

El glacis más antiguo del área se sitúa en la Plana de la Negra (fig. 1), y ha sido estudiado con detalle por GRACIA et al. (1985). Con una pendiente del 3 al 6 por 1.000 hacia el sur, no llega a arrasarse por completo la superficie de esta plataforma. Las mesas carbonatadas que aparecen sobre ella, al sur del glacis, son así relieves residuales con respecto a éste (fig. 4). Su depósito, con una potencia máxima de 6 m., está compuesto por cuerpos detríticos canaliformes de arenisca de grano grueso, con limos y arcillas verdes y amarillentas con hiladas de cantos. Lateralmente presentan una gran variación de espesor, pudiendo desaparecer.

A techo de estos materiales aparecen costras calcáreas de 1-1,5 m. de potencia, siempre presentes en todos los perfiles del glacis. Hemos descrito dos perfiles-tipo de estas acumulaciones carbonatadas (fig. 5), observando que la seriación de facies es: costra pulverulenta, nodulosa y laminada. Presentan una intensa reestructuración, producida en varias etapas de nodulización. Su génesis se situaría en zonas temporalmente encharcadas (siguiendo las ideas de ELLOY et al., 1981), con un régimen de aportes muy poco energético, y gran proliferación de la actividad vegetal.

La litología del depósito indica una clara procedencia pirenaica axial, y su granulometría evidencia un medio de baja energía. HERNÁNDEZ PACHECO (1949) ya citó la existencia de canturreal pirenaico en esta zona, asemejándolo a las rañas extremeñas, de edad pliocuaternaria. Desde un punto de vista tectosedimentario, su génesis se situaría en una elevación relativa del área pirenaica. Puesto que el glacis erosiona parcialmente la facies «caliza del Páramo» (serie neógena terminal, que GUTIÉRREZ et al., 1982, identifican en La Muela y en La Plana de Zaragoza), su edad sería post-Neógeno. Dado que los sedimentos pliocuaternarios del piedemonte pirenaico no presentan facies análogas a las descritas, podría concluirse para este glacis una edad Plioceno «alto». Su correlación regional se situaría en la «Unidad Rojo II» que HERNÁNDEZ et al. (1983) describen en Retasón, señalando una edad Rusciniense para la misma.

4.2. Los glacis de la Bardena Negra

En el ámbito de la Bardena Negra recono-

mos cuatro niveles de glacis, que enlazan perfectamente con los correspondientes niveles de terrazas de los ríos Ebro, Arba, Bco. de Valareña y Bco. de Tudela (fig. 1). Los caracteres sedimentológicos son claramente distintos respecto a los depósitos de glacis-terrazas: litología homogénea de cantos de caliza mal redondeados, escaso contenido en limos, poco desarrollados de estructuras, ausencia de costra a techo del depósito, etc.

La existencia de niveles G_4 que terminan en el valle del Bco. de Valareña nos indica que este curso fluvial debió funcionar ya durante la formación de los sistemas GT_4 . De igual manera, en la cuenca del Bco. de Tudela encontramos niveles G_3 , que señalarían la existencia de tres períodos acumulativos para este área.

4.3. El glacis de la Plana del Farillo

En la Plana del Farillo, al norte de la Plana de la Negra y a cotas más bajas que ésta, existe un glacis con pendiente al sur (2,5 por 100), con un depósito poco consistente, formado por cantos de caliza muy angulosos. El poco grado de cementación, su escasa potencia (0,5 m.), y su pendiente (coincidente, a grandes rasgos, con el buzamiento de los estratos calcáreos infrayacentes), nos hacen pensar que debió generarse en tiempos recientes, controlado por la disposición estructural en cuesta de los materiales terciarios sobre los que se asienta. No tenemos criterios para asignarle una edad o una posible conexión con otros depósitos cuaternarios.

4.4. Los glacis de la Bardena Blanca

En el área de la Bardena Blanca existen extensos glacis en los que no se observa área fuente. Se trata de niveles G_2 y G_3 que arrancarían de un relieve mayor que ha desaparecido por erosión, y que van a enlazar con los depósitos aluviales del Barranco de Valareña (fig. 6). La litología de estas acumulaciones (gravas polimícticas de origen prepirenaico), con cantos redondeados, algo encostados y con abundantes envueltas micríticas, nos indica que procederían de depósitos cuaternarios antiguos, situados a una altura mínima de 420 m. (altura del ápice de estos glacis). Unos 5 km. al noroeste se encuentra la terraza más antigua del río Aragón, T_5 , con una altura absoluta similar, de

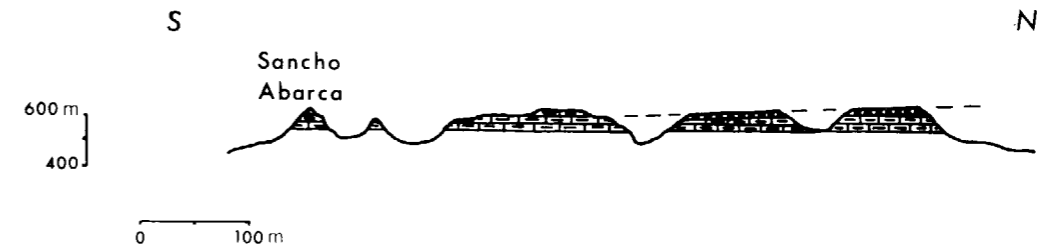
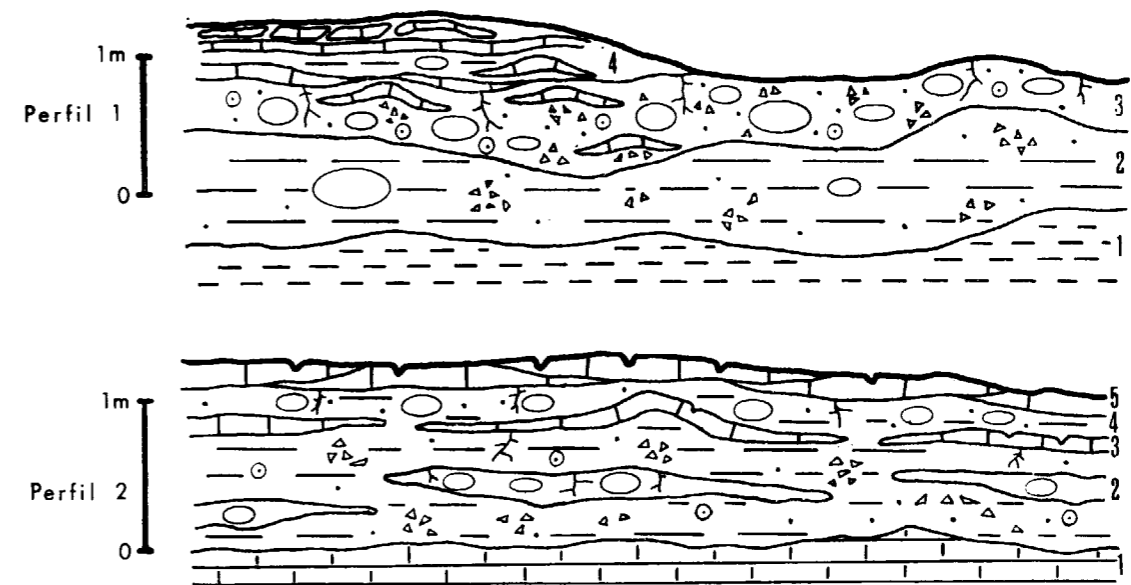


Figura 4.—Corte de la Plana de la Negra.



LEYENDA

	Huellas de raíces		Nódulos
	Grietas de desecación		Microsparita masiva
	Litoclastos		Micrita laminada
	Costras retrabajadas		Sustrato calcáreo
	Ooides		Sustrato margoarcilloso

Figura 5.—Perfiles-tipo de los caliches de la Plana de la Negra.

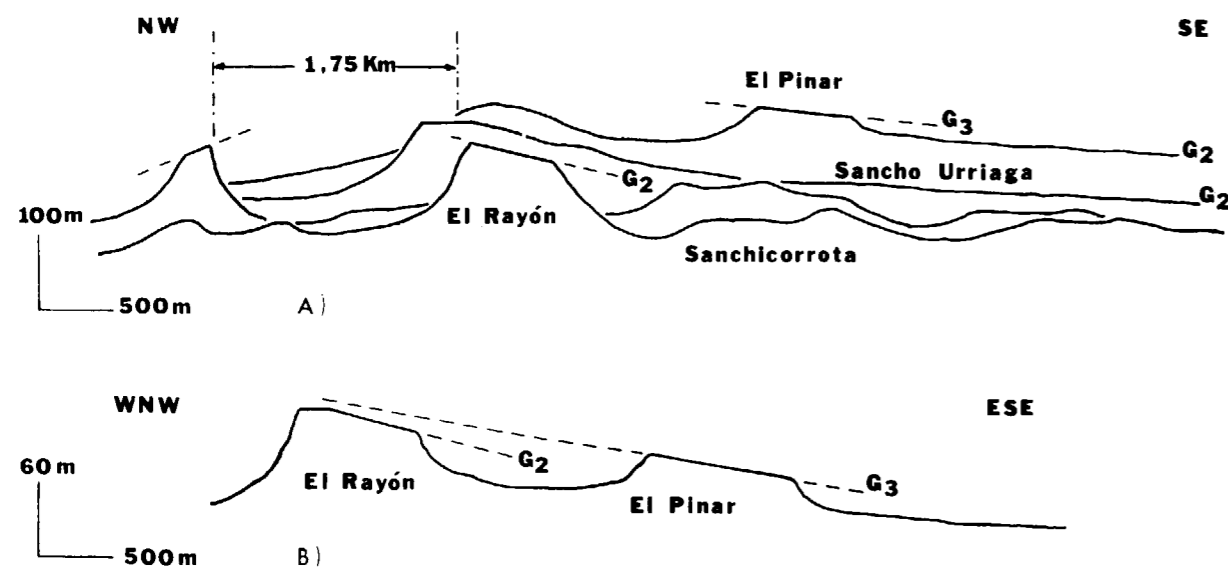


Figura 6.—Glacis de la Bardena Blanca. A) Cortes topográficos seriados. B) Relación entre los niveles G₂ y G₃.

unos 430 m. (BOMER, 1979). Dada la lejanía de este río, el nivel antiguo erosionado pensamos que no constituiría una de sus terrazas, sino un depósito más antiguo. Los caracteres citados coinciden con los que ALBERTO et al. (1983) señalan para los niveles pliocuaternarios del piedemonte pirenaico.

La causa de la exhumación de estos depósitos se sitúa, pensamos, en el escaso desarrollo de costas calcáreas propiamente dichas a techo de las acumulaciones, que propició el que los procesos de erosión hídrica fueran más efectivos. No sabemos si hubo uno o varios niveles, ni tampoco qué extensión pudieron ocupar. Por la situación y orientación de los glacis citados sólo podemos suponer que en esta zona debió formar un nivel cuyo borde oriental tenía una dirección aproximada NE-SO, con una altura absoluta de unos 430-460 m., constituyendo el interfluvio de los ríos Aragón y Arba.

4.5. Derrames subactuales

Los derrames subactuales o glacis holocenos están formados por depósitos de limos masivos de potencia variable (hasta 2 m.). Morfológicamente constituyen amplias llanuras, con pendientes suaves (8 a 10 por 1.000) hacia los cursos fluviales más importantes. Generalmente fosilizan a los niveles de terraza más recientes, aunque pueden

llegar a empalmar con ellos en algunos puntos. Normalmente tienen su arranque en depósitos de vertiente. Al oeste de Ejea, en Torres del Bayo, hemos reconocido dos etapas de regularización, la más moderna de las cuales ha sido datada por métodos arqueológicos como postmedieval. Esta vertiente enlaza con un derrame subactual, con lo que así quedaría delimitada su edad.

5. CONSIDERACIONES GENÉTICAS

La formación de un depósito aluvial viene controlada bien por la generación de un gradiente que origine un flujo con capacidad de transporte y posterior depósito (como, por ejemplo, elevación tectónica del borde de una depresión), o bien por un cambio en la competencia de un flujo ya establecido, con momentos de mayor y menor descarga (debido, por ejemplo, a un cambio climático que lleve a un aumento de la pluviosidad). Cada ciclo de sedimentación crea los respectivos niveles de glacis y terrazas, que aparecen como formas de acumulación sincrónicas, y cuyos procesos genéticos se encuentran relacionados por causas comunes (ALBERTO et al., 1984).

En los casos de las terrazas y de los niveles de glacis-terrazas, pensamos que el origen de la alternancia episodios acumulativos/etapas de erosión

y encajamiento se sitúa en sucesivas fluctuaciones climáticas. Este argumento (ya señalado por BOMER, 1957), queda corroborado al analizar la sedimentogénesis de estos depósitos aluviales. Lo mismo sucede con los glacis de la Bardena Negra y de la Blanca. La existencia de un relieve energético y de un nivel de base cercano (río o barranco), favorece la creación de altos gradientes y de los correspondientes flujos de agua, cuya capacidad vendrá en función de la pluviometría y, consiguientemente, de los cambios climáticos que registre el área.

Por otro lado, la elevación tectónica del borde pirenaico lleva a la formación de abanicos aluviales a la salida de las sierras, que hacia el centro de la Depresión del Ebro pasan a depósitos aluviales, formados por corrientes braided, con una morfología en glacis. Este sería el origen del glacis de la Plana de la Negra y de los glacis pliocuaternarios del piedemonte pirenaico, cuyo representante en nuestra zona se situaría en la Bardena Blanca.

6. EVOLUCION GEOMORFOLOGICA

La ordenación temporal de todos los procesos morfogenéticos expuestos lleva al establecimiento de la evolución geomorfológica para el área, que a grandes rasgos sería la siguiente:

Tras la sedimentación de los últimos materiales carbonatados miocenos en la Depresión del Ebro, se produce la generación de un extenso glacis (el de la Plana de la Negra), relacionado con una elevación relativa del borde septentrional pirenaico y hundimiento de la Depresión, posiblemente en el Plioceno Superior.

Como consecuencia, seguramente, de la etapa diastrófica fundamental que convirtió a esta fosa en cuenca exorreica, se produjo la erosión de los sedimentos acumulados en la misma, con el consiguiente descenso brusco del nivel de base, y la formación de glacis pliocuaternarios en todo el piedemonte pirenaico. En el sector que nos ocupa pensamos que debieron producirse también, en el área de la Bardena Blanca. Todos los procesos erosivos posteriores han hecho desaparecer este nivel antiguo, y sólo tenemos constancia de su anterior existencia por los glacis cuaternarios que arrancaron de él.

Posteriormente se produjo la incisión de la red cuaternaria, con la acumulación de sedimentos fluviales, cuya evolución queda reflejada en los diversos niveles de glacis, terrazas y glacis-terrazas encajados. Estos últimos se generaron por el derrame de un antiguo cauce fluvial a la salida de las sierras prepirenaicas al entrar en la depresión de Cinco Villas, probablemente el río Riguel.

Paralelamente a este encajamiento sucesivo de niveles de acumulación fluvial se da en la zona una intensa erosión diferencial, con la formación de diversos relieves estructurales. Las vertientes en general han sufrido así procesos de degradación. Los pequeños cambios climáticos ocurridos durante los últimos tiempos han dado lugar a una alternancia de episodios acumulativos y erosivos. En el área se reconocen dos de estos episodios de acumulación, con regularización de vertientes, el último de los cuales tiene una edad postmedieval. Posteriormente se han desencadenado diversos procesos erosivos, funcionales actualmente.

BIBLIOGRAFIA

- ALASTRUE, E.: *El Cuaternario de la comarca de Ejea de los Caballeros*. Not. y Com. Inst. Geol. y Min. de España, núm. 32, pp. 3-16. Madrid (1953).
- ALBERTO, F.; GUTIÉRREZ, M.; IBÁÑEZ, M. J.; MACHÍN, J.; MELÉNDEZ, A.; PEÑA, J. L.; POCOVÍ, A., y RODRÍGUEZ, J.: *El piedemonte pliocuaternario en el sector central pirenaico (Huesca y Lérida)*. Geographica, 17, pp. 109-126 (1983).
- ALBERTO, F.; GUTIÉRREZ, M.; IBÁÑEZ, M. J.; MACHÍN, J.; PEÑA, J. L.; POCOVÍ, A., y RODRÍGUEZ, J.: *El Cuaternario de la Depresión del Ebro en la región aragonesa. Investigación multidisciplinar*. Univ. de Zaragoza. Estación experimental de Aula Dei. Zaragoza, 217 pp., 1 mapa. Escala 1:200.000 (1984).
- BLÜMEL, W. D.: *Calcretes in Namibia and SE Spain, relations to substratum, soil formation and geomorphic factors*. In: *Aridic soils and geomorphic processes*. H. Yaalon Ed., Catena suppl., 1, pp. 67-82 (1982).
- BOMER, B.: *Vallées du Gallego et de l'Ebre. Livre-guide excursion Pyrénées*. V Congrès International «Inqua», pp. 90-107, Madrid (1957).
- BOMER, B.: *Les piedmonts du Bassin de l'Ebre (Espagne)*. Méditerranée, 36/3, pp. 19-25 (1979).
- CASTIELLA, J.; VALLE, J. DEL., y RAMÍREZ, J.: *Mapa Geológico de España. E. 1:50.000. Hoja núm. 321. Tauste*. Inst. Geol. y Min. de España (1977).

- CRUSAFONT, M.; TRUYOLS, J., y RIBA, O.: *Contribución al conocimiento de la estratigrafía del Terciario continental de Navarra y Rioja*. Not. y Com. del IGME, núm. 90, pp. 53-76. Madrid (1966).
- ELLOY, R., y THOMAS, G.: *Dynamique de la genèse des croûtes calcaires (calcrètes) développées sur séries rouges pléistocènes en Algérie Nord-Occidentale. Contexte géomorphologique et climatique. Pétrographie et géochimie*. Bull. Centres Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine, 5 (1), pp. 53-112 (1981).
- GRACIA, J.: *Geomorfología de las Bardenas orientales*. Tesis de Licenciatura. Fac. Ciencias Zaragoza, 172 pp. (1985).
- GRACIA, J.; GUTIÉRREZ, M., y SANCHEO, C.: *Las etapas terminales del Neógeno-Cuaternario de la Depresión del Ebro en la Plana de la Negra (provs. de Zaragoza y Navarra). Consideraciones morfogenéticas*. Actas de la I Reunión do Cuaternario Ibérico, Lisboa, vol. II, pp. 367-379 (1985).
- GUTIÉRREZ, M.; MELÉNDEZ, A., y SORIANO, A.: *Las series terminales neógenas en el sector centromeridional de la Depresión del Ebro y su relación con la morfogénesis*. Bol. Geol. y Min., t. XCIII, pp. 465-469 (1982).
- HERNÁNDEZ PACHECO, F.: *Las Bardenas Reales. Rasgos fisiográficos y geológicos*. Príncipe de Viana, núm. 37, pp. 427-440, Pamplona (1949).
- HERNÁNDEZ, A., et al.: *Mapa Geológico de España, Escala 1:50.000. Hoja núm. 465, Daroca*. Inst. Geol. y Min. de España, Madrid (1983).
- IBARRA, P.: *Depresión del Arba de Biel; evolución geomorfológica*. Tesis Licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras. Sección Geografía. Universidad de Zaragoza (1984).
- MENSUA, S.: *Sobre la génesis de los glaciares del Valle del Ebro y su posterior evolución morfológica*. Aportación española al XX Congreso Int. Geografía. Reino Unido, pp. 191-195 (1964).
- MENSUA, S., e IBÁÑEZ, M. J.: *Terrazas y glaciares del centro de la Depresión del Ebro*. III Reunión del GETC, pp. 1-18, Zaragoza (1977).
- MENSUA, S.; ALBERTO, F.; IBÁÑEZ, M. J., y YETANO, M.: *Plataforma del Castellar y cuenca presomontana de las Cinco Villas*. III Reunión Nac. del GETC. Zaragoza, pp 1-5, 3.ª excursión (1977).
- MIALL, A. D.: *A review of the braided - river depositional environments*. Earth Sci. Rev., 13, pp. 1-62 (1977).
- SANCHEO, C.: *El piedemonte pliocuaternario en la región del Cinca (prov. de Huesca y Lérida): depósitos y evolución*. Actas de la I Reunión do Cuaternario Ibérico, Lisboa, vol. II, pp. 381-392 (1985).
- SOLÉ SABARÍS, L.: *Sobre la estratigrafía de las Bardenas y los límites del Oligoceno y Mioceno en el sector occidental de la Depresión del Ebro*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., tomo homenaje al Prof. Hernández Pacheco, pp. 637-657. Madrid (1954).
- SOLER, M., y PUIGDEFABREGAS, C.: *Líneas generales de la geología del Alto Aragón occidental*. Pirineos, núm. 96, pp. 5-20, 1 mapa. Jaca (1970).
- TRICART, J.: *Précis de Géomorphologie, t. III: Géomorphologie Climatique*. SEDES, París, 314 pp. (1981).

Recibido: Julio de 1985

Estudio geológico de las concentraciones de Co-(Ni-Cu-Fe) en el Silúrico de San Juan de Plan, valle de Gistaín (Pirineo de Huesca)

Por R. CASTROVIEJO BOLIBAR (*) y T. NODAL RAMOS (*)

RESUMEN

Se estudian las mineralizaciones —explotadas en el pasado— de sulfuros, arseniuros y sulfoarseniuros de Co-(Ni-Cu-Fe) existentes en el Paleozoico autóctono de San Juan de Plan, estableciéndose la estructura y los controles (litológico y tectónico) de las mismas a fin de esclarecer su génesis. Se trata de mineralizaciones estratoligadas que se ubican en el seno de un horizonte bien caracterizado mineralógica y petrográficamente («brecha ankerítica») y que están ligadas al Sistema Silúrico (pizarras ampelíticas).

Los indicios de «brecha ankerítica» no se limitan a dicho Sistema, sino que aparecen también en relación con otras litologías (rocas pelíticas y carbonatadas ordovícicas), pero en este caso son estériles. La distribución espacial de dicha roca ankerítica está controlada por una familia de fracturas E-O cuyo origen se supone relacionado con la intrusión granodiorítica de Bielsa.

La roca ankerítica se explica por las acciones metasomáticas debidas a fluidos hidrotermales emanados de dicha intrusión. El horizonte mineralizado, en particular, procede de la ankerización de calizas folisíferas dolomitizadas, intercaladas entre las pizarras ampelíticas silúricas. Su contenido metálico se supone derivado de estas pizarras.

A todos estos episodios, ligados al ciclo hercínico, se superpone una intensa tectónica alpina de fracturación y cabalgamiento que trastorna e interrumpe las estructuras mineralizadas, previamente truncadas por el juego pre-alpino de las fracturas E-O.

ABSTRACT

The Co-(Ni-Cu-Fe) sulphide, arsenide and sulpharsenide ore in the autochthonous Palaeozoic rocks of San Juan de Plan (Spanish, Central Pyrenees, Huesca Province) have been studied. These strata-bound ores were mined at different times in the past. They occur in a well defined horizon («ankeritic breccia») and are confined to the Silurian System (mainly graphitic slates).

There are in the area, however, occurrences of «ankeritic breccia» outside this System; they are spatially related to pelitic and carbonate Ordovician rocks, and are always barren. Their spatial distribution is controlled by a family of E-W trending subvertical fractures.

The origin of the ankeritic rocks is explained by the metasomatic activity of late hydrothermal solutions, derived from a granodioritic intrusion (Bielsa granodiorite) outcropping 1.5-2 Km. W of the ore deposit and cut by the aforementioned fractures, which were the paths for the propagation of the fluids. The ore horizon itself is due to ankeritization of dolomitized fossiliferous limestones, originally interlayered in the black Silurian slates, their metallic content being probably derived by lateral secretion from these rocks. All these events belong to the Variscan cycle.

Intensive faulting and overthrusting during the Alpine cycle dislocated and interrupted the mineralized structures, which had already been previously cut by vertical pre-alpine post-mineral movement along the main E-W faults.

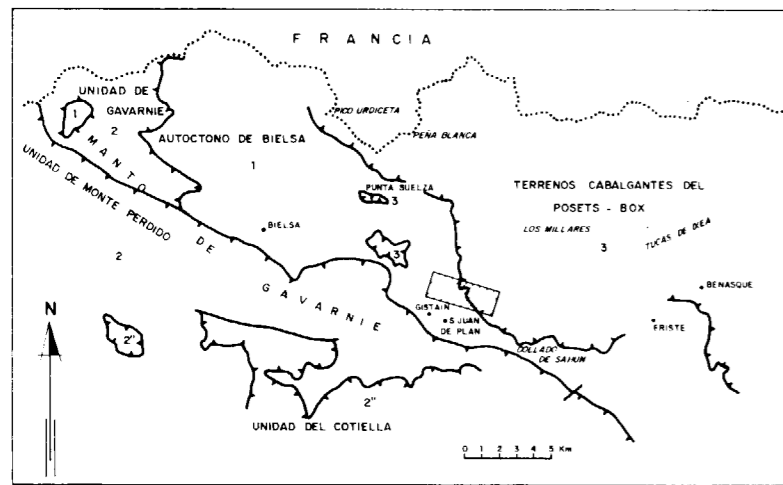
INTRODUCCION

El presente trabajo —resultado de investigaciones realizadas en ENADIMSA para el Plan Nacional de Abastecimiento de Materias Primas Mi-

nerales— tiene por objeto el estudio geológico de las concentraciones de Co-(Ni-Cu-Fe) explotadas en el valle de Gistaín (Pirineos de Huesca, fig. 1) a fin de esclarecer los procesos generadores, guías y controles de las mismas.

(*) Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S. A. Doctor Esquerdo, 138. 28007-Madrid.

La explotación se centró en la antigua mina San Carlos, situada unos 2 km. al NE de San Juan



de Plan (figs. 2 y 3), en la que se benefició cobalto durante los siglos XVIII, XIX y —posiblemente, pero en todo caso sólo de forma esporádica— xx. Las labores principales constan de tres plantas, de las cuales sólo dos son hoy —parcialmente— accesibles, y de una galería de desagüe. Se explotaban bolsadas o concentraciones irregulares de sulfuros, arseniuros y sulfoarseniuros de Co-Ni-Cu-Fe, relacionadas con un nivel subhorizontal, muy tectonizado y de unos dos metros de potencia media, constituido por una roca carbonatada brechoide, de color grisáceo —pardo por meteorización—, designada por los mineros locales como «roca filón». El estudio realizado ha puesto de manifiesto que esta roca se compone esencialmente de ankerita (determinación por D. R. X).

Los principales indicios se sitúan en las inmediaciones de esta mina, entre las cotas 1.720 y 1.775 metros, en la ladera O del monte de «Pena Lisa». Gran parte de ellos han sido objeto de pequeñas labores, comunicadas o no en interior con las principales de San Carlos. Además, existen labores antiguas en otros indicios de la misma roca situados unos 300 m. al NO de dicha mina (Barranco Pocet, c. 1.630 m.) y 500 m. al SSE de la misma (El Saublés, c. 1.743). Finalmente, la presente investigación puso de manifiesto otros indicios de la citada roca ankerítica desconocidos hasta la fecha.

Como antecedentes se ha de citar a MALLADA (1878), que recopila trabajos anteriores de ALDAMA y de CAVANILLAS y habla de un filón principal ENE-OSO, intercalado entre pizarras y calizas, con

Figura 1.—Esquema Geológico-Estructural, simplificado, del área de Bielsa (modificado de Ríos y cols., 1979). El recuadro corresponde al área estudiada.

Leyenda de la figura 2

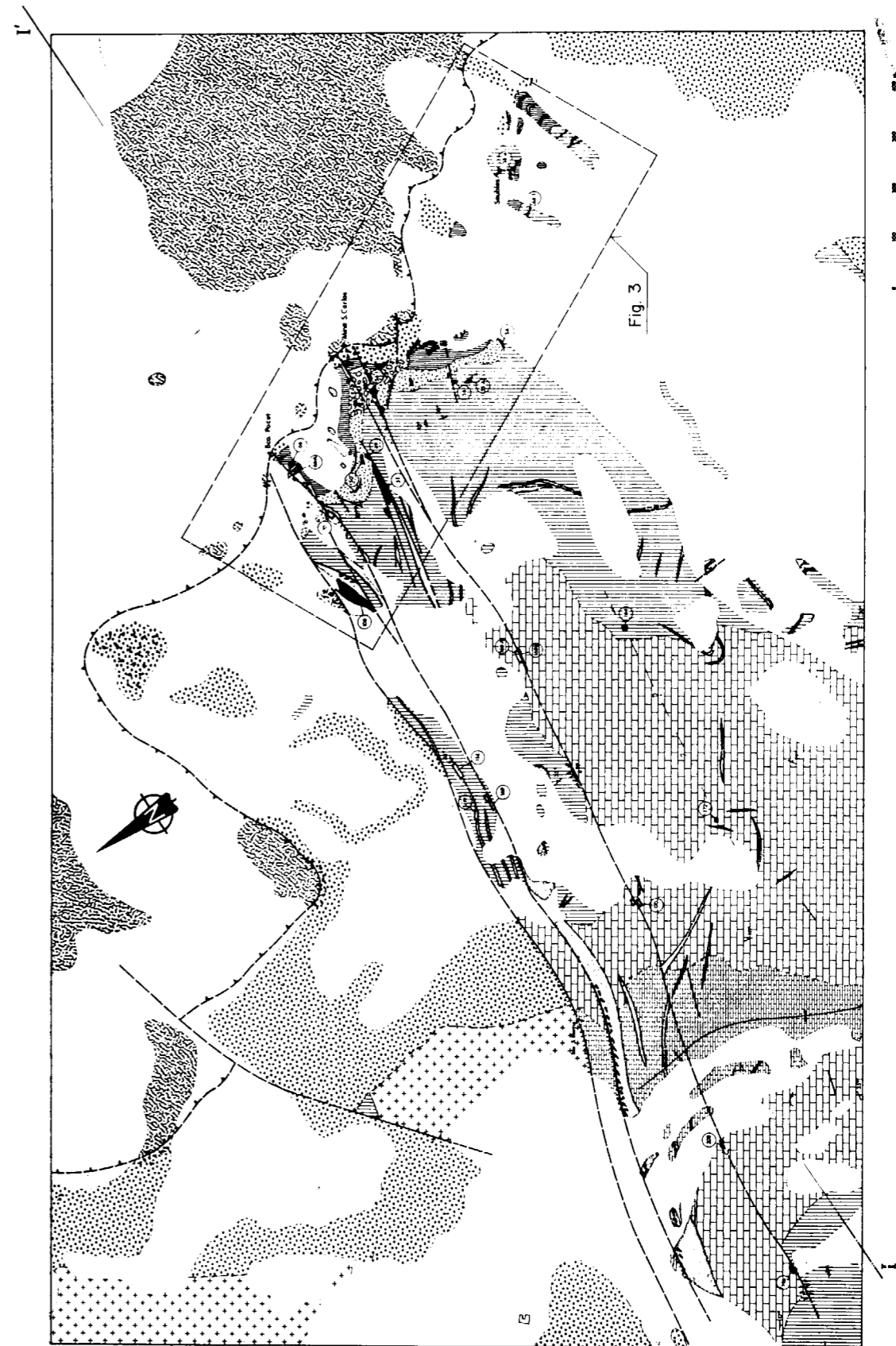
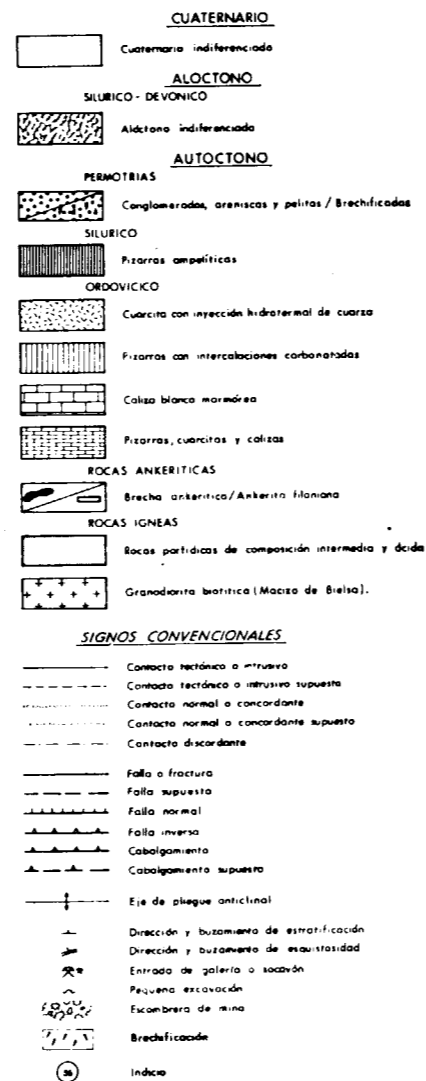


Figura 2.—Mapa geológico simplificado, con situación de indicios.

filoncillos y bolsadas subordinados; según dicho autor, el concentrado obtenido tenía leyes de 12 por 100 Co y 7 por 100 Ni.

MALIVERNEY (1973) hace un estudio del yacimiento y lo caracteriza como un yacimiento estratoide en el que una mineralización, compuesta esencialmente por pirita-eskutterudita-bismutina-calcopirita-cuarzo-ankerita-calcita (como minerales primarios) y cuyo origen supone profundo y ligado a una gran falla E-O, «impregna, por una red de stockwerks un nivel dolomítico sedimentario». Deja abierta la cuestión de la edad —paleozoica o post-triásica— de los episodios hidrotermales responsables de las mineralizaciones.

Además, por lo que respecta a la geología del área objeto de estudio y aparte de algunos trabajos antiguos o de índole más general (DALLONI, 1910 y MEY, 1967, entre otros), se han consultado los trabajos de MARTÍNEZ (1968), GROEN (1978) y Ríos y cols. (1979 y 1982, Hoja 179, Bielsa, del Mapa Geológico Nacional, escala 1:50.000). El primero de éstos estudia sobre todo las deformaciones que afectan a la cobertera permotriásica y el segundo estudia con más detalle el Paleozoico.

El presente trabajo se apoya en una cartografía geológica a escala 1:50.000 (figs. 2 y 3, versión simplificada), para la que se ha contado con las correlaciones estratigráficas y datos estructurales de Ríos y cols. (1979 y 1982).

La cartografía geológica y la investigación en general se han visto dificultadas por el accidentado relieve y por los extensos recubrimientos cuaternarios, especialmente glaciares —los depósitos morrénicos cubren la tercera parte del área estudiada, dificultando enormemente la toma de datos de las formaciones subyacentes—, y, en interior, por el mal estado de conservación de las galerías, a consecuencia del cual muchas zonas son inaccesibles. Las observaciones realizadas son, pues, en conjunto, inevitablemente fragmentarias, aunque suficientes para elaborar una hipótesis que responda, con coherencia, a las cuestiones planteadas.

MARCO GEOLOGICO

El área objeto de estudio pertenece a la zona

axial del Pirineo Central y se sitúa en el límite meridional de la misma (fig. 1). A grandes rasgos, se distinguen tres unidades mayores: Autóctono de Bielsa (Paleozoico y Permotriás) y unidades alóctonas de Gavarnie y de Posets-Box-Los Millares.

La mineralización encaja en el Paleozoico autóctono, recubierto en discordancia por el Permotriás y aflorante en una reducida zona, gracias a la ventana estratigráfica de San Juan de Plan. En ésta, la acción erosiva del río Cinqueta y de sus arroyos tributarios, en especial el del Sein, ha puesto al descubierto los terrenos paleozoicos de la serie de San Juan de Plan, la cual, de acuerdo con los criterios del Mapa Geológico Nacional (Ríos y cols., 1982), abarca desde el Ordovícico hasta el Devónico, si bien este último no aflora en la parte ahora estudiada.

Esta serie de San Juan de Plan está interrumpida al norte por una familia de fracturas E-O, cuyo último juego fue como fallas normales, hundiendo el bloque septentrional. Al S desaparece bajo la cobertera.

El conjunto de Paleozoico autóctono (serie de San Juan de Plan y macizo de Bielsa) y su cobertera Permotriásica (esencialmente rocas detríticas rojas) constituyen la unidad autóctona de Bielsa.

Esta unidad autóctona de Bielsa aflora en una franja NO-SE (que ocupa el centro de la fig. 1), comprendida entre los terrenos alóctonos del Manto de Gavarnie (al SO) y de la Unidad de Millares (al NE), cabalgantes sobre la cobertera Permotriásica.

Los terrenos alóctonos que afloran en el área objeto de este trabajo pertenecen exclusivamente a la segunda unidad citada (Millares), la cual se compone únicamente de terrenos paleozoicos (Devónico con granitoides, fundamentalmente), plegados ya en la Orogenia Hercínica. Dada la escasa relación de esta unidad con el problema investigado se ha centrado la atención, esencialmente, en el Paleozoico autóctono, por ser donde se ubican, sin excepción, todas las mineralizaciones.

La tectónica del área estudiada se caracteriza por la superposición de fases hercínicas y alpinas, dando un carácter en general muy complejo

a las estructuras resultantes, cuya interpretación se ve dificultada todavía más por la escasez de afloramientos y por el accidentado relieve.

A pesar de diferencias de detalle, según los autores y las zonas, puede admitirse el siguiente cuadro general para las principales fases de deformación hercínicas:

Fase 1

Pliegues concéntricos de ejes N-S a NE-SO. No hay desarrollo de esquistosidad.

Fase 2 o principal

Pliegues apretados, predominantemente similares, vergentes al S, con planos axiales E-O a N 120° E. Esquistosidad de plano axial buzando al N.

Fases 3 y 4

De ámbito local solamente. Relación con intrusiones de granitoides (sin-post fase 3).

La Orogenia Alpina ha plegado los terrenos permotriásicos y ha afectado también a las estructuras paleozoicas, sobre todo reactivando fallas preexistentes y dando lugar a grandes cabalgamientos sobre la cobertera. Dado que su relación genética con las mineralizaciones estudiadas es prácticamente nula, no se han estudiado con detalle las deformaciones en el Permotriás, centrándose la atención sólo en los aspectos del ciclo alpino (fracturación y cabalgamiento) que afectan a la mineralización.

Hay una serie de fallas E-O, verticales, con hundimiento del labio norte, que determinan la estructura del área estudiada y proporcionan un ejemplo claro de reactivación alpina de una gran banda de fracturación hercínica.

El metamorfismo regional, contemporáneo de la fase 2 según Ríos y cols. (1979), no sobrepasa en el área estudiada el grado bajo (sericita-clorita). El metamorfismo de contacto, relacionado con las intrusiones granodioríticas, da lugar, según estos autores, a aureolas del orden del centenar de me-



Figura 3.—Geología de la zona mineralizada (entorno de la mina San Carlos). Leyenda: véase figura 2.

tros en torno a los macizos de Bielsa, Posets, Millares, etc., transformando en corneanas —con andalucita y, en algunos casos, cordierita— y mármoles las pizarras y calizas, respectivamente, al tiempo que da mayor rigidez al conjunto y oblitera las texturas anteriores.

El plutonismo hercínico está representado por diversas intrusiones de granitoides (predominantemente granodioritas), de los cuales sólo el de Bielsa pertenece al autóctono en que se ubican las mineralizaciones. Con estas intrusiones se relacionan diques de pórfidos de composiciones intermedio-ácidas, los cuales son relativamente abundantes en el área estudiada. Ocasionalmente se encuentran también pegmatitas.

El yacimiento consiste, según se ha expuesto, en concentraciones irregulares en el seno del mencionado nivel ankerítico («roca filón»). Este forma parte de la serie de San Juan de Plan y está intercalado entre pizarras ampelíticas silúricas, inmediatamente debajo de la superficie de erosión sobre la que se han depositado los sedimentos permotriásicos. La proximidad del plano de cabalgamiento de la Unidad de los Millares da lugar a despegues locales, milonitización y escamas tectónicas a diversas escalas, dificultando la observación de las relaciones espaciales primitivas entre las rocas citadas.

ESTRATIGRAFIA

El Paleozoico autóctono aparece representado por la serie de San Juan de Plan (aparte del conjunto de rocas ígneas asimilables a la granodiorita de Bielsa y a su cortejo de diques). Se omite toda descripción del Paleozoico Alóctono —Silúrico y Devónico—, constituido por pizarras y calizas, por su irrelevancia para el problema estudiado.

La serie de San Juan de Plan está constituida por un conjunto de rocas arcillosas, arenosas y calcáreas —ordovícicas y silúricas, según Ríos y colaboradores, 1979— que han sufrido un metamorfismo regional de bajo grado. En zonas próximas a la granodiorita de Bielsa —base del Ordovícico—, éste aparece enmascarado por los efectos de contacto de dicha intrusión. Las litologías que integran dicha serie son, de muro a techo:

Ordovícico

Pizarras, cuarcitas y calizas (corresponden a los «esquistos, cuarzoesquistos y calizas» de los autores citados):

Alternancias centimétricas —milimétricas en ocasiones— a decimétricas de las litologías mencionadas, con intercalaciones ocasionales más potentes de tramos cuarcíticos muy duros. Color gris oscuro a negro, excepto algunos microlechos cuarcíticos blancos. La potencia visible es de unos 200 m., excavados por el río Cinqueta.

De esta unidad se han estudiado al microscopio algunas muestras de pizarras, cuarcitas, calizas y calco-esquistos. Las pizarras han perdido su carácter textural pizarroso en gran parte y exhiben texturas corneánicas y mosqueadas muy marcadas. La blastesis biotita-mica blanca-cuarzo es debida al metamorfismo de contacto. Como minerales accesorios aparecen turmalina de neoformación, mineral de hierro, opacos (pirita y otros) carbonatos y circón. Puede además hallarse albita vetiforme como relleno hidrotermal. Los dos tipos de cuarcitas estudiadas son una cuarcita micácea y una cuarcita carbonatada. La primera se halla fuertemente recristalizada térmicamente, mientras que en la segunda no se aprecian efectos de metamorfismo de contacto.

Caliza blanca marmórea:

Tramo de unos 250 m. constituido por caliza masiva pura (con muy escasas intercalaciones pizarrosas), marmorizada, de colores blancos o claros.

Las muestras de esta unidad estudiadas corresponden a mármoles bastante puros. Son rocas de textura granoblástica fina o media, ligeramente esquistosa, con calcita como constituyente principal único y accesorios de cuarzo, sericita, opaco (sulfuros), mineral de hierro de oxidación del anterior, rutilo y grafito.

Los cristales de calcita presentan macla polisintética siempre y sus bordes son irregulares. La recristalización que muestran parece debida básicamente a metamorfismo de contacto; además puede observarse una tendencia a las formas equidimensionales. En cualquier caso se hallan elonga-

dos, no llegándose a perder el carácter esquistoso de la roca.

Pueden mostrar signos de deformación, en general muy moderada. Sólo en algún punto aislado se ha observado una cataclasis que ha dado lugar a una granulación importante. A menudo, en este mosaico finogranoblástico de calcita que constituye la roca se encuentran gruesos cristales de calcita vetiforme del mismo aspecto que la descrita, pero de cristalinidad muy superior. El cuarzo normalmente es tardío.

Pizarras:

Tramo de unos 400 m. de pizarras oscuras (negras a gris oscuro), masivas, con nivelillos arenosos blancos esporádicos. A muro, el contacto con las calizas marmóreas es un tránsito gradual a través de intercalaciones de tramos decimétricos de pizarras y mármoles. A techo, aumenta la frecuencia de intercalaciones carbonatadas, raras en el resto de la unidad.

Desde el punto de vista petrográfico son, en general, tipos limolíticos de textura pizarrosa y brechificados en distinto grado. Las partículas de cuarzo, de tamaño limo, se hallan regularmente dispersas en una matriz sericítica, pudiendo aparecer éstas en cantidades accesorias o como componente principal (20-40 por 100 de la roca).

Presentan frecuentes vetas rellenas de cuarzo,

calcita y en algún caso ankerita, finogranulares. Esta silicificación a través de fisuras en ocasiones se hace masiva y se extiende por toda la roca (figura 4), quedando láminas de sericita orientadas incluidas en un mosaico de cuarzo prismático muy fino. Los componentes accesorios son: esfena, materia carbonosa, rutilo, circón, turmalina, apatito y mineral de hierro.

Cuarcitas:

Sobre las alternancias pizarras-calizas que constituyen el techo de la unidad precedente, y bajo las pizarras ampelíticas silúricas, aparece un tramo de unos 25 m. de cuarcitas blancas muy puras, con abundante inyección hidrotermal de cuarzo y ocasionalmente brechificadas. Este tramo constituye un nivel guía fácil de seguir desde el Pocet, donde queda cortado por el conjunto de fallas E-O que interrumpe la serie de San Juan de Plan hasta quedar oculto bajo el recubrimiento glacial, al S de las labores mineras. Más al sur todavía aparece reducido a lentejones de escasa potencia, con contactos tectónicos (p. ej., en Saublés). Está a veces inyectado por diques de cuarzo.

Se han observado intercalaciones carbonatadas con restos de fósiles visibles al microscopio (figura 5), pero se carece de criterios estratigráficos definitivos que puedan fijar con precisión su edad. Se han considerado como el techo del Ordovícico, puesto que las pizarras ampelíticas típicas del Si-



Figura 4.—Silicificación de una pizarra: cuarzo en vetas y extendido masivamente por toda la roca. Productos arcillosos preservados entre hiladas carbonosas. Muestra 45-0 (pizarras ordovícicas), situada a 150 m. al O de la galería del Saublés; cota 1.685 m. (NX, 45×).

dos, no llegándose a perder el carácter esquistoso de la roca.

Pueden mostrar signos de deformación, en general muy moderada. Sólo en algún punto aislado se ha observado una cataclasis que ha dado lugar a una granulación importante. A menudo, en este mosaico finogranoblástico de calcita que constituye la roca se encuentran gruesos cristales de calcita vetiforme del mismo aspecto que la descrita, pero de cristalinidad muy superior. El cuarzo normalmente es tardío.

Pizarras:

Tramo de unos 400 m. de pizarras oscuras (negras a gris oscuro), masivas, con nivelillos arenosos blancos esporádicos. A muro, el contacto con las calizas marmóreas es un tránsito gradual a través de intercalaciones de tramos decimétricos de pizarras y mármoles. A techo, aumenta la frecuencia de intercalaciones carbonatadas, raras en el resto de la unidad.

Desde el punto de vista petrográfico son, en general, tipos limolíticos de textura pizarrosa y brechificados en distinto grado. Las partículas de cuarzo, de tamaño limo, se hallan regularmente dispersas en una matriz sericítica, pudiendo aparecer éstas en cantidades accesorias o como componente principal (20-40 por 100 de la roca).

Presentan frecuentes vetas rellenas de cuarzo,

calcita y en algún caso ankerita, finogranulares. Esta silicificación a través de fisuras en ocasiones se hace masiva y se extiende por toda la roca (figura 4), quedando láminas de sericita orientadas incluidas en un mosaico de cuarzo prismático muy fino. Los componentes accesorios son: esfena, materia carbonosa, rutilo, circón, turmalina, apatito y mineral de hierro.

Cuarcitas:

Sobre las alternancias pizarras-calizas que constituyen el techo de la unidad precedente, y bajo las pizarras ampelíticas silúricas, aparece un tramo de unos 25 m. de cuarcitas blancas muy puras, con abundante inyección hidrotermal de cuarzo y ocasionalmente brechificadas. Este tramo constituye un nivel guía fácil de seguir desde el Pocet, donde queda cortado por el conjunto de fallas E-O que interrumpe la serie de San Juan de Plan hasta quedar oculto bajo el recubrimiento glacial, al S de las labores mineras. Más al sur todavía aparece reducido a lentejones de escasa potencia, con contactos tectónicos (p. ej., en Saublés). Está a veces inyectado por diques de cuarzo.

Se han observado intercalaciones carbonatadas con restos de fósiles visibles al microscopio (figura 5), pero se carece de criterios estratigráficos definitivos que puedan fijar con precisión su edad. Se han considerado como el techo del Ordovícico, puesto que las pizarras ampelíticas típicas del Si-

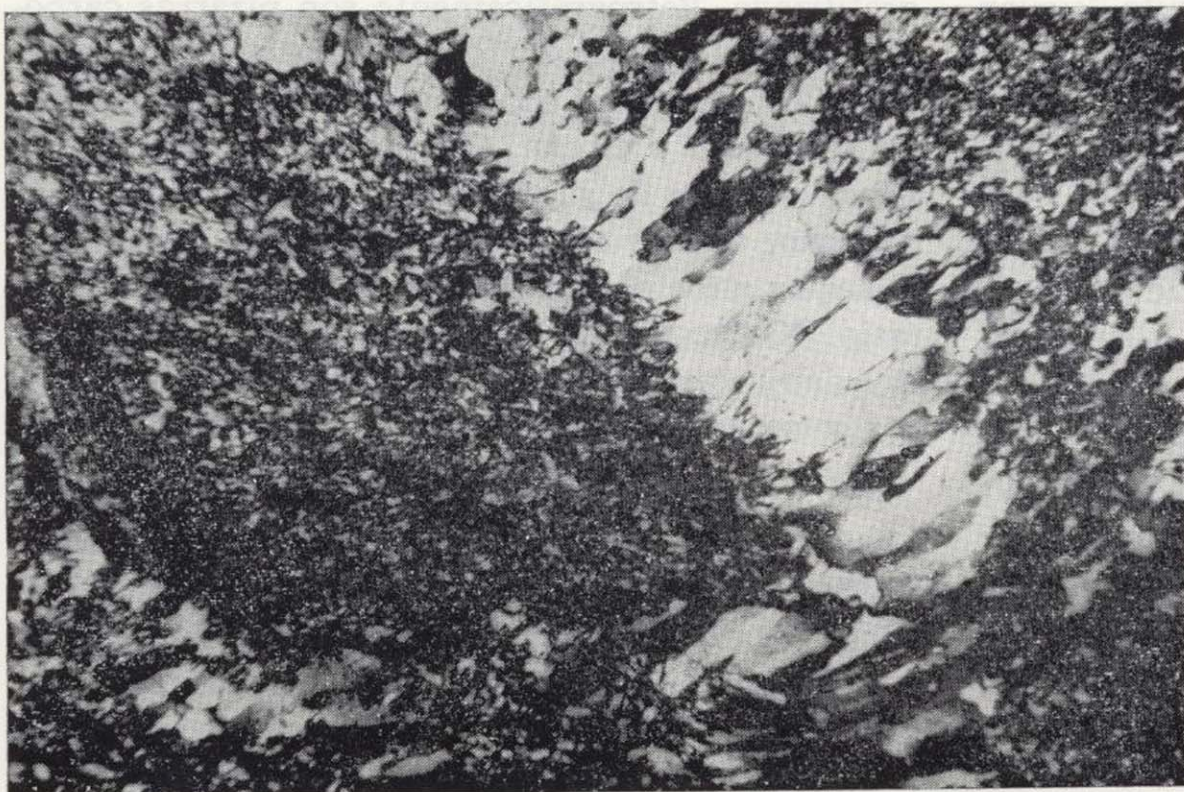


Figura 4.—Silicificación de una pizarra: cuarzo en vetas y extendido masivamente por toda la roca. Productos arcillosos preservados entre hiladas carbonosas. Muestra 45-0 (pizarras ordovícicas), situada a 150 m. al O de la galería del Saublés; cota 1.685 m. (NX, 45×).

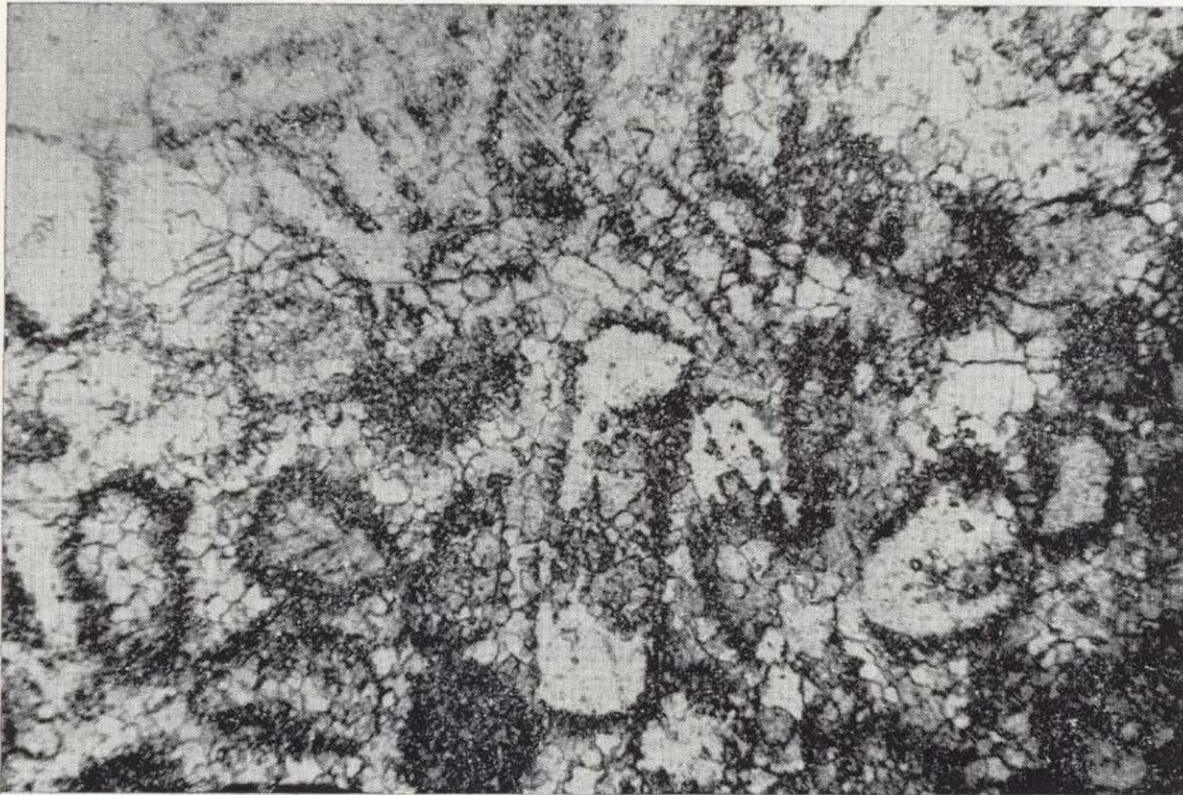


Figura 5.—Fantasmas de coralarios en caliza dolomitizada a techo de las cuarcitas del nivel guía. Muestra 50-5; cota 1.690 m.; 150 m. al NO de la entrada principal de la mina San Carlos (N//, 45×). Comp. figura 11.

lúrico están encima. Por otra parte, MEY (1967) cita, en la parte norte del área por él cartografiada, entre los cursos superiores de los ríos Baliera y Noguera Ribagorzana, unas cuarcitas ordovícicas situadas «inmediatamente bajo el Silúrico».

Desde el punto de vista petrográfico, todas las muestras pertenecientes a este nivel son muy características y absolutamente similares entre sí. Las diferencias fundamentales estriban simplemente en los distintos grados de brechificación y venulación que presentan. Corresponden a una cuarzenita con escasas o nulas manifestaciones de recristalización metamórfica (cuarzenita → cuarcita).

Texturalmente son de granulometría fina-media y bastante homométricas. El constituyente esencial (más del 95 por 100 de la roca) es el cuarzo —granos elongados, orientados—, que muestra fuertes efectos deformantes. Los intersticios están ocupados por impurezas sericítico-arcillosas o carbonatos. Los minerales accesorios pesados, tales como circón, apatito y rutilo, resultan casi accidentales.

Es relativamente frecuente la presencia de cuarzo filoniano —a veces acompañado de carbonato (calcita, ankerita)—, en parte tardío (escasos signos de deformación).

Silúrico

Pizarras ampelíticas:

Se trata de un tramo de pizarras negras carbonosas, muy plásticas, cuya potencia real no es posible evaluar en el área estudiada, ya que están afectadas por el cabalgamiento de la Unidad de Los Millares y por diversas fallas inversas relacionadas con aquél. Ríos y cols. (1982) la evalúan en poco más del centenar de metros en Gistaín.

Aparecen como rocas muy friables, intensamente tectonizadas, que manchan de negro por su riqueza en materia carbonosa, sólo en ocasiones grafitizada. Petrográficamente son pizarras carbonosas, muy pobres en cuarzo detrítico, filitosas. Como componentes accesorios tienen: sulfuros, esfena, apatito y circón. Químicamente, se caracterizan —aparte de su pobreza en sílice y riqueza en carbono, lógicas dada su composición petrográfica— por altos contenidos de alúmina, hierro y potasio (KLEINSMIEDE, 1960, en Ríos y cols., 1982), que dan lugar a la aparición de eflorescencias blancas y amarillentas en lugares húmedos.

A muro de esta unidad se sitúan las cuarcitas blancas ordovícicas del nivel guía; entre ambas puede haber intercalaciones —decimétricas a métricas— calcáreas, observadas sólo ocasionalmente en el autóctono (en el alóctono no aflora el contacto de muro del Silúrico). A techo se sitúan las calizas y pizarras alternantes del Devónico, que



Figura 5.—Fantasmas de coralaris en caliza dolomitizada a techo de las cuarcitas del nivel guía. Muestra 50-5; cota 1.690 m.; 150 m. al NO de la entrada principal de la mina San Carlos (N//, 45×). Comp. figura 11.

lúrico están encima. Por otra parte, MEY (1967) cita, en la parte norte del área por él cartografiada, entre los cursos superiores de los ríos Baliera y Noguera Ribagorzana, unas cuarcitas ordovícicas situadas «inmediatamente bajo el Silúrico».

Desde el punto de vista petrográfico, todas las muestras pertenecientes a este nivel son muy características y absolutamente similares entre sí. Las diferencias fundamentales estriban simplemente en los distintos grados de brechificación y venulación que presentan. Corresponden a una cuarzarenita con escasas o nulas manifestaciones de recristalización metamórfica (cuarzarenita → cuarcita).

Texturalmente son de granulometría fina-media y bastante homométricas. El constituyente esencial (más del 95 por 100 de la roca) es el cuarzo —granos elongados, orientados—, que muestra fuertes efectos deformantes. Los intersticios están ocupados por impurezas sericítico-arcillosas o carbonatos. Los minerales accesorios pesados, tales como circón, apatito y rutilo, resultan casi accidentales.

Es relativamente frecuente la presencia de cuarzo filoniano —a veces acompañado de carbonato (calcita, ankerita)—, en parte tardío (escasos signos de deformación).

Silúrico

Pizarras ampelíticas:

Se trata de un tramo de pizarras negras carbonosas, muy plásticas, cuya potencia real no es posible evaluar en el área estudiada, ya que están afectadas por el cabalgamiento de la Unidad de Los Millares y por diversas fallas inversas relacionadas con aquél. Ríos y cols. (1982) la evalúan en poco más del centenar de metros en Gistaín.

Aparecen como rocas muy friables, intensamente tectonizadas, que manchan de negro por su riqueza en materia carbonosa, sólo en ocasiones grafitizada. Petrográficamente son pizarras carbonosas, muy pobres en cuarzo detrítico, filitosas. Como componentes accesorios tienen: sulfuros, esfena, apatito y circón. Químicamente, se caracterizan —aparte de su pobreza en sílice y riqueza en carbono, lógicas dada su composición petrográfica— por altos contenidos de alúmina, hierro y potasio (KLEINSMIEDE, 1960, en Ríos y cols., 1982), que dan lugar a la aparición de eflorescencias blancas y amarillentas en lugares húmedos.

A muro de esta unidad se sitúan las cuarcitas blancas ordovícicas del nivel guía; entre ambas puede haber intercalaciones —decimétricas a métricas— calcáreas, observadas sólo ocasionalmente en el autóctono (en el alóctono no aflora el contacto de muro del Silúrico). A techo se sitúan las calizas y pizarras alternantes del Devónico, que

afloran solamente en el alóctono a causa del cabalgamiento.

Es de notar que en algunas labores se han encontrado niveles de cuarcitas micáceas (*), los cuales representan intercalaciones decimétricas a métricas entre las pizarras ampelíticas y desde el punto de vista petrográfico se diferencian claramente de las cuarcitas blancas del nivel guía. La composición mineralógica es de cuarzo y sericita como constituyentes principales; y la fracción pesada, de turmalina, apatito, opacos, rutilo, circón y mineral de hierro, como accesorios en cantidades relativamente elevadas.

Ríos y cols. (1979) mencionan unos bancos discontinuos de 0,5-5 m. de caliza negra, con Orthoceras y Carniolas, que han observado en la parte alta del Silúrico, cerca del Devónico, y que aquí no se han encontrado como tales en el autóctono, pero que podrían corresponder a algunos lentejones tectonizados y cuerpos tabulares (bandeados tectónicamente) de calizas negras observados en la zona de la mina. Estos cuerpos, dada su estrecha relación espacial con el horizonte ankerítico mineralizado, serán objeto, cuando se caracterice dicho horizonte, de una descripción detallada.

Permotriás

Los sedimentos permotriásicos se han depositado en discordancia sobre el zócalo erosionado; afloran, en el área estudiada, únicamente en el autóctono y aparecen cabalgados por el Silúrico y Devónico alóctonos. Están constituidos fundamentalmente por areniscas y limolitas rojas alternantes en bancos métricos a decamétricos. En las areniscas —tamaño de grano fino a medio— es frecuente la estratificación cruzada.

Las peculiaridades tectónicas del área estudiada no permiten establecer con rigor la potencia de estos depósitos (según Ríos y cols., 1982, es de 200 m.). En la zona de la mina han sido pinzados por el cabalgamiento, de forma que su contacto con el autóctono es también de carácter mecánico.

(*) Espacialmente relacionados con la roca ankerítica. Se trata de zonas próximas al cabalgamiento y además los contactos son tectónicos. Como ambas rocas, intercaladas en pizarras muy plásticas, son extremadamente duras, es lógico suponer que su asociación espacial es una mera consecuencia del arrastre resultante del cabalgamiento.

TECTONICA

Según puede verse en el esquema y en el corte geológico (figs. 2 y 6), la estructura del Paleozoico autóctono consiste esencialmente en un anticlinal de eje aproximado N-S, hundiéndose hacia el sur. Hacia el norte, la estructura aparece truncada por una serie de fallas E-O.

El núcleo aflora a lo largo del cauce del río Cinqueta y está formado por las intercalaciones de pizarras, cuarcitas y calizas ordovícicas descritas. A techo, esta estructura aparece afectada por la erosión permotriásica, que llegó a descubrir en su flanco oriental hasta el Silúrico, quedando el conjunto (Paleozoico y Permotriás) cercenado por el cabalgamiento de la Unidad alóctona de Los Millares.

Un somero análisis (fig. 7a) permite observar que, aparte del eje ~ N-S del anticlinal, se esboza una dispersión secundaria de los polos de So según un eje E-O. Sin entrar en el análisis detallado de las fases de plegamiento, cabe apuntar que dicha dispersión expresa probablemente la interferencia de las fases 1 y 2 hercínicas. La primera sería responsable de la tendencia general de la estructura: anticlinal amplio, de eje N-S. La segunda produciría un arqueamiento según ejes E-O, que aparte de la dispersión señalada se manifestaría por la aparición de pliegues menores de ejes E-O observados a nivel de afloramiento.

Las direcciones dominantes de los diques son E-O a N 130° E; cuando las inclinaciones son suaves, se produce una adaptación a los planos de estratificación o de esquistosidad.

En cuanto al Paleozoico alóctono, predominan, en los planos de estratificación, orientaciones N 90 a 130° E, con buzamientos tendidos al N, en correspondencia con la estructura en pliegues similares volcados al sur, propios de la fase 2, que caracteriza a estas unidades.

Por lo que se refiere al ciclo alpino, ha de distinguirse, en el autóctono, el zócalo paleozoico de la cobertera triásica. Aquél reacciona con rigidez, sin cambiar en lo esencial su estructura. De todas formas, es afectado por la tectónica de fractura, muy intensa, que se manifiesta por dos tipos de acciones principales: fracturas subverticales —esencialmente E-O— y fracturas subhorizontales relacionadas con los cabalgamientos.

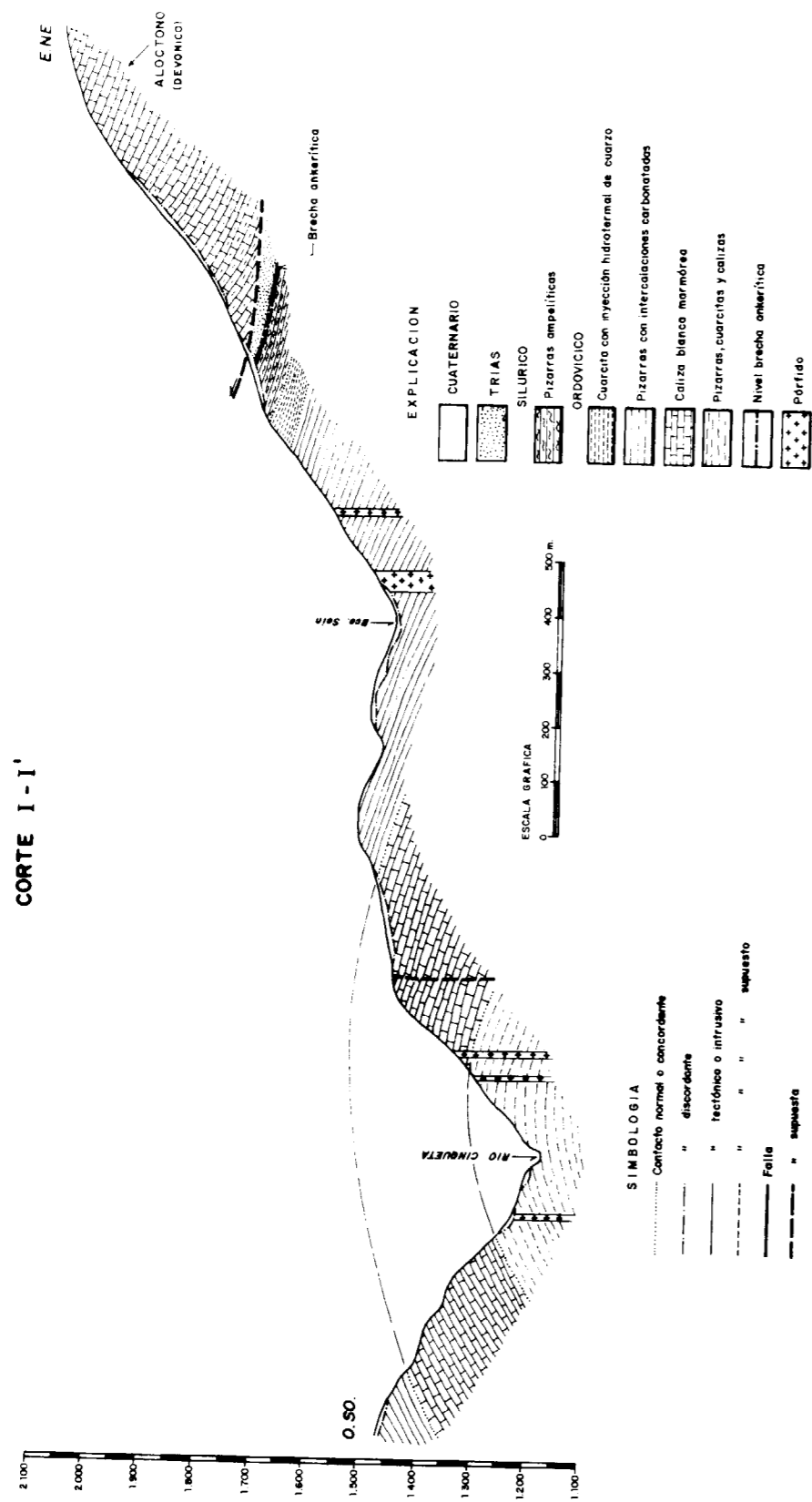


Figura 6.—Corte I-I' (fig. 2): Paleozoico autóctono.

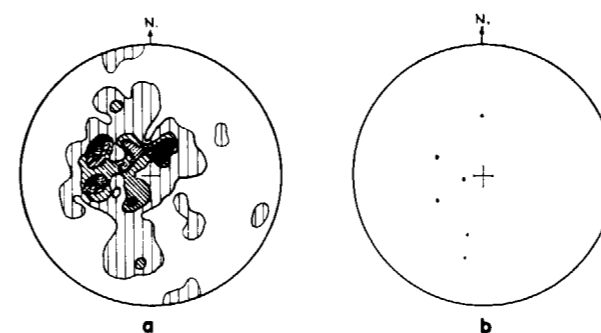


Figura 7.—Representación estéreo-gráfica —proyección en falsilla de Schmidt, hemisferio inferior— de polos de planos de estratificación en el Paleozoico autóctono de la serie de San Juan de Plan. a) Representación de conjunto de 71 polos, medidos en todas las litologías de la serie. Isolíneas de 0,7 por 100; 3,5 por 100; 5 por 100; 6,3 por 100 y 7,7 por 100. b) 6 polos representativos de la posición de distintos bloques de roca ankerítica (S₀).

Las primeras configuran los rasgos esenciales del área interrumpiendo la serie de San Juan de Plan hacia el N. Se ha de tener en cuenta que se trata de fallas pre-alpinas reactivadas, como lo demuestra la evidencia —ya notada por MARTÍNEZ, 1968— de su actuación con anterioridad a la erosión permo-triásica: en efecto, al N de la falla del Barranco de San Martín la erosión ha descubierto el granito sobre el que reposan los sedimentos triásicos, mientras que al S de la misma éstos se depositan sobre el Silúrico, habiendo quedado intacta la serie de San Juan de Plan y el granitoide subyacente. Es decir, que durante el Paleozoico esta serie de fallas ha jugado hundiendo el bloque meridional y dejando al sur una fosa preservada de la erosión, mientras que en tiempos post-triásicos ha rejugado en sentido contrario, de forma que el Triás desciende al norte, prácticamente, hasta el nivel de la unidad inferior de la serie de San Juan de Plan. La observación detallada de estas fallas permite encontrar evidencias de ambos movimientos relativos, cuyo salto vertical resultante es de más de 350 m. en sentido normal.

Las segundas, con carácter de fallas inversas, son especialmente frecuentes en las proximidades del cabalgamiento, en la zona de la mina (fig. 8) y en el alóctono, produciendo brechificación y desplazamientos del nivel mineralizado, así como despegues e imbricaciones a diversas escalas, como

las que se observan encima de la galería del Saublés, donde la pizarra ordovícica cabalga sobre la pizarra ampelítica silúrica.

Su origen ha de referirse a los empujes relacionados con el cabalgamiento de la Unidad de Los Millares sobre el autóctono. Así se explicaría también la falla inversa que, con dirección aproximada N 60° E y buzamiento al sur, levanta una escama de la granodiorita de Bielsa por encima del Triás, al N del Barranco de San Martín.

Por lo que respecta al Triás, puede decirse que en general permanece solidario del zócalo, con predominio de buzamientos suaves, sobre todo al N, siendo afectado durante el ciclo alpino por las mismas fallas que afectan al Paleozoico autóctono.

El horizonte ankerítico mineralizado aflora, reducido a lentejones, hacia el techo del flanco oriental de la estructura, bajo la discordancia permo-triásica (fig. 6). El reconocimiento detallado de las labores existentes —y en especial de las galerías de la mina San Carlos— permite acceder a una información más precisa sobre la geometría de dicho nivel. Este, frecuentemente fallado, es en general subhorizontal o buza suavemente al E, en consonancia con la tendencia general de la estratificación de los materiales paleozoicos (Silúrico) entre los que está intercalado. Sin embargo, a nivel local se observan fuertes variaciones (fig. 7b). Esta dispersión se ha interpretado en función de los empujes hacia el sur relacionados con el cabalgamiento mencionado (fig. 9), los cuales, al producir fracturación en bloques del nivel ankerítico y arrastre de éstos hacia el sur, darían lugar a una dispersión de los planos de estratificación parecida a la que se produciría por un plegamiento con eje E-O.

Por ello se ha considerado el nivel ankerítico como un nivel concordante con e integrante de la serie de San Juan de Plan, aunque su geometría original está alterada por la tectónica alpina. La intensidad y frecuencia de estos trastornos es tal que llegan a aparecer fragmentos o bloques superpuestos, sin que sea posible discernir si se trata de varios niveles estratigráficamente diferenciados o de una imbricación tectónica favorecida por la elevada plasticidad de las pizarras ampelíticas, en las que aparecen incluidos (fig. 9c).

Por otra parte, ha de notarse que la aparición de la brecha ankerítica no se reduce al citado nivel, cuya prolongación original —500 m.— hacia

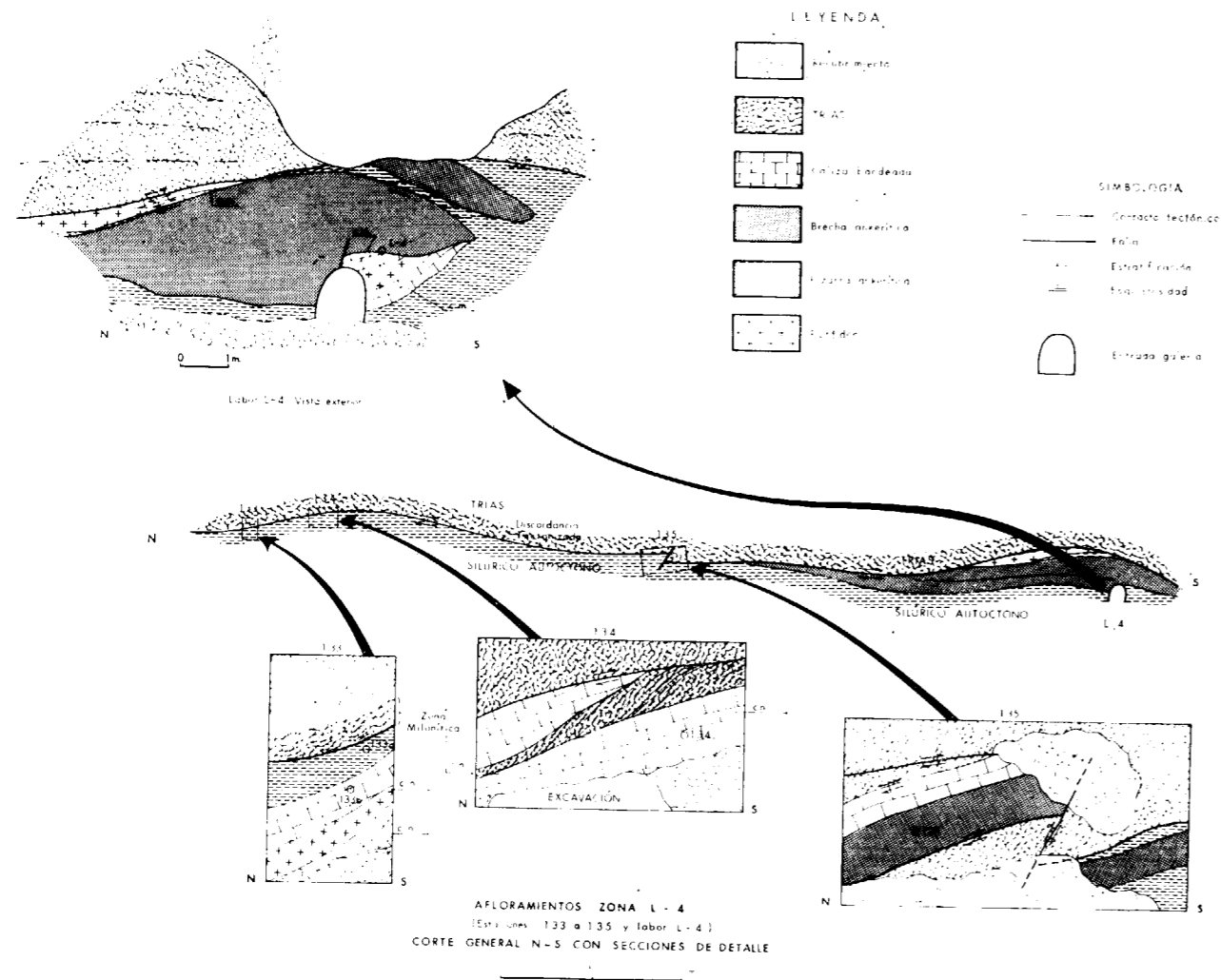


Figura 8.—Labores próximas a la mina San Carlos. Croquis con cartografía geológica. Vistas de la entrada de la labor L-4 (sección): general (en el centro) y detalles (arriba y abajo). Obsérvese la dirección de transporte tectónico (alpino) hacia el Sur, claramente marcada por la esquistosidad milonítica en pizarras ampelíticas.

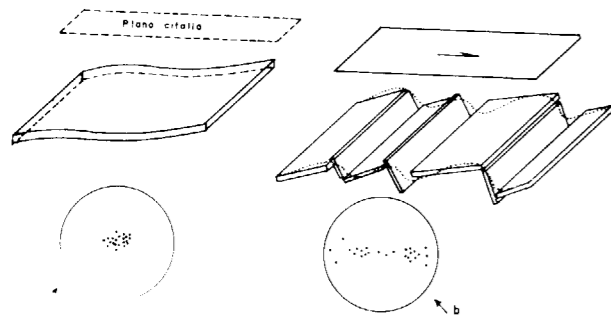


Figura 9.—Comportamiento frágil de un cuerpo rígido de forma tabular, englobado en un medio relativamente plástico (no representado), respondiendo a una cizalla paralela al plano de dicho cuerpo: croquis simplificado hipotético. a) Estado inicial: posición original del cuerpo tabular antes de la actuación del esfuerzo de cizalla y, debajo, proyección estereográfica de polos del mismo. b) Estado final: fragmentación en cuerpos menores, cuya envolvente idealizada se podría asimilar a una serie de pliegues cilíndricos de ejes perpendiculares a la dirección de cizalla; debajo: geometría resultante, en proyección estereográfica. c) Superposición de fragmentos «en escamas» por arrastre tectónico.

el sur, bajo el recubrimiento cuaternario, hasta el Saublés (indicio 38, fig. 2), parece plausible. Dicha roca aparece también en otros puntos, asociada a litologías ordovícicas, fuera de las zonas definidas como de interés minero, en estrecha relación con las fracturas E-O (fig. 2).

METAMORFISMO

El metamorfismo regional es muy débil (grado muy bajo a bajo) y sólo se manifiesta claramente en las rocas pelíticas, en las que da lugar a una paragénesis de sericita-cuarzo-(clorita).

El metamorfismo de contacto, superpuesto al anterior, es de bajo grado (corneanas de albita-epidota). En el aspecto textural queda reflejado por la aparición de texturas mosqueadas (pizarras) o corneánicas y granoblásticas (rocas cuarzosas y carbonatadas). La paragénesis de metamorfismo de contacto en rocas pelíticas y cuarzosas comprende: cuarzo+mica blanca (sericita) ± biotita ± andalucita (quiestolita). Esta última forma porfidoblastos normalmente alterados a productos arcilloso-micáceos. En las rocas calcáreas el metamorfismo de contacto se traduce en la recristalización de la calcita (caliza marmórea) y, localmente, en la aparición ocasional de paragénesis de skarn de baja temperatura (tremolita-epidota-albita-feldespato potásico).

Finalmente, existen otros episodios posteriores dinamometamórficos (brechificación, cataclasis, milonitización) ligados a la tectónica alpina.

MAGMATISMO

El magmatismo del área está representado por rocas plutónicas e hipoabisales. MALIVERNEY (1973) hace un estudio de dichas rocas aportando datos acerca de su quimismo.

El *plutonismo* corresponde a la granodiorita de Bielsa, cuyo extremo suroriental aflora en el ángulo N de la zona. El episodio de la intrusión podría situarse hacia el final del Westfaliense o —como precisa MARTÍNEZ (1968)— ser más bien post-Westfaliense. Las muestras estudiadas representan desde términos intermedios dioríticos hasta granitos, siendo granodiorita y tonalita los más frecuentes. Texturalmente son tipos hipidiomórfi-

cos mediogranulares, a menudo heterométricos y ligeramente cataclásticos.

La composición mineralógica es de plagioclasa, cuarzo, biotita y feldespato potásico como constituyentes principales, y apatito, opaco y circón, accesorios. Los minerales secundarios, clorita, sericita, calcita y rutilo-esfena, sobre todo los primeros, pueden alcanzar grandes proporciones. La plagioclasa es idiomórfica, está zonada, maclada y parcialmente sericitizada. El cuarzo es el componente de mayores dimensiones en los ejemplares más heterométricos. Se presenta en cristales xenomórficos que engloban los de plagioclasa y biotita, formados con anterioridad, y muestra fracturación y extinciones ondulantes muy acentuadas. El feldespato potásico —microclina— aparece en pequeños cristales xenomórficos que a veces exhiben macla en enrejado.

Todas las muestras han sido afectadas por una alteración de tipo hidrotermal que consiste básicamente en una cloritización, a menudo total, de la biotita y en una sericitización de la plagioclasa. A esta paragénesis hidrotermal se atribuye también la formación de calcita, a partir tanto de plagioclasa como del ferromagnesiano. La calcita suele hallarse además segregada en las fracturillas.

Las *rocas hipoabisales* muestran composiciones intermedias y ácidas (dioritas y tonalitas), siendo las primeras las más frecuentes. Se trata de rocas porfídicas con matriz microcristalina, microlítica o intersertal. Cuando la roca es de cristalinidad menor, en algún caso se ha observado además una tendencia al carácter fluidal. A veces se aprecia una cataclasis muy leve o una brechificación.

Independientemente del carácter textural, y a pesar de la intensa alteración que presentan, teniendo en cuenta su composición mineralógica, estas rocas pueden dividirse en: pórfidos tonalíticos y pórfidos dioríticos, según contengan o no fenocristales de cuarzo, respectivamente, y en variedades biotíticas y variedades anfibólicas (con biotita escasa o ausente), dependiendo de la naturaleza de los minerales ferromagnesianos. Los tipos biotíticos están menos representados y pueden pasar insensiblemente a variedades leucocráticas donde el ferromagnesiano llega, incluso, a estar ausente.

En general, presentan numerosos fenocristales de marcado idiomorfismo y de tamaños diversos (tendencias a las texturas porfídicas seriadas). En primer lugar, en abundancia, aparecen los feno-

cristales de plagioclasa, y en segundo orden, los de ferromagnesiano biotita y/o anfíbol o los de cuarzo, en el caso de los tipos más sobresaturados. La matriz contiene abundante plagioclasa y escaso ferromagnesiano y cuarzo (intersticial).

Es preciso resaltar el papel que han jugado las soluciones hidrotermales al afectar en alguna medida a todas las rocas hipoabisales. Aunque en ningún caso llega a perderse el carácter textural primario (fig. 10), la paragénesis original llega a ser reemplazada por completo, a excepción de minerales accesorios como apatito y circón o de los fenocristales de cuarzo que, lógicamente, permanecen estables en la nueva paragénesis.

Los cambios que globalmente se producen son sericitización de la plagioclasa, cloritización de los minerales ferromagnesianos y, con menor intensidad, carbonatización de ambos. Todos estos cambios se realizan pseudomórficamente, de tal manera que a veces se puede preservar hasta el carácter zonado de los fenocristales de plagioclasa e incluso de los de anfíbol.

La paragénesis ortomagmática de plagioclasa (más o menos cálcica) \pm hornblenda \pm biotita se ve sustituida por una nueva, hidrotermal autometamórfica, de la siguiente composición: sericita + clorita + albita + carbonatos (calcita, dolomita-ankerita?) + rutilo (sagenita) + esfena + opacos (sulfuros) \pm prehnita (rara). Sericita, albita y carbonatos reemplazan a la plagioclasa y clorita; rutilo, esfena y carbonatos lo hacen al ferromagnesiano.

A veces la biotita puede estar sustituida por mica blanca. Los carbonatos se hallan con frecuencia, además, en fracturas o en vetas junto con cuarzo.

Se ha estudiado también una pegmatita que presenta las siguientes características: textura subidiomórfica con tendencia alotriomórfica, heterométrica y débilmente cataclástica. La composición mineralógica es de plagioclasa, feldespato potásico y cuarzo, como constituyentes principales, con muy escasos granates y micas: biotita —parcialmente cloritizada— y mica blanca secundaria. Otros componentes accesorios son: esfena, opaco, apatito, circón y —secundarios de plagioclasa— calcita y trazas de clinozoisita.

SIGNIFICADO DE LAS FRACTURAS E-O. CONTROL TECTONICO

La aparición de la brecha ankerítica está, en general, controlada estrechamente por las fracturas E-O (figs. 2 y 3). Interesa, pues, comprender el origen de éstas y el papel que han jugado en la génesis de dicha roca.

Por lo que respecta a la interpretación dinámica de la fracturación, de un simple análisis geométrico se deduce que la serie de fracturas E-O relacionadas con la mineralización no puede atribuirse al sistema de esfuerzos responsable de la fase principal de plegamiento a nivel regional (fase 2). En efecto, dada la orientación E-O de los



Figura 10.—Hidrotermalización de un pórfido diorítico anfibólico: sericitización de la plagioclasa y carbonatización del anfíbol. Seudomorfos de plagioclasa: cristales tabulares blanquecinos. Fenocristales prismáticos de anfíbol sustituidos por completo por limonita (negra) y calcita (gris). Muestra 107 bis, Bco. Pocet; cota 1.550 m. (NX, 45 \times).

cristales de plagioclasa, y en segundo orden, los de ferromagnesiano biotita y/o anfíbol o los de cuarzo, en el caso de los tipos más sobresaturados. La matriz contiene abundante plagioclasa y escaso ferromagnesiano y cuarzo (intersticial).

Es preciso resaltar el papel que han jugado las soluciones hidrotermales al afectar en alguna medida a todas las rocas hipoabisales. Aunque en ningún caso llega a perderse el carácter textural primario (fig. 10), la paragénesis original llega a ser reemplazada por completo, a excepción de minerales accesorios como apatito y circón o de los fenocristales de cuarzo que, lógicamente, permanecen estables en la nueva paragénesis.

Los cambios que globalmente se producen son sericitización de la plagioclasa, cloritización de los minerales ferromagnesianos y, con menor intensidad, carbonatización de ambos. Todos estos cambios se realizan pseudomórficamente, de tal manera que a veces se puede preservar hasta el carácter zonado de los fenocristales de plagioclasa e incluso de los de anfíbol.

La paragénesis ortomagmática de plagioclasa (más o menos cálcica) \pm hornblenda \pm biotita se ve sustituida por una nueva, hidrotermal autometamórfica, de la siguiente composición: sericita + clorita + albita + carbonatos (calcita, dolomita-ankerita?) + rutilo (sagenita) + esfena + opacos (sulfuros) \pm prehnita (rara). Sericita, albita y carbonatos reemplazan a la plagioclasa y clorita; rutilo, esfena y carbonatos lo hacen al ferromagnesiano.

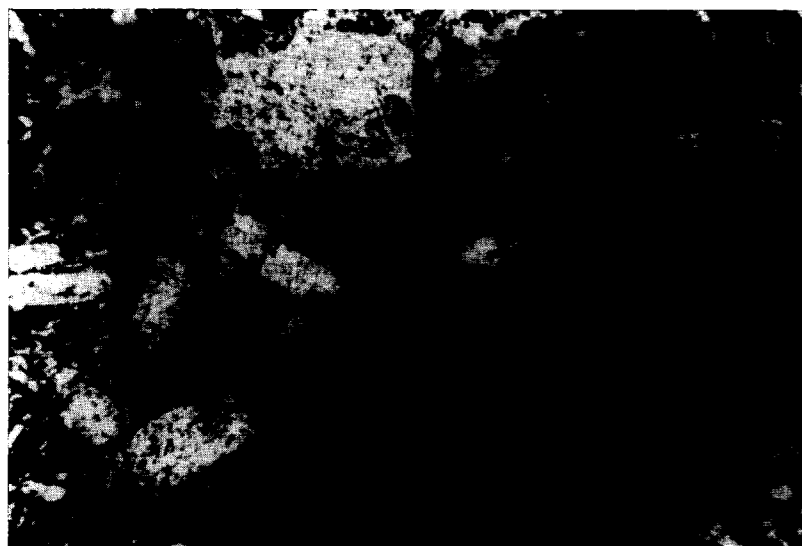


Figura 10.—Hidrotermalización de un pórfido diorítico anfibólico: sericitización de la plagioclasa y carbonatización del anfíbol. Seudomorfos de plagioclasa: cristales tabulares blanquecinos. Fenocristales prismáticos de anfíbol sustituidos por completo por limonita (negra) y calcita (gris). Muestra 107 bis, Bco. Pocet; cota 1.550 m. (NX, 45 \times).

A veces la biotita puede estar sustituida por mica blanca. Los carbonatos se hallan con frecuencia, además, en fracturas o en vetas junto con cuarzo.

Se ha estudiado también una pegmatita que presenta las siguientes características: textura subidiomórfica con tendencia alotriomórfica, heterométrica y débilmente cataclástica. La composición mineralógica es de plagioclasa, feldespato potásico y cuarzo, como constituyentes principales, con muy escasos granates y micas: biotita —parcialmente cloritizada— y mica blanca secundaria. Otros componentes accesorios son: esfena, opaco, apatito, circón y —secundarios de plagioclasa— calcita y trazas de clinzoisita.

SIGNIFICADO DE LAS FRACTURAS E-O. CONTROL TECTÓNICO

La aparición de la brecha ankerítica está, en general, controlada estrechamente por las fracturas E-O (figs. 2 y 3). Interesa, pues, comprender el origen de éstas y el papel que han jugado en la génesis de dicha roca.

Por lo que respecta a la interpretación dinámica de la fracturación, de un simple análisis geométrico se deduce que la serie de fracturas E-O relacionadas con la mineralización no puede atribuirse al sistema de esfuerzos responsable de la fase principal de plegamiento a nivel regional (fase 2). En efecto, dada la orientación E-O de los

pliegues de fase 2, habría de suponerse una compresión máxima perpendicular a esta dirección y por tanto también a las fracturas mencionadas, que serían así inhábiles para la creación de espacio apto para el relleno. Por el contrario —y aun prescindiendo de la mineralización—, se observa que hay abundantes diques que intruyen precisamente a favor de dichas fracturas, lo que supone, más bien, una dilatación N-S.

Por otra parte, dicha dirección de fractura trunca las estructuras paleozoicas existentes y dista de coincidir con cualquier plano de debilidad, como estratificación o esquistosidad, que pudiese explicarla.

En un trabajo realizado en una zona relativamente próxima (minas de Cierco, Bono, Huesca), con condiciones tectónicas similares (intrusión granodiorítica, esfuerzos de compresión N-S, fracturas mineralizadas E-O), se concluyó que la creación de las fracturas y del espacio necesario para el relleno se debía al sistema de esfuerzos relacionado con la intrusión del cuerpo granodiorítico y con los empujes correspondientes (CASTROVIEJO Y MORENO, 1983).

Es lógico, pues, pensar que es el mismo mecanismo el que ha actuado en este caso. En efecto, la serie de diques que intruyen a favor de las fracturas E-O sugiere que el magma estaba todavía en proceso de consolidación cuando se emplazaron y que, por tanto, dichas fracturas fueron coetáneas de la intrusión. Por otra parte, la esquistosidad de falla que se observa en muchos de ellos corresponde al juego normal (hundimiento del bloque N) de dichas fallas, lo que implica que el conjunto estaba ya consolidado al iniciarse el ciclo alpino.

Puesto que en realidad no se trata de fallas aisladas, sino más bien de amplias zonas de falla, es lógico que, tal como se observa en la realidad, se produzcan variaciones en la orientación (buzamientos) de las fallas subordinadas y movimientos locales complementarios, normales o inversos, entre éstas, sin que cambie la pauta general (E-O, buzamientos acusados al N o verticales) de la fracturación, marcada por las fallas principales.

Existe, además, otra generación (alpina) de fracturas E-O, representada por fallas más tendidas (hasta subhorizontales), relacionadas con los cabalgamientos, que truncan todas las estructuras anteriores, incluidas las mineralizadas (fig. 8). Los

efectos del ciclo alpino afectan también a las fracturas hercínicas reactivándolas, de forma que éstas rejuegan, a veces, truncando o limitando —mediante contactos tectónicos— los cuerpos mineralizados.

Por lo que respecta a la relación entre la fracturación y la formación de la brecha ankerítica, salta a la vista el papel que dichas fallas pueden haber jugado como canales de aporte de disoluciones hidrotermales, probablemente de origen magmático, derivadas de la intrusión granodiorítica como episodios póstumos. A fin de esclarecer estos procesos, se aborda a continuación un estudio detallado de dicha roca.

CARACTERIZACION DEL NIVEL MINERALIZADO

Las mineralizaciones de Co-(Ni-Cu-Fe) aparecen en el seno de un nivel ankerítico bien caracterizado. Desde el punto de vista petrográfico, es idéntico a los indicios de brecha ankerítica situados fuera del área mineralizada (fig. 2, indicios 168-169, etcétera), pero sólo en este área aparece acompañado de una caliza bandeada milonítica. Podría pensarse, tal como se ha explicado —Estratigrafía—, que esta caliza representa el equivalente, sometido a metamorfismo dinámico, del nivel de caliza negra carbonosa, con Ortocerátidos y Carniolas, que en otros lugares se cita intercalado entre las pizarras, en la parte alta del Silúrico, lo que explicaría su ausencia en los indicios no relacionados con dicho sistema.

Roca ankerítica

La «roca filón» (brecha ankerítica) es una roca dura brechoide (a veces bandeada) de color blanco (vetas) y negro (clastos) en fresco, pardo limonítico por meteorización, compuesta esencialmente por ankerita. Puede tener mineralizaciones irregulares, ocasionales, de sulfuros, arseniuros y sulfoarseniuros de Co-(Ni-Cu-Fe). En este caso suele aparecer impregnada de eflorescencias rosadas (eritrina) y más raramente verdes (annabergita) o verde-azuladas (malaquita-azurita) producidas por alteración supergénica de las citadas menas de Co, Ni y Cu, respectivamente. En conjunto, se trata de una roca brechificada, venulada, completamente recristalizada y posteriormente tectonizada.

De acuerdo con estas características, se han distinguido microscópicamente dos tipos fundamentales: el denominado como *brecha ankerítica* (el más común; contiene numerosos fragmentos de roca ankerítica carbonosa cementados por ankerita filoniana: fig. 11) y el puramente hidrotermal (de relleno o de reemplazamiento, fig. 12), designado como *ankerita filoniana*, que representa un caso extremo mucho menos frecuente.

La ankerita que ocupa las vetas aparece en cristales límpidos de tamaño variable, pero en general de medio a grueso y siempre superior al de

la matriz de los clastos. Estos se componen, igualmente, de ankerita, aunque de menor cristalinidad (fina normalmente) e idiomorfismo y, además, contienen materia carbonosa, sericita y cuarzo. Las características de la ankerita, en todos los casos e independientemente de su cristalinidad, son: tendencia a las formas subeuhedrales (rombohedrales), coloración parda bastante acentuada, maclas polisintéticas escasas, signos de deformación (extinciones ondulantes y cataclasis en general).

El carácter textural de la brecha ankerítica está determinado por la importante venulación que

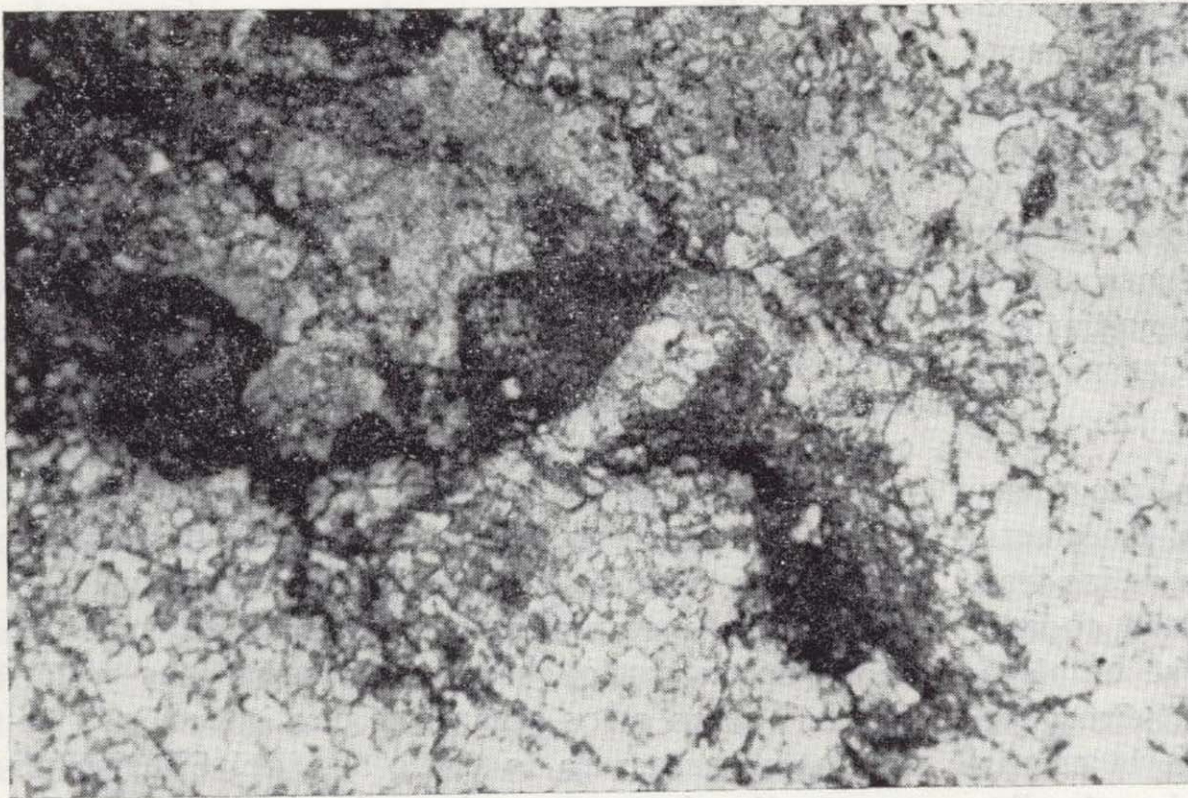


Figura 11.—Brecha ankerítica: fragmentos residuales de roca micrítica ankeritizada (color gris oscuro) englobados en ankerita hidrotermal (masa cristalina y vetas, color gris claro). Escaso cuarzo (blanco) y restos de materia orgánica (hiladas negras). Muestra 50-4 (a 2 m. de la muestra 50-5, fig. 5); cota 1.690 m., 150 m. al NO de la entrada principal de la mina San Carlos (N//, 45×).

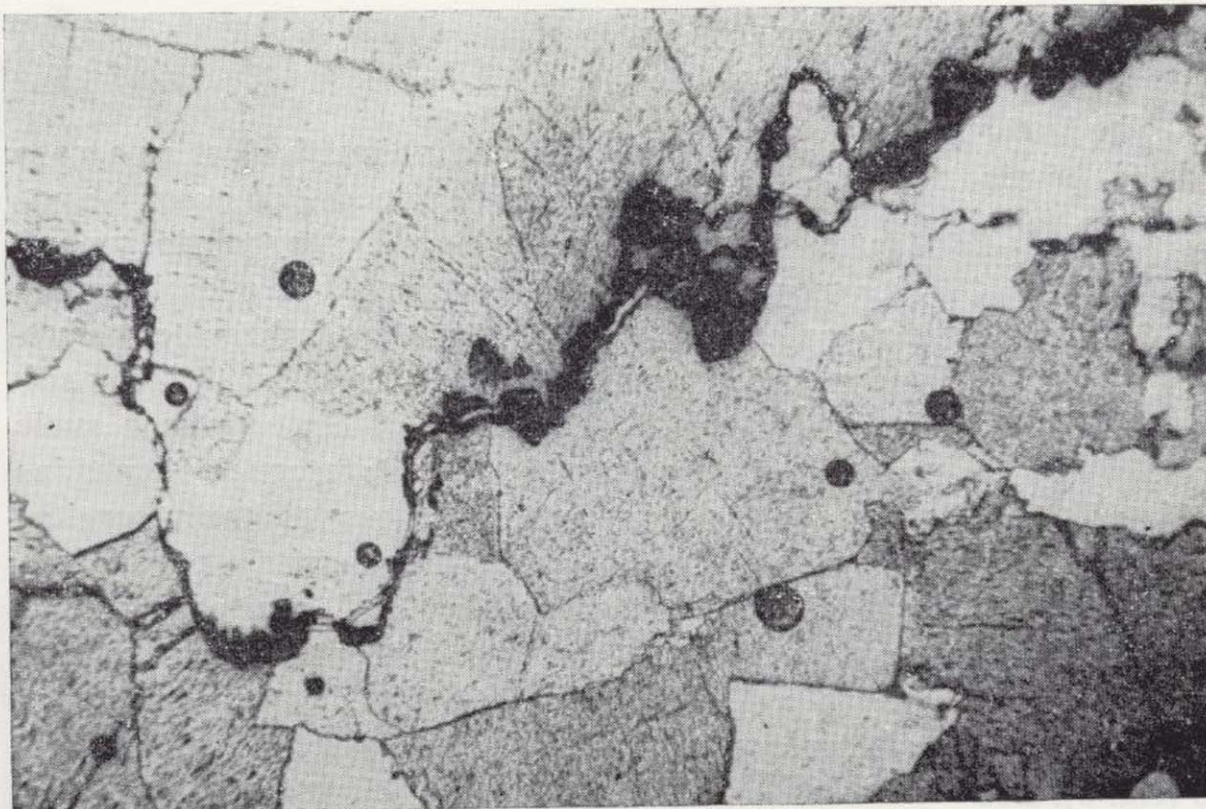


Figura 12.—Estructuras estilolíticas (residuos de materia carbonosa con opacos asociados) en roca ankerítica. Toda la ankerita que se observa en la foto es hidrotermal. Muestra SC-4', mina San Carlos, 3.ª planta (N//, 45×).

De acuerdo con estas características, se han distinguido microscópicamente dos tipos fundamentales: el denominado como *brecha ankerítica* (el más común; contiene numerosos fragmentos de roca ankerítica carbonosa cementados por ankerita filoniana: fig. 11) y el puramente hidrotermal (de relleno o de reemplazamiento, fig. 12), designado como *ankerita filoniana*, que representa un caso extremo mucho menos frecuente.

La ankerita que ocupa las vetas aparece en cristales límpidos de tamaño variable, pero en general de medio a grueso y siempre superior al de

la matriz de los clastos. Estos se componen, igualmente, de ankerita, aunque de menor cristalinidad (fina normalmente) e idiomorfismo y, además, contienen materia carbonosa, sericita y cuarzo. Las características de la ankerita, en todos los casos e independientemente de su cristalinidad, son: tendencia a las formas subeuhedrales (rombohedrales), coloración parda bastante acentuada, maclas polisintéticas escasas, signos de deformación (extinciones ondulantes y cataclasis en general).

El carácter textural de la brecha ankerítica está determinado por la importante venulación que



Figura 11.—Brecha ankerítica: fragmentos residuales de roca micrítica ankeritizada (color gris oscuro) englobados en ankerita hidrotermal (masa cristalina y vetas, color gris claro). Escaso cuarzo (blanco) y restos de materia orgánica (hiladas negras). Muestra 50-4 (a 2 m. de la muestra 50-5, fig. 5); cota 1.690 m., 150 m. al NO de la entrada principal de la mina San Carlos (N//, 45×).



Figura 12.—Estructuras estilolíticas (residuos de materia carbonosa con opacos asociados) en roca ankerítica. Toda la ankerita que se observa en la foto es hidrotermal. Muestra SC-4', mina San Carlos, 3.ª planta (N//, 45×).

presenta, resultando, al microscopio, una roca heterocristalina y heterogénea. Los efectos deformantes se traducen en una cataclasis sin orientación aparente asociada. La composición homogénea de la roca y la competencia de la ankerita impiden aquí la milonitización que, en contraste, se aprecia en las calizas bandeadas.

Es bastante común la presencia de cuarzo en pequeñas cantidades. A excepción de escasos granos detríticos de tamaño arena que pueden aparecer en algunas ocasiones, en general el cuarzo está notablemente recristalizado o bien es un cuarzo prismático que se halla ligado a la ankerita de las vetas. Como accesorio no es raro encontrar calcita, cuyos cristales ocupan posiciones intersticiales respecto a los de ankerita. Otro accesorio, cuya presencia ha sido detectada sólo en las muestras mineralizadas, es la eritrina, mineral que se halla en pequeños agregados fibrosos-radiados, cicatrizando fisurillas.

Puntualmente pueden visualizarse reliquias de carbonato de tamaño micrita, englobadas en los pequeños cristales de ankerita que forman la roca o en sus uniones. Se puede, pues, pensar en un proceso de ankeritización por el que, a través de una densa red de stockwerks, la roca carbonatada original, supuestamente calcárea, tras haber sufrido un proceso común de dolomitización —seguramente se trataba ya de una roca dolomítica— se ve reemplazada en su práctica totalidad, siendo sustituida la dolomita por ankerita. Así, por ejemplo, un demuestre detallado efectuado en el indicio 50 (fig. 3) documenta la transición desde una caliza biogénica dolomitizada (figura 5) hasta la típica brecha ankerítica (figura 11). A este respecto ha de notarse que en la caliza bandeada milonítica se encuentra también evidencia de este proceso. Así, en lentejones de dicha roca observados en la Mina San Carlos se ha podido constatar la dolomitización (?) y la ankeritización parcial de una caliza micrítica fosilífera.

Las impurezas pelíticas (sericita) y carbonosas quedan como relictos, ocupando las porciones intercristalinas que les deja la ankerita al crecer. A menudo también se hallan en forma de hiladas irregulares o, asimismo, en superficies estilolíticas como residuos sin disolver (fig. 12). Las menas de Co-(Ni-Cu-Fe) pueden aparecer espacialmente ligadas a estas estructuras.

En algunos puntos ha podido observarse calcitización tardía de la ankerita. Esta sustitución ankerita-calcita lleva consigo la formación de abundante goethita, que queda como inclusión en los cristales de calcita, proporcionando a la roca una ostensible coloración rojiza.

Caliza bandeada

Mesoscópicamente, la característica más destacada de esta caliza —sólo excepcionalmente hay algún nivel de dolomía pizarrosa— es su fino bandeado milonítico. Su color es generalmente negro, aunque también se observan tonos claros, ocres y rosados. Se compone esencialmente de calcita con ankerita —bandas, vetillas, ojos— ocasional y con impurezas carbonosas, pelíticas o arenosas. Podría derivarse de una micrita o microesparita, relativamente pura, que ha sufrido un metamorfismo regional apenas perceptible frente al manifiesto metamorfismo dinámico (milonitización).

Es difícil definir con precisión la intensidad de la milonitización si se tiene en cuenta que la roca de partida era ya microcristalina. Sin embargo, la mayor cristalinidad de la ankerita (cristales de tamaño medio) y su comportamiento tectónico como material competente en relación con la calcita (fig. 13) hacen que resulte muy llamativo el proceso, ya manifiesto a escalas mesoscópica y de detalle. Los cristales de ankerita quedan a modo de ojos, lentejones o budines orientados envueltos en una matriz de calcita microcristalina orientada del mismo modo.

Se pueden distinguir, al menos, tres tipos de calcita perfectamente diferenciados que representan sendas generaciones de dicho mineral. El primero corresponde a la calcita microcristalina, que compone la gran masa de la roca. El segundo, a una calcita cristalina en vetas que aparece en cristales mediogranulares, sola o con ankerita, cuarzo y sulfuros (más raramente). Esta calcita se encuentra con maclado lamelar y polisintético y muestra fuertes efectos deformantes que se ponen de relieve por fracturaciones, flexionamientos del plano de macla, extinciones ondulantes, maclas de deformación y, sobre todo, por una granulación que comienza siendo marginal, pero que puede acabar afectando al cristal casi por completo. Este segundo tipo resulta, al microscopio,

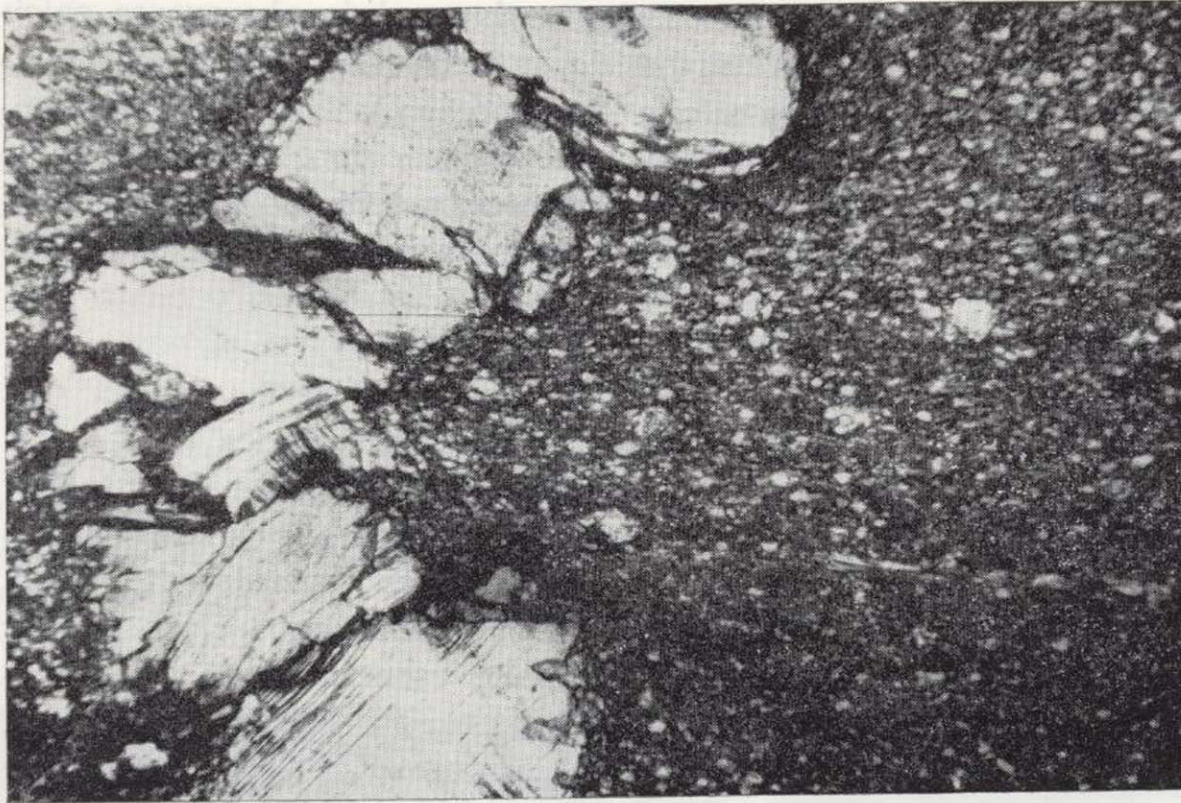


Figura 13.—Veta de ankerita deformada en caliza veteadada milonítica. La orientación milonítica es paralela a la máxima longitud de la foto. Muestra L3-O3, galería L3 (N//, 45×).

el mejor guía para conocer la magnitud de la deformación.

Por último, el tercer tipo sólo está presente en contadas ocasiones y corresponde a una calcita también vetiforme, pero que no ha sufrido los mismos efectos tectónicos que la del tipo anterior.

CONCLUSIONES

Las mineralizaciones estudiadas aparecen en estrecha relación espacial con una roca característica («brecha ankerítica») cuyo origen es metasomático y cuya distribución espacial, restringida al ámbito del Paleozoico autóctono exclusivamente, obedece a un estrecho control tectónico (fracturas mayores E-O, subverticales).

En las zonas de mayor desarrollo de dicha roca ésta adquiere una morfología estratoide, extendiéndose, a partir de las fracturas mencionadas, en cuerpos tabulares más o menos subhorizontales, cosa que sólo ocurre en el seno del Sistema Silúrico (pizarras ampelíticas). Cuando la roca ankerítica está asociada a rocas ordovícicas forma masas irregulares dispuestas casi siempre a lo largo de dichas fracturas.

El carácter de las fracturas citadas, que han actuado como importantes fallas en, al menos, dos ocasiones bien diferenciadas (tiempos pre y post-triásicos), no se asimila al de fracturas tensionales (ac) de la fase principal hercínica, propicias

para el relleno filoniano. Su origen parece relacionado, más bien, con los efectos tectónicos de empuje de la intrusión granodiorítica del Cinqueta (o de Bielsa) hacia el fin del Westfaliense.

Las disoluciones hidrotermales responsables de la ankeritización y de las numerosas alteraciones observadas en las rocas magmáticas se atribuyen, igualmente, a fases póstumas relacionadas con dicha intrusión.

Las características físicas y mecánicas (impermeabilidad, plasticidad) de las pizarras ampelíticas silúricas y la existencia en su seno de niveles carbonatados (calizas dolomitizadas) intercalados explican la intensificación de los procesos metasomáticos precisamente en estos niveles, dando lugar a los cuerpos estratiformes de roca ankerítica, que son los más desarrollados e importantes.

El movimiento de las citadas fracturas durante el ciclo hercínico, elevando el bloque norte, ha dado lugar al desmantelamiento de los posibles niveles de roca ankerítica, potencialmente mineralizados, en dicho bloque a causa de la erosión pre-triásica. Su posterior rejuego, en sentido contrario, durante el ciclo alpino ha dado lugar a la configuración actual, trastornada luego, en la zona de la mina San Carlos, por efecto del cabalgamiento de la unidad de Los Millares.

Por lo que respecta al origen de las concentraciones de Co-(Ni-Cu-Fe), estrechamente asociadas a la brecha ankerítica, es de notar que dichas



Figura 13.—Veta de ankerita deformada en caliza veteada milonítica. La orientación milonítica es paralela a la máxima longitud de la foto. Muestra L3-03, galería L3 (N//, 45×).

el mejor guía para conocer la magnitud de la deformación.

Por último, el tercer tipo sólo está presente en contadas ocasiones y corresponde a una calcita también vetiforme, pero que no ha sufrido los mismos efectos tectónicos que la del tipo anterior.

CONCLUSIONES

Las mineralizaciones estudiadas aparecen en estrecha relación espacial con una roca característica («brecha ankerítica») cuyo origen es metasomático y cuya distribución espacial, restringida al ámbito del Paleozoico autóctono exclusivamente, obedece a un estrecho control tectónico (fracturas mayores E-O, subverticales).

En las zonas de mayor desarrollo de dicha roca ésta adquiere una morfología estratoide, extendiéndose, a partir de las fracturas mencionadas, en cuerpos tabulares más o menos subhorizontales, cosa que sólo ocurre en el seno del Sistema Silúrico (pizarras ampelíticas). Cuando la roca ankerítica está asociada a rocas ordovícicas forma masas irregulares dispuestas casi siempre a lo largo de dichas fracturas.

El carácter de las fracturas citadas, que han actuado como importantes fallas en, al menos, dos ocasiones bien diferenciadas (tiempos pre y post-triásicos), no se asimila al de fracturas tensionales (ac) de la fase principal hercínica, propicias

para el relleno filoniano. Su origen parece relacionado, más bien, con los efectos tectónicos de empuje de la intrusión granodiorítica del Cinqueta (o de Bielsa) hacia el fin del Westfaliense.

Las disoluciones hidrotermales responsables de la ankeritización y de las numerosas alteraciones observadas en las rocas magmáticas se atribuyen, igualmente, a fases póstumas relacionadas con dicha intrusión.

Las características físicas y mecánicas (impermeabilidad, plasticidad) de las pizarras ampelíticas silúricas y la existencia en su seno de niveles carbonatados (calizas dolomitizadas) intercalados explican la intensificación de los procesos metasomáticos precisamente en estos niveles, dando lugar a los cuerpos estratiformes de roca ankerítica, que son los más desarrollados e importantes.

El movimiento de las citadas fracturas durante el ciclo hercínico, elevando el bloque norte, ha dado lugar al desmantelamiento de los posibles niveles de roca ankerítica, potencialmente mineralizados, en dicho bloque a causa de la erosión pre-triásica. Su posterior rejuego, en sentido contrario, durante el ciclo alpino ha dado lugar a la configuración actual, trastornada luego, en la zona de la mina San Carlos, por efecto del cabalgamiento de la unidad de Los Millares.

Por lo que respecta al origen de las concentraciones de Co-(Ni-Cu-Fe), estrechamente asociadas a la brecha ankerítica, es de notar que dichas

concentraciones sólo se presentan cuando la brecha ankerítica se encuentra intercalada entre las pizarras ampelíticas. Existe, pues, un control litoestratigráfico de los procesos de concentración de dichos metales por el Sistema Silúrico, además del control tectónico mencionado.

Las características señaladas hacen presumir que la génesis de las mineralizaciones de Co-(Ni-Cu-Fe) se debe a la convergencia de agentes —o factores minerogénicos, en el sentido de BAUMANN y TISCHENDORFF, 1976— magmáticos (responsables de las emanaciones hidrotermales, de la activación térmica y del metamorfismo de contacto), factores tectónicos (control por fracturas E-O) y particularidades litológicas del Sistema Silúrico.

Si bien el estudio detallado de las mineralizaciones citadas y la interpretación de estos factores desde un punto de vista metalogénico son el objeto de un próximo trabajo (CASTROVIEJO, 1985, en prensa), la asociación exclusiva de dichas menas con las pizarras ampelíticas induce a la sospecha de que en éstas puede hallarse la fuente de los metales concentrados en el nivel ankerítico. Para valorar debidamente y precisar esta interpretación previa es necesario, evidentemente, el contrastarla críticamente con todos los datos geológicos del yacimiento en su conjunto y, en particular, con los derivados del estudio mineralógico-textural y de la caracterización paragenética del yacimiento, tarea que se aborda en el trabajo citado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Nacional de Industria y a la E. N. ADARO las facilidades dadas para la realización de este trabajo y la autorización para publicarlo. Agradecen, asimismo, a sus compañeros A. Lago y C. Vaquero su valiosa colaboración en las fases iniciales de la investigación y la realización de diversas determi-

naciones mineralógicas por Difracción de Rayos X, respectivamente.

BIBLIOGRAFIA

- BAUMANN, L., y TISCHENDORF, G.: *Einführung in die Metallogenie/Minerogenie*. VEB, Leipzig, 460 pp. (1976).
- CASTROVIEJO, R.: *Mineralogía y Génesis de las concentraciones metálicas de Co-(Ni-Cu) de la Mina de San Juan de Plan (Valle de Gistáin), en el Pirineo de Huesca*. Bol. Geol. y Minero (1985), en prensa.
- CASTROVIEJO, R., y MORENO, F.: *Estructura y Metalogenia del Campo Filoniano de Cierco (Pb-Zn-Ag) en el Pirineo de Lérida*. Bol. Geol. y Minero, t. XCIV-IV, pp. 291-320 (1983).
- DALLONI, M.: *Etude géologique des Pyrénées de l'Aragon*. Ann. Fac. Sc. Marseille, vol. XIX, 436 pp. (1910).
- GROEN, C.: *The geology of the Cinqueta region, Spanish Pyrenees, province of Huesca*. Tesis doctoral Utrecht, 114 pp. (1978).
- MALIVERNEY, C.: *Géologie et métallogénie du gîte de cobalt de Gistain dans les Pyrénées espagnoles*. Bull. BRGM, sect. II, núm. 6, pp. 433-448 (1973).
- MALLADA, L.: *Descripción física y geológica de la provincia de Huesca*. Mem. Com. Mapa Geol. de España, tomo VI, Madrid, 439 pp. (1878).
- MARTÍNEZ, CL.: *Etude structurale de la région de la Cinqueta (Substratum de la nappe de Gavarnie), Pyrénées, Centrales (Espagne)*. These 3^{me} cycle, Montpellier, 107 páginas (1968).
- MEY, P. H. W.: *The geology of the upper Ribagorzana and Baliera valleys, Central Pyrenees, Spain*. Leidse Geol. Medd. 41, pp. 153-220 (1967).
- RÍOS, L. M.; BELTRÁN, F. J.; LANAJA, J. M., y MARÍN, F. J.: *Contribución a la geología de la zona axial pirenaica, valles del Cinca y Esera, provincia de Huesca*. Libro homenaje al Prof. Solé Sabaris, Acta Geológica Hispana, tomo 14, pp. 271-279 (1979).
- RÍOS, L. M.; LANAJA, J. M.; RÍOS MITCHELL, J. M., y MARÍN, F. J.: *Hoja 179 (Bielsa) y Memoria*. Mapa Geológico de España, 1:50.000 (MAGNA, 2.ª serie), I. G. M. E. (Madrid) (1982).

Recibido: Marzo de 1985

Los yacimientos Pb-Zn del tipo Reocín en el sector oeste de Cantabria: Estudio comparativo y aspectos genéticos (*)

Por M. BUSTILLO REVUELTA (**) y S. ORDONEZ DELGADO (**)

RESUMEN

Los yacimientos Pb-Zn de Santander (tipo Reocín) son uno de los más importantes depósitos de Pb-Zn de España. En este trabajo se establece un estudio comparativo entre estos yacimientos y los denominados tipo «Mississippi Valley» en base a tópicos tales como las características de las rocas encajantes, tipología de las mineralizaciones, etc. Por último, consideramos algunos aspectos genéticos para intentar determinar la génesis de las mineralizaciones en un sentido singenético o epigenético.

ABSTRACT

The lead-zinc ores from Santander (Reocín type) are one of the most important lead-zinc mineralizations of Spain. In this paper we establish a comparative study between these ores and those called «Mississippi Valley type» using topics like characteristics of the host rocks, types of ores, etc. Later, we consider some genetic aspects in view to determine the genesis of the mineralizations in a syngenetic way or epigenetic one.

INTRODUCCION

Los yacimientos Pb-Zn aptienses de Cantabria incluyen una serie de minas que, situadas principalmente al oeste de Santander, abarcan una franja de unos 25 Km. de largo por 10 Km. de ancho en la zona costera (fig. 1). Todas ellas presentan unas mismas características, por lo que pueden ser analizadas globalmente, y su génesis, desde su descubrimiento a mediados del siglo pasado, ha ido sufriendo diferentes interpretaciones, estando actualmente la controversia entre un posible origen singenético (MONSEUR, 1967) o epigenético (BUSTILLO y ORDÓÑEZ, 1980; VADALA, 1981).

El objetivo fundamental de este trabajo es, en base a las características presentes de los yacimientos, evaluar su posible calificación como ya-

(*) Un abstract de este trabajo, bajo el título «Lead and zinc ores from Santander (North Spain): Mississippi Valley-type?», fue presentado y defendido por uno de sus autores en el 27 Congreso Internacional de Geología celebrado en Moscú.

(**) Departamento de Petrología. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. Madrid.

cimientos del tipo «Mississippi Valley» y considerar algunos aspectos sobre su posible génesis.

ENCUADRE GEOLOGICO

La zona en la que se encuadran los yacimientos forma parte de la gran cuenca de sedimentación cantábrica, cuyos materiales aflorantes están suavemente plegados por la orogenia alpina. Los yacimientos estudiados abarcan desde representantes de los situados en zonas más externas de la cuenca (p. e., Reocín) hasta los localizados en las cercanías del continente durante la sedimentación cretácica (p. e., La Florida).

Desde el punto de vista estratigráfico, se sitúan en un conjunto carbonatado incluido en el denominado Complejo Urgoniano de edad Cretácico Inferior. Dentro de las diversas secuencias deposicionales que constituyen dicho complejo, constituida cada una de ellas por una sucesión de rocas detríticas-rocas carbonatadas, es el tramo carbonatado de la segunda secuencia, de edad Aptiense, la que constituye la roca encajante de las mi-

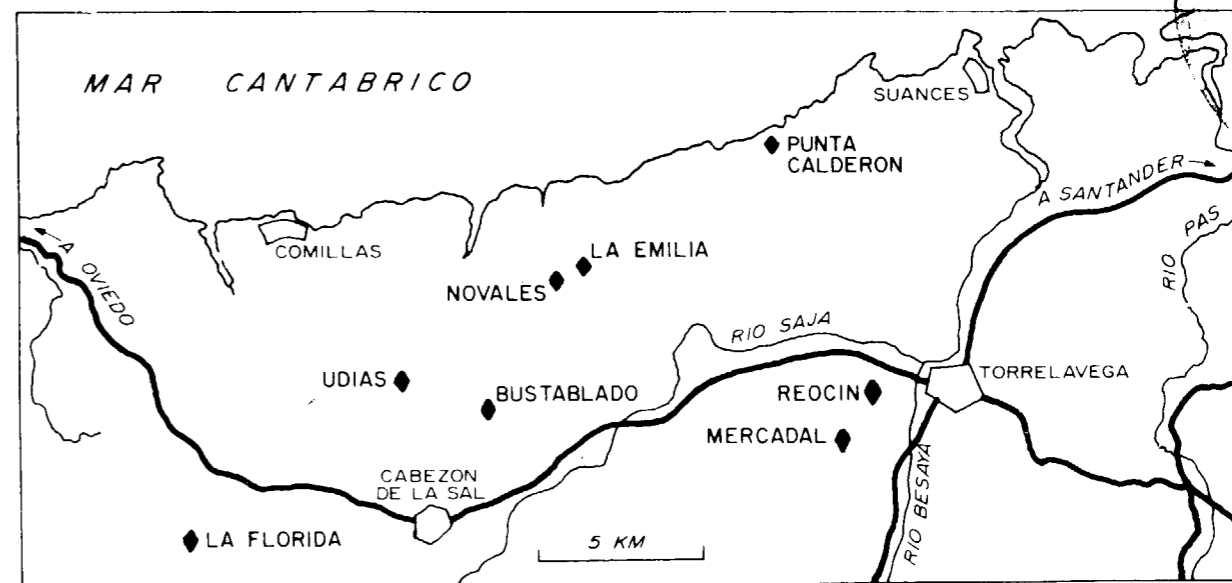


Figura 1.—Situación geográfica de las diferentes minas estudiadas.

neralizaciones. A su vez, las mineralizaciones encajan únicamente en aquellas zonas que presentan intensos procesos de dolomitización.

CARACTERISTICAS DE LOS YACIMIENTOS

De las diversas características que presentan estos yacimientos, pensamos que existen una serie de ellas que son básicas a la hora de establecer un posible origen para las mineralizaciones. Consideramos las que poseen la roca encajante, la mineralización, así como algunos aspectos geoquímicos.

Rocas encajantes s.l.

Aunque tal como se comentó anteriormente, las dolomías son exclusivamente la roca encajante, también es importante considerar, de una forma más amplia, las calizas que sufren los procesos de dolomitización. Dichas calizas poseen como aspectos más relevantes sus características microfaciales (wackestones-packstones fosilíferos) que permiten clasificarlas como originadas en un medio de plataforma somera más o menos restringida, y sus relativamente altos contenidos en estroncio (aproximadamente 300 ppm.) y bajos en hierro y manganeso (0,3% y —) (tabla 1).

TABLA 1

Contenidos de las rocas calcáreas y dolomíticas en los elementos traza analizados

	Sr	Fe	Mn	Zn	Pb
Calizas	350 ppm	0,3 %	—	—	—
Dolomías	50 ppm	4,0 %	1.200 ppm	200 ppm	—

Por su parte, las dolomías presentan un aspecto homogéneo, contactos netos con las calizas y distribución irregular, siendo frecuente la existencia de restos calcáreos no dolomitizados incluidos en las dolomías. Microscópicamente están formadas por grandes cristales (400 micras), frecuentemente con «cloudy centers» o núcleos zonados y estando la textura original casi totalmente ocluida por el proceso de dolomitización; sólo en ocasiones se observan fantasmas o restos de la textura primitiva.

Un aspecto muy importante desde el punto de vista genético es la ausencia de depósitos evaporíticos relacionados, lo que impide su conexión con salmueras originadas a partir de este tipo de materiales. También es resaltable la no existencia de un paleokarst premineralización, aunque son frecuentes los procesos de karstificación más o menos actuales.

Por último, y desde el punto de vista geoquímico, las rocas dolomíticas se caracterizan por sus bajos contenidos en estroncio (50 ppm.) y los muy altos en hierro (4%) y manganeso (1.200 ppm.) así como, en ocasiones, el alto fondo geoquímico en cinc (200 ppm.).

Mineralización

La mineralización primaria está constituida por esfalerita principalmente y cantidades menores de galena, pirita y marcasita. También está presente, en las minas de La Florida, la baritina y no existe ningún indicio de fluorita. Asociado con la mineralización aparece un cemento, muy característico por otra parte en los yacimientos de Pb-Zn en rocas carbonatadas, formado por grandes cristales de dolomita (2 mm.) que hemos denominado dolomita blanca y cuya génesis está relacionada con procesos de cementación tardíos (BUSTILLO, 1984 b).

Las texturas de las mineralizaciones son variadas (BUSTILLO, 1984 a), destacando las texturas colomorfas en la esfalerita y el carácter «cross cutting» de los cristales de galena. Estas mineralizaciones se disponen cementando cavidades de tamaño variable y porosidades intercristalinas, siendo el proceso fundamental de precipitación la deposición en espacios abiertos, bien a favor de grandes niveles lenticulares de continuidades relativas o en forma de bolsadas de tamaño variable (fig. 2). También, en ocasiones, pueden aparecer mineralizaciones a favor de fallas y fracturas

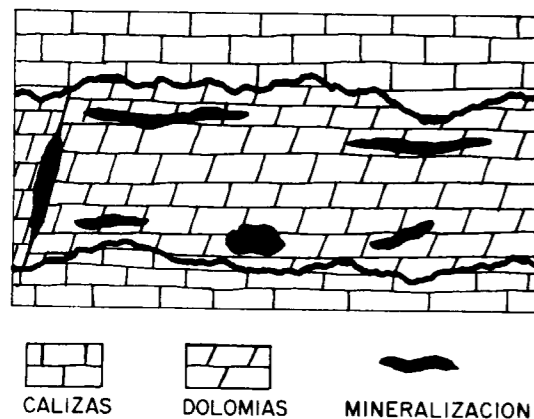


Figura 2.—Esquema de las diferentes configuraciones existentes en las mineralizaciones.

por removilizaciones posteriores. En general se pueden definir como configuraciones tipo «strata-bound».

Aspectos geoquímicos

Las proporciones relativas de los diferentes elementos en las calizas y en las dolomías resultan interesantes de comentar. Así, para el estroncio existe una fuerte disminución en el paso de calizas a dolomías (de 350 a 50 ppm.), lo que indica que el proceso de dolomitización lleva consigo una importante pérdida en este elemento. Por el contrario, dicha dolomitización genera un aumento considerable en los contenidos en hierro (0,3% en las calizas frente a un 4% en las dolomías), manganeso (— frente a 1.200 ppm.) y en ocasiones en cinc. Por ello, es necesario pensar en la existencia de un proceso de dolomitización en un estadio de la diagénesis en el cual el medio de sedimentación no condiciona apreciablemente la distribución de los elementos geoquímicos.

Los coeficientes de correlación entre los diferentes elementos reafirman esta apreciación, pues se han obtenido altos coeficientes entre elementos propios de los materiales calcáreos ($Sr-OCa=0,8$), de las dolomías ($Fe-Mn=0,9$) y la mineralización ($Pb-Zn=0,7$), no existiendo pares de elementos en los que se produzca, de forma significativa, una mezcla entre los componentes característicos de cada población.

Por último, los datos isotópicos del azufre en la esfalerita y la galena también aportan datos significativos en cuanto a la génesis de las mineralizaciones. En muestras procedentes de Novales, el delta ^{34}S adquiere un valor de +9,90 para la esfalerita y +3,80 para la galena, por lo que la diferencia entre ambas es de +6,10 y, aplicando las curvas de fraccionamiento de SAKAI (1968) (fig. 3), se obtienen temperaturas de formación de aproximadamente 120 °C para las mineralizaciones.

ESTUDIO COMPARATIVO

El estudio comparativo se realiza en base al trabajo de BROWN (1970), en el cual el autor establece, de forma sintética, once características que presentan los yacimientos del área del valle del Mississippi y que, por extensión, pueden conside-

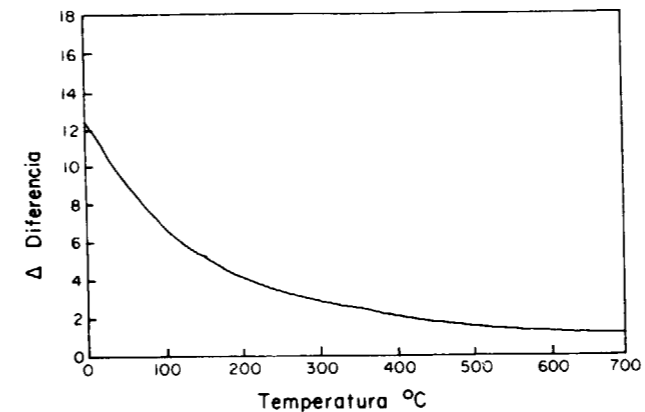


Figura 3.—Curva de fraccionamiento isotópico para la esfalerita-galena basada en las estimaciones de SAKAI (1968) (según BACHINSKY, 1969).

rarse más o menos representativas de los yacimientos tipo «Mississippi Valley».

- 1) «Las mineralizaciones se presentan, aunque no exclusivamente, en rocas carbonatadas, originalmente de carácter calcáreo o dolomítico. Predominantemente en dolomías, aunque pequeñas fracciones pueden impregnar areniscas asociadas». Los yacimientos del tipo Reocín aparecen, exclusivamente, en rocas dolomíticas y nunca en materiales calcáreos, pero excepcionalmente (Reocín) pueden presentarse en las arenas suprayacentes.
- 2) «Los minerales principales son los sulfuros de cinc y plomo, siendo el cinc predominante sobre el plomo. Los sulfuros de hierro son, en muchos casos, frecuentes, aunque con una distribución errática y presentándose, principalmente, en zonas marginales».

Los yacimientos estudiados poseen, como minerales principales, la esfalerita y la galena, siendo el primero ampliamente dominante sobre el segundo. En cuanto a los sulfuros de hierro (pirita-marcasita), existe una zonación a gran escala, con abundancia extrema en las minas situadas al este (Reocín), mientras que hacia el oeste va disminuyendo hasta casi desaparecer en La Florida.

- 3) «El plomo es marcadamente anómalo, del tipo J, con exceso de los tres componentes radiogénicos ^{206}Pb , ^{207}Pb y ^{208}Pb . Las proporciones isotópicas varían según los distri-

tos, depósitos e incluso dentro de los propios cristales.»

En nuestro caso, la ausencia de datos de este tipo nos impide corroborar o rechazar dicho aspecto.

- 4) «Las mineralizaciones son relativamente pobres en metales preciosos, pero con un alto contenido en elementos traza (Cu, Cd, Ge, Ga, Co, Ni, Hg, etc.), que varían según los depósitos. El cobre puede presentarse, en algunos casos, de forma visible y económica en forma de calcopirita.»

En base a los datos de ARRIBAS (1981) y BUSTILLO (1984 b) se puede afirmar que las mineralizaciones son relativamente ricas en elementos traza aunque, en ningún caso, llega a presentarse el cobre como fase mineral.

- 5) «La baritina aparece en cantidades comerciales en los depósitos o zonas cercanas a ellos, aunque también puede estar ausente. La fluorita es rara o no existe.»

De los diferentes yacimientos estudiados, tan sólo en La Florida se encuentra baritina en forma de nivel más o menos continuo a techo del segundo nivel mineralizado; en el resto (Udías, Novales, Punta Calderón, Reocín, etc.) está ausente. En ningún caso llega a aparecer fluorita.

- 6) «La esfalerita, comúnmente es de bajo contenido en hierro, pero puede presentar un bandeado de color indicativo de variaciones composicionales menores.»

En las mineralizaciones del tipo Reocín la textura más frecuente es la constituida por sucesivas bandas de diferente tonalidad de esfalerita, siendo característico el variable contenido en hierro según las bandas (máximo en las oscuras y mínimo en las claras).

- 7) «Es característica la grosera cristalinidad de la esfalerita, galena y fluorita, especialmente en las mineralizaciones situadas en cavidades.»

La cristalinidad de la esfalerita en las mineralizaciones estudiadas es variable, oscilando entre las morfologías fibrosas y de pequeño tamaño de las bandas claras de esfalerita y los grandes cristales subeuhedrales

de las bandas oscuras. En aquellos casos en que no existe el bandeo de color, es común el gran tamaño de los cristales de esfalerita. En cuanto a la galena, se presenta en forma de cristales aislados, generalmente bien desarrollados, dispersos en el conjunto esfalerítico.

- 8) «Las rocas no han sufrido metamorfismo regional y los depósitos no muestran signos de modificaciones importantes salvo el "weathering".»

Los yacimientos del tipo Reocín no han sufrido, en ningún caso, metamorfismo regional y tan sólo han sido afectados por la orogenia alpina con desarrollo de suaves pliegues, así como, en algunos casos (Reocín), por importantes procesos de alteración superficial.

- 9) «Las mineralizaciones aparecen básicamente en ciertos horizontes o estratos preferentes de tal forma que, en general, pueden definirse como estratiformes o "stratabound".»

Las mineralizaciones de los yacimientos considerados se presentan en configuraciones tipo «stratabound» y nunca estratiformes.

- 10) «La actividad ígnea, en la mayor parte de las áreas mineralizadas, es poco importante o no existe y, en aquellos casos en que está presente, no existen evidencias que nos permitan conectarla con las mineralizaciones.»

En nuestro caso, la actividad ígnea está ausente, por lo que no es posible establecer ningún tipo de relación genética.

- 11)) «Todas las evidencias geológicas indican que las mineralizaciones se formaron a bajas temperaturas y a partir de soluciones acuosas. Los minerales contienen gran cantidad de inclusiones fluidas rellenas parcialmente por salmueras equivalentes a un agua de mar de cinco a diez veces concentrada; estas inclusiones fluidas dan temperaturas de formación de 100 a 150 °C.»

No existen datos concluyentes en cuanto a las características de las soluciones mineralizantes, pero los valores obtenidos a partir de los datos isotópicos indican temperaturas de formación de alrededor de 120 °C.

Como se puede observar en la exposición y comparación de estas características generales de los yacimientos del tipo «Mississippi Valley», la mayoría son válidas o aplicables a los yacimientos del tipo Reocín de la zona oeste de Cantabria y, tan sólo en algunos casos, la ausencia de datos impide corroborar determinados aspectos. Por ello, los yacimientos estudiados pueden ser considerados, globalmente, como semejantes a los del tipo «Mississippi Valley» y ser incluidos en dicho grupo. Intentando especificar algo más, SANGSTER (1983) propone tres subgrupos dentro del gran grupo «Mississippi Valley»:

- 1) Subgrupo cratónico rico en plomo.
- 2) Subgrupo cuencal rico en cinc.
- 3) Subgrupo de plataforma rico en cinc. Si consideramos dichos subgrupos, los yacimientos del tipo Reocín entrarían dentro del tercer subgrupo por tratarse de depósitos con claro predominio del cinc y situados en rocas, a gran escala, originadas en un ambiente de plataforma.

ASPECTOS GENETICOS

Los yacimientos del tipo «Mississippi Valley», a nivel mundial, sufren un dualismo en cuanto a su posible génesis. Por un lado existen autores partidarios de un origen singenético muy ligado al medio de sedimentación y, por otra parte, otros autores piensan que su origen es epigenético, con existencia de una roca madre, migración de los componentes a través de salmueras mineralizantes y deposición de éstas en una roca almacén de tipo carbonatado. En los yacimientos del tipo Reocín en Cantabria dicho dualismo está representado por MONSEUR (1967) —origen singenético— y BUSTILLO y ORDÓÑEZ (1980) y VADALA (1981) —origen epigenético—. Obviamente no existen datos concluyentes, pero consideramos que pueden presentarse una serie de aspectos que ayuden a comprender su posible génesis:

- 1) Las rocas encajantes de las mineralizaciones son exclusivamente de carácter dolomítico, lo que unido al carácter básico de relleno de espacios abiertos para la mineralización, indica que dichas mineralizaciones fueron posteriores a la formación de las dolomías.

- 2) Las dolomías poseen una serie de características a la macro, meso y microescala que, en el estado actual de los conocimientos sobre los procesos de dolomitización, no pueden ser interpretadas como fruto de procesos de dolomitización sinsedimentarios o penecontemporáneos, sino más bien diagenéticos tardíos. Aspectos tales como su distribución irregular, grueso tamaño de los cristales, pérdida de las texturas primitivas, etc., pensamos que son definitivos a la hora de establecer su origen.
- 3) La ausencia de materiales evaporíticos asociados impide su caracterización como depósitos singenéticos, pues no existe, ligado al medio de sedimentación, ningún posible aporte de azufre en forma de sulfatos o sulfuros. Por otro lado, las características geoquímicas de las dolomías no concuerdan en absoluto con las correspondientes a las calizas, materiales éstos que representan el ambiente sedimentario en el Aptiense.
- 4) Las texturas cíclicas en las mineralizaciones no invocan necesariamente un origen singenético, pues este tipo de texturas no son exclusivas de los procesos sedimentarios y pueden generarse, bajo diferentes condiciones, en ambientes diagenéticos más o menos avanzados.
- 5) Los datos isotópicos de la esfalerita y galena indican temperaturas de formación de aproximadamente 120 °C, temperaturas éstas difícilmente obtenibles en la sedimentación, salvo la existencia de anomalías térmicas ligadas a procesos endógenos, procesos éstos que, si existieron, no han dejado huella en el registro geológico.

En base a estos aspectos pensamos que la hipótesis singenética no es la más adecuada para intentar explicar el origen de los yacimientos estudiados, siendo más factible un origen epigenético

que involucraría una roca madre para los componentes, una dolomitización de los materiales calcáreos en una etapa más o menos avanzada de la diagénesis y una posterior deposición de las mineralizaciones transportadas a través de soluciones mineralizantes (BUSTILLO, 1984 b).

BIBLIOGRAFIA

- ARRIBAS, A.: *Distribución geoquímica de los elementos en trazas de los yacimientos españoles del tipo B.G.P.C.* Fundación Juan March, Serie Universitaria, 146, 54 pp. (1981).
- BACHINSKY, D. J.: *Bond strength and sulfur isotope fractionation in coexisting sulfides.* Econ. Geol., 64, 56-65 (1969).
- BUSTILLO, M.: *Estudio textural de las mineralizaciones Pb-Zn del Cretácico de la provincia de Cantabria.* I Congreso Español de Geología, tomo II, 435-446 (1984 a).
- BUSTILLO, M.: *Estudio petrológico y geoquímico de las mineralizaciones Zn-Pb del Cretácico Inferior (Aptiense) de Cantabria (zona oeste).* Tesis Doctoral, inédita, 403 pp. (1984 b).
- BUSTILLO, M., y ORDÓÑEZ, S.: *Posible origen diagenético de los sulfuros sedimentarios en facies carbonáticas (provincia metalogénica de Cantabria).* Revista del Instituto de Investigaciones Geológicas, Univ. de Barcelona, vol. 34, 339-349 (1980).
- BROWN, J. S.: *Mississippi Valley type lead-zinc ores.* Mineral. Deposita, 5, 103-119 (1970).
- MONSEUR, G.: *Synthese des connaissances actuelles sur le gisement stratiforme de Reocín (province de Santander-Espagne).* Econ. Geol. Mon., 3, 278-293 (1967).
- SAKAI, H.: *Isotopic properties of sulfur compounds in hydrothermal processes.* Geochemical J., 2, 29-49 (1968).
- SANGSTER, D. F.: *Mississippi Valley-type deposits: a geological mélange.* En G. Kisvarsanyi et al. (Eds.), *International Conference on Mississippi Valley type lead-zinc deposits.* University of Missouri-Rolla, U. S. A., 7-19 (1983).
- VADALA, P.: *Le gite de ZnS-PbS a gangue ankeritique de Reocin (Santander, Espagne). Tectonique diapirique, phenomenes karstiques et mineralisations.* Universite D'Orleans, 288 pp. (1981).

Recibido: Enero de 1985

Un modelo Simero de simulación de las escorrentías superficial y subterránea.

Por E. SANZ PEREZ (*)

RESUMEN

Se explica una de las versiones del modelo matemático hidrogeológico MERO basándose en el trabajo de DEGALLIER (1972). Al trabajo original se le han efectuado una serie de modificaciones y ampliaciones, como es la adaptación a una nomenclatura que simplifica su escritura en programa; se amplían o detallan algunos aspectos; se analizan nuevas conclusiones que se han creído útiles, y se ha elaborado un esquema operativo que puede ser traducido a cualquier lenguaje de programación. Se acompaña el programa, en lenguaje PASCAL.

ABSTRACT

Based on DEGALLIER'S studies (1972), one of the versions of the hydrogeological mathematical MERO method is explained. We have made some modifications and amplifications on the original work, such as on adaptation to a nomenclature that simplifies its transcription to a program. Some aspects are detailed or amplified; some concepts are added or substituted; some new conclusions, that are thought to be useful, are analyzed; and an operative pattern, that can be translated to any programming language, has been introduced. The program in PASCAL language is enclosed.

1. INTRODUCCION

La mayoría de los modelos hidrogeológicos desarrollados hasta ahora son los que pudiéramos denominar de «tipo malla», en que el acuífero se considera dividido en compartimentos, de acuerdo con la heterogeneidad estructural de los mismos, y a los que se aplica el método «input-out put», según las leyes hidrodinámicas. Tratan de aproximarse a la realidad heterogénea del acuífero, pero, aun con las simplificaciones de eliminar alguna de las tres coordenadas espaciales, exigen el empleo de los parámetros hidrogeológicos de cada compartimento, sobre cuyo conocimiento, normalmente, sólo caben aproximaciones (BONNET, 1978).

En este modelo se adopta un enfoque conceptual muy diferente y está basado en las fórmulas de transferencias térmicas en una línea, lo cual exige una simulación del acuífero a un medio homogéneo con parámetros espaciales únicos que equivaldrán a las medias de los valores en los distintos puntos del acuífero, ponderadas por su grado de influencia, o por lo menos serán parámetros de adaptación a dicha teoría para lograr, mediante ella, una explicación del comportamiento del acuífero. Es, por tanto, uno de los denominados de «caja negra» (PULIDO BOSCH, 1983), si bien, como se verá más adelante, el acuífero se considera dividido en tres reservorios, distribuidos en serie, y que significan tres pasos sucesivos del agua, desde la precipitación hasta su salida por el exutorio y es realmente en las dos últimas capas donde se supone un sistema lineal e invariante y por tanto la circulación del agua viene expresada por una integral de convolución.

Es una de las varias versiones del modelo MERO, que fue puesto a punto por el Ministe-

(*) Cátedra de Geología Aplicada a las Obras Públicas.
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos. Universidad Politécnica de Madrid.

rio de Agricultura de Israel. Está basado en el trabajo publicado por DEGALLIER (1972), en el Bulletin du Bureau de Recherches Geologiques et Minières.

Al trabajo original se le han efectuado las siguientes modificaciones y ampliaciones: Adaptación a una nomenclatura en que para las distintas variables y parámetros se emplea una sola letra con la consiguiente simplificación de su escritura en programa; se amplían o detallan algunos aspectos; se añaden o sustituyen algunos conceptos; se analizan nuevas conclusiones que se han creído útiles, como por ejemplo la de la curva de agotamiento o la de conservación de caudales, con su repercusión en el cálculo de factores correctores de los mismos y se ha elaborado un esquema operativo iterativo que puede ser traducido a cualquier lenguaje de programación, y en el que además figuran los datos a introducir, los valores iniciales y fijos, los parámetros a ajustar y una lista alfabética de las nomenclaturas empleadas para las distintas variables.

Se ha creído de interés hacer una exposición amplia y profundizar, aunque sea modestamente, en el estudio de este modelo, el cual ha sido aplicado por primera vez en nuestro país, en el acuífero que alimenta el manantial de Vozmediano, objeto principal de nuestra Tesis Doctoral sobre el Karst del sur y oeste del Moncayo (SANZ PÉREZ, 1984).

2. RESUMEN Y FUNDAMENTOS DEL MODELO SIMERO

Existen numerosos modelos hidrológicos que permiten, a partir de datos pluviométricos, simular los drenajes de crecidas o de estiaje. Después, ajustando un cierto número de parámetros por tanteo automático o manual, estos modelos reproducen, con más o menos bondad, las descargas conocidas, y pueden ser utilizados luego para completar medidas hidrométricas o para engendrar magnitudes hidrológicas, bien a partir de largas series de medidas de lluvia, bien a partir incluso de muestras pluviométricas reconstituidas, según las series de números aleatorios con la misma distribución que las muestras disponibles de las lluvias medidas.

Los defectos de la mayor parte de estos modelos son la incertidumbre de la simulación, fuera de los períodos de ajuste, y la dificultad de extrapolación a las diferentes fuentes de la superficie o de las fuentes vecinas. Estos defectos son debido, en parte, a la débil significación física de los parámetros utilizados, que no son generalmente medibles sobre el terreno, y al hecho de que las descargas río abajo del sistema son, lo más a menudo, las solas medidas utilizadas para los ajustes de los parámetros, con la exclusión de medidas intermedias en el suelo o en los mantos subterráneos.

El modelo Simero, que aquí se presenta, tiene su fundamento y se diferencia de otros en los siguientes aspectos:

a) Para la escorrentía subterránea del agua, desde la superficie del suelo que recibe la lluvia hasta el exutorio, considera tres capas:

- Una primera formada por el suelo vegetal, de unos centímetros de espesor, y en el cual se verifica el balance de agua disponible para el manto freático.
- Una segunda, de suelo no saturado, entre la capa vegetal y el nivel freático de espesor muy variable según los casos.
- Una tercera, de suelo saturado o manto acuífero que conecta con el exutorio.

b) En el balance de la primera capa se calculan los caudales que irán a parar al manto freático, si bien en dicho cálculo puede haber detracciones de agua en la segunda capa cuando en la primera hay déficit para atender las pérdidas en superficie (escorrentía y evaporación). Pero una vez calculada la denominada infiltración gravífica, ésta llega íntegra al exutorio. Es decir, el movimiento del agua por la segunda y tercera capa no supone ninguna pérdida de caudales. El efecto de los escurrimientos por estas dos capas es, por una parte, un retardo según las diferen-

tes velocidades de tránsito y, por otra, un desfase de las magnitudes temporales de entrada, lo que supone una suavización de las llegadas respecto de dichas entradas.

c) Las transmisiones de caudales en la segunda y tercera capa se consideran como magnitud de variación lineal, o sea, a lo largo de una línea, vertical para la segunda capa y según una determinada línea de corriente para la tercera. Ello ha de tenerse en cuenta, si se quiere, un cómputo total de caudales, pues habrán de integrarse las diversas líneas de corriente a considerar, según la estructura del acuífero sea más o menos homogénea. Si la cuenca se considera un todo homogéneo, con unos parámetros de significado medio, la lámina de agua infiltrada en una unidad de superficie se extiende a la superficie total de dicha cuenca y algo análogo puede decirse respecto a la circulación por la tercera capa.

d) Las fórmulas adoptadas para la transferencia de agua en las dos últimas capas son análogas a las usadas en física para las transferencias térmicas en un sistema lineal y basadas en la expresión de la presión originada por una recarga, en un punto y momento, por una serie exponencial decreciente que conduce al cálculo de recargas y caudales en los distintos tiempos mediante las integrales de convolución. Quizá sea ésta la principal característica de este modelo, ya que es a través de estas series e integrales como se consiguen en las llegadas los efectos citados de retardo y suavización, prolongándose teóricamente hasta tiempo infinito como ocurre con las curvas de agotamiento.

e) El método puede proporcionar presiones, caudales y volúmenes de agua en cada punto e instante. Sin embargo, para su cálculo automático se ha prescindido aquí de las presiones en la segunda capa por merecer menor interés.

El modelo hidrológico presentado es capaz de simular la escorrentía, la evaporación real, la recarga del acuífero, las variaciones de infiltración o del contenido de agua del suelo, las variaciones de presión en el acuífero o el caudal de drenaje.

El modelo consta de tres partes sucesivas, que se desarrollarán seguidamente y que se corresponden con cada una de las tres capas consideradas:

Partiendo de la lluvia se realiza ante todo un balance, por ejemplo diario, en donde se hacen intervenir varios parámetros para ajustar por tanteo.

Las diferentes salidas de este balance son inmediatamente introducidas en una segunda parte del modelo, en el cual se opera una transferencia a través del suelo no saturado por medio de una función que introduce un cierto retardo con desfase, teniendo en cuenta los tiempos de permanencia o parada que suelen ser largos en el suelo.

Por último, una tercera parte del modelo trata de las transferencias en el acuífero subterráneo, por medio de una fórmula semejante a la precedente, pero con condiciones en los límites diferentes.

En cada una de estas tres transferencias intervienen parámetros que están determinados por las características hidrodinámicas del suelo, por una parte, y por las del manto subterráneo, por otra. Estos parámetros deben ser ajustados también por tanteo, de manera que los valores simulados correspondan lo mejor posible a los valores reales medios.

3. EL BALANCE DE AGUA EN EL SUELO

Es ésta la parte esencial del modelo; está inspirado en modelos americanos muy elaborados, como el modelo Stanford, y puesto a punto para el estudio de acuíferos kársticos por F. MERO. Trata de simular el destino de la lluvia caída sobre el suelo.

Este balance se realiza en una primera capa del suelo, de unos cuantos centímetros de es-

pesor y generalmente con fuerte densidad de raíces vegetales que influyen en la evapotranspiración del agua que contiene. Sin embargo, en este balance se hace intervenir también el grado de humedad de la segunda capa más profunda, cuando el déficit del suelo no puede atender la evaporación.

Dicho balance trata de calcular la parte de lluvia que irá destinada al acuífero subterráneo, si bien su circulación por la segunda capa y llegada al manto se tratará en el apartado siguiente.

Proporciona unos valores de recargas en el acuífero que ya no sufrirán mermas hasta sus salidas por el exutorio. De ahí la denominación de balance y la importancia del mismo.

Se parte de datos pluviométricos porque son de los que se tienen, por lo común, mejores registros diarios, mensuales y hasta en algunos casos de períodos más pequeños. Para esta lluvia caída en el suelo se señalan tres destinos: La evaporación, la escorrentía superficial y la infiltración en la segunda capa. Pero en el modelo se introducen como variables exógenas o datos no sólo la pluviometría del período I considerado, $P(I)$, sino también la escorrentía, $E(I)$, y la evaporación real, $V(I)$. Ello no presupone que la infiltración destinada al acuífero, $S(I)$, sea igual a $P(I) - E(I) - V(I)$, como se verá más adelante.

Los valores de evaporación y escorrentía, son, generalmente, de más difícil control. Para los de evaporación sería deseable el registro de la potencial, VP , y en todo caso la evaporación real para el programa, podría ponerse como igual a $VP \cdot r$, siendo r un coeficiente multiplicador o reductor de la magnitud VP calculada o medida por otra parte. Es un problema a resolver previamente y para el que existe abundante literatura de métodos que habrá que adaptar a los datos disponibles.

Respecto a la escorrentía superficial, ésta se ha considerado como la salida de agua de la cuenca del acuífero y es probable que respecto a la misma se dispongan de datos aforados y puedan ser inferidos por regresión o por otros procedimientos.

En todo caso no debe tomarse como una postura rígida el que para este balance hayan de tomarse como datos exógenos dichas tres variables y así por ejemplo también podría intentarse el medir la cantidad de agua almacenada en esta primera capa del suelo, $A(I)$, variable que se hace intervenir en el programa. Ha de estudiarse una adaptación a cada caso concreto según la información disponible y el grado de influencia de cada una de las variables que generalmente dependerá de su magnitud.

De todas formas, y dada la importancia de este balance, siempre sería deseable el conseguir alguna verificación de sus resultados mediante el cálculo del coeficiente o grado de infiltración, efectuado por otros procedimientos y aunque sea referido a períodos de tiempo más largo.

En el programa de esta parte se considera la variable, ya citada, $A(I)$, que es el reservorio o agua almacenada en esta capa al final del período I , y el parámetro M que es la capacidad máxima de retención de agua en dicha capa. Una primera ecuación que trata de expresar las disponibilidades netas de agua $Q(I)$ en el período I para la primera capa puede ser:

$$Q(I) = A(I-1) + P(I) - E(I) - V(I)$$

Puesto que $A(I)$ tiene la doble limitación de $0 \leq A(I) \leq M$, para calcular el destino de estas disponibilidades netas $Q(I)$ se consideran en principio los tres casos generales siguientes:

a) $Q(I) < 0$: O sea, $A(I-1) + P(I) < E(I) + V(I)$. Por tanto, el agua disponible en el período no alcanza a satisfacer las pérdidas externas. Dicha agua disponible va enteramente a pérdidas, el reservorio de la primera capa $A(I)$ queda a cero y aún hay un déficit de agua, parte del cual será atendido con el reservorio o almacén de agua, $B(I-1)$, de la segunda capa, al final del período anterior.

Las disponibilidades netas Q(I), que normalmente han de atender al incremento del reservorio de agua B(I) de la segunda capa y originar la infiltración profunda con destino al acuífero [infiltración gravífica S(I)], en este caso producen una infiltración disponible, R(I) = Q(I), negativa. O sea que el reservorio de la segunda capa, si ello es posible, porque tenga existencias al comienzo del período, se verá disminuido en una cantidad que se ha supuesto proporcional a dicho déficit, y al grado de saturación de dicha capa, F(I-1) = B(I-1)/W, donde W es la capacidad de retención máxima de dicha segunda capa. Esta disminución aún se ha multiplicado por el factor 0,5, suponiendo que la capilaridad ascendente surte el mismo efecto que la descendente más fuerza gravimétrica. Dicho incremento negativo del reservorio de la segunda capa: O(I) = Q(I) · F(I-1) · 0,5, pudiera ser que fuese superior, en valor absoluto, a B(i-1), en cuyo caso no se podría atender enteramente al déficit y por supuesto quedaría B(I) = 0.

b) 0 ≤ Q(I) ≤ M: O sea, que por una parte el agua disponible es igual o mayor que las pérdidas A(I-1) + P(I) ≥ E(I) + V(I), por lo que éstas pueden ser atendidas en su totalidad y por otra que el posible sobrante Q(I) ≤ M tiene cabida en el reservorio de la primera capa y a él va destinado enteramente para incrementar dicho reservorio. No hay por tanto infiltración gravífica S(I) = 0, ni incremento del reservorio de la segunda capa, O(I) = 0.

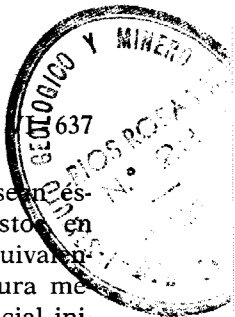
c) Q(I) > M: O sea, que el agua disponible, A(I-1) + P(I), no sólo puede atender las pérdidas de superficie y cubrir el posible déficit de la primera capa, sino que además hay un sobrante positivo, o sea, que en este caso la infiltración disponible es R(I) = Q(I) - M > 0. Este sobrante positivo R(I) ha de atender, por una parte, el incremento del reservorio de la segunda capa y, por otra, originar una infiltración gravífica con destino al acuífero. Se supone que la infiltración gravífica es proporcional a la infiltración disponible y al grado de saturación de la segunda capa, o sea S(I) = R(I) · F(I-1), si el resto disponible no completa la capacidad máxima de retención de la segunda capa (W), o sea, si es B(I-1) + R(I) · [1 - F(I-1)] < W; en caso contrario se supone que S(I) = R(I) + B(I-1) - W, o sea, que una vez saturada la segunda capa el resto disponible va a constituir la infiltración gravífica con destino al acuífero.

En el esquema operativo que figura en el apartado 6 se presenta toda esta casuística (en total salen cinco posibilidades) y el método iterativo para los sucesivos períodos de tiempo partiendo de unos valores iniciales A(O) y B(O) de los reservorios de la primera y segunda capa, respectivamente. Con dicho esquema a la vista puede seguirse mejor los razonamientos anteriores.

4. LA TRANSFERENCIA A TRAVES DEL SUELO NO SATURADO

En esta segunda capa, del suelo no saturado, ha habido ocasión de detraer caudales de agua cuando la evapotranspiración no podía ser atendida por la capa vegetal si se encontraba a cero en su reserva de agua. Ella ha sido ya restada al hacer el balance y como resultado se ha obtenido una infiltración gravífica que irá a parar en su totalidad al acuífero.

En estas dos capas siguientes (no saturada y saturada) no se verifica, por tanto, ninguna pérdida en las entradas que, salvo la variación de stocks, han de ser iguales a las salidas del acuífero. En este paso se verifica un efecto conjunto que podemos mirarlo bajo dos aspectos: por una parte opera un retraso entre entradas y salidas, y por otra una suavización o regulación, de tal forma que entradas muy irregulares y aleatorias van a transformarse en unas salidas de mayor continuidad y con una menor variación. Y siendo estas características muy similares a las que se verifican en las transferencias térmicas, se ha escogido la fórmula de dichas transferencias para simular la ley de escurrimiento hidráulico en ambas capas. Puesto que se trata de una transferencia unidimensional a través de un medio homogéneo y con condiciones de potencial constante durante el intervalo escogido para discretizar el tiempo, tanto al comienzo del sistema, como de flujo constante en las salidas, ello supone una idealización de las características reales del acuífero. No obstante, el programa puede llegar a explicar con aproximación suficiente el comportamiento his-



tórico del mismo, y por tanto sus reacciones a la alteración de las variables exógenas, ya sean éstas naturales, provocadas o simuladas. Claro que habrán de tenerse en cuenta estos supuestos en la interpretación de los parámetros del acuífero, parámetros que serán, por una parte, equivalentes a la sustitución de la estructura heterogénea del soporte del acuífero por una estructura media homogénea y por otra aptos para la explicación de su comportamiento cuando el potencial inicial y el flujo final se supongan constantes durante el intervalo de tiempo escogido para la discretización del modelo.

La fórmula de transferencia aplicada para un flujo constante F' al comienzo del sistema, en el intervalo de tiempo considerado, da para la carga h(z, t) en un punto a la distancia z por debajo de la primera capa y en el instante t, la siguiente expresión:

$$h(z, t) = \frac{F' z'}{K' Z'} \left\{ \frac{z}{Z'} - \frac{8}{\pi^3} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2n+1)^2} \cdot \text{sen}(2n+1) \frac{\pi z}{2Z'} \cdot \exp \frac{-(2n+1)^2 \pi^2 K' t}{4 \cdot Z'^2 W'} \right\} [1]$$

donde:

- F': Flujo constante impuesto aguas arriba del sistema a la distancia z = Z'.
- K': Permeabilidad del medio, de dimensión L · T⁻¹.
- W': Capacidad en agua del medio, de dimensión L⁻¹.
- Z': Profundidad del acuífero bajo la superficie del suelo.

Las condiciones en los límites satisfechas por esta expresión son las siguientes:

$$\begin{array}{lll} t \leq 0 & 0 \leq z \leq Z & h = 0 \\ t > 0 & z = 0 & h = 0 \\ t > 0 & z = Z' & F' = \text{CONSTANTE} \end{array}$$

De la fórmula [1] se deduce que:

$$h' = \frac{\delta}{\delta t} h(z, t) = \frac{F'}{Z' W'} \cdot 2 \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \text{sen} \cdot \frac{(2n+1) \pi z}{2 \cdot Z'} \cdot \exp \frac{-(2n+1)^2 \pi^2 K' t}{4 Z'^2 W'} [2]$$

la cual permite calcular la evolución de las presiones.

Para obtener el flujo que sale de la zona no saturada y entra en el acuífero, es preciso derivar [2] con relación a z, hacer z = 0 y multiplicar por K' según la fórmula de Darcy:

$$q(0, t) = K' \frac{\delta h'}{\delta z} = \frac{F' K'}{Z'^2 W'} \pi \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n (2n+1) \cdot \exp \frac{-(2n+1)^2 \pi^2 K' t}{4 Z'^2 W'} [3]$$

Por último, el volumen saliendo del sistema estará dado por:

$$V(0, \infty) = \int_0^{\infty} q dt = -F' \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2n+1)} [4]$$

Puesto que la suma de la serie alternada es

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(2n+1)} = 1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{5} - \frac{1}{7} + \dots = \frac{\pi}{4} [5]$$

se tiene que $V(0, \infty) = -F'$, resultado que confirma la ausencia de pérdida de agua en esta transferencia.

El método utilizado para hacer el cálculo de la transferencia, de una manera particularmente rápida y sin recarga excesiva en la memoria del ordenador, consiste en tomar un cierto número de términos de la serie exponencial, de manera que se genere la casi totalidad de la recarga. Ello implica un error y para el caso de los volúmenes, puesto que éstos están dados por la serie alterna [4], una cota del valor absoluto de dicho error vendrá dada fácilmente por el primer término despreciado.

Así, si tomamos n términos, el primer término despreciado será $F' \frac{4}{\pi} \frac{(-1)^n}{2n+1}$ y por tanto el error $|e_r| \leq \frac{4F'}{\pi(2n+1)}$ siendo este error por defecto o por exceso, según que n sea par o impar. Si, por ejemplo, tomamos $n = 10$, el error será por defecto e inferior a $0,06 F'$, lo que supone el $0,06$ para el error relativo. Por otra parte y puesto que son pocos los términos a tomar, para la precisión requerida no sería muy laborioso el cálculo exacto de este error y que para el ejemplo de tomar los 10 primeros términos dicho error relativo sería $0,032$, o sea, el $3,2$ por 100 .

Quiere ello decir que se puede determinar el número de términos a tomar según la precisión requerida y aún calcular dicho error y su signo para rectificar cada carga al objeto de mejor garantizar, por lo menos, la conservación de volúmenes. Una rectificación bastante ajustada puede consistir en tomar como recargas el producto

$$F \cdot (1 \pm e_r) \quad [6]$$

siendo e_r el error relativo y tomando el signo $+$ o el $-$, según que dicho error sea por defecto o por exceso.

Otra observación a tener en cuenta es que si el intervalo de tiempos de la simulación es superior a cinco veces la constante de tiempos del término de lugar $(n+1)$ (fórmulas 3 y 4), igual a $4Z'W' / (2n+1)^2 \pi K'$, los valores debidos a este término y a todos los que le siguen serán insensibles porque se hacen despreciables antes del fin del intervalo de tiempos:

$$\Delta t \geq 5 \cdot \frac{4Z'W'}{\pi^2 K' (2n+1)^2} \quad [7]$$

donde $4Z'W' / \pi^2 K'$ es la constante de tiempos del sistema.

En este caso el volumen correspondiente a la suma de los términos no computados ha de ser considerado como drenado en el primer intervalo de tiempos.

De la fórmula [7], poniendo $5 / \pi^2 = 1/2$ y despejando n quedaría:

$$n_0 \geq \sqrt{Z'^2 W' / 2 K' \cdot \Delta t - 1/2} \quad [8]$$

fórmula que nos dará el número máximo n_0 de términos a tomar en este caso.

La fórmula [8], si el valor de K' (de dimensión $L \cdot T^{-1}$), está expresado en unidades de tiempo $= \Delta t$, quedaría así:

$$n_0 \geq \sqrt{Z'^2 W' / 2 K' - 1/2}$$

Para la ejecución operativa de las fórmulas [2] y [3] se puede considerar cada uno de los términos de la serie como el producto de tres factores:

— Un factor reductor de dimensión, que tomaremos como parámetro y cuyo ajuste habrá de hacerse por tanteos. Este parámetro será:

$$D [1] = 1 / Z' W' \text{ para las presiones } h \\ D [2] = K' / Z'^2 W' \text{ para los caudales } q$$

El conocimiento de Z' y el ajuste de $D [1]$ y $D [2]$ nos permitiría el cálculo de los parámetros hidráulicos K' y W' .

— Un coeficiente de repartición de la recarga entre los diferentes términos de la serie y en el que no interviene el tiempo:

$$DR' (N) = 2 (-1)^n \cdot \text{sen} [(2n+1) \pi z / 2 Z'] \text{ para las presiones.} \\ DR (N) = \pi (-1)^n (2n+1) \text{ para los caudales.}$$

— Finalmente, un coeficiente de decrecimiento logarítmico válido tanto para las presiones como para los caudales:

$$J (N) = \exp [-(2n+1)^2 \cdot \pi^2 \cdot K' / 4 Z' W']$$

Con ello las fórmulas [2] y [3] quedarían así:

$$h'(z, t) = F' \cdot D (1) \cdot \sum_{n=0}^{\infty} DR' (N) \cdot J (N)^t \quad [9]$$

$$q(0, t) = F' \cdot D (2) \cdot \sum_{n=0}^{\infty} DR (N) \cdot J (N)^t \quad [10]$$

Si se considera que se inyecta en la superficie del suelo ($z = Z'$) la lámina de agua $S(I)$ (infiltración gravimétrica) calculada en el Balance, con tasa constante durante cada intervalo de tiempo, la carga H' y caudal Q' resultantes de una sucesión de recargas, se pueden expresar así para cada intervalo de tiempo:

$$H'(z, t) = \int_0^t \varnothing(\tau) \cdot \frac{\delta}{\delta t} h(z, t - \tau) d\tau \quad [11]$$

$$Q'(0, t) = \int_0^t \varnothing(\tau) \cdot \frac{\delta}{\delta t} q(0, t - \tau) d\tau \quad [12]$$

donde $\varnothing(\tau)$ es la función de variación del flujo con relación al tiempo.

Con las notaciones del programa (ver apartado 6.7), las expresiones [9] y [10] y los supuestos del programa, estas fórmulas se discretizan como sigue para la carga $S(I)$ del tiempo I

$$H' (I) = \sum_{I=0}^H S (I) \cdot D (1) \cdot \sum_{N=0}^{N_0} DR' (N) \cdot [J (N)]^{(H-I)} \quad [13]$$

$$T (I) = \sum_{I=0}^H S (I) \cdot D (2) \cdot \sum_{N=0}^{N_0} DR (N) \cdot [J (N)]^{(H-I)} \quad [14]$$

donde:

$H'(I)$ y $T(I)$ son las cargas y caudales originados por la infiltración $S(I)$ del día I en los períodos sucesivos de tiempos.

El sumatorio de tiempos, que es la discretización de las integrales [11] y [12], se extiende desde el día I hasta el momento final para el que se efectúan los cálculos (H).

Estando caracterizada la función exponencial por una evolución que es en cada momento proporcional al valor de la misma función en ese instante y siendo las series [13] y [14] rápidamente convergentes, ello nos permite establecer un método rápido de cálculo.

La primera suma es hecha en cada intervalo de tiempo, acumulando la parte de recarga $S(I) \cdot D(I) \cdot DR'(N)$ o $S(I) \cdot D(2) \cdot DR(N)$ a la carga residual precedente correspondiente a cada uno de los términos retenidos en la serie.

La continuación con el intervalo de tiempos siguiente es hecha multiplicando cada uno de los términos por los coeficientes exponenciales $J(N)$ y haciendo finalmente la suma de estos términos se obtienen las presiones o los caudales.

Así, con una decena de términos es suficiente una decena de multiplicaciones $S(I) \cdot D(1) \cdot DR'(N)$ y $S(I) \cdot D(2) \cdot DR(N)$, y una decena de adiciones para hacer la acumulación sobre $DR'(N)$ y $DR(N)$; todavía una decena de adiciones y se tienen los valores buscados de presiones y caudales.

Para aclarar este método supongamos que la fórmula [14] la aplicamos a la recarga $T(h)$ que se ha producido el día h como consecuencia de los flujos entrados desde el comienzo hasta ese día. Invertiendo el orden de los sumatorios quedará:

$$T(h) = \sum_{N=0}^{No} \sum_{I=0}^h S(I) \cdot D(2) \cdot DR(N) \cdot [J(N)]^{h-I}$$

sumatorio que vamos a desarrollar para un término cualquiera de N , por ejemplo para $N=r$, la parte de recarga correspondiente a este término será:

$$\begin{aligned} T(r, h) &= \sum_{I=0}^h S(I) \cdot D(2) \cdot DR(r) \cdot [J(r)]^{h-I} = \\ &= S(0) \cdot D(2) \cdot DR(r) [J(r)]^h + S(1) \cdot D(2) \cdot DR(r) [J(r)]^{h-1} + \dots + S(h) \cdot D(2) \cdot DR(r) J(r) = \\ &= [[\dots [S(0) \cdot D(2) \cdot DR(r) \cdot J(r) + S(1) \cdot D(2) \cdot DR(r)] J(r) + S(2) \cdot D(2) \cdot \\ &\quad \cdot DR(r)] J(r) + \dots S(h) \cdot D(2) \cdot DR(r)] J(r) \end{aligned}$$

expresión última que confirma el método expuesto.

Una vez concluido el programa del Balance, se comienza por modificar la cantidad de agua infiltrada $S(I)$ para tener en cuenta los términos excluidos de la serie $S(I) \cdot C(O)$ o $S(I) \cdot C(1)$. A continuación se multiplica por el factor reductor, que permite pasar de magnitudes reducidas a magnitudes reales dimensionadas, para lo cual se tiene necesidad de calcular:

$$\begin{aligned} S(I) \cdot C(O) \cdot D(1) &\quad \text{para presiones} \\ S(I) \cdot C(1) \cdot D(2) &\quad \text{para caudales} \end{aligned}$$

Después se calculan los coeficientes exponenciales teniendo en cuenta a cada paso los últimos valores obtenidos de la profundidad de la capa (Z') y de la difusividad K'/W' , que se le asi-

mila a $A(1)/M [A(1)/M = K'/W']$ o bien a su cuadrado si se busca una variabilidad más grande.

Las cargas acumuladas sobre cada término son:

$$H'(I) = \sum_{I=0}^H S(I) \cdot C(O) \cdot D(1) \cdot \sum_{N=0}^{No} DR'(N) \cdot [J(N)]^{(H-I)} \quad [15]$$

$$T(I) = \sum_{I=0}^H S(I) \cdot C(1) \cdot D(2) \cdot \sum_{N=0}^{No} DR(N) \cdot [J(N)]^{(H-I)} \quad [16]$$

pero es suficiente hacer en cada paso:

$$H'(n, I) = [H'(n, I-1) + S(I) \cdot C(O) \cdot DR'(H)] \cdot J(N) \quad \text{y} \quad H'(I) = \sum_{N=0}^{No} H'(n, I) \quad [17]$$

$$T(n, I) = [T(n, I-1) + S(I) \cdot C(1) \cdot DR(N)] J(N) \quad \text{y} \quad T(I) = \sum_{N=0}^{No} T(n, I) \quad [18]$$

para obtener las presiones y caudales.

El hecho de modificar los coeficientes exponenciales a cada paso con el objeto de tener en cuenta las variaciones de las condiciones reinantes en el suelo entraña distorsiones en este sistema de cálculo lineal y no se verificaría, entonces, la conservación de volúmenes. Para evitar esto es preciso fijar el valor de las exponenciales a un valor medio teniendo en cuenta las condiciones medias de Z' , $A(I)$ y M .

En el caso de modificar los coeficientes exponenciales para cada intervalo de tiempos, teniendo en cuenta la evolución de los valores de la profundidad de la capa (Z') del grado de saturación ($A(1)/M$) se tendría que a $I(N)$ habría que añadirle un subíndice más, el I de tiempos, y su expresión sería:

$$J(N, I) = \exp \left[- \frac{(2N+1)^2 \pi^2}{4 [Z'(I)]^2} \cdot \frac{A(I)}{M} \right]$$

De todas formas, este modelo de transferencia en régimen no saturado no tiene la pretensión de simular dicho régimen en toda su complejidad, sino solamente de afectar de un cierto retardo y regularidad de llegada a los volúmenes de agua que transitan a través de suelos porosos.

Una consideración final, en cuanto a la corrección del error cometido, que ha sido tratado anteriormente para volúmenes, quiere hacerse para caudales. Con este cálculo final se persigue, como anteriormente, la conservación de los volúmenes de agua que han entrado, pero tiene la ventaja de su basamento en las fórmulas y parámetros finales adoptados y por tanto trata de recoger la acumulación de errores, no sólo por el hecho de tomar unos pocos términos de la serie exponencial sino también los debidos a otros efectos, como pueden ser la discretización del tiempo, y un ajuste no muy afinado del valor de los parámetros.

Supongamos para ello que se toman sólo tres términos de la serie exponencial. Un flujo de entrada $S(I) = 1$ en el intervalo de tiempo I efectuará su llegada en los intervalos siguientes bajo la forma de tres sumandos (uno para cada término de la serie exponencial) y la suma de estas llegadas vendrá dada por:

$$T = D(2) \left[3,14 \cdot \sum_{l=1}^{\infty} J(0)^l - 9,4 \sum_{l=1}^{\infty} J(1)^l + 15,7 \cdot \sum_{l=1}^{\infty} J(2)^l \right] \quad [19]$$

y puesto que estos sumatorios son progresiones geométricas de razón $J(N) < 1$ se tendrá un cálculo así:

$$T = D(2) \cdot \left[3,14 \frac{J(0)}{1 - J(0)} - 9,4 \frac{J(1)}{1 - J(1)} + 15,7 \frac{J(2)}{1 - J(2)} \right] \quad [20]$$

En ausencia de errores, la suma de estas llegadas, T, debería valer 1. En caso contrario habrá de multiplicarse por un factor corrector del error C(1) para que se verifique $T \cdot C(1) = 1$, con lo que el factor corrector del error será $C(1) = \frac{1}{T}$ [21].

Este cálculo ha de hacerse previamente, antes de poner en ejecución el programa.

5. LAS TRANSFERENCIAS EN EL MANTO ACUIFERO

Para la transferencia en el manto se aplica un método idéntico al de la capa no saturada, pero con ecuaciones de base satisfaciendo a otras condiciones en los límites.

Mientras que las fórmulas precedentes simulaban la transferencia a partir de una alimentación que se efectuaba con tasa constante al comienzo del sistema hidráulico, las fórmulas que siguen se aplican para el cálculo de presiones, caudales y volúmenes de un manto que ha recibido una recarga unitaria sobre toda su superficie entre un límite aguas arriba de flujo nulo y un exutorio de nivel constante.

La fórmula aplicada ahora para las presiones, a una distancia X del exutorio y originadas en un instante t por esta recarga unitaria a lo largo de una franja de anchura unidad y longitud total X', igual a la de la línea de corriente, es:

$$y(x, t) = \frac{4}{\pi \cdot 5'} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\sin(2n+1)nx / 2x'}{2n+1} \cdot \exp \frac{-(2n+1)^2 \pi^2 T' t}{4x'^2 S'} \quad [22]$$

donde

T': Transmisividad del sistema (dimensión $L^2 \cdot T^{-1}$)
S': Coeficiente de almacenamiento (sin dimensión)

De ella se deduce que:

$$y'(0, t) = \frac{\partial}{\partial x} y(0, t) = \frac{2}{x' s'} \sum_{n=0}^{\infty} \exp \frac{-(2n+1)^2 \pi^2 T' t}{4x'^2 s'} \quad [23]$$

y por tanto, el caudal originado en el exutorio (para $x = 0$), en el instante t, por esta recarga unitaria en la franja de corriente será:

$$q(0, t) = -r' \frac{\partial}{\partial x} y(0, t) = -\frac{2T'}{X'S'} \sum_{n=0}^{\infty} \exp \frac{-(2n+1)^2 \pi^2 T' t}{4X'^2 S'} \quad [24]$$

El volumen de agua drenado en el exutorio, debido a esta sola recarga unitaria, se obtendrá acumulando las llegadas de todos los tiempos y por tanto vendrá dado por:

$$V(0, \infty) = \int_0^{\infty} q(0, t) dt = \frac{8X'}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \left| \frac{\exp \frac{-(2n+1)^2 \pi^2 T' t}{4X'^2 S'}}{(2n+1)^2} \right|_0^{\infty} = -X' \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \quad [25]$$

Ahora bien, siendo la sumación de la serie

$$\sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} = \frac{\pi^2}{8}$$

quedaría

$$V(0, \infty) = -X'$$

resultado que confirma la conservación de los volúmenes de agua puesto que la entrada de agua en la franja de corriente de anchura unidad y longitud X', para la recarga unitaria supuesta a lo largo de toda su superficie, ha sido precisamente X'.

Antes de seguir adelante en el cálculo de presiones y caudales para acumular los efectos de una sucesión de recargas variables en el tiempo, se quiere hacer patente dos conclusiones que se derivan de las fórmulas anteriores:

a) La expresión [24], que da los caudales del exutorio cuando posteriormente a la recarga unitaria inicial, no ha vuelto a recibir más recargas, constituye una verdadera curva de agotamiento de la franja de corriente. Ello puede tener interés en los casos de acuíferos con cierta uniformidad en cuanto a los parámetros T', S' y X', y para los cuales haya sido posible ajustar dicha curva de agotamiento por los caudales del exutorio en tiempos de sequía, puesto que nos permitiría, junto con otros antecedentes, una aproximación a los parámetros $G = \frac{1}{S'}$ y $H = \frac{2T'}{X'S'}$ que se explican más adelante, y que es preciso ajustar por tanteos en este modelo.

b) La serie $\sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2}$ es rápidamente convergente y es suficiente tomar unos pocos términos de ella para obtener una aproximación conveniente. En todo caso nos permite calcular un factor corrector de las cargas de entrada para paliar las pérdidas originadas por los términos despreciados, tratando con ello de mantener la conservación de volúmenes. Así, tomando los términos que se indican a continuación, los errores relativos (siempre por defecto) y los factores de corrección de cargas, serían:

Término de la serie	Error relativo	Factor corrector
3	0,07	1,075
5	0,04	1,042
10	0,01	1,010

Para medir los efectos de una serie de recargas, sería preciso, como en el capítulo precedente, hacer la suma de los efectos de cada uno por convolución:

$$Y(x, t) = \int_0^t \varnothing(\tau) \cdot y(x, t - \tau) \cdot d\tau \quad [26]$$

$$Q(0, t) = \int_0^t \varnothing(\tau) \cdot q(0, t - \tau) \cdot d\tau \quad [27]$$

Las funciones y y q son aquí las funciones de respuesta a un impulso y son, por este hecho, las derivadas de funciones que responden a una alimentación con tasa constante.

Si hemos llamado $T(I)$ a los caudales llegados al manto, en el tiempo I , por unidad de superficie (salidos de la segunda capa), y si la línea de corriente tiene anchura unidad y longitud total X' , la fórmula [26] y teniendo en cuenta la [22] puede discretizarse así:

$$Y(x, I) = \sum_{I=1}^H T(I) \cdot C(2) \cdot \frac{1}{S'} \sum_{N=1}^{N_0} \frac{4}{n} \frac{\text{sen}(2n+1)\pi \cdot x / 2x'}{(2n+1)} \cdot \exp \frac{-(2n+1)^2 \pi^2 T' (H-I)}{4 X'^2 \cdot S'} \quad [28]$$

donde $C(2)$ es el factor de corrección para conservación de caudales. Llamando aún:

$$G = \frac{1}{S'} \quad (\text{Factor reductor de dimensión para presiones}) \quad [29]$$

$$WR(N) = \frac{4}{\pi} \frac{\text{sen}(2n+1)\pi x / 2x'}{(2n+1)} \quad (\text{Coeficiente de repartición de la recarga para presiones}) \quad [30]$$

$$K(N) = \exp \frac{-(2n+1)^2 \pi^2 T'}{4 X'^2 S'} \quad (\text{Factor de transferencia o de amortiguación exponencial}) \quad [31]$$

podría quedar así:

$$Y(X, I) = G \cdot C(Z) \cdot \sum_{I=1}^H T(I) \cdot \sum_{N=1}^{N_0} WR(N) \cdot [K(N)]^{(H-I)} \quad [32]$$

Respecto a la discretización de la fórmula [27] para caudales, ha de tenerse presente que el caudal que ella proporciona en el exutorio es el correspondiente a una línea de corriente de anchura unidad, por lo que si se desea el caudal total que arroja el manantial habría necesidad de sumar los efectos de todas las posibles líneas de corriente del acuífero, con sus correspondientes valores de X' , T' , S' y $T(I)$. La discretización de una tal línea de corriente, teniendo en cuenta la fórmula [24] y llamando

$$D(3) = \frac{2 T'}{X' S'} \quad (\text{Factor reductor de dimensión para caudales}) \quad [33]$$

y denominando con $U(I)$ al caudal del exutorio en el tiempo I , sería

$$U(I) = D(3) \cdot C(3) \cdot \sum_{J=1}^H T(J) \sum_{N=0}^{N_0} [K(N)]^{(H-I)} \quad [34]$$

Como en el capítulo precedente, la puesta en práctica del método puede efectuarse con relativa sencillez. Se comienza por determinar n_0 , número de términos que se quieren tener en cuenta en la serie de exponenciales, para lo que puede seguirse la fórmula [8] del capítulo anterior, si se quiere que los términos despreciados sean efectivamente despreciables antes del fin del intervalo de tiempos. Se calculan a continuación los n_0 coeficientes exponenciales $K(N)$ y los n_0 componentes de carga iniciales $WR(N)$ (fórmulas [30] y [31]). Estas magnitudes son calculadas una sola vez, si se considera que las características del acuífero son constantes en el tiempo.

Cada recarga $T(I)$ será multiplicada por el factor corrector $C(2)$ o $C(3)$, que trata de evitar la distorsión de los volúmenes corrigiendo el error originado por los términos despreciados, la discretización del modelo y el haber supuesto constantes en el tiempo las características del acuífero. Más adelante se indica y justifica el método de cálculo de dicho factor corrector.

Con las recargas ya rectificadas y dimensionadas se opera, como en el capítulo precedente, para cada uno de los términos exponenciales.

$$L(I) = T(I) \cdot C(3) \cdot G; \quad Y(N, I) = [L(I) \cdot WR(N) + Y(N, I-1)] K(N) \quad [35]$$

$$Z(3) = T(I) \cdot C(2) \cdot D(3); \quad U(N, I) = [Z(I) + U(N, I-1)] K(N) \quad [36]$$

Por último, se acumulan los efectos de cada término exponencial para tener la presión y caudal final del período I' .

$$Y(I) = \sum_{N=0}^{N_0} Y(N, I) \quad [37]$$

$$U(I) = \sum_{N=0}^{N_0} U(N, I) \quad [38]$$

Para el cálculo de los factores correctores $C(2)$ y $C(3)$ se toman tres términos de la serie exponencial, si bien los razonamientos son idénticos para más sumandos. Como en el capítulo anterior, se persigue la conservación de volúmenes.

Supongamos una recarga unitaria única en el intervalo de tiempo I , la cual efectuará su llegada en los intervalos siguientes bajo la forma de tres sumandos (uno para cada término de la serie exponencial) y la suma de ellos vendrá dada por:

$$Y_0 = G [WR(0) \sum_{I=0}^{\infty} [K(0)]^I + WR(1) \sum_{I=0}^{\infty} [K(1)]^I + WR(2) \sum_{I=0}^{\infty} [K(2)]^I] \quad [39]$$

para presiones en I

$$U_0 = D(3) [\sum_{I=0}^{\infty} [K(0)]^I + \sum_{I=0}^{\infty} [K(1)]^I + \sum_{I=0}^{\infty} [K(2)]^I] \quad [40]$$

para caudales.

Y puesto que estos sumatorios son progresiones geométricas, de razón $K(N) < 1$, se tendrá su cálculo así:

$$Y_0 = G [WR(0) \frac{K(0)}{1-K(0)} + WR(1) \frac{K(1)}{1-K(1)} + WR(2) \frac{K(2)}{1-K(2)}] \quad [41]$$

$$U_0 = D(3) [\frac{K(0)}{1-K(0)} + \frac{K(1)}{1-K(1)} + \frac{K(2)}{1-K(2)}] \quad [42]$$

En ausencia de errores estas sumas deberían valer

$$Y_0 = 1, \quad V_0 = X'$$

En caso contrario habrá de multiplicarse por un factor corrector C (2) y C (3), respectivamente, para que sea

$$Y_0 C (2) = 1; \quad U_0 C (3) = X'$$

con los factores correctos del error serán

$$C (2) = \frac{1}{Y_0}; \quad C (3) = \frac{X'}{U_0} \quad [43]$$

6. ESQUEMA OPERATIVO DEL MODELO SIMERO

6.1. Alcance del modelo

a) Se presenta el esquema operativo del conjunto de las tres capas (suelo vegetal, capa no saturada y manto freático). Se parte de una lámina pluviométrica uniforme sobre toda la superficie de la cuenca, expresada en unidades lineales (mm.) y se calculan caudales entrantes y salientes en cada una de las tres capas, también expresados en láminas de agua.

Para el manto freático se calculan, además, las presiones en un punto determinado por si hay oportunidad de un contraste a través de los niveles freáticos medidos en un sondeo localizado en dicho punto, aparte de otras aplicaciones.

El cálculo de caudales drenados por un exutorio del manto freático, a nivel de constante, corresponde únicamente a una línea de corriente de anchura unidad, por lo que si se desea el caudal acumulado en cada tiempo por todas las posibles líneas de corriente, habrán de calcularse éstas, con sus diferentes valores de longitud y parámetros estructurales del acuífero.

b) Se desarrolla el caso de suponer que los coeficientes exponenciales son constantes en el tiempo, respondiendo a unos valores medios en cada intervalo de tiempos.

c) Se presenta el esquema discretizado para el caso de tomar sólo tres términos de la serie exponencial, lo cual representa, generalmente, una aproximación suficiente, dado el rápido decrecimiento de estos términos. En todo caso si se quiere prolongar para más términos de la serie el proceso es análogo.

d) Al objeto de paliar los errores producidos por la discretización del modelo y por su simplificación en el número y valores fijos de los términos exponenciales, se introducen unos factores de corrección de los caudales entrantes en las capas y que tratan de mantener las aportaciones de la infiltración gravífica evitando las pérdidas de agua.

6.2. Variables de entrada o datos

Se consideran H períodos de tiempo I; o sea, que I es una sucesión de números naturales que empiezan en 1 y terminan en H: I (1, 2, 3.....H)

Para cada valor de I se introducirán los siguientes datos:

- P (I): Pluviometría
E (I): Escorrentía
V (I): Evapotranspiración real.

6.3. Variables de salida

Para cada valor de I (1, 2, ..., H) se imprimirán las siguientes variables de salida o resultados:

- S (I): Infiltración gravífica hacia la segunda capa
T (I): Lámina de agua llegada al manto acuífero
U (I): Caudal de exutorio o manantial
Y (I): Recarga de presión en un punto del manto acuífero.

6.4. Valores iniciales fijos a introducir en el programa

El esquema operativo que se ha preparado es iterativo, o sea, se van obteniendo los valores de los resultados correspondientes a un período de tiempo I en función de los obtenidos para el período anterior I-1, de unos parámetros y valores fijos y de los datos o variables de entrada de dicho período I.

Y aunque la variable natural I comienza en 1, para el arranque del programa es necesario introducir unos valores iniciales fijos del período 0. Estos valores son:

- A (0): Reservorio de la primera capa para I=0.
B (0): Reservorio de la segunda capa para I= 0 (o bien F (0) = (0)/W).
T (0, 0): Lámina parcial de agua en el Manto para N=0; I=0.
T (1, 0): Lámina parcial de agua en el Manto para N=1, I=0.
T (2, 0): Lámina parcial de agua en el Manto para N=2, I=0.
U (0, 0): Caudal parcial del exutorio para N=0, I=0.
U (1, 0): Caudal parcial del exutorio para N=1, I=0.
U (2, 0): Caudal parcial del exutorio para N=2, I=0.
Y (0, 0): Nivel del manto para N=0, I=0.
Y (1, 0): Nivel del manto para N=1, I=0.
Y (2, 0): Nivel del manto para N=2, I=0.

6.5. Valores fijos a calcular previamente para después introducir en el programa

- C (1): Factor corrector de caudales para la segunda capa.
C (2): Factor corrector de caudales para la tercera capa.
C (3): Factor corrector de caudales para la tercera capa.
J (0): Coeficiente exponencial segunda capa para N=0.

J (1): Coeficiente exponencial segunda capa para N=1.
J (2): Coeficiente exponencial segunda capa para N=2. } corresponden a caudales de la segunda capa y según la fórmula:

$$J (N) = \exp. \frac{-(2N + 1)^2 \pi^2 D}{4}$$

K (0): Coeficiente exponencial tercera capa para N=0.
K (1): Coeficiente exponencial tercera capa para N=1.
K (2): Coeficiente exponencial tercera capa para N=2. } K (N) = exp. $\frac{-(2N + 1)^2 \pi^2 T'}{4 X^2 S'}$

Hay además otros seis que ya están introducidos en el programa:

a) Coeficiente de repartición de la recarga en segunda capa para caudales según la fórmula DR (N)= $\pi (-1) \cdot (2N+1)$.

- DR (0)= 3,14
DR (1)= -9,14
DR (2)= 15,7

b) Coeficientes de repartición de la recarga en tercera capa para presiones

$$WR(N) = \frac{4}{\pi} \frac{\text{sen}(2N + 1) \pi X / 2X'}{(2N + 1)}$$

que para el caso $X/X' = 1/2$ son

$$\begin{aligned} WR(0) &= 0,9 \\ WR(1) &= 0,3 \\ WR(2) &= -0,18 \end{aligned}$$

6.6. Parámetros para su calibrado que han de introducirse en el programa

M: Capacidad máxima de retención de la primera capa.
W: Capacidad máxima de retención de la segunda capa.
D(2): Factor reductor de dimensión de caudales en la segunda capa.

$$D(2) = K' / Z^2 \cdot W$$

donde:

K': Permeabilidad de la segunda capa (de dimensión $L \cdot T^{-1}$).
W': Capacidad de agua de la segunda capa (de dimensión L^{-1}).
Z': Profundidad del manto freático.
D(3): Factor reductor de dimensión de caudales en tercera capa.

$$D(3) = \frac{2T'}{X' S'}$$

donde

T': Transmisividad del sistema (de dimensión $L^2 \cdot T^{-1}$).
X': Longitud total de la línea de corriente.
S': Coeficiente de almacenamiento de la tercera capa (sin dimensión).
G: Factor reductor de dimensión para presiones en tercera capa.

$$G = \frac{1}{S'}$$

6.7. Listado alfabético de variables, parámetros y valores fijos que figuran en el programa

A(1): Reservorio de primera capa en el período I.
B(I): Reservorio de segunda capa.
C(N): Factores correctores:

C(1): Para caudales en segunda capa.
C(2): Para caudales en tercera capa.
C(3): Para presiones en tercera capa.

D(N): Factor reductor de dimensión de caudales:

D(2): Para la segunda capa.
D(3): Para la tercera capa.

E(I): Escorrentía superficial.

F(1): Grado de saturación de la segunda capa.

G: Factor reductor de dimensión para presiones en tercera capa.

H: Número de orden del período final de los tiempos I.

I: Tiempos (I=1, 2, 3, ..., H).

J(N): Coeficientes exponenciales de la segunda capa [J(0), J(1), J(2)].

K(N): Coeficientes exponenciales de la tercera capa [K(0), K(1), K(2)].

L(I): Lámina de agua llegada a tercera capa, reducida para presiones.

M: Capacidad máxima de retención de la primera capa.

N: Orden de términos exponenciales (N=1, 2, 3).

O(I): Incremento de reserva de segunda capa.

P(I): Pluviometría.

Q(I): Lluvia neta.

R(I): Infiltración disponible en primera capa.

S(I): Infiltración gravífica hacia segunda capa.

T(I): Lámina de agua llegada al manto:

T(0, I): Lámina parcial para N=0.
T(1, I): Lámina parcial para N=1.
T(2, I): Lámina parcial para N=2.

U(I): Caudal de exutorio:

U(0, I): Caudal parcial para N=0.
U(1, I): Caudal parcial para N=1.
U(2, I): Caudal parcial para N=2.

V(I): Evapotranspiración real.

W: Capacidad de retención máxima de la segunda capa.

X(I): Infiltración gravífica reducida.

Y(I): Recarga del manto (presiones):

Y(0, I): Recarga parcial para N=0.
Y(1, I): Recarga parcial para N=1.
Y(2, I): Recarga parcial para N=2.

Z(I): Lámina de llegada a tercera capa, reducida para caudales.

6.8. Esquema operativo

Como ya se ha dicho, el programa de cálculo es iterativo y pretende calcular las cuatro variables citadas en el punto 6.3 para cada uno de los H períodos de tiempo I.

Introducidos los tres datos citados en el punto 6.2 para cada I=1, 2, 3, ..., H, los parámetros, valores fijos y valores iniciales o de arranque correspondientes a I=0 (puntos 4, 5 y 6), se comienza por calcular los cuatro resultados correspondientes al período I=1, en base a los datos de dicho período y a los valores iniciales citados para I=0.

Se pasa a continuación a calcular los resultados del período I=2, en base a:

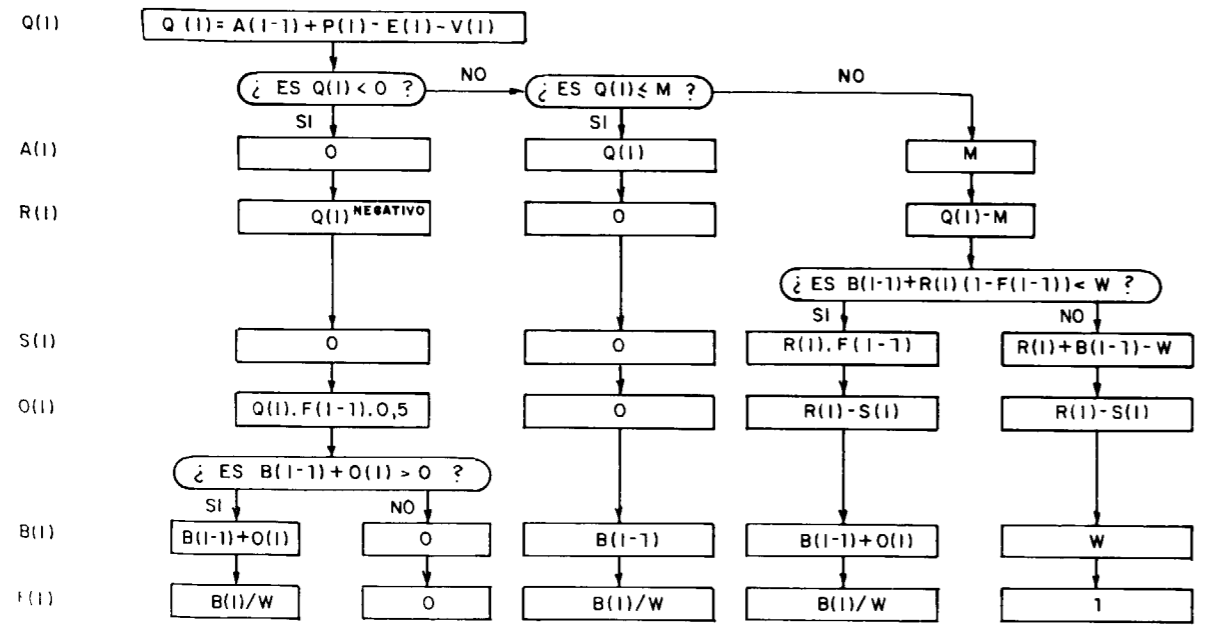
- Los tres datos de dicho período.
- Los valores siguientes del período anterior.

ESQUEMA OPERATIVO ITERATIVO PARA CAUDALES EN EL PERIODO I

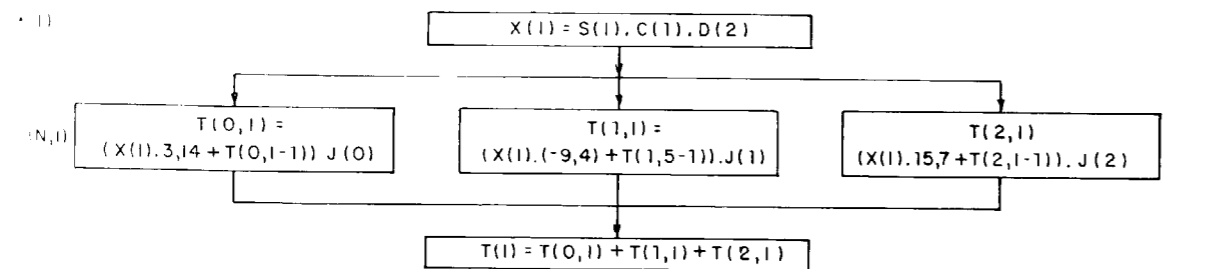
SE INTRODUCEN: P(I), E(I), V(I)

CALCULAR:

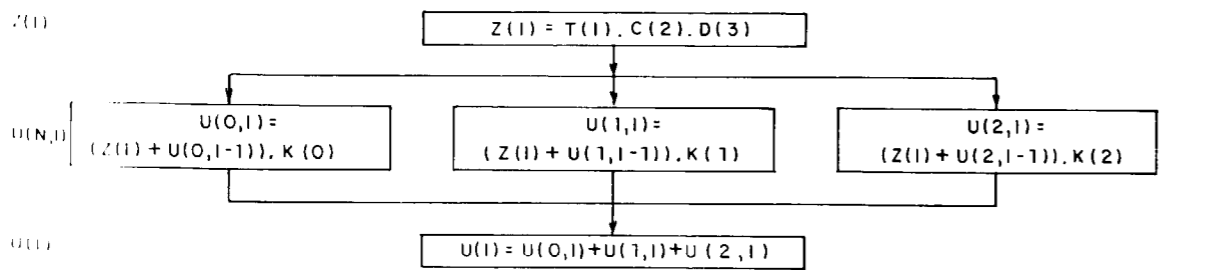
1ª CAPA (BALANCE)



2ª CAPA



3ª CAPA



(I=1): A(1), B(1), F(1), T(0,1), T(1,1), T(2,1), V(0,1), V(1,1), V(2,1), Y(0,1), Y(1,1), Y(2,1).

Y así sucesivamente para los períodos siguientes hasta I=H, período final en que terminan los cálculos.

El esquema operativo adjunto corresponde a un período de tiempo cualquiera I.

Una variante de este programa podría ser el no concluirlo para I=H, sino para valores de I=H+H', y para valores de pluviometría P(I)=0 para I>H y tomando H' suficientemente grande como para obtener un tramo significativo de la curva de agotamiento del acuífero.

Cálculo de recargas en el manto (tercera capa)

El esquema parte del final de la segunda capa, o sea, con los valores de la variable T(I) (lámina de agua llegada al manto en el período I).

Se supone que el proceso se verifica en una vertical situada en una línea de corriente y a una distancia X (sobre dicha línea de corriente) del exutorio.

Además de los parámetros citados en su lugar, se ha introducido ya en el programa los valores de:

$$WR(N) = \frac{4}{\pi} \frac{\text{sen}(2N + 1)\pi X / 2X}{(2N + 1)}$$

para el caso de X/X' = 1/2, y que son:

- WR(0) = 0,9
- WR(1) = 0,3
- WR(2) = -0,18

Si se tratase de otro valor para X/X', los nuevos valores sustituirían a los factores numéricos 0,9, 0,3 y -0,18.

6.9. Programa en lenguaje Pascal

```

0630  PROGRAM MODELO SIMERO (INPUT, OUTPUT)
0000  BEGIN
0012  INICIALIZAR (* ASIGNA VALORES A LOS PARAMETROS)
0016  FOR I:=1 TO H DO
001E  1-BEGIN
002A  READ (P(I.), E(I.), V(I.)); (* PRECIPITACION; ESCORRENTIA Y EVAPORACION*)
00A2  (*PRIMERA CAPA BALANCE*);
00A2  Q:= A + P(I.) - E(I.) - V(I.);
0104  IF Q < 0
0104  THEN
0122  2-BEGIN
0122  A:=0; R:=Q; S(I.):=0; O:=Q*F*0,5;
0188  IF (B+O)>0
0190  THEN
01AC  33 BEGIN B:=B+O; F:=B/W END
01C4  33 ELSE BEGIN B:=0; F:=0 END
01FC  -2 END
01FC  ELSE
  
```



```

0200 — IF Q <= M
0200 22 THEN BEGIN A:=Q; R:=0; S(.I.):=0; 0:=0; F:=B/W END
0288 — ELSE
028C 2 — BEGIN
028C — A:=M; R:=Q-M;
02A0 — IF (B+R*(1-F)) < W
02C4 33 THEN BEGIN S(.I.):=R*F; 0:=R-S(.I.); B:=B+0; F:=B/W END
0330 33 ELSE BEGIN S(.I.):=R+B-W; 0:=R-S(.I.); B:=W; F:=1 END
03A8 — 2 END;
03A8 — (*SEGUNDA CAPA*);
03A8 — X:=S(.I.)*CI*D2;
03D2 — TO:=(X*3.14+TO)*JO;
03E6 — T1:=(—X*9.4+T1)*J1;
03FC — T2:=(X*15.7+T2)*J2;
0410 — T(.I.):=TO*T1+T2;
043A — (*TERCERA CAPA*)
043A — Z:=T(.I.)*C2*C3;
0464 — U0:=(Z+U0)*K0;
0474 — U1:=(Z+U1)*K1;
0484 — U2:=(Z+U2)*K2;
0494 — U(.I.):=U0*U1+U2;
04BE — (*TERCERA CAPA CALCULO DE RECARGAS EN EL MANTO*);
04BE — L:=T(.I.)*C3*G;
04E8 — Y0:=(L*0.9+Y0)*K0;
04FC — Y1:=(L*0.3+Y1)*K1;
0510 — Y2:=(—L*0.18+Y2)*K2;
0526 — Y(.I.):=Y0+Y1+Y2;
0550 — 1 END;
0876 — 0 END.

```

BIBLIOGRAFIA

- BONNE, M.: *Méthodologie des modèles de simulation en hydrogéologie*. Thèse Doctoral d'Etat en Sciences. Inst. Nat. Polytech. de Lorraine. Nancy, 437 pp (1978).
- DEGALLIER, R.: *Un modèle desimulacion des ecoulements superficiels et soterrains: le modèle SIMERO*. Bulletin du BRGM (deuxième série). Section III, núm. 3, pp. 23-42 (1972).
- PULIDO BOSCH, A.: *Los modelos matemáticos aplicados al estudio de acuíferos kársticos*. III Simposio de Hidrogeología, tomo IX, pp. 13-25. Madrid (1983).
- SANZ PÉREZ, E.: *El Karst del Sur y Oeste del Moncayo*. Tesis Doctoral Univ. Complutense. Madrid, 340 pp. (1984).

Recibido: Julio de 1985

Detección mediante gravimetría de cuerpos graníticos ocultos en la región de Campo de Calatrava (C. Real)

Por: J. E. BERGAMIN, R. CAPOTE y A. CARBO (*)

RESUMEN

En la región de Campo de Calatrava se ha realizado un estudio gravimétrico detallado, cubriendo una zona de unos 4.500 Km². Sobre el mapa de anomalías de Bouguer se localizan tres áreas de anomalías negativas, con valores que oscilan entre los 8 y 12 miligales, presentando planta circular o elíptica. La situada al oeste está en clara correspondencia con parte del granito aflorante de Fontanosas, justificándose las otras dos como generadas por plutones no aflorantes.

Todos estos cuerpos, junto con el de Valdepeñas, forman una alineación de dirección casi este-oeste, relacionada con la estructura hercínica regional.

Mediante el empleo de modelos bidimensionales se analiza la geometría en profundidad de estos plutones.

ABSTRACT

A detailed gravimetric study has been done in Campo de Calatrava area, covering a 4,500 Km² zone. Three negative anomalies are located in the Bouguer anomalies map, with values between -8 and -12 miligals, showing elliptic or circular shape. The one at west is clearly related nonoutcropping plutons. All these bodies, also with Valdepeñas granite, form an almost E-W trend, related with the regional Hercinic structure. Deep geometry of those plutons is analiced using twodimensional models.

1. INTRODUCCION

Una de las líneas de investigación, seguidas por el Departamento de Geomorfología y Geotectónica de la Universidad Complutense de Madrid, es la que se refiere a la determinación mediante gravimetría de la geometría en profundidad de cuerpos graníticos. En esta línea se han desarrollado trabajos en el Sistema Central y Montes de Toledo. El interés de éstos se centra no sólo en el aspecto científico, sino también en las posibles consecuencias económicas que puedan desprenderse de este tipo de investigaciones. Recordemos que gran parte de las mineralizaciones están ligadas al plutonismo hercínico y tardihercínico. Siguiendo este programa de investigación se plantea el estudio gravimétrico de la región del Campo de Calatrava (Ciudad Real), en la cual aparecen dos afloramientos de granitoides: Fontanosas al oeste,

estudiados por LEUTWEIN et al. (1970), desde el punto de vista petrológico y del que realiza dataciones absolutas; al este se encuentra otro afloramiento, en Valdepeñas, que es mencionado por APARICIO et al. (1977), aunque sin entrar en su estudio detallado.

El trabajo que ahora presentamos es parte de otro de mayor amplitud que sobre éste y otros aspectos tectónicos se ha realizado en esta región constituyendo la Tesis Doctoral de uno de los autores (J. F. B.).

2. SITUACION GEOLOGICA

La región estudiada pertenece en su totalidad a la Zona Centroibérica, y queda localizada en la provincia de Ciudad Real (fig. 1). Los materiales que aparecen son, de una parte, los precámbricos que ocupan la zona SO y O del área investigada; anticlinorios de Abenojar (B) y de Alcudia (A),

(*) Cátedra de Geodinámica Interna, Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid.

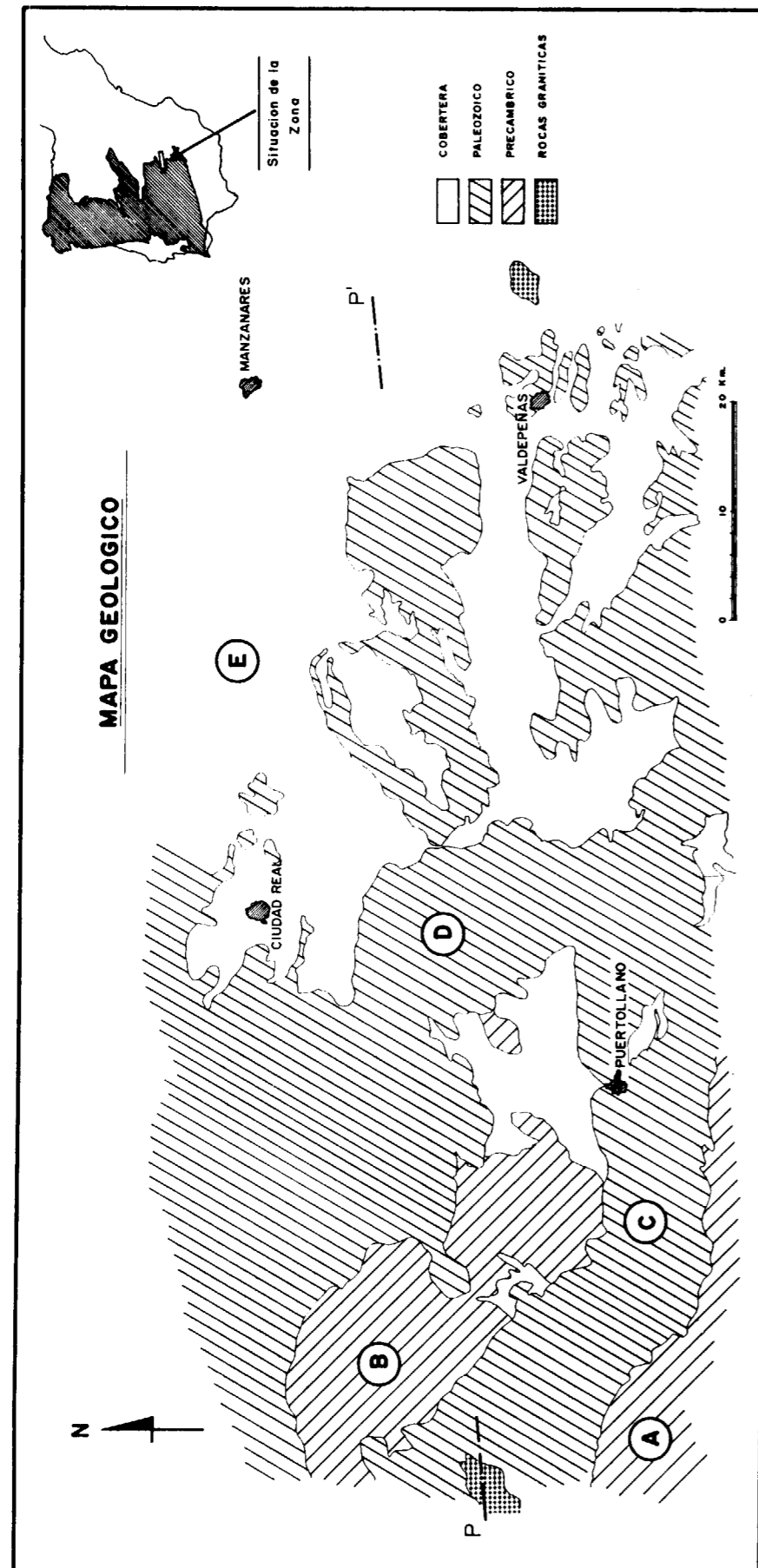


Figura 1.—Mapa geológico de la zona investigada. Situación del perfil P-P'.

constituidos por pelitas y grauwacas fundamentalmente. Toda la parte central (C, D) está formada por series paleozoicas del Ordovícico a Devónico, constituidas por cuarcitas, areniscas y pizarras; cubriendo parcialmente ambos conjuntos litológicos aparecen materiales de la cobertera terciaria (E), que tienen espesores variables y se distribuyen en cuencas de mayor a menor entidad, que se abren al NE hacia la llanura manchega.

Las estructuras de plegamiento principal tienen dirección NNO-SSE, correspondientes a la primera fase hercínica de plegamiento. Entre las direcciones fundamentales de fracturación hay que destacar fallas de orientación NO-SE y NE-SO, manifestándose las ENE-OSO y NE-SO como desgarres. Intruyendo el conjunto, en ambos extremos de la zona estudiada aparecen las rocas plutónicas ya señaladas. En Fontanosas son granodioritas y en Valdepeñas (Pozo de la Serna) adamellitas cordieríticas de dos micas.

3. METODOLOGIA EMPLEADA

Al considerar el contraste de densidad existente entre los materiales graníticos y sus encajantes precámbricos y paleozoicos, se plantea como técnica geofísica idónea para este tipo de investigaciones la gravimetría.

Se ha realizado el levantamiento gravimétrico y altimétrico del área, llevándose a cabo un total de 350 estaciones, repartidas uniformemente, apoyadas sobre 18 estaciones del Instituto Geográfico Nacional, que se utilizan como bases de los recorridos establecidos. Teniendo en cuenta que dichas bases están unidas con estaciones de la Red Fundamental, y que sus valores de «g» son conocidos, el paso de nuestras observaciones a valores absolutos resulta automático.

Los valores de estas observaciones realizadas por nosotros han sido corregidas de deriva instrumental y variación diurna, siendo reducidas a una fecha común; posteriormente se someten a las correcciones de latitud, aire libre, lámina de Bouguer (densidad=2,7 g/c.c.), y topográfica (hasta la zona M de Hammer), siguiendo el proceso establecido en la norma gravimétrica, elaborada por el IGME-AITEMIN.

Así se obtiene el mapa de anomalías de Bouguer para una densidad de lámina de 2,7 g/c.c. Dada la

subjetividad que este tipo de mapas presenta para la investigación directa: si se tiene en cuenta que en ellos se combinan los efectos gravimétricos de diferentes órdenes de magnitud, se hace necesario suprimir de este mapa los efectos debidos a lo que consideramos tendencias regionales para la zona, en función de la escala de investigación. El Mapa de Anomalías Residuales de Bouguer se muestra en la figura 2.

4. INTERPRETACION

Este mapa presenta como tónica general una tendencia positiva cuyos máximos y mínimos parecen relacionados con la distribución de anticlinorios y sinclinorios hercínicos (BERGAMÍN, 1985). No obstante, existen una serie de anomalías negativas laterales que por su forma y valor pueden individualizar fenómenos diferentes. Así, hay que destacar tres anomalías de forma circular a elíptica. La estudiada al oeste (—12 miligales), se encuentra claramente relacionada con la granodiorita de Fontanosas, y su prolongación en profundidad hacia el NE, puesto que se sitúa en una zona con predominio de materiales precámbricos, que deberían producir una anomalía positiva. En el mismo caso se encuentra la anomalía (—8 miligales) situada hacia el este, que por el mismo razonamiento debe señalar la existencia en profundidad de un cuerpo menos denso de granitoides. Al este de la zona estudiada aparece otra anomalía (—9 miligales) de gran extensión y planta elíptica, que se centra sobre materiales cuarcíticos fundamentalmente, que en ningún caso podrían tener un volumen suficiente como para producir una anomalía de esa cuantía. Dada la circunstancia de la proximidad de este punto a la localidad de Valdepeñas, y teniendo en cuenta la anomalía que produce el granito existente en esa localidad (BERGAMÍN y VICENTE, 1985), y que se aprecia en el extremo de nuestra investigación, se puede llegar a pensar que la anomalía de —9 miligales situada al SO de Manzanares está originada por un cuerpo de menor densidad situado en profundidad, es decir, un plutón granítico oculto.

El perfil P-P' (fig. 3), realizado sobre el mapa de anomalías residuales de Bouguer, refleja claramente la existencia de tres mínimos que alteran la tendencia general de la anomalía que parece mantenerse próxima al valor 0. El mínimo (A) que se encuentra al oeste (—12 miligales) no puede

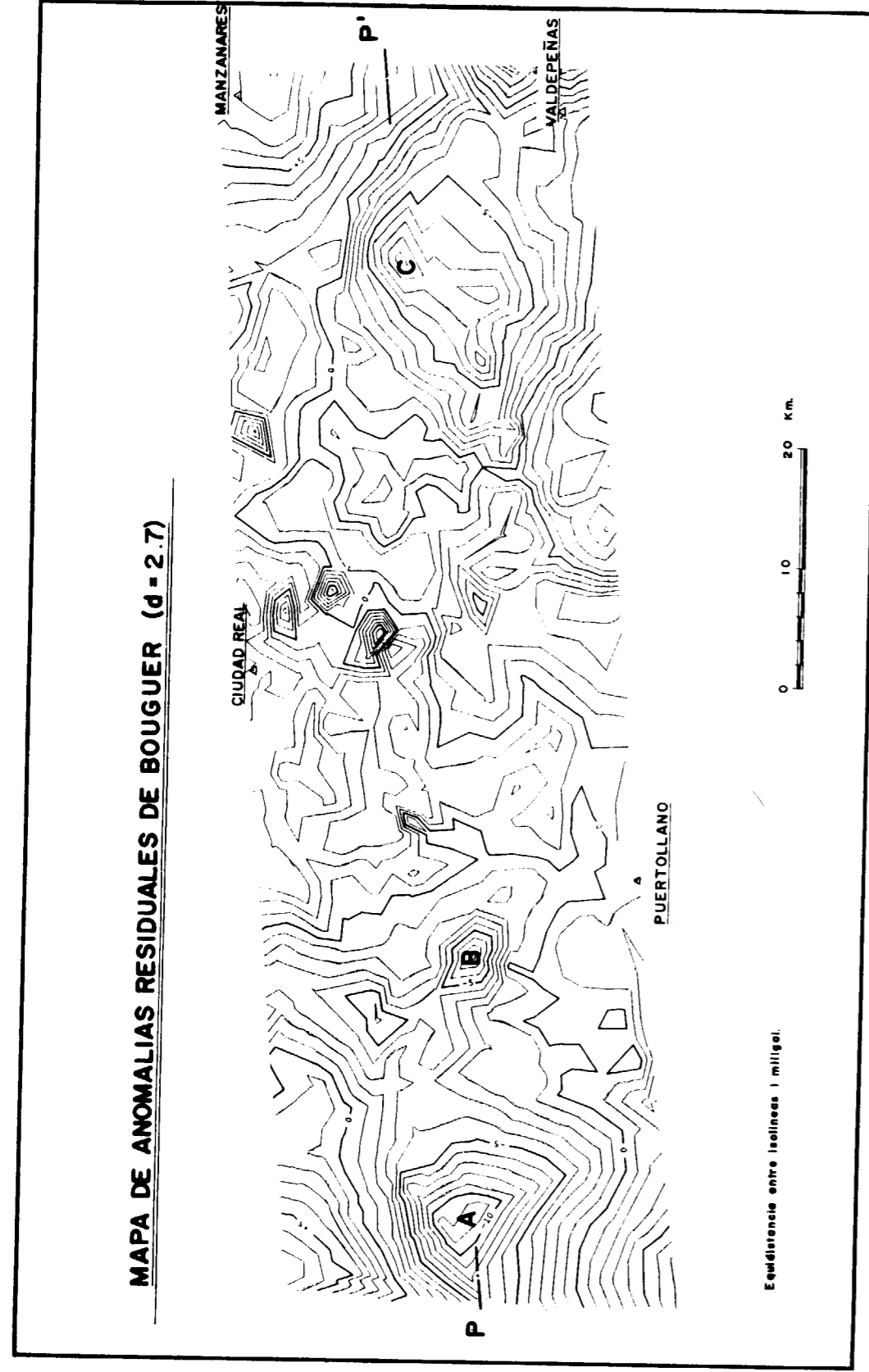


Figura 2.—Mapa de anomalías residuales de Bouguer. Intervalo entre isolíneas, 1 miligal.

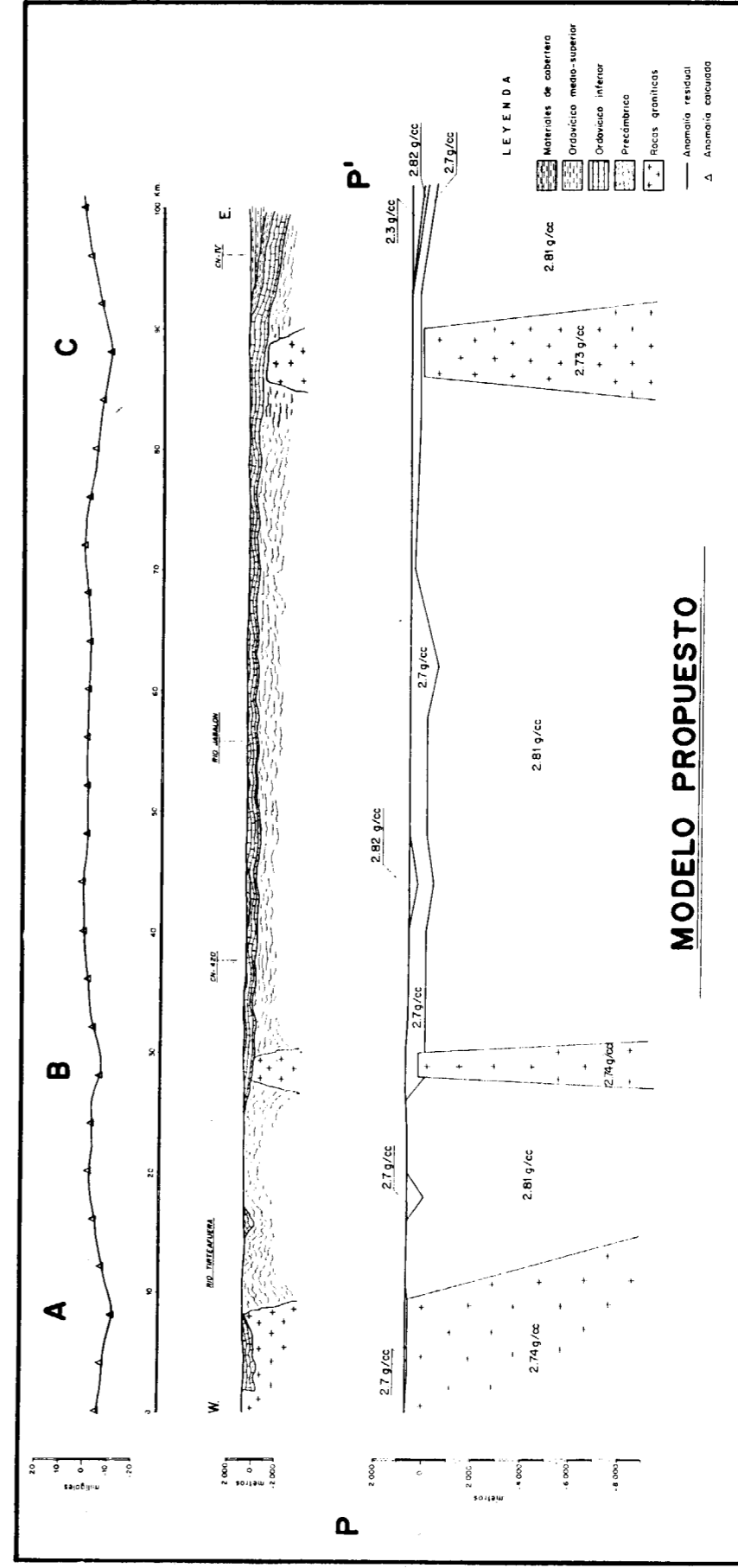


Figura 3.—Modelo propuesto para el perfil P-P'.

justificarse tan sólo por la existencia de materiales ordovícicos (cuarcitas), como ya se dijo antes, por ello se piensa que pueda extenderse el plutón de Fontanosas hacia el este. Teniendo en cuenta que AMOR y ORTEGA (en prensa) mencionan la aparición en superficie de un cierto grado de metamorfismo, pensamos que bajo esta zona metamorfizada se encuentra efectivamente un granitoide oculto.

Junto al anterior aparece otro mínimo de —8 miligales (B) situado sobre materiales cuarcíticos. Finalmente, también sobre este tipo de materiales aparece al este otro mínimo de —9 miligales (C).

Para calcular las formas de los cuerpos graníticos que puedan justificar los mínimos gravimétricos, se han seguido las ideas de BOTT y SMITHSON (1967), quienes señalan que anomalías de este tipo pueden estar ocasionadas por plutones de contactos convergentes hacia la superficie. Asimismo, se ha tenido en cuenta la experiencia aportada por SANTA TERESA et al. (1983) para el plutón de Orgaz.

En el modelo propuesto aparecen tres cuerpos graníticos de contactos convergentes: al oeste la prolongación en profundidad del granito de Fontanosas bajo una delgada lámina de materiales cuarcíticos (50 metros); junto a éste un pequeño cuerpo granítico (plutón de Sierra Gorda), que justifica la anomalía de —8 miligales que no puede ser ocasionada por la sola intervención de los materiales cuarcíticos. La profundidad estimada para la parte superior de dicho plutón es de unos 500 metros. Finalmente, hacia el este aparece otro plutón bajo materiales cuarcíticos (plutón de Siles), que presenta una anchura en su parte superior de unos 4 kilómetros, situándose a una profundidad en torno a los 500 metros. La densidad asignada a este último cuerpo es de 2.73 g/c.c. El resto del modelo está constituido por los polígonos correspondientes a los materiales precámbricos de densidad media 2.81 g/c.c. y por los polígonos de los pliegues ordovícicos marcados por la forma de la cuarcita armoricana. Estos materiales aumentan en profundidad hacia el este, apareciendo sobre ellos la Cobertera de densidad 2,3 g/c.c. Hay que destacar que todos estos cuerpos graníticos siguen una alineación E-O, que coincide con la dirección principal de las estructuras, y hacia el este se continúa con el afloramiento de Valdepeñas.

Este último cuerpo granitoide presenta unas

características algo diferentes. Es posible que su geometría sea según modelo de paredes convergentes en profundidad (BERGAMÍN y DE VICENTE, 1985), lo que podrá explicarse como debido a expansión lateral al intruir en un nivel algo más superficial que los plutones de Siles y Sierra Gorda, los cuales tienen paredes divergentes y se encuentran emplazados en un nivel algo más profundo.

5. CONCLUSIONES

- Se ha detectado, mediante el estudio gravimétrico, dos nuevos cuerpos granitoides: al este de Fontanosas, el plutón de Sierra Gorda, y al norte de Moral de Calatrava, el plutón de Siles.
- Ambos plutones presentan contactos convergentes hacia la superficie, emplazándose en profundidad bajo los materiales ordovícicos, en un nivel más profundo que el granitoide de Valdepeñas.
- Todos estos cuerpos granitoides se presentan siguiendo una alineación E-O, relacionada con la estructura hercínica regional.

BIBLIOGRAFIA

- AMOR, J. M., y ORTEGA, E.: *Hoja MAGNA 809. Tirteafuera, IGME* (en prensa).
- APARICIO, A.; BARRERA, J. L.; CASQUET, C.; PEINADO, M., y TINAO, J. M.: *Caracterización geoquímica del plutonismo postmetamórfico del SO del Macizo Hespérico*. *Studia Geologica Salmanticensia*, XII:9-39 (1977).
- BERGAMÍN, J. F.: *Interpretación geotectónica del área del Campo de Calatrava (Ciudad Real) basada en determinaciones gravimétricas*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid (1985).
- BERGAMÍN, J. F., y VICENTE, G. DE: *Estructura en profundidad del granito de Pozo de la Serna (Ciudad Real), en base a datos gravimétricos*. IX Reunión de Geología del Oeste Peninsular. Oporto, 1985.
- BOTT, M. H. P., y SMITHSON, S.: *Gravity Investigations of Subsurface Shape and Mass Distributions of Granite Batholiths*. *Geo. Soc. of America Bull.*, v. 78:859-879 (1967).
- CARBÓ, A. (inédito): Programa TALWO 580.
- LEUTWEIN, F.; SAUPE, F.; SONET, J., y BOUYX, E.: *Premiere mesure geochronologique en Sierra Morena. La granodiorite de Fontanosas (Province de Ciudad Real, Espagne)*. *Geologie en Mijnbouw*, volume 49 (4), pp. 297-304 (1970).
- SANTA TERESA, I.; CARBÓ, A.; CAPOTE, R., y CASQUET, C.: *Geometría en profundidad del granito de Orgaz en base a datos gravimétricos*. *Studia Geologica Salmanticensia*, XVIII:237-250 (1983).
- TALWANI, M.; WORZEL, J. L., y LANDISMAN, M.: *Rapid gravity computations for two-dimensional bodies with application to the Mendocino submarine fracture zone*. *J. Geophys. Res.*, 64:49-59 (1959).

Recibido: Septiembre de 1985

Alterabilidad de areniscas asturianas utilizadas en monumentos

Por ROSA M.^a ESBERT ALEMANY (*) y L. VALDEON MENEDEZ (*)

RESUMEN

Con la ayuda de una serie de ensayos de laboratorio, ciclos humedad-sequedad, hielo-deshielo y cristalización de sales, se intenta predecir la mayor o menor susceptibilidad de algunas areniscas asturianas frente a la acción de los agentes alterantes, agua fundamentalmente. Las citadas areniscas, de edad Jurásica, vienen siendo utilizadas habitualmente como material de construcción en Asturias, con ellas se edificó, por ejemplo, el Palacio de Revillagigedo de Gijón (S. XVIII).

Se especifica la metodología y puesta a punto de los ensayos antes mencionados y, de la valoración de los resultados obtenidos en los mismos, se llega a la conclusión de que el deterioro físico de estas piedras puede relacionarse con determinados parámetros, tales como: variaciones granulométricas, porcentajes y distribución de la matriz arcillosa, valor y tipo de porosidad; concretamente con el rango de distribución del tamaño de acceso o radio de los poros. Así, muestras rocosas de estas areniscas, procedentes de afloramientos en las localidades de Somió y Tazones, muestran diferencias sustanciales en cuanto a su alterabilidad potencial, relacionadas precisamente con los parámetros antes citados.

ABSTRACT

By means of a series of laboratory tests: humidity-dryness cycles, freezing-thawing, and salt crystalization, we try to predict the greater or smaller susceptibility of some Asturian sandstones regarding the process of certain agents causing alteration, mainly water. These sandstones, dating from the Jurassic age, have been commonly used as building material in Asturias. For instance, these sandstones were used in the building of the Revillagigedo Palace in Gijón (XVIIIth. C.).

We specify the adjustment and methodology employed in the aforesaid tests and from the evaluation of results obtained through them, we may conclude that the physical deterioration of these stones can be related to determined parameters such as: grain-size variations, percentage and distribution of the clay minerals, value and type of porosity; concretly to the range of the pore-size distribution. Therefore, different samples of this sandstone coming from different quarries from Somió and Tazones, show substantial differences concerning their potential alterability, differences which are connected with the aforesaid parameters.

INTRODUCCION

Definida la alterabilidad de un material rocoso como la tendencia de éste a meteorizarse a corto plazo, por lo general, fuera de su entorno geológico natural, resulta evidente que el poder predecir la mayor o menor capacidad de deterioración de las piedras utilizadas en la construcción de los monumentos, es un hecho de notorio interés puesto que con ello es posible determinar, en poco tiempo, la esperanza de vida de un material rocoso.

(*) Departamento de Petrología y Geoquímica. Facultad de Geología. Universidad de Oviedo.

Para conseguir dicho objetivo se han realizado varios ensayos que pretenden, a partir de datos cuantitativos, valorar correctamente la capacidad de resistencia de los materiales pétreos a la acción de los agentes de meteorización, entre los que juega un papel determinante el agua, en todas sus fases (vapor, líquido, sólido). En este trabajo los ensayos realizados muestran la diferente susceptibilidad de determinadas rocas areniscosas, frente a ciclos de: humedad-sequedad, hielo-deshielo y cristalización de sales.

Las rocas sobre las que se ha experimentado corresponden a dos variedades de areniscas procedentes de los tramos detríticos del Jurásico Supe-

rior —Mälm— que afloran al este de Gijón. Se les ha denominado variedades Somió y Tazones, por haberse extraído de canteras próximas a estas localidades. Son el mismo tipo de areniscas que se utilizaron en la construcción del Palacio de Revillagigedo de Gijón (1699-1711) (ESBERT y VALDEÓN, 1984).

PREPARACION DE LAS MUESTRAS PARA LOS ENSAYOS

La falta de normas estandarizadas sobre la preparación de las muestras a utilizar en los diversos ensayos de alterabilidad ha llevado a basar dicha preparación en la experiencia de diferentes investigadores o grupos de investigación que vienen trabajando en este campo (MARSCHNER, 1978; PRICE, 1978; GERARD, 1978; ACCARDO, 1981; ORDAZ, 1982).

Los criterios que deben tomarse en consideración para una buena preparación del material a ensayar están referidos fundamentalmente a: número, tamaño, dimensiones y forma de las probetas, las cuales deben ser representativas del conjunto que se quiere ensayar, reflejando tanto su naturaleza petrográfica como las variaciones que dentro de la misma puedan encontrarse. Así, si el conjunto a ensayar es muy heterogéneo, el número de probetas deberá ser más elevado que si dicho conjunto es más homogéneo.

En cuanto al tamaño ocurre algo parecido, si las rocas son de grano fino y con una distribución más o menos uniforme de los espacios vacíos, las dimensiones de las probetas pueden ser menores que si el tamaño de grano es grueso y hay una clara heterometría en las dimensiones de los espacios vacíos.

Las formas de las probetas suelen ser geométricas: cúbicas, paralelepípedas, cilíndricas; por lo general, las más utilizadas para este tipo de ensayos son las cúbicas.

Los bloques de los que se han extraído las muestras han sido, dentro de cada variedad, muy homogéneos; no se han observado variaciones mineralógicas ni texturales importantes, corresponde al concepto de «intact rock».

En las muestras estudiadas el rango de tamaño de grano oscila entre grano medio (\varnothing medio, 0,37 milímetros) y muy fino (\varnothing medio, 0,093 mm.).

Siguiendo los criterios expuestos se prepararon cinco cubos de arenisca, de 4 cm. de lado de cada variedad y para cada ensayo, es decir, un total de 15 cubos por tipo rocoso, cinco para los ensayos de heladicidad, cinco para los de humedad-sequedad y cinco para los de cristalización de sales.

En dicha preparación se han seguido las siguientes etapas:

Obtención de las mismas con una sierra de disco diamantado, intentando evitar al máximo la formación de discontinuidades inducidas («artifacts»).

Secado de las muestras según normas de la I. S. R. M. (1979), introduciéndolas en una mufla a $103 \pm 2^\circ \text{C}$ durante 24 horas para asegurar un secado total.

Una vez secas se dejaron en un desecador hasta que enfriaron, dado el tamaño de las muestras, 2-3 horas han sido suficientes. A continuación se numeraron y se marcaron las caras de los cubos con un trazo continuo, para poder así visualizar, con mayor claridad, las pérdidas de material, caso de producirse.

Finalmente se pesaron con una balanza de precisión, aproximando hasta la milésima de gramo, con lo cual se obtuvo la masa de cada probeta seca antes del ensayo, masa que podrá compararse con la obtenida después, a la terminación del ensayo correspondiente.

ENSAYOS DE ALTERABILIDAD

Se han realizado tres tipos de ensayos: humedad-sequedad, heladicidad y cristalización de sales. La valoración de los mismos se efectuó midiendo la pérdida de masa que han sufrido las probetas al finalizar los ciclos correspondientes a cada ensayo y expresándola como porcentaje de la masa inicial. También se midió la pérdida de masa después de un número de ciclos determinado con el fin de controlar la evolución de los materiales a lo largo del ensayo.

Humedad-sequedad

El contenido en humedad de una roca y más especialmente las fluctuaciones del mismo, afectan en gran medida a su alterabilidad.

Los ensayos de humedad-sequedad tratan de repetir de un modo acelerado los efectos de los cambios de humedad, alternando ciclos donde se combina la saturación total en agua con la sequedad total.

La metodología de ensayo elegida ha sido la siguiente:

- Inmersión de las muestras en agua durante 24 horas.
- Secado en una estufa a $103 \pm 2^\circ \text{C}$ durante 12 horas.
- Enfriamiento en un desecador antes de comenzar el ciclo siguiente.

Este ciclo completo se repitió 30 veces y se observaron las siguientes características en cada variedad:

En la variedad D (Somio) no se observó ningún cambio en el aspecto externo de las probetas hasta el ciclo 5-7; a partir de dicho ciclo empezaron a desdibujarse primero vértices y luego aristas. Después del ciclo 15 se observaron más pérdidas de material en las aristas, pero no así en las caras, ni siquiera en los últimos ciclos (fig. 1a). Al final del ensayo la pérdida media de material era casi del 0,8 por 100, oscilando los valores entre 0,54 por 100 y 1,05 por 100.

En la variedad E (Tazones) no se observó cambio macroscópico alguno en las probetas a lo largo de todo el ensayo, ni siquiera en los últimos ciclos, como puede apreciarse en la figura 1b. El porcentaje de pérdida fue tan sólo del 0,094 por 100.

La diferencia de comportamiento entre ambas areniscas es evidente, la variedad Somio es más sensible a los cambios de humedad que la de Tazones, lo que se refleja por el mayor porcentaje de pérdida de masa a lo largo del ensayo. Ver tabla I.

TABLA I

Ensayo humedad-sequedad

Variedad rocosa	Pérdida de masa (%)		
	Ciclo n.º 5	Ciclo n.º 20	Ciclo n.º 30
Somio D	0,236	0,622	0,793
Tazones E	0,072	0,085	0,094

Heladicidad (hielo-deshielo)

El ensayo de heladicidad se basa, en primera instancia, en el aumento de volumen que sufre el agua al congelarse. En este caso, este aumento de volumen deja sentir sus efectos en los espacios porosos, donde además actúa una presión hidráulica generada por el agua que rellena los poros y que es empujada hacia el interior de los espacios vacíos comunicados por efecto del paso del agua a hielo en la parte superficial. A esta acción pueden añadirse otras más o menos complejas (DUNN y HUDEC, 1965; WALKER et al., 1969). En las rocas ensayadas las tensiones a las que se ven sometidas las paredes de los conductos porosos conducirán al debilitamiento del material, que tiende a disgregarse en menor o mayor medida. Las condiciones de ensayo están basadas en los trabajos de BELIKOV et al. (1967) y GERARD (1978).

El ensayo propiamente dicho consta de dos partes, una de congelación y otra de descongelación, esta última se realiza sumergiendo las muestras en agua a temperatura ambiente, mientras que la fase de congelación se lleva a cabo introduciendo las muestras en una cámara climática. Esta cámara ha de reunir las siguientes condiciones mínimas, requeridas en el ensayo:

- Rango de temperatura, que oscile, al menos, entre $+5^\circ$ y -18°C .
- Posibilidad de descender la temperatura de forma gradual y controlable.
- Posibilidad de mantener constante las temperaturas programadas.
- Mecanismo capaz de registrar las oscilaciones de temperatura y humedad.

En la práctica se utilizó una cámara climática «Feutron», Mod. PKW-2, que reúne las anteriores características.

Efectuada la pesada inicial de las muestras que se van a ensayar, el primer paso es lograr una total inhibición en agua, para lo cual se sumergen durante un tiempo tal que permita asegurar la penetración del agua en la totalidad de los espacios vacíos. En este caso concreto fue de siete días. Esta inhibición garantiza que las tensiones que se van a generar por el paso de agua a hielo afectarán a la totalidad de los espacios accesibles al agua.

La cámara climática en la que se van a realizar los ensayos debe tener una temperatura de 5°C, previa a la introducción de las muestras. El ensayo se lleva a cabo del siguiente modo:

— Se hace descender gradualmente la temperatura hasta -3°C, manteniéndose esta temperatura durante dos horas. Un descenso brusco por debajo del punto de congelación del agua haría que ésta se congelase sólo en la parte externa de la muestra.

— Posteriormente se hace descender nuevamente la temperatura hasta -15°C, manteniéndose al menos cuatro horas, con lo que se asegura la congelación de todo el agua en el interior de la muestra.

— La fase de descongelación se efectuó manteniendo las muestras, al menos durante tres horas, en agua, a temperatura ambiente.

Un ciclo completo comprende las fases de congelación y descongelación. Se realizaron treinta ciclos, al final de los cuales se midió la pérdida de material, expresado en porcentaje, de ambas variedades.

En las piedras de Somió, a partir del quinto ciclo, se apreciaron ligeras pérdidas de material visualizadas por el cambio de forma de los vértices de los cubos, que se vuelven más romos. Aproximadamente, desde el ciclo quince, se apreciaron caídas de material en el momento en que las probetas se introdujeron en el agua, al iniciarse la fase de descongelación. Ello se traduce en un claro desgaste de vértices y aristas así como en la aparición de hoquedades en las caras, como puede verse en la figura 2a. La pérdida media final de masa, para esta variedad, es algo superior al 8 por 100.

En la piedra de Tazones, una vez finalizados los treinta ciclos, no se observó ningún cambio morfológico en las probetas, que se muestran claramente resistentes a la acción del hielo (fig. 2b). El porcentaje de pérdida de material no llega al 0,1 por 100.

Los resultados obtenidos, expresados en forma de porcentajes, aparecen en la tabla II.

TABLA II
Ensayo de heladicidad

Variedad rocosa	Pérdida de masa (%)		
	Ciclo n.º 5	Ciclo n.º 10	Ciclo n.º 30
Somió D	0,691	1,843	8,292
Tazones E	0,021	0,047	0,085

Cristalización de sales

El ensayo de cristalización de sales se realiza para reconocer la resistencia de las rocas a la acción de la intemperie, de un modo muy acelerado.

El objeto del ensayo es la apreciación cuantitativa y rápida de la resistencia física de un material rocoso frente a la acción de las sales, al cristalizar en su interior. Tras someter las muestras rocosas a repetidos ciclos de inmersión, en soluciones salinas concentradas, y posterior desecación, se determina al final de los ciclos programados las pérdidas de peso y deterioro aparente que hayan sufrido las muestras ensayadas. En este caso la solución empleada fue de SO₄Na₂; dicho sulfato cuando se hidrata sufre un aumento de volumen respecto a su estado cristalino de 1 a 4, a temperatura inferior a 32,7°C. La disminución de la resistencia física del material ensayado se debe precisamente a las disrupciones provocadas por estas variaciones constantes de volumen, que tienen lugar en el interior de los espacios porosos de la muestra, y que crean una serie de tensiones en el seno de la roca, capaces de provocar un debilitamiento con las subsiguientes pérdidas de material (NIESEL, 1978).

Los diversos parámetros que intervienen en el ensayo, tales como: concentración de la sal, tiempo de inmersión de las probetas y temperatura del ensayo, se han fijado siguiendo la norma DIN 52111, con algunas modificaciones de procedimiento propuestas por PRICE (1978) y MORSCHNER (1978), que estudiaron precisamente cómo influyen las variaciones de los parámetros en la interpretación final de los resultados.

Seleccionadas y pesadas las muestras, se las sometió a las etapas siguientes:

— Se introdujeron en una solución de sulfato

sódico al 15 por 100 de concentración durante cinco horas a temperatura ambiente.

— Se pusieron a secar en una mufla, previamente calentada, a 70°C y posteriormente a 103±2°C durante dieciocho horas.

— Se dejaron enfriar en el desecador unas dos horas.

Estos tres pasos completan un ciclo; se repitieron 10 ciclos, considerados como suficientes para emitir una correcta evaluación del ensayo.

Terminados los ciclos de ensayo, las muestras deben dejarse en agua doce horas para hacer desaparecer las sales, a continuación se secan y pesan con el fin de comparar este peso con el inicial y deducir así el porcentaje en pérdida de peso.

En las piedras de Somió, al comenzar el sexto ciclo de cristalización se desmoronaron las cinco probetas ensayadas. El desmoronamiento es indicador de la bajísima resistencia de la roca y conlleva la imposibilidad de realización de la medida de la pérdida de material final. Aun así, la pérdida visible en todas las muestras durante esos ciclos fue notoria (fig. 3a).

Por el contrario, la piedra de Tazones soportó perfectamente los diez ciclos y no sólo no ha sufrido poca pérdida de material, sino que algunas de las probetas ensayadas sufrieron un incremento positivo de masa al depositarse permanentemente las sales en el interior de sus poros.

En la tabla III se recogen los porcentajes de pérdida de material para una y otra variedad en este ensayo.

TABLA III
Ensayo de cristalización de sales

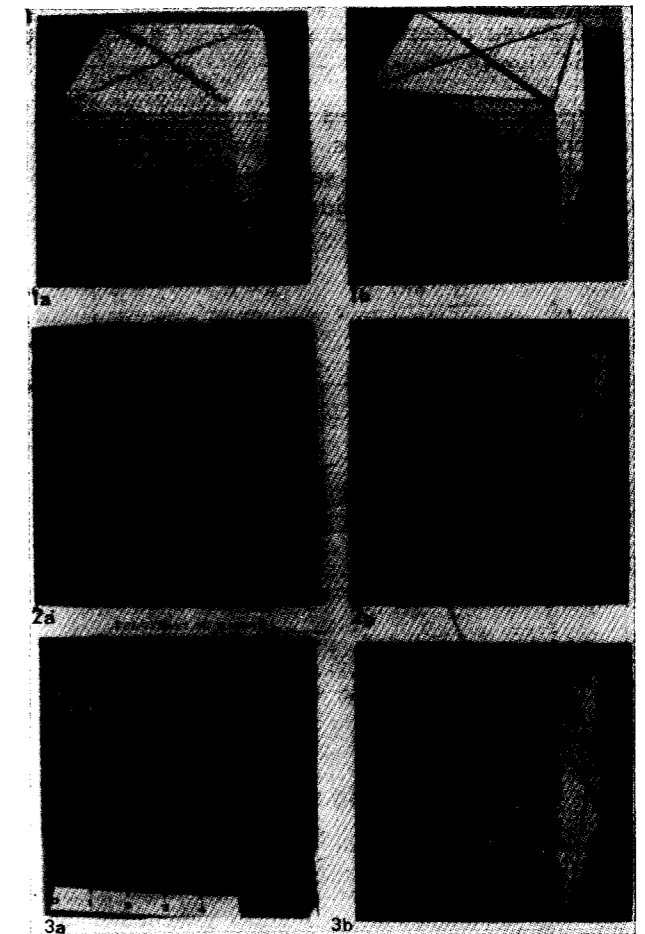
Variedad rocosa	Pérdida de masa (%)	
	Ciclo n.º 5	Ciclo n.º 10
Somió D	2,11	(desmoronamiento)
Tazones E	0,29	0,34

Comparando dichos porcentajes se ve, ya antes del desmoronamiento de las probetas de Somió, que en éstas la pérdida de masa es mucho mayor,

unas siete veces. En cuanto a la forma, los cubos de arenisca de Tazones apenas si han variado y sólo se observa un pequeño desgaste de los vértices y en ocasiones en alguna arista. Estas variaciones aparecen a partir del ciclo 5-6; a partir del ciclo 8-9 se observan pequeñas descascarilladuras en las caras de todas las muestras, pero de un tamaño muy reducido (1 mm.), según puede apreciarse en la figura 3b.

INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS: CONCLUSIONES

Las respuestas a la acción de los ensayos están bien diferenciadas para cada variedad rocosa. La



Figuras 1 a 3.— Aspecto de las probetas de la variedad Somió (izda) y Tazones (dcha.), finalizados los ensayos de: humedad-sequedad; heladicidad y cristalización de sales respectivamente.

sódico al 15 por 100 de concentración durante cinco horas a temperatura ambiente.

— Se pusieron a secar en una mufla, previamente calentada, a 70° C y posteriormente a 103±2° C durante dieciocho horas.

— Se dejaron enfriar en el desecador unas dos horas.

Estos tres pasos completan un ciclo; se repitieron 10 ciclos, considerados como suficientes para emitir una correcta evaluación del ensayo.

Terminados los ciclos de ensayo, las muestras deben dejarse en agua doce horas para hacer desaparecer las sales, a continuación se secan y pesan con el fin de comparar este peso con el inicial y deducir así el porcentaje en pérdida de peso.

En las piedras de Somió, al comenzar el sexto ciclo de cristalización se desmoronaron las cinco probetas ensayadas. El desmoronamiento es indicador de la bajísima resistencia de la roca y conlleva la imposibilidad de realización de la medida de la pérdida de material final. Aun así, la pérdida visible en todas las muestras durante esos ciclos fue notoria (fig. 3a).

Por el contrario, la piedra de Tazones soportó perfectamente los diez ciclos y no sólo no ha sufrido poca pérdida de material, sino que algunas de las probetas ensayadas sufrieron un incremento positivo de masa al depositarse permanentemente las sales en el interior de sus poros.

En la tabla III se recogen los porcentajes de pérdida de material para una y otra variedad en este ensayo.

TABLA III

Ensayo de cristalización de sales

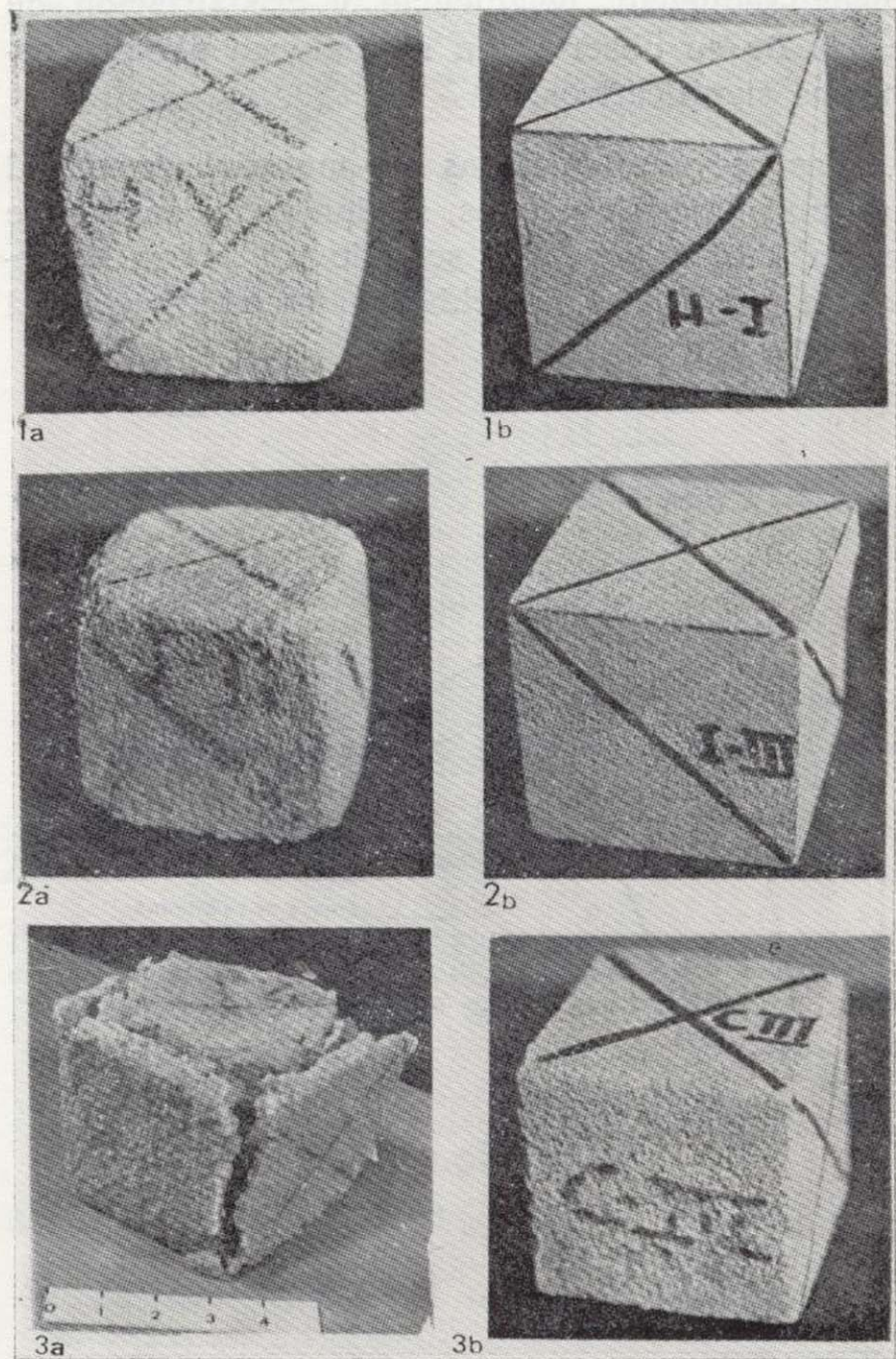
Variedad rocosa	Pérdida de masa (%)	
	Ciclo n.º 5	Ciclo n.º 10
Somío D	2,11	(desmoronamiento)
Tazones E	0,29	0,34

Comparando dichos porcentajes se ve, ya antes del desmoronamiento de las probetas de Somió, que en éstas la pérdida de masa es mucho mayor,

unas siete veces. En cuanto a la forma, los cubos de arenisca de Tazones apenas si han variado y sólo se observa un pequeño desgaste de los vértices y en ocasiones en alguna arista. Estas variaciones aparecen a partir del ciclo 5-6; a partir del ciclo 8-9 se observan pequeñas descascarilladuras en las caras de todas las muestras, pero de un tamaño muy reducido (1 mm.), según puede apreciarse en la figura 3b.

**INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS:
CONCLUSIONES**

Las respuestas a la acción de los ensayos están bien diferenciadas para cada variedad rocosa. La



Figuras 1 a 3.— Aspecto de las probetas de la variedad Somió (izda) y Tazones (dcha.), finalizados los ensayos de: humedad-sequedad; heladicidad y cristalización de sales respectivamente.

variedad Somió sufre pérdida de material en los tres tipos de ensayos de una manera significativa, lo cual indica su sensibilidad tanto al agua como al hielo, como a la cristalización de sales, en orden creciente. Esto puede dar idea de su alta alterabilidad futura, por lo que una roca con parecidas características intrínsecas tendrá una baja resistencia frente a los agentes de meteorización. La variedad Tazones, por el contrario, se comporta de un modo muy resistente incluso frente al ensayo más disruptivo, el de cristalización de sales, del mismo modo puede asegurarse su alta resistencia a la meteorización prolongada. Es una roca con una baja alterabilidad.

En la figura 4 se relacionan el número de ciclos con los porcentajes de pérdida de masa de las variedades Somió y Tazones para los ensayos humedad-sequedad, heladicidad y cristalización de sales. De su observación se deducen algunos aspectos significativos:

Las mayores pérdidas de material, frente al mismo número de ciclos, se dan en el ensayo de cristalización de sales, seguido en orden decreciente por el de heladicidad y humedad-sequedad respectivamente.

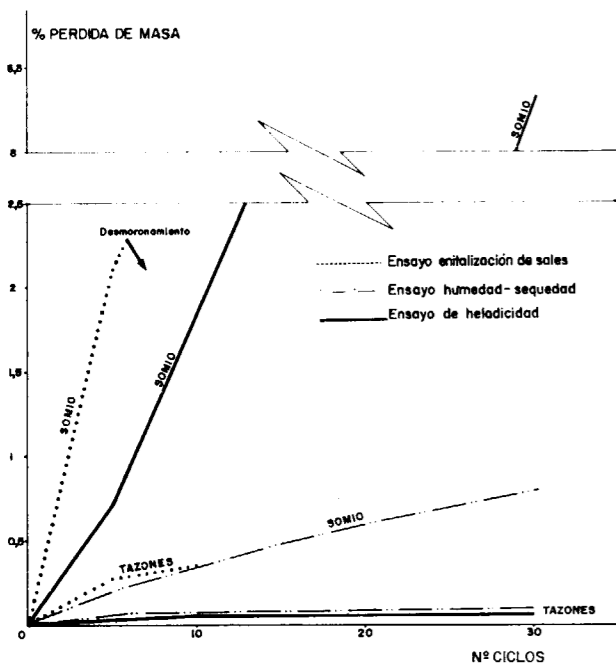


Figura 4.—Relación entre número de ciclos y porcentaje de pérdida de masa para los diferentes ensayos de alterabilidad que se han realizado.

Comparando en la figura 4 los ensayos de heladicidad y humedad-sequedad se constata que las diferencias de pérdidas de material entre Somió y Tazones son mucho más acusadas en el ensayo de heladicidad. Por otra parte, se observan dos tendencias ligeramente diferenciadas en la evolución de la pérdida de masa. Mientras en el ensayo de heladicidad hay tendencia a un aumento progresivo de dichas pérdidas a medida que transcurren los ciclos, en el de humedad-sequedad la variación es más o menos constante, por lo que se deduce que una alternancia hielo-deshielo tiende a producir daños cada vez mayores, mientras que en el caso de los cambios de humedad el incremento del deterioro es constante.

Por lo que respecta al ensayo de cristalización de sales, también en la figura 4 se observa cómo, ya desde los primeros ciclos, las pérdidas de masa en la variedad Somió van alcanzando valores mucho más elevados respecto a los otros tipos de ensayos, lo que sucede hasta el momento de su desmoronamiento, al comienzo del ciclo sexto. La variedad Tazones también sufre mayores pérdidas de material en comparación con las producidas en los otros ensayos.

Así pues, y según los ensayos de alterabilidad llevados a cabo ha quedado demostrado que el deterioro físico de las areniscas de Somió y Tazones, piedras correspondientes al mismo tipo petrográfico y extraídas de la misma formación geológica, es distinto. Las causas de este diferente comportamiento debe atribuirse fundamentalmente a aspectos texturales, descritos detalladamente en ESBERT y VALDEÓN, 1984. Así, son las diferencias en cuanto a granulometría, disposición de la matriz arcillosa y tamaño y distribución de los poros, las responsables del diferente comportamiento frente a los ensayos realizados (ESBERT et al., 1984).

Las piedras de Somió presentan mayor heterometría granular que las de Tazones, debido, tanto al hecho de poseer una gama más amplia de tamaños de grano como a la existencia de un mayor porcentaje de granos de mayor tamaño en detrimento de los de tamaño más pequeño.

Hay diferencias también en la distribución de la matriz filossilicatada. Es muy regular y uniforme en la variedad Tazones; en las piedras de Somió se distribuye de forma más irregular, con zonas con gran cantidad de matriz y otras con

ausencia casi total, en éstas la mayor parte de granos minerales tienen contactos directos.

Por último, las diferencias existentes en el espacio poroso resultan fundamentales a la hora de interpretar los diferentes comportamientos frente a los ensayos de alterabilidad. Aun siendo las dos variedades esencialmente microporosas, tabla V, en Somió un elevado porcentaje de su microporosidad corresponde a poros cuyos radios de acceso oscilan entre 0,037 y 3,7 μm (fig. 5, 1). En la piedra de Tazones un porcentaje elevado de su microporosidad es atribuible a poros con radios de acceso sensiblemente mayores que en el caso anterior, entre 0,3 y 7,5 μm , presentando asimismo porcentajes de macroporosidad superiores a los de la piedra de Somió (fig. 5, 2).

TABLA V

Valores obtenidos en los ensayos de porosimetría de mercurio

Variedad rocosa	Porosidad		
	abierto (no) (%)	Microporosidad (%)	Macroporosidad (%)
Somío	13,5	13,05	0,5
Tazones	10,6	9,5	1,1

Estos hechos condicionan en gran medida la vulnerabilidad de la piedra de Somió, puesto que cuanto menor es el diámetro de los poros que configuran el espacio poroso mayores serán los esfuerzos que las paredes de los mismos tendrán que soportar cuando los fluidos, por ejemplo, el agua, que eventualmente se encuentran ocupando los espacios vacíos del material, pasen la fase líquida a hielo (WALKER et al., 1968), o cuando tenga lugar el fenómeno de cristalización de sales anhidras o hidratadas; tendiéndose en todos los casos a la creación de nuevos espacios vacíos por donde los fluidos encontrarán nuevas vías de acceso facilitando, finalmente, el desmoronamiento de la roca.

AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica que contribuyó al soporte económico del trabajo (Proyectos 4446-79 y 2573-83).

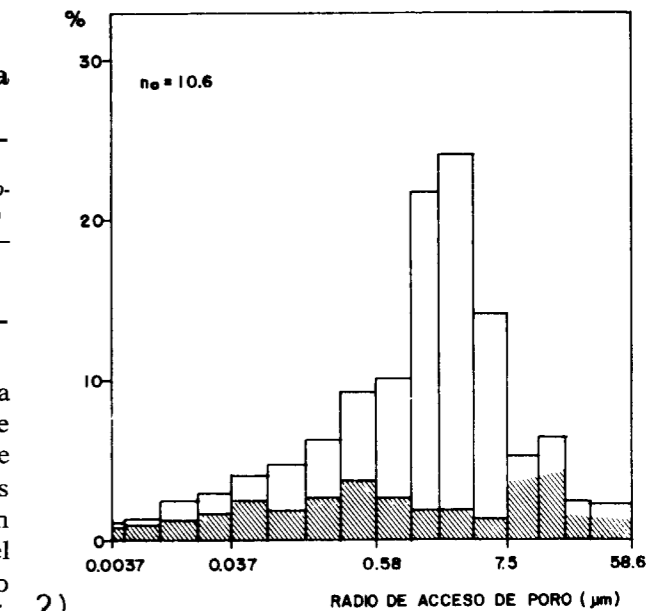
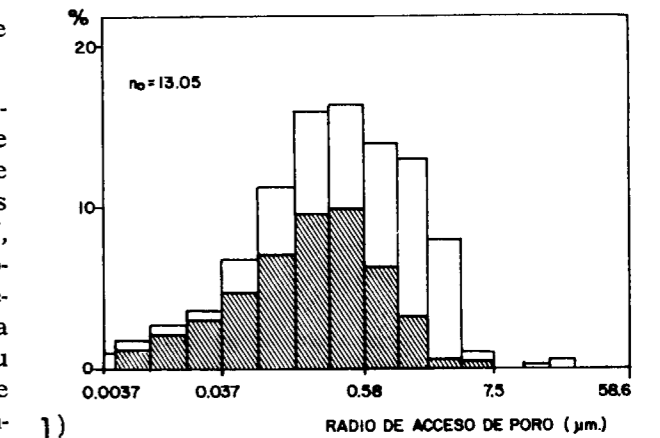


Figura 5.—Variación del volumen de poros penetrados por el mercurio, en relación con el radio de acceso de los mismos, en las piedras de Somió 1) y Tazones 2).

BIBLIOGRAFIA

ACCARDO, G.; MASSA, S.; ROSSI-DORIA, P.; SAMMURI, P., y TABASSO, M.: *Artificial weathering of Carrara Marble: Relationships between the induced variations of some physical properties.* The Conservations of stone, II, Proc. of the Int. Symp., Bologna, October 1981, ed. by R. Rossi Manaresi, pp. 243-273 (1981).

BELIKOV, B. P.; ZALESSKII, B. V.; ROZANOV, Y. A.; SANINA, E. A., y TIMCHENKO, I. P.: *Methods of studying the physico-mechanical properties of rocks.* En Physical an me-

- chanical properties of rocks. Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, pp. 1-58 (1967).
- DUNN, J. R., y HUDEC, P. P.: *The Influence of clay on water and ice in rock pores*. Physical Research Report. RR 65-5, New York State Dep. of Public Woks (1965).
- ESBERT, R. M., y VALDEÓN L.: *Estudio petrofísico de las areniscas del Palacio de Revillagigedo de Gijón (Asturias)*. Materiales de Construcción, núm. 194. Inst. Eduardo Torroja. CSIC, Madrid, 12 pp. (1984).
- ESBERT, R. M.; ORDAZ, J.; ALONSO, F. J., y VALDEÓN, L.: *Influencia de las características petrográficas en la durabilidad de areniscas utilizadas en monumentos*. I Congreso Español de Geología. Segovia, abril 1984, T. II, pp. 921-931 (1984).
- GERARD, R.: *Trois méthodes d'essai de géivité récemment normalisées en Belgique*. Proc. of the Int. Symp. on Détérioration and Protection of Stone Monuments, Paris, June 1978, T. I, 3-2, 18 pp. (1978).
- INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICKS (I. S. R. M.): *Comission on Standardization of Laboratory and Field Test*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 16, núm. 2, april. Pergamon Press, pp. 143-156 (1979).
- MARSCHNER, H.: *Application of salt crystallisation test to impregnated stones*. Proc. of the Int. Symp. on Détérioration and Protection of Stone Monuments, Paris, June, 1978, T. I, 3-4, 16 pp. (1978).
- NIESEL, K.: *L'evolution de la disminution de la masse comme base pour l'evaluation de l'essai de cristallisation*. Proc. of the Int. Symp. on Détérioration and Protection of Stone Monuments, Paris, June 1978, T. I, 3-4, 16 pp. (1978).
- ORDAZ, J.: *Estado de alteración y alterabilidad futura de la piedra de Villamayor en los monumentos salmantinos*. (Memoria inédita), Departamento de Petrología y Geoquímica, Universidad de Oviedo, 111 pp. (1982).
- PRICE, C. A.: *The use of the sodium sulphate crystallisation test for determining the weathering resistance of untreated stone*. Proc. of the Int. Symp. on Détérioration and Protection of Stone Monuments, Paris, June 1978, T. I, 3-6, 23 pp. (1978).
- WALKER, R. D.; PENCE, H. J.; HAZLETT, W. H., y ONG, W. J.: *One cycle slow-freeze test for evaluation aggregate performance in frozen concrete*. National Cooperative Highway Research Program Report, 65, 21 pp. (1969).

Recibido: Julio 1985.

INFORMACION

Mineros destacados del Siglo XVIII Timoteo Alvarez de Veriña y Cardecha

Por JUAN MANUEL LOPEZ DE AZCONA

Nace en Gijón (1779) Timoteo Alvarez de Veriña y Cardecha, destaca en los primeros estudios y pronto conquista la simpatía de su paisano Gaspar Melchor de Jovellanos (1743-1810), quien lo toma bajo su protección; por esta razón, la mejor fuente para seguir sus primeros años de formación la encontramos en el diario del estadista. Lo considera como un posible alumno aventajado para el «estudio de mineralogía», que había promovido (R. C. de 24 de agosto de 1792) y está decidido a incluirlo (7 de diciembre de 1793) entre sus futuros alumnos. La primera información concreta (11 de diciembre de 1794) se refiere al excelente examen de inglés, no así en el certamen del mismo idioma (17 de noviembre de 1795). Realizó muy bien el dibujo, obteniendo con la cámara oscura (15 de enero de 1796) magníficas representaciones, demostrando la buena disposición para el dibujo. Con estos antecedentes, le aconseja su protector se incline hacia las matemáticas y el dibujo, y Timoteo decide seguir esta sugestión. Inicia la geometría práctica (3 de febrero de 1796), sus dibujos parecen superiores (9 de junio de 1796); en los dibujos con modelos en bulto, trata de obtener el de una silla (28 de junio de 1796) y no le sale muy bien (4 de julio de 1796). En matemáticas va superior (2 de julio de 1796); en los exámenes de esta ciencia (27 de julio de 1796) logra su «cartón menor», exponen sus dibujos (24 de septiembre de 1796), realiza traducciones del francés (3 de noviembre de 1796), inicia los dibujos con modelos de yeso, comenzando por el pie de Sileno (18 de noviembre de 1796) y empieza un repaso a la lengua inglesa (9 de mayo de 1797).

Alvarez está próximo a finalizar su formación en Gijón y programa Jovellanos enviarlo fuera del Reino para ampliar conocimientos (11 de mayo de 1797) en un «estudio de mineralogía» (17 de mayo de 1797) y trata de su pensión (22 de mayo de 1797). Los asuntos se complican (26 de julio de 1797), no conoce el alemán. Estamos en plena guerra contra Alemania y decide su protector mandarlo a Francia para el estudio de teórica durante tres años en París y pase luego a la práctica, por dos años, a Lieja o a Limburgo, o a algún otro territorio carbonero de la República. Se examina de cálculo integral (18 de agosto de 1797) y recibe la noticia de la concesión de una pensión de 12.000 reales (21 de agosto de 1797), última mención de este alumno predilecto en el diario de Gaspar de Jovellanos.

Durante la pensión en París (iniciada en 1804) estudió alemán, y después de dominarlo pasó a la Real Academia de Freiberg, incorporándose a la promoción de 1808 con el número 705 de la relación general de alumnos oficiales.

Cuando regresó a España había fallecido Jovellanos; no es de su agrado el ambiente político, ni el profesional, momento difícil de situarse; desempeñó destinos de poca importancia hasta su nombramiento (1813) de director de las fábricas y minas de plomo de Almería, pasando (1824) con el mismo cargo al establecimiento de Linares.

Cuando permanecía en Almería, el «Norte Constitucional» (24 de noviembre de 1822), en plan demagógico, pretendió demostrar los derechos de los mineros a la propiedad del subsuelo, las franquicias que debían concederse a sus productos, las vejaciones por parte de la Administración, las ventajas de una libertad indefinida, etcétera. También se había hecho una campaña contra Veriña como representante de una situación derrocada, y fiel ejecutor de disposiciones que el espíritu liberal, anhelaba ver abolidas. A esta campaña responde Veriña con un opúsculo de 26 páginas muy bien preparado (Granada, 1823), defendiéndose de los cargos contra él y razonando que, según la Ley de Minas (22 de junio de 1821), el dominio de las minas es de la Nación, representada por el «Crédito público», y que el verdadero interés de los mineros está en una Administración próspera, justa y bien combinada en todas sus ramificaciones. La buena impresión producida por este fascículo promovió su traslado a Linares.

Lo trató Fausto de Elhuyar y de Súbice (1755-1833), le causó buena impresión, reconoce su actividad, valer y rectitud para proponerlo como colaborador en su proyecto de actualización de la legislación minera, lo tiene presente en la aplicación del Real Decreto (4 de julio de 1825) y de la instrucción complementaria (18 de diciembre de 1825) y lo propone y es nombrado Primer Inspector General (18 de septiembre de 1826), con la asignación anual de 30.000 reales, o sea, el número 2 (el número 1 fue Elhuyar) del escalafón inicial de la Dirección General de Minas, transformado pocos años después en escalafón del Cuerpo de Ingenieros de Minas. Ambos ingenieros ponen en marcha la Dirección General, organizan la enseñanza, el Inspector General se adapta plenamente y compenetra con el Director General, trabajan como compañeros y amigos. Cuando las fuerzas de Elhuyar comienzan a flaquear (1831), allí está Veriña para ayudarlo y aligerarle en sus trabajos y preocupaciones. Fallece Elhuyar (6 de enero de 1833) y Veriña lo reemplaza como Director General y Director de la Escuela de Minas. Última la preparación del Real Decreto (21 de septiembre de 1833) de creación del Real Cuerpo Facultativo de Minas, iniciado por Elhuyar. Su valiosa labor no destaca por haber actuado como segundo de la Dirección General.

Casado con María del Carmen Gallego, e impresionados por el fulminante óbito de Elhuyar, desean poner sus asuntos en orden y testan (3 de mayo de 1833) ante el escribano de S. M. Manuel de Reses, legándose sus bienes mutuamente, con posterior paso, al fallecimiento de ambos, a sus hijas María del Carmen y María Luisa Alvarez y Gallego. La epidemia de cólera alcanza en la corte virulencia inesperada; son muchos los fallecimientos diarios en Madrid por esta enfermedad, entre ellos Alvarez de Veriña (6 de agosto de 1834), quien muere ejemplarmente en el domicilio de la Dirección General, calle del Florín, número 1, de la Feligresía de San Sebastián, siendo enterrado en el cementerio extramuros de la Puerta de Toledo.

Pocos días después se indispone su esposa María del Carmen, quien lo había atendido con todo cariño; testa ante el escribano Manuel Martínez (19 de agosto de 1834) legando todos los bienes a partes iguales entre sus dos hijas, y fallece al día siguiente, miércoles 20 de agosto, siendo sepultada el jueves al lado de su esposo.

Siempre fue Veriña modesto, inteligente y activo, premiado en varias ocasiones y galardonado por S. M. con las órdenes de Isabel la Católica y Carlos III, las cuales aparecen sobre su uniforme de Director General de Minas en el retrato de la galería de cuadros del desaparecido Consejo Superior de Minas y Metalurgia, como fundador del Real Cuerpo Facultativo de Minas.



Madrid a ocho de Agosto de 1834
veintinueve de mil seiscientos treinta y tres.

Timoteo Alvarez
de Veriña

COMENTARIO

Con esta biografía de Veriña, finalizamos la primera serie, de dieciocho mineros destacados españoles, naturales o de adopción, nacidos durante el siglo XVIII. Hubo más, pero por falta de datos, para escribir sus biografías, no pudimos preparar informaciones completas, como es el caso del irlandés de nacimiento y español de corazón Guillermo Bowles (1714-1780), a quien «toda España le parecía un infierno, reina la estupidez, ningún español tiene o ha tenido crianza...»; se transforma su opinión a los pocos meses de estar en España, y falleció en Madrid, como un español entusiasta, después de vivir treinta años en nuestro país.

Las biografías publicadas son de: Hening Carl Koeler (17...-1757), Antonio Ulloa y de la Torre Giral (1716-1795), Manuel Cristóbal Storr (17...-1802), Juan Martín Hoppensak (17...-1815), José de Elhuyar y de Súbice (1754-1796), Fausto Fermín de Elhuyar y de Súbice (1755-1833), Francisco Carlos de la Garza (1757-1832), Diego de Larrañaga y Gárate (1760-1814), Andrés Manuel del Río y Fernández (1764-1832), José de Larrañaga y Arambarri (1773-1859), Rafael Cabanilles y Malo (1778-1853), Timoteo Alvarez de Veriña (1779-1834), Fernando Sánchez Caravantes y Méndez (1788-1850), Joaquín Ezquerria del Bayo (1793-1859), José Duro y Garcés (1796-1855), Casiano del Prado y Valle (1797-1866), Francisco de Luxan y Miguel Romero (1798-1867), Guillermo Schulz y Schweizer (1800-1877).

Hemos iniciado la publicación de la segunda serie, de las 50 en preparación, correspondiente a los nacidos durante el siglo XIX. Hasta la fecha, se han publicado las tres

siguientes: Lorenzo Gómez Pardo y Enseñat (1801-1847), Felipe Bauza y Rábaxa (1802-1875) y Luis de la Escosura y Morroch (1821-1904).

En las biografías en preparación figuran las de los diez nombres esculpidos con letras de oro en el aula magna de la Escuela de Minas, las de los veintiséis de las dos lápidas del vestíbulo del Instituto Geológico y Minero de España, Directores de la Escuela de Minas, Presidentes de la Junta Superior Facultativa de Minas, Directores del Instituto Geológico, miembros numerarios de las Reales Academias Nacionales, y, en general, mineros destacados en la ciencia o en la industria.

Anteriormente hemos publicado (1972) en los Anales de la Real Academia de Farmacia la serie «Farmacéuticos titulados de Minas del siglo XIX», formada por trece biografías, de alumnos pertenecientes a las promociones de minas de los años 1828, 1829, 1831, 1833, 1841. Algunos de ellos prestaron como analistas ayudas importantes, desde su rebotica, para hacer realidad o desvanecer ilusiones de los buscadores mineros. Las biografías pertenecen a: Lorenzo Gómez Pardo y Enseñat (1801-1847), Pablo Prolongo y García (1806-1885), Pío Usera y Alarcón, Bernardo Pablo Moratilla y López (1809-1863), Manuel Segundo y González, Amalio Maestre e Ibáñez (1812-1872), Antonio Suárez Gadañón, Antonio Casares Rodríguez (1812-1888), ilustre geoquímico, introductor en España del análisis espectroquímico; Pedro María Rodríguez y Jiménez (1813-1887), Antonio Marqués, Manuel de Ríoz y Pedraja (1815-1887), promotor en España de la química biológica, Académico numerario de la Real Academia de Ciencias de Madrid; Dimas Julián Muñoz y José Julián Bruño y Peña (1816-1867).

La minería Alpujarreña en la primera mitad del siglo XIX

Capítulos 9, 10 y 11

Por G. NUNEZ ROMERO-BALMAS
Universidad de Granada

9. SIGNIFICADO ECONOMICO DE LA MINERIA ALPUJARREÑA

Para el estudio general de la minería alpujarreña en la primera mitad del siglo XIX contamos con una fuente privilegiada en los protocolos notariales. Sus colecciones forman series muy importantes de voluminosos tomos que se remontan en algunos casos a los primeros tiempos del establecimiento cristiano. En ellos yace la historia económica y social de aquellos pueblos y aún esperan quien les dedique años de estudio para reconstruir definitivamente la historia de la región. En nuestro estudio hemos estudiado los protocolos procedentes de las escribanías de Berja, en el segundo cuarto del siglo XIX, conservados todos ellos en muy buenas condiciones en el Archivo Histórico Provincial de Almería, colección que ha sido recientemente ampliada hasta 1880 con fondos que anteriormente se conservaban en las mismas notarías de la zona. Hemos seleccionado para el estudio una serie de años distribuidos a lo largo de la etapa de apogeo y gradual decadencia del segundo cuarto del siglo, pues los del primero contienen muy poca o ninguna información sobre las minas; en cambio, desde 1825 proliferan las inscripciones que a ello se refieren y su papel como fuente histórica alcanza gran importancia.

La información notarial nos permite en particular esclarecer dos puntos importantes y que hasta ahora muy poco han sido conocidos a través de las fuentes literarias y estadísticas convencionales. Por un lado, nos hablan del funcionamiento económico de las minas, de su inserción en los patrimonios y de su evolución; del comportamiento incluso de mineros e inversores y de su filosofía económica y empresarial. Por el otro, nos dice también del uso que se hizo de los productos y de cómo actuaron los beneficiarios de aquel río de plomo que inundó las Alpujarras con escaso provecho, según se deduce de la situación actual. Uno y otro tema podrán aclararnos, o al menos contribuirán a ello, las razones del fracaso, las actitudes ante la crisis y los procesos resultantes del estímulo histórico-económico de la Sierra de Gádor sobre la vida de toda la región.

La organización de la explotación, la formación de las

empresas, aparece ahora con claridad, mientras que las fuentes conocidas anteriormente lo dejaban totalmente de lado. Parece ser que fueron muy pocas las minas explotadas por un solo individuo, al menos desde 1830; conocidos ya los peligros de la actividad minera, especialmente acusados en nuestra región, cuando un experto descubría un yacimiento o cuando creía conveniente denunciar otro ya existente y abandonado para restaurar la explotación, entonces constituía una compañía ante notario, que nunca contaba con menos de los tres socios previstos por la Ley y sí muchos más; la media de socios de las compañías que hemos conocido alcanza el número de 13 participantes.

Las necesidades de capital eran muy reducidas y los riesgos de que por problemas económicos se perdiera la parte desembolsada y los derechos y opciones pertinentes eran también exigüos; reunidos los socios se obligan en escritura pública a atender los gastos de la explotación, pero no aportan inmediatamente un capital determinado; ya dejamos dicho que las necesidades de capital fueron mínimas y muy dosificadas, y esto lo confirma plenamente; al final de cada varada de explotación se hacían repartos de beneficios o gastos según como se hubiera presentado la explotación; si ésta no hubiera dado en metal, se abonaban los gastos proporcionalmente y el pozo era entonces valorado en función de los pagos desembolsados. Así las pocas ventas realizadas en estas condiciones especifican que el precio se ajustaba a los gastos adelantados; pero si la mina hubiera ya alcanzado los hilos y bolsadas de mineral y ni siquiera entonces la explotación fuera rentable —lo cual un año con otro era moneda corriente en muchas minas—, ni siquiera para los pequeños capitalistas faltos de liquidez era causa de que perdieran sus derechos ni corrían mayores riesgos, sino que podían, y efectivamente lo hacían a menudo, enajenar la mitad de su participación a cambio de que el adquirente se comprometiera a cargar con los gastos de la fracción completa.

La constitución de las compañías mineras muestra clara tendencia a aprovechar las sólidas estructuras de paren-

tela propias de la Alpujarra (216). Son raras las compañías en donde dejamos de encontrar varios apellidos repetidos, y ello sin contar con las vinculaciones por afinidad, también presentes en los casos en que nuestro exiguo conocimiento de las genealogías birgitanas nos lo permite. La compañía de la mina de Santa Elena, constituida en 1837, en 29 de noviembre, pudiera ser el caso más caracterizado de concentración familiar, ya que la mitad de los ocho accionistas están emparentados; el matrimonio de José Sevilla e Isabel López participa en la empresa, así como su hijo y nieto, especificándose de este último que es menor de edad; entre todos reúnen la mitad de las acciones. También es típica la composición de la compañía que explotó el pozo de la Misericordia, constituida el 18 de diciembre del mismo año; en ella se reparten casi por mitades las acciones entre un grupo de birgitanos y alhameros, con la participación de Francisco y Antonio Moral, de Dalías. En términos generales hay un gran número de apellidos que se repiten en Berja, como López, Sánchez, Moral, Sevilla, Gallardo, Vázquez, Cabrera, Llorca, Salmerón, González, García, Pérez, Chacón; también abundan entre los citados apellidos las interconexiones como Vázquez Gallardo, Oliver Herrera, Sevilla López, Espinosa Salmerón, etc. Una situación hasta cierto punto anómala es la que ofrece la compañía de la mina de la Violeta, constituida en 1836, en 31 de mayo, y en ella vemos representados a la aristocracia (Gnecco, Trell), a lo que podríamos llamar «alta burguesía» (Chacón, Roda Guillén, Godoy) y a gentes de fuera de la región (Martínez Dueñas, de Guadix, y Miguel de Roda, de Granada). En este marco familiar la participación de las mujeres es relativamente amplia; mujeres y viudas son propietarias de acciones, participan en nuevas empresas y tienen en general los mismos derechos y capacidades que los hombres.

Relacionado con lo anterior pudiera estar el que en muchas escrituras de constitución de compañías mineras se penaliza a quienes se incorporan a las mismas por compra; en muchas de ellas se reservan los derechos políticos en la empresa que se crea a los socios fundadores, entre quienes existía desde el principio una identidad de ideas y una proximidad personal: al extraño que pudiera adherirse se le priva de la capacidad de gestión, de todo derecho de intervención aparte de los puramente económicos. Acaso por que pudiera representar un elemento de distorsión para el sólido grupo familiar/vecinal que le dio origen.

La actividad minera tuvo para los alpujarreños un carácter marginal y anómalo que ellos mismos fomentaron, conscientes de la eventualidad del beneficio y del carácter depredador de la actividad. Ruiz de León los describe ágilmente, resultando que «es un hecho notorio (...) que una mina, por muy rica que sea, no se considera aquí como alguna otra finca. Es una riqueza, sí, y una riqueza muy apetecida por el ejemplo visible de tantas familias que han pasado de la miseria a la opulencia; pero una

(216) NAVARRO ALCALÁ-ZAMORA, P.: *Mecina. La cambiante estructura social de un pueblo de la Alpujarra*. Madrid. Centro de Investigaciones Sociológicas, 1979, p. 91 y ss. Expresa la fuerza e importancia económica de los sistemas de parentela y vecindad, que llegan a ser las relaciones sociales y económicas básicas de estas poblaciones tradicionalistas.

riqueza efímera y perecedera, riqueza que es necesario agotar por minutos, con la que no se debe contar hasta que esté reducida a dinero metálico y realizada» (217). En los protocolos se refleja de modo óptimo esta situación en el tratamiento que reciben las minas en las transmisiones sucesorias; en los cuadernos de partición se enumeran las minas o acciones poseídas por el causante, pero no se las valora ni consecuentemente se suma su importe al caudal sucesorio; a continuación son asignadas nominalmente en el reparto o, lo que es más frecuente, se divide la acción en tantas partes como herederos y a cada uno se le asigna una parte alícuota en cada mina; de esa manera la participación en la lotería minera es compartida por igual por los sucesores y se mantiene la estructura patrimonial que presidió las actitudes del causante.

Se ha hablado en muchos casos de la irracionalidad de la minería alpujarreña, lo cual es en cierta medida verdadero; se pudiera pensar que con muchas y pequeñas minas sólo la improvisación y la irregularidad pudieran existir. Antes al contrario, los patrimonios que descubre en los cuadernos de partición y las actitudes reflejadas en las constituciones de compañías nos muestran una filosofía patrimonial coherente y no falta de racionalidad; el principio de diversificación del riesgo vetaba el que un solo propietario corriera con una sola mina completamente a su cargo; antes al contrario, se procuraba dividir el riesgo entre 10 ó 12 partes que representaban una fracción reducida a la hora de repartir los gastos en la masa de sus respectivos patrimonios. En cambio, cada propietario poseía fracciones en diversas minas antiguas y recientes, con lo cual cuando unas estuvieran alcanzando el final de su vida útil, otras comenzarían a rendir regularmente y otras estaban aún en estado de exploración; de esta manera el patrimonio en su conjunto se mantenía con cierta regularidad y a largo plazo por encima de la discontinuidad de la explotación de cada pozo en particular. El problema que más adelante se planteó fue el que las zonas más ricas e importantes fueron las más tempranamente descubiertas y explotadas sin pausa desde 1820; una vez parceladas y distribuidas la Loma del Sueño, el Pecho de las Lastras y el Collado de Balsa Nueva, la explotación continuó su expansión con resultados decrecientes y cada vez más aleatorios. Una fracción creciente de los pozos intentados desde 1830 fueron resultando improductivos o al menos poco rentables, por lo que en muchos casos los mineros reinvirtieron con pérdidas los beneficios de sus minas; los rendimientos decrecientes son evidentes y el empobrecimiento no fue sólo paralelo al descenso de las utilidades, sino que se multiplicó por estar enterrando importantes cantidades en dinero y esfuerzos en minas no productivas. El fenómeno es hasta cierto punto natural; espoleados los mineros con la posibilidad de acertar y de enriquecerse rápidamente, proseguían sus pesquisas mucho más allá de lo que la naturaleza ofrecía. Es muy probable que si hubieran contado con posibilidades alternativas de inversión el fenómeno hubiera alcanzado menor incidencia y que las ganancias se hubieran reinvertido más afortunadamente.

(217) RUIZ LEÓN, J.: «Consideraciones sobre la minería de la Sierra de Gádor», en *Revista Minera* núm. II, 1851, página 450.

A falta de una economía globalmente desarrollada, los más afortunados o los mejor orientados dirigieron sus excedentes hacia la tierra, cuyos precios crecieron desmesuradamente hasta llegar a pagarse entre 600 y 1.000 reales el celemin de tierra de riego (entre 11 y 18.000 reales la hectárea). Las familias que entonces lograron asentar su patrimonio y que aún cuentan por su riqueza en la ciudad (Roda, Barrionuevo, Lupión, Oliver, Joya, Villalobos, Gallardo, etc.) lo hicieron a través de la gradual adquisición de tierras que permanecieron sólidamente en sus patrimonios cuando se abandonaron las minas y pasó la euforia.

Es claro que no fueron los mineros en su conjunto quienes se beneficiaron del auge económico; antes bien se consumieron en pozos poco rentables fortunas amasadas en los años mejores y en los parajes más favorables. En cambio, el Estado obtuvo grandes rendimientos líquidos, y de entre los particulares también amasaron y consolidaron sus fortunas aquellos comerciantes y especuladores que sólo marginalmente participaron en la actividad minera y en cambio se beneficiaron de la demanda acrecentada y de los precios inflados. Los fundidores y pequeños comerciantes, ligados de cerca al sino de la minería, sufrieron en muchas ocasiones la presión convergente de los mineros coaligados y de los grandes comerciantes. Los comerciantes de otros ramos se beneficiaron, en cambio, especialmente cuando sus buenas relaciones les permitían encargarse del surtido de las minas y del abastecimiento de los mineros, obteniendo así beneficios líquidos, rápidos y mucho más seguros que los de los propios mineros; asimismo, los arrieros y trajinantes encontraron en esta ocasión una actividad continua y estuvieron en condiciones de formar capitales, algunos importantes, sólo mediatizados por la carestía de las bestias de carga. También los prestamistas o banqueros debieron obtener ingentes beneficios adelantando cantidades muchas veces contra garantías reales (propiedades rústicas); se observa entre ellos una cierta especialización y figuran en su nómina apellidos pronto consolidados por la adquisición sistemática de tierras, el arrendamiento de rentas públicas y los negocios, préstamos y especulaciones diversas. Entre ellos destacaron personajes como Marcelo Valdivia, José Manuel Lupión, Manuel y Francisco Olivares, José del Moral Cuesta, Juan García Barrionuevo, José Gutiérrez Joya, Antonio de Joya Enríquez y José de la Joya Velasco. Nos encontramos en el momento de consolidación de la burguesía de la zona, que sólo indirectamente extrajo sus capitales de la minería, sino del estímulo proporcionó a toda la sociedad de su periferia más inmediata.

Los protocolos nos proporcionan también información de gran importancia sobre un par de aspectos importantes. En su momento dijimos que los pleitos proliferaron, pero que los mineros alpujarreños procuraron evitarlos en lo posible a través de todo tipo de avenencias. Para ello el caso más típico y el documento notarial más particular fue el «trueque estimatorio». Por medio de dicho negocio ponían en común las minas limítrofes en litigio y las redistribuían proporcionalmente formando una

nueva compañía. La razón de que ese negocio fuera viable en la minería de la Sierra de Gádor radica una vez más en la distribución completamente azarosa de sus masas metálicas; las minas colindantes habían de tener, al menos en teoría, idénticas probabilidades de encontrar metales, y si ello no fuera cierto las excavaciones rápidamente ampliadas lograría igualarlas o incluso invertir las probabilidades a favor del buscador más afortunado o activo y en detrimento del propietario legal. Así podemos entender el negocio como el canje de la situación real de quien estaba ya beneficiando un criadero por la precdencia legal y teórica de quien era nominalmente propietario.

De la forma de las explotaciones se ha escrito y criticado mucho, en especial en lo tocante al uso generalizado de las «cesiones a partido» como medio más o menos regular de explotar las minas. El arrendamiento a plazo fijo de las minas de una compañía que se encargara de la explotación se ha puesto en relación con la anarquía y falta de técnicas modernas que caracterizaron a la minería alpujarreña. Esto, que pudiera ser cierto aunque ambos caracteres proceden más bien a nuestro juicio de la configuración del criadero y de las tradiciones y técnicas, hemos de matizarlo según podemos deducir de los protocolos notariales. En primer lugar, no parece que fuera un proceso demasiado extendido, casi podíamos calificarlo de muy reducido ante el inmenso número de pozos que fueron excavados; es cierto que su proporción parece ir aumentando con el tiempo y hacia 1840 son francamente numerosos; una de las razones es sin duda la relativa dispersión de los propietarios, entre los cuales se cuenta ya con gentes de fuera de la comarca, y para ellos la obtención de un rendimiento fijo y seguro era la única forma viable de poderlas explotar sin ser expoliados por sus administradores. En estos años en que la explotación era regular en las minas rentables y estaban prácticamente abandonadas las que la experiencia había demostrado ya que no lo era, este negocio se podía realizar ya con relativa seguridad económica y calcular sus rentas adecuadamente; así, en la Loma del Sueño se podía obtener más de 2.000 arrobas de alcohol de renta y el doble por explotar durante tan sólo seis meses uno de sus escoriales, mientras que en la Loma de la Higuera se arrendaban por unos 6.000 reales al año y menos de la mitad en la Cañada de Morgana. Sea por enriquecimiento de sus primitivos explotadores, sea acaso por desánimo o falta de recursos, el caso es que el absentismo tiende a generalizarse en la Sierra de Gádor en los años cuarenta.

Un último detalle, existe un tipo documental denominado «fianza comentariense» o fianza de cárcel segura. Sirve para obtener la libertad de reos de ciertos delitos. También en los años cuarenta proliferan este tipo de documentos, lo que pudiera ser un índice directo de una creciente conflictividad social en la zona, sin duda vinculada a la crisis de la minería y no muy distinta de la que obligó a trasladar la inspección de minas a Berja.

10. EXPORTACIONES DE MINERAL POR ADRA Y ALMERIA

En la sección de Hacienda del Archivo Histórico Nacional hemos podido localizar tres legajos donde se contiene información sobre exportaciones en forma de relaciones por puertos y distritos (217). El valor de la información es muy elevado, pues de otra manera no podemos conocer la composición de aquéllas ni la distribución por destinos en cada caso, ya que las estadísticas publicadas en la segunda mitad del siglo procuran lógicamente resumir la información y dar de ella aspectos. Merma un tanto su valor como fuente histórica el carácter fragmentario, y hubiera sido capital en caso de haberse conservado más nutrida la colección de informes sobre el comercio exterior. No obstante, los datos que nos ofrece pueden proporcionar interesantes datos generales y precisiones de extraordinario valor para un estudio global como es el que venimos realizando.

Debemos tomar en cuenta que la información trata de las exportaciones de unos productos que, salvo escasas cantidades, eran remitidos al extranjero prácticamente en su totalidad: que los puertos en cuestión (los de Almería y Adra) no son zonas productoras, sino cabezas y núcleos de unos «hinterlands» —más amplio el de Almería que el de Adra— sedes de las empresas comerciales, exportadoras y financiadoras, capitales en suma de sus distritos económicos; que en términos generales la etapa que consideramos (de 1834 a 1863) muestra cambios importantes para cuya medición la escala que nos ha sido impuesta por la documentación, no puede ser tachada de excesivamente imprecisa, y que la economía de una región tomada en su conjunto, como aquí queremos hacer, evoluciona muy lentamente, mucho más desde luego que la coyuntura minera que conocemos por otras fuentes.

Veamos, para empezar, el volumen y distribución de las exportaciones en dichos años, lo que puede ser tomado en buena medida como un índice muy próximo de la producción total.

CUADRO 10.1

	1834	1844	1863
Plomo	20.505 Tm.	13.365 Tm.	15.452 Tm.
Desde Almería	15.359 75%	4.616 35%	4.710 30%
Desde Adra	5.146 25%	8.746 65%	10.742 70%
Alcohol	295 Tm.	969 Tm.	1.144 Tm.
Desde Almería	104 35%	85 9%	134 12%
Desde Adra	191 65%	884 91%	1.010 88%

(217) En la documentación utilizada en este capítulo se encuentran los legajos núms. 2.551, 2.220 y 2.238 de la citada sección de Hacienda del A. H. N. Las vicisitudes del antiguo Archivo del Ministerio de Hacienda, especialmente durante la pasada guerra, podrían justificar el estado sumamente fragmentario de la documentación, acaso un poco más abundante para otros puertos y distritos.

Lo primero que salta a la vista es el notable descenso de las cantidades totales a lo largo de los años treinta; naturalmente que lo que ya conocemos nos lo ratifica. En páginas anteriores hemos expuesto las razones que pueden resumirse en el descenso de los precios del plomo a escala internacional, en el aumento de los costes de explotación y, sobre todo, el final de la euforia minera que sin cálculo de ninguna clase y fiando exclusivamente de la buena suerte, había producido la proliferación de pequeñas empresas, la mayor parte inviables. Si aceptamos las cifras de PÉREZ DOMINGO resultaría que la producción ha disminuido en seis años en torno al 45 por 100, más rápidamente aún si consideramos que los años siguientes a 1827 muestran una cierta estabilidad de la producción (218). Vemos ahora que el descenso no va a detenerse, sino que durante los próximos diez años asistimos a un descenso de aproximadamente 75 por 100 que nos demuestra claramente el prolongado ajuste a la baja que coincide con el descenso de los cursos internacionales del plomo y con la racionalización de la producción alpujarreña de plomo, que se ajusta a los dictados del sistema económico mundial.

Si la adecuación del sistema productivo de la comarca al mercado internacional es real, suponemos que con el alza de los precios de los primeros cincuenta se produjo un rápido aumento de la producción que luego vería frenadas sus alegrías ante la renovación del proceso de descenso gradual de las cotizaciones por los nuevos excesos de oferta. A todo lo dicho se ajusta el volumen de exportación en 1863, y hemos de lamentar aquí que no dispongamos de datos semejantes en torno a 1853; éstos, para confirmar nuestra hipótesis, habrían de mostrarnos cantidades superiores a las de 1863.

Nada contradice, hasta el momento, el cuadro que venimos reconstruyendo, al que añade incluso precisiones numéricas sobre las cantidades exportadas en los citados años. En cambio sí que resulta novedosa la proporción de las exportaciones en los dos puertos citados, los más importantes del distrito. La evolución que muestran es prácticamente contraria, ya que en 1834 exportaba Almería tres veces más metal que su rival, mientras que en 1844 la situación se habrá invertido para acusarse aún más con el paso del tiempo. Las razones que explican esta situación son varias y muy importantes, ya que hasta ahora hubiera cabido esperar un aumento de las exportaciones por Almería ante la expansión de la fiebre minera, como sucedía en 1839. Las razones aludidas hacen relación a la configuración del «hinterland» de ambos puertos y a sus respectivas vicisitudes.

En los primeros años de explotación toda la periferia de la Sierra de Gádor se cubrió de boliches y otros hornos de fusión para beneficiar los minerales en las proximidades de las minas aprovechando recursos locales. Concretamente el valle del Andarax llegó a contar con 24, que representaban casi la tercera parte de los instalados en todo el distrito hacia 1835 (219). Situados en el antiguo

(218) PÉREZ DOMINGO, A.: *Memoria...*, op. cit.

(219) PÉREZ DE PERCEVAL, op. cit. Proporciona algunas cifras de exportación en la década de los cuarenta; en 1844 da la cifra de 15.593 Tm., un 17 por 100 más baja a la que recogieron los documentos de Aduanas. No sabemos si esto pudiera deberse a ocultación o a que las 2.000 Tm. de diferencia se destinaran a puertos nacionales.

eje comercial que enlazaba las viejas fábricas reales del Presidio y de Alcora con el puerto, según hemos estudiado ya, los barrancos de las Plomera y de Cacín, aparte de otros menores, permitían el acceso directo a la parte alta de la sierra y también el lote de Barjalí. Toda su producción debía encontrar su salida por el puerto de Almería.

Asimismo, encontramos una segunda zona en la parte central de la Sierra, en torno a Enix, Félix, El Marchal de Antón López y la mitad del piedemonte serrano en la zona del campo de Dalías y Roquetas, zona en donde también florecieron muy tempranamente copia de establecimientos para beneficiar los plomos más argentíferos de aquella depresión. Esta zona se encuentra más próxima a Almería que a Adra, y el tránsito por la cresta de la sierra y por algunas barrancadas no parece particularmente difícil. Hacia el Oeste, en cambio, se abre un amplio llano transitable en todas direcciones que hubiera tentado a exportar por Adra, especialmente si hubieran dispuesto de camino de carretas; si en esta primera etapa las exportaciones se hicieron por Almería, deben atribuirse en buena medida a las condiciones que ofreciera su puerto; ciertas diferencias entre ambos puertos nos indican las razones de ello. En primer lugar, el valor oficial del plomo en Almería es de 50 reales el quintal, un 32 por 100 más alto que la valoración oficial en Adra. Pudiera parecer paradójica esta situación si no supiéramos que el tonelaje medio embarcado por envío en Almería era de 100 Tm. para Marsella, mientras que en Adra era tan sólo de 62 Tm., un 38 por 100 por debajo; lo que nos muestra la importancia considerable del calado de los barcos que entraban en el primer puerto, o una más eficiente organización de las tareas de carga de los mismos en el caso de no haber dispuesto aún de un espigón, muro o pescante.

Es evidente que el puerto de Almería proporcionaba salida en 1834 no sólo a su «hinterland» del Andarax, sino que había conseguido atraerse a las zonas de la sierra a medio camino entre la capital y Adra. El problema vendría posteriormente; la carestía local de combustible y la necesidad subsiguiente de abastecerse de leñas y carbones de importación supuso un estímulo para las empresas situadas en los puertos y una grave rémora para las establecidas lejos de ellos, en la sierra o sus alrededores. Por ello, tanto los establecimientos situados en el campo de Dalías como, con tanta mayor razón, los emplazados en el alto Andarax, comenzaron rápidamente a decaer y con ello a producirse dificultades para el puerto almeriense, mientras que el eje de gravedad del distrito, en sentido comercial, se desplazara aún más en favor de la línea Berja-Adra.

De esta manera la crisis, muy importante en términos globales, no afectará prácticamente a las exportaciones de Adra, que van a crecer un 60 por 100 entre 1834 y 1844; el cambio de la importancia relativa y la distribución de las funciones determinará, pues, cambios de las redes comerciales, verdaderamente trascendentales.

Hacia 1839 la fiebre minera se estaba extendiendo por todo el distrito; más concretamente, ya había arraigado con cierta fuerza en la zona del bajo Andarax y de la sierra Alhamilla. ¿Debemos colegir, en consecuencia, que tal expansión se saldara con un fracaso ya en 1844? En 1834

se exportaba, además del plomo y sus derivados, pequeñas cantidades de azufre, de sosa piedra y de cobre, aunque este último parece haberse explotado por toda la Alpujarra. Diez años después parece haberse saldado este conato con un rotundo fracaso, pues no conocemos más exportaciones que las de plomo y sus derivados. Pero será en 1863 cuando descubramos los resultados de aquella oleada de prospecciones aún incipientes en 1839. Ahora se van a exportar casi 24.000 toneladas de mineral de hierro, todo él por el puerto de Almería; unas 8.000 de calamina, por mitad de Adra y de Almería, y otras 500 de mineral de cobre desde Almería. La diversificación ha crecido y en algunos casos, como el del hierro, se alcanzan cifras de exportación superiores en volumen a las de plomo. Es claro que Almería se transforma en esta etapa de decadencia y dificultades en un centro minero que explota directamente su entorno inmediato y le proporciona su salida natural, un desarrollo reducido para las escalas actuales, pero relativamente importante entonces, lo que salvó a Almería de la decadencia total que la crisis de la minería birgitana produjo en Adra.

En cuanto a las exportaciones de alcohol, se trata de cantidades mínimas que, si bien mantienen un neto predominio abderitano y un ritmo ascendente ininterrumpido, parecen vinculadas a actividades artesanas tradicionales y no a los grandes centros comerciales e industriales más avanzados del momento, como sucede con el plomo. Tanto por los destinos del mineral (litoral mediterráneo occidental) como por las exiguas cantidades remitidas en cada expedición, es claramente un artículo marginal y de escasa importancia.

Conviene señalar que la exportación de manufacturas de plomo es prácticamente inexistente y muy reducida, incluso la de balas y perdigones, que prácticamente carecen de significación. Es indudable que las múltiples funciones que en el distrito trabajaron este ramo lo hicieron con destino a los mercados nacionales.

En cuanto al destino de las exportaciones, nuestra fuente es sumamente precisa. La mayor parte con mucho es destinada al mercado francés o controlada por sus comerciantes que la redistribuyen a continuación, lo cual es sin duda la característica dominante. Siempre superior al 70 por 100 es la proporción que corresponde a Francia, e incluso se acerca al 80 por 100 en 1844.

CUADRO 10.2

Proporción de las exportaciones de plomo del distrito de Berja entre los distintos países

	1834	1844	1863
	%	%	%
Francia	74	79	70
Bélgica	7	—	1
Holanda	2	—	—
Inglaterra	5	7	19
Italia	7	11	8
Otros	4	3	3

De los restantes destinos, el rasgo más interesante es la pérdida de amplios, que no voluminosos, mercados de Holanda, Rusia, etc., que hubieron de buscar su abastecimiento en otros centros productores, acaso en los Estados Unidos. Es de destacar que Inglaterra no dejó de mostrar la misma inclinación, pues las cantidades que le asigna el cuadro anterior van destinadas mayoritariamente a Gibraltar y Malta y sólo cantidades muy reducidas se destinaron a las Islas británicas antes de 1863; este último año en cambio las remesas a Inglaterra fueron importantes, destinadas a distintos puertos insulares y con muy escasa participación de Malta y de Gibraltar. Por último, las remesas a Italia resultan bastante estables y destinadas a diversos puertos, aunque con un predominio claro de Génova en los dos primeros años citados. Las remesas destinadas a Francia merecen particular atención por su elevada proporción, así como por algunos caracteres particulares. Como ya sabemos, por comentarios de época, la mayor parte del tráfico francés se hacía en navíos de aquella bandera, en general de mayor tonelaje que los de otras nacionalidades —española especialmente— y tanto mayores cuanto más larga travesía tenían que realizar en el Atlántico. En cambio era general la creencia de que prácticamente la totalidad del tráfico era encauzado por Marsella, cuyas casas de comercio realizaban directamente todos los trámites de compra, flete y distribución, e incluso la fundición, como es el caso de Figueroa. Ahora podemos ver que la prepotencia marsellesa es muy relativa, pues representa un tercio nada más de las exportaciones a Francia en 1834, un 40 por 100 en 1844 y sólo un quinto del total en 1863; parece que la decadencia de la clase comerciante marsellesa que se retira de los negocios o se especializa en actividades limitadas afectó a su papel en el tráfico del plomo, muy importante, pero no capital como hasta ahora se había pretendido. El resto de las importaciones francesas se hizo por los puertos de Ruán y El Havre, Dunkerke y Nantes, destinos que prácticamente delimitan la zona de mayor desarrollo del continente europeo en el momento.

Un último detalle que conviene destacar es la aparente especialización del tráfico a lo largo de aquellos años. Aparece claramente una preferencia de los franceses por el puerto de Adra en detrimento del de Almería; en cambio muestran su preferencia por este otro los que tienen su destino en Inglaterra y en Italia. No cabe pensar que se trate sólo de una respuesta al descenso de la producción de la zona de Almería; antes al contrario hay que pensar en una especialización de los consignatarios de uno y otro puerto en cuanto a sus relaciones. Así los de Adra se especializan en tratar con los franceses, grandes compradores de plomo, cuyos buques arriban expresamente en busca de remesas de metal. En cambio, el puerto de Almería, con capacidad de exportación más diversificada que el primero, atraía múltiples barcos de comercio que dispersaban más sus mercancías y surtían en cambio de artículos variados a la plaza y a su comercio. El desconocimiento de la estructura de las importaciones nos impide profundizar en esta cuestión capital.

11. EL FRACASO DE LA INDUSTRIALIZACION

«Etiam perire ruinae»
LUCANO

«Si una corriente de estudios viene profundizando desde hace años con gran resultado en el conocimiento del movimiento obrero español, para explicarnos el proceso de madurez y lucha de esta clase a lo largo de la historia contemporánea, es obligado saber quienes forman ese otro grupo, la burguesía, que completa el cuadro social, sus nombres, su ejecutoria, sus aventuras, sus éxitos y sus fracasos» (220). A lo largo de las páginas anteriores hemos querido inquirir entre las raíces y conocer el proceso y los hechos que caracterizan los primeros pasos de la industrialización andaluza y su temprano fracaso, tomando como objeto de nuestro análisis el nacimiento de un núcleo burgués relativamente poderoso y la temprana frustración de su vocación industrial. Es evidente que la burguesía birgitana no llegó a fraguar, que vio pronto desviados su atención y sus recursos sin haber conseguido imponer una sociedad y unos valores decididamente burgueses; que no supieron o no pudieron iniciar el proceso de diversificación y multiplicación que hubiera promovido el desarrollo de la región. Pero resulta igualmente claro que la incipiente burguesía alpujarreña no fue la causante del fracaso sino en todo caso su víctima, que sus actividades fueron económicamente racionales según el marco en el que se desarrollaron y que condicionantes foráneos limitaron sus actividades y las deformaron, desde la atribución del remanente hasta su misma evolución, pasando por la forma de explotación y de reinversión.

Reiteradamente hemos querido contrarrestar la idea de que el origen de todos los males económicos y del fracaso del desarrollo radica en la viciosa organización de las explotaciones mineras; ni la pequeñez de las pertenencias puede ser considerada como un vicio, especialmente en un principio, ni la anarquía puede reputarse más que como una consecuencia del primitivismo tecnológico o de la peculiar configuración del yacimiento; tampoco el mismo retraso tecnológico deja de ser un elemento derivado y en buena medida simplemente marginal. Creemos que todo ello ha debido quedar claramente sostenido y demostrado en las páginas anteriores y ponderado su verdadero valor en el caso concreto y en los momentos precisos que nos interesan. Vamos ahora a ponderar a la luz de las modernas teorías del desarrollo económico las posibilidades y dificultades que generan un tipo semejante de explotación.

Aplicamos para ello el modelo de la minería en pequeña escala que desarrollan BOSSON y VARON; es significativo que este modelo, que se ajusta perfectamente al caso alpujarreño, ha encontrado, según los citados autores, una proyección típicamente mediterránea e hispanoamericana (221). Los caracteres más importantes aparecen clara-

(220) CEPEDA ADÁN, J.: Prólogo a GARCÍA MONTORO, *op. cit.*

(221) BOSSON & VARON: *La industria minera y los países en desarrollo*. Madrid, 1978, cuadro K.2, p. 244. Allí se consigna el que entre 1960 y 1970 se dio la minería en pequeña escala en Marruecos, Nigeria, Túnez, Turquía, Colombia, Chile, Guatemala y Perú.

mente descritos en un texto que confirma nuestras impresiones sobre lo que sucedió en la minería alpujarreña: «la minería en pequeña escala puede variar desde las operaciones que lleva a cabo una sola persona, que recoge minerales a mano entre los desechos de una mina, y una empresa sumamente mecanizada y eficiente, con buena administración. Dicha minería en pequeña escala se suele caracterizar por métodos que utilizan extensamente la mano de obra y no son muy productivos, la explotación ineficiente de los yacimientos, malas condiciones de trabajo, mala administración y producción irregular. No obstante la minería en pequeña escala puede contribuir de manera importante a la economía —si no del país, por lo menos de la provincia— ofreciendo empleo y a menudo en zonas alejadas de los centros urbanos en las que no hay otros modos de empleo. Sin embargo, muchas veces las minas en pequeña escala solamente son viables por razón de los salarios bajos que pagan. Cuando baja el precio del mineral el minero se aprieta el cinturón o cesa de trabajar en la mina y dedica su atención a la agricultura» (222).

La minería en pequeña escala ofrece múltiples inconvenientes, muchos de los cuales se presentaron de modos diversos en el caso alpujarreño; como denominador común podemos extraer la dificultad de ampliar y modernizar las explotaciones ante la pequeñez económica de las empresas y la reducida escala de las labores. Cita incluso, rasgo interesante a fuer de curioso, el hecho de que los mismos impuestos mineros han de ajustarse a formas muy parecidas a las que acabamos de ver en España desde 1825 por la inexistencia de una contabilidad regular y fiable que sirviera de base a un verdadero impuesto de utilidades. Pero quien lea a BOSSON y VARON y quiera aplicar sus ideas a la minería española del siglo XIX y en particular a la birgitana debe recordar siempre las peculiaridades mineralógicas e históricas que presidieron su evolución y el hecho de que la minería de la Sierra de Gádor fue prácticamente la labor y el fracaso de una generación tan sólo.

Pese a todas sus críticas y a la larga enumeración de inconvenientes que recogen no dudan en atribuirle importancia como actividad económica y como proceso de iniciación social a las actividades mineras, idea en cierta medida coincidente con las de Elhuyar. Más adelante recomiendan que «con todos sus problemas, el sector minero en pequeña escala no debe quedar relegado a segundo término. Por el contrario, exige que se le preste atención especial al formular las medidas de política y preparar la legislación minera y fiscal, al dotar de personal a los ministerios y al preparar el plan de desarrollo del sector minero» (223). Y precisamente ese apoyo y atención a la minería alpujarreña fue uno de los factores que fallaron; una vez que Elhuyar hubiera construido un modelo bastante acertado para la iniciación minera de las Alpujarras, una vez propuestas las disposiciones legales para ordenarla y las medidas de apoyo para estimularla, el Gobierno, ocupado en otros problemas, adoptó hacia la región la actitud de un rentista absentista; ni carreteras, ni puentes, ni tipo alguno de obras públicas fueron construidos

(222) *Ibíd.*, p. 243.

(223) *Ibíd.*, p. 245.

en beneficio de la región. La dotación de personal cualificado en la inspección jamás permitió superar las tareas administrativas y jurisdiccionales para iniciar una labor educativa y dirigente o supervisora. Ni siquiera la política arancelaria fue adecuadamente pensada para estimular la producción minera y metalúrgica, sino con intenciones exclusivamente fiscales, y los alpujarreños, que en un principio no necesitaron más ayuda que la propia ni mayor concesión que la libertad, cuando hubieron menester de apoyo, entonces no supieron o no pudieron ya presionar adecuadamente al Gobierno para que les prestara sus servicios. Pero no debemos empeñarnos en buscar las razones de la crisis exclusivamente en una capitalización insuficiente o en las prospecciones excesivas y no rentables. Al fin y a la postre hubo entrada de capitales y elevación del nivel de rentas, se produjo durante mucho tiempo una balanza comercial regional muy superavitaria y se acumularon fortunas; pero la verdadera trascendencia de estos fenómenos y las razones de la crisis se encuentran en las posibilidades de reinversión, en las aplicaciones rentables y diversificadas que se pudieron dar a los capitales reunidos, que sin esta condición nunca pasarían de ser un nuevo proceso de atesoramiento. Por tanto, fueron las causas que impidieron la diversificación sectorial en actividades de alta elasticidad las que en mayor medida contribuyeron a la frustración del desarrollo.

No cabe duda de que la diversificación se inició en el terreno comercial (comerciantes diversos, especuladores, banqueros, usureros) y acaso en el industrial (fundidores de varios metales, industrias alimentarias); que las mismas posibilidades de exportación fueron varias y sucesivas en toda la región (plomo y otros minerales, esparto, barrilla, uvas); que muy tempranamente se relacionó la economía del distrito con los mercados exteriores en rápido crecimiento y dotados ya de una demanda bastante elástica. Un factor de peso no menor que los excesivos remanentes de que se apoderara el Estado es, sin duda, el sistema protector/prohibicionista que dificultó las relaciones de la región con sus mercados, los más poderosos y modernos de la época, redujo en algunos casos la exportación del plomo e impidió mucho tiempo la de otros productos y, por encima de todo, impidió que el aumento de la renta se transformara en una elevación del nivel de vida por un real descenso de los precios. Además, la abundancia de dinero y la proximidad de Gibraltar fomentaron el contrabando, género de tráfico por definición unilateral que impide la formación de un circuito y unas empresas comerciales que hubieran podido promover la diversificación y el crecimiento; la importancia del capitalismo comercial andaluz en nuestro incipiente y frustrado desarrollo está ya bien reconocido (224); el papel de la protección arancelaria habrá de ser pronto estudiado a fondo.

(224) CASTEJÓN, GARCÍA, JIMÉNEZ y TITOS: «Empresarios andaluces en el siglo XIX. Una primera aproximación», en *Cuadernos de Ciencias Económicas y Empresariales*, Universidad de Málaga, núm. 6, abril de 1980, p. 242. MILWARD & SAUL resaltan el proceso de diversificación de mercancías objeto de comercio y la ampliación del número de economías que participaron en él; de dicho proceso quedó excluida Andalucía por efecto del arancel. *El desarrollo económico de la Europa continental*. Madrid, 1979, p. 29.

Pudiera pensarse que la carencia de un proletariado bien definido y separado de las tareas agrícolas actuara una vez más en contra del proceso de industrialización; los problemas que esta cuestión suscitó a la industrialización y minería asturianas aquí no se presentaron por hacerse el trabajo por varadas, no abonarse los jornales hasta el fin de las mismas y vivir los mineros en la sierra, separados de sus familias durante toda la varada. Acaso la reducción de las labores en los años treinta pudo iniciar ya un proceso depresivo al fomentar una importante corriente migratoria hacia la Sierra Almagrera e incluso a Argelia.

Frustradas las posibilidades de industrialización, tan al

alcance de la mano en la primera mitad del siglo, en la segunda las posibilidades fueron menores y las condiciones adversas. Nuevas reformas de la legislación de minas dieron entrada regular a grandes empresas extranjeras con tecnología moderna, que pronto reactivaron entre otras la minería del distrito de Linares; los caracteres del criadero o la más temprana apropiación de sus pertenencias, impidieron que en la Sierra de Gádor se produjeran fenómenos semejantes a los de Linares o Sierra Almagrera, y no conoció una colonización económica extranjera. No obstante, la industrialización quedó definitivamente frustrada en Adra y Berja, mientras que Almería vio comenzar una nueva etapa con el predominio de la minería del hierro en escala relativamente grande.

Noticias

PLAN DE ACCION EN EL SECTOR DE LA MINERIA

CONFERENCIA DE D. PEDRO LIZAUER OTERO

Director General de Minas

Madrid, 18 de diciembre de 1985

1. INTRODUCCION

1.1. Hace aproximadamente unos cuatro meses que en este mismo foro y con motivo del homenaje que el Club Español de la Minería ofreció a mi antecesor en la Dirección General de Minas, Juan Manuel Kindelán, tuve la satisfacción de esbozar en unas tenues pinceladas lo que a mi entender debería constituir el marco de actuación de la Administración en el ámbito minero. Hoy, transcurridos ya cinco meses de mi toma de posesión, quiero aprovechar la ocasión que se me brinda nuevamente para desarrollar las líneas de actuación en las que se inscribirá la política de la Administración en el sector minero dentro de los próximos años. A estas actuaciones habrán de sumarse las derivadas de nuestra incorporación a las Comunidades Europeas. España en su adhesión aportará a la estructura comunitaria un amplio y diversificado potencial minero, que le permitirá participar activamente en el desarrollo de la planificación minera comunitaria. En base a esta posición, presumimos la utilización de una serie de instrumentos comunitarios, económicos y financieros, que reforzarán las líneas de actuación que enmarcarán la política de promoción de la Administración a medio plazo.

1.2. Los cuatro apartados en los que se inscribirá fundamentalmente la política de la Administración, serán los siguientes:

Infraestructura geológico-minera
Exploración minera
Fomento de la minería
Seguridad minera

2. ACTUACIONES EN INFRAESTRUCTURA

2.1. Las labores de infraestructura geológico-minera nacional se han realizado desde hace más de un siglo, por el Instituto Geológico y Minero de España. Esta función tiene una importancia fundamental en el desarrollo territorial de todas y cada una de las distintas Administraciones, siendo el soporte de una gran parte de actividades industriales y agrícolas.

2.2. Las líneas de actuación, pasadas y futuras, del Instituto se concretan en:

- Confección y actualización de los siguientes tipos de cartografía geológica: básica, temática, instrumental y desarrollo territorial.

- Inventario y valoración del potencial de recursos naturales no renovables. Fundamentalmente los energéticos, metálicos, no metálicos y rocas industriales y ornamentales; y
- Investigación, valoración y conservación de los recursos naturales renovables. Principalmente geotermia y aguas subterráneas.

2.3. Para mejorar la eficacia de los servicios que el Instituto viene desarrollando, está previsto incrementar la calidad y el número de sus actividades a través de una mayor flexibilidad y participación propia en los trabajos que tiene encomendados. Para conseguir estos fines el IGME se enmarcará dentro de la futura Ley de Fomento y Coordinación de la Investigación Científica y Técnica, continuando adscrito al Ministerio de Industria y Energía.

3. POLITICA DE EXPLORACION

3.1. La propia naturaleza de la actividad minera, al consumir recursos no renovables, requiere un esfuerzo continuado en las labores de exploración e investigación para mantener o aumentar la cuantía de las reservas minerales económicamente aprovechables. Estas labores abarcan un conjunto de actividades que van desde el conocimiento de la infraestructura geológica, labor que realiza el IGME, hasta la fase previa a la puesta en producción de un yacimiento. Para su promoción, la Administración actuará, en unos casos, ejecutando directamente los trabajos, como ocurre con los relacionados con la infraestructura y, en otros, potenciando, por distintas vías, la actividad empresarial pública y privada.

3.2. La actuación administrativa se regirá de acuerdo con unas prioridades que reflejen las ventajas comparativas que se derivan de la configuración geológico-minera del territorio nacional. Entre los criterios a utilizar en la determinación de prioridades figurarán los siguientes:

- Estimación de las reservas potenciales de cada sustancia en relación con las necesidades nacionales, las de la CEE y las de otras áreas geográficas con las que España mantiene intercambios comerciales.
- Estimación de costes de producción en cada metalotecto y su comparación con los costes de producción de posibles competidores dentro de la CEE y en otras áreas geográficas.

- Incrementar la seguridad del abastecimiento de minerales con destino a la industria transformadora nacional; y
- Utilizar, como referencia, la localización previsible de mercados, orientación futura de la demanda de cada sustancia, sus nuevos usos posibles y el nivel y tendencia de los precios en los mercados internacionales.

3.3. La Administración redirigirá una parte del capital de riesgo que dedica directamente a esta actividad, para promocionar el papel de las Empresas, públicas y privadas, en materia de exploración de minerales. Las Empresas financiarán estas actividades mediante la generación propia de fondos y la aplicación del factor de agotamiento, añadiendo además una línea de reciente creación en el Banco de Crédito Industrial.

3.4. El pasado 14 de noviembre se ha firmado un Convenio entre el Ministerio de Industria y Energía y el Banco de Crédito Industrial en el que se establecen las cláusulas que desarrollan el Acuerdo tomado por la Comisión Delegada del Gobierno para Asuntos Económicos el día 8 de julio de 1985, referente a la creación en el Banco de Crédito Industrial de una nueva línea de capital riesgo de aplicación específica para la financiación de la investigación minera en el territorio nacional. Su cuantía podrá alcanzar el 90 por 100 de las inversiones a realizar y su duración será de cuatro años. Esta línea está concebida de manera que llegue a autofinanciarse dentro de un período razonable de tiempo. Las sumas facilitadas a las empresas con cargo a esta línea, lo serán a fondo perdido, en el caso que la investigación resulte fallida, y conllevarán la liberalización del dominio minero. En caso de éxito cuando la exploración dé lugar a la explotación comercial del yacimiento investigado, la ayuda se consolidará en un crédito, obligándose la empresa a devolver el préstamo más una cuantía de dinero adicional y prefijada que compense al Estado por los riesgos soportados y que facilite el carácter revolviente de la línea. Se considera que son las Empresas, públicas y privadas, a las que les corresponde el papel preponderante en materia de exploración de minerales.

3.5. Es posible que la exploración de alguna de las sustancias que, de acuerdo con los criterios empleados por la Administración aparezcan como prioritarias, no tengan por diferentes motivos suficiente interés empresarial, público o privado. En este caso, o en situaciones en las que a la Administración le interese, por motivos de política sectorial, ayudar a alguna empresa pública en sus programas exploratorios, éstos se realizarán por el Estado con cargo a sus Presupuestos, a cuyo objeto se ha previsto la correspondiente partida.

3.6. La política de reservas del Estado se orientará en el sentido descrito de potenciar, con carácter selectivo, la actividad de exploración de minerales. Se agilizará la adjudicación de las mismas, así como el momento de devolver al Estado el dominio minero, y se utilizarán nuevas formas de adjudicación de los derechos mineros de manera que los beneficios que reviertan al Estado estén en consonancia con la rentabilidad de la explotación. En este sentido, se está ultimando un modelo de contrato a utilizar en todas y cada una de las nuevas adjudicaciones, que recoja y actualice, entre otros, los siguientes aspectos:

- Liberalización periódica y acelerada del dominio minero.
- Enfatizar y detallar, durante la fase exploratoria, los trabajos a realizar, sus presupuestos correspondientes y los compromisos técnicos.
- Incentivar la utilización de técnicos y servicios españoles.
- La obligación de declarar, al final de la fase exploratoria, un descubrimiento «comercial» y acometer su consiguiente puesta en explotación, o liberar en su totalidad el dominio minero; y
- Los beneficios económicos que reciba el Estado, durante la fase de explotación, se valorarán mediante un mecanismo que los relacione a los resultados económicos de la actividad minera y que por tanto se ajuste automáticamente a condiciones cambiantes, entre otras, a los mercados y precios de minerales.

3.7. Cualquier Empresa (pública o privada, nacional o extranjera) o consorcio de éstas que en el futuro realice actividades en un área reservada, estará sujeta a un contrato de este tipo. Se tenderá a que las adjudicaciones de reservas se realicen mediante concurso.

4. FOMENTO DE LA MINERIA

Minería energética

4.1. La minería energética en España engloba las actividades que se desarrollan en el aprovechamiento de carbones (antracitas, hullas y lignitos) para sus distintos usos (metalúrgico, termoeléctrico, industrial y doméstico) y las labores de extracción de combustibles nucleares.

4.2. Las actuaciones de la Administración en la minería del carbón se dirigirán a conseguir un mayor grado de eficiencia y mecanización de las labores mineras, con la disminución consiguiente de los costos de producción, a lograr la racionalización gradual de las actividades comercializadoras del producto, y a asegurar el abastecimiento futuro de carbones económicamente explotables.

4.3. Para la consecución de estos objetivos la Administración propiciará una serie de actuaciones adecuadas a los diferentes usos de nuestros carbones. Para carbones de uso industrial y doméstico, cuyo precio está liberalizado, se persuadirá a usuarios y productores a disminuir los niveles contaminantes y a sustituir dentro de lo posible, carbones de importación por carbones nacionales. En este sentido, se ha comenzado un estudio en el que participan la industria cementera, los productores de carbón y la Administración, para determinar en el presente el posible grado de sustitución e identificar qué acciones habría que llevar a cabo para maximizar el uso de carbones nacionales en el futuro. Las hullas coquizables con destino metalúrgico tienen su precio liberalizado y de acuerdo con el sistema CECA. Los apoyos financieros que los productores de éstas reciben se hacen con cargo a los Presupuestos Generales del Estado. En hullas coquizables la Administración propiciará aquellas iniciativas empresariales que estén dirigidas a reducir sus costes unitarios de producción y la exploración de nuevas reservas económicamente explotables.

4.4. La producción española de carbón de uso termoeléctrico representa aproximadamente el 80 por 100 de nuestra producción total de carbones. Por tanto, el éxito de la nueva política de promoción en la minería energética estará vinculado a la consecución de los objetivos, anteriormente citados, en el proceso extractivo y comercializador de los carbones comúnmente conocidos como térmicos. Las actuaciones de la Administración tenderán también a establecer una relación más íntima entre los consumidores (centrales termoeléctricas) y los suministradores del combustible (labores mineras en su entorno y área de influencia), ya que debiera existir una ineludible comunión de intereses. Para la consecución de estos objetivos, la Administración propiciará, entre otras, las siguientes acciones:

- El establecimiento de contratos en firme de suministro a mediano y largo plazo entre centrales termoeléctricas y minas de carbón. Estos contratos, además de garantizar un suministro futuro estable, permitirán a las empresas mineras el desarrollar y ejecutar su estrategia empresarial.
- La racionalización del proceso productivo en aquellas cuencas que estén afectadas de minifundio minero, para llegar a un aprovechamiento óptimo, es decir, de la máxima utilización de los recursos económicamente explotables. Esto se promocionará mediante la elaboración de Planes Directores de Cuenca, y su posterior ejecución.
- Un mayor grado de mecanización y modernización de instalaciones siempre y cuando dé lugar a una disminución de costes, totales y unitarios, una mayor seguridad para el trabajador, así como un aprovechamiento total de la capacidad instalada; y
- Una política de precios más flexible que refleje con mayor fidelidad los costes de producción y los orígenes y características de los combustibles. Se estudiará la conveniencia de una posible introducción gradual de precios liberados para un porcentaje de aquella producción que no esté ligada a contratos de suministro a mediano y largo plazo.

4.5. Entre los instrumentos que la Administración se propone utilizar en apoyo de las acciones descritas, cabe destacar:

- Ayudas a la realización de proyectos de Investigación y Desarrollo (I+D) que tengan por objeto mejorar las explotaciones mineras, mejorar el rendimiento de las instalaciones y equipos, poner a punto procesos industriales destinados a disminuir los índices de contaminación (ejemplo, lavado de carbones, combustión en lecho fluido, etc.), y estudiar alternativas para mejorar la seguridad en las minas. La asociación de empresarios mineros del carbón, de reciente creación, OCICARBON, tiene por objeto promocionar y financiar I+D en el aprovechamiento y producción de carbones y la Administración colaborará estrechamente con este Organismo para la consecución de sus objetivos de promoción.
- Asistencia a la exploración que lleven a cabo las Empresas públicas o privadas en las cuencas de mayor potencial. Se trata fundamentalmente de ayudas financieras, a través de la nueva línea del BCI y de los fondos procedentes de los Presupuestos Generales

del Estado. La Administración, con cargo a sus Presupuestos, está investigando nuevas posibles cuencas carboníferas, por ejemplo, en la región de La Mancha; y

- Mediante las oportunas dotaciones presupuestarias, se asistirá financieramente a proyectos que tiendan a la fusión de labores mineras (disminución del minifundio minero), incrementos a medio plazo de producción, mejoras en materias de seguridad minera, aumentos de calidades y productividad, reducción de costes, etc.

4.6. Las acciones que la Administración realizará en el área de combustibles nucleares estarán dirigidas a proteger y preservar, mediante Reservas del Estado, nuestras reservas conocidas y potenciales de uranio. Para lograr este objetivo, se mantendrá un esfuerzo exploratorio acorde con el conocimiento necesario para una explotación racional del combustible, y para el mantenimiento de unos niveles de reservas probadas, presentes y futuras, que garanticen un abastecimiento estable y seguro de este mineral estratégico.

Minería no energética

4.7. Bajo el denominador común minería no energética se engloban todas las labores mineras y de beneficio, tanto de minerales metálicos, no metálicos, como de rocas industriales y ornamentales. Como se indicó, al principio de la exposición, España aporta a la Comunidad Económica Europea el potencial de recursos naturales más extenso y por tanto nos sitúa en la posición de poder enfatizar aquellas sustancias para las que se presume un futuro más alentador, que puedan servir de base a un mayor desarrollo industrial y que maximicen el retorno económico y social. Por tanto, creemos es preciso desechar una política de apoyo indiscriminado para todas las sustancias.

4.8. La selección de estas sustancias se basará, además de en las ventajas comparativas de índole geológico-minera, entre otras, en las siguientes consideraciones:

- Incidencia neta en la Balanza Comercial de minerales.
- Impacto en nuestro Producto Interior Bruto (PIB).
- Oportunidades de integración vertical de la actividad minera hacia productos de mayor grado de terminación y mayor valor añadido.
- Análisis de la competencia, canales de distribución, dificultades en penetrar o desarrollar nuevos mercados, sistemas de comercialización, etc.
- Generación de nuevos puestos de trabajo.

4.9. En desarrollo de la estrategia descrita, la actualización de la Administración se centrará, con preferencia, en los siguientes puntos:

- Apoyo de proyectos de I+D que tengan por objeto mejorar procesos mineros y metalúrgicos, así como mejorar las calidades y potenciar sus usos.
- Realización de estudios de mercados con énfasis en nuevos productos, usos y aplicaciones, y estrategias de comercialización.
- Asistencia a la exploración minera, entre otras, por las vías aludidas de nueva línea en el BCI y la utilización de los adecuados fondos presupuestarios.

- Actuaciones del Instituto Geológico y Minero de España en relación con la realización de las labores de infraestructura y, en líneas generales, de aquellas que requieran de un período de maduración prolongado.
- Utilización de los instrumentos de apoyo a proyectos relacionados con la minería contenidos en la Ley de Fomento de la Minería.

5. SEGURIDAD MINERA

5.1. La Administración considera prioritaria la mejora de la seguridad en las labores mineras. El descenso constante, durante la década de los años setenta, del índice de siniestrabilidad, se estabilizó durante los primeros años de la presente década. Por este motivo el Ministerio de Industria y Energía comenzó a finales del año 1984 a coordinar y colaborar con las distintas Comunidades Autónomas una serie de medidas dirigidas a lograr una vez más disminuir el número y la frecuencia de los accidentes mineros. La Administración ratifica su intención de mejorar la seguridad minera y entre las acciones dirigidas a alcanzar este objetivo se encuentran las siguientes:

- Desarrollar el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera mediante Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC), y de una manera constante y periódica actualizar aquellas que queden obsoletas.
- Desarrollar, de forma coordinada con el Ministerio de Trabajo, la normativa vigente en el Estatuto del Minero.
- Inspeccionar el cumplimiento de la normativa dentro de sus competencias, e instar a las CCAA a que refuerzen las actividades de inspección.
- Incrementar el apoyo mediante fondos destinados a I+D, a proyectos de investigación que tengan por objeto mejorar la seguridad en las labores mineras.
- Continuar las actividades de homologación y normalización, apoyando al Laboratorio Oficial Madariaga.
- Apoyar financieramente las inversiones en seguridad.

SIMPOSIO SOBRE EL «SUBSUELO DE LOS MONUMENTOS»

Fecha: Abril de 1986 (a determinar).

Lugar: Madrid.

Organiza: ASOCIACION ESPAÑOLA DE GEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA.

Secretaría: A. E. G. A. I. Servicio Geológico de Obras Públicas. Avda. de Portugal, 81. 28011-Madrid.

Esta asistencia se facilitará a través del Banco de Crédito Industrial, dentro de su línea general, de acuerdo con lo establecido en el protocolo formalizado entre el Ministerio de Industria y Energía y el Banco de Crédito Industrial.

- Las condiciones de estos créditos serán las más favorables de dicha línea, siendo su cuantía máxima del 70 por 100 de la inversión total. Igualmente, las inversiones en seguridad se apoyarán mediante los fondos destinados a la reestructuración minera.
- Continuar el apoyo y colaboración con las Comunidades Autónomas en el desarrollo de Campañas de Seguridad Minera, siguiendo el modelo de la campaña piloto que está a punto de concluir en la Comunidad de Castilla-León.
- Colaborar con y apoyar a las CCAA en cursillos de formación en materias de seguridad y en el establecimiento de Brigadas de Salvamento.

5.2. Para coordinar permanentemente todas las actividades que se están llevando a cabo por la Administración se está estudiando la conveniencia de crear un Instituto de Seguridad y Tecnología Minera.

6. CONCLUSION

6.1. Estas son a grandes rasgos las principales actuaciones que tenemos previsto fomentar y desarrollar desde la Administración en los próximos años. Debemos tener confianza en nuestro futuro y afrontar éste desde la convicción de que, solamente desde el esfuerzo compartido, llegaremos a conseguir las cotas de desarrollo en el sector que todos deseamos. Tenemos que propiciar una colaboración más activa entre las Administraciones, los Grupos empresariales y las fuerzas sociales. Somos conscientes del momento difícil en el que nos encontramos, pero tenemos la confianza de que con el esfuerzo de todos los que vivimos el día a día de la actividad minera, llegaremos a situar a nuestro sector en los niveles de competitividad y eficiencia que la Sociedad está demandando.

V CONGRESO INTERNACIONAL DE GEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA

Fecha límite de inscripción: 15 de mayo de 1986.

Secretaría del Congreso: A. S. A. G. A. I. Calle Moreno, núm. 584, 9.º piso. 1091 Buenos Aires (Argentina). Teléfono: 22036 JEJON A. T.

Secretario general: Carlos Alberto Disalvo.

Secretaría de la Asociación Española: Servicio Geológico de Obras Públicas. Avda. de Portugal, 81. 28011-Madrid.



Notas bibliográficas

GEOLOGIA GENERAL

850049. **Francisco Carlos de la Garza. LOPEZ DE AZCONA, J. M.**

Ind. min. (1981), núm. 209, 17-20, esp., bibl. IGME.

* Bibliografía personal, España.

850084. **Topografía general y aplicada. DOMINGUEZ GARCIA-TEJERO, F.**

Dossat, S. A., Madrid (1984), 823 pp., esp., bibl. IGME.

* Tratado, Topografía, Fotogrametría, Instrumentación.

ESTRATIGRAFIA

850072. **The Carboniferous of the world. I China, Korea, Japan, SE Asia. MARTINEZ DIAZ, C.**

IGME-ENADIMSA (1983), 244 pp., esp., bibl. IGME.

* Carbonífero.

850073. **The lower Carboniferous (Fengningian) of China. YANG SHIPU; LIN YINTANG; YANG GUANXIU; WANG ZHIPING, y WU SHIZHONG.**

The Carboniferous of the world. I. (1983), 16-55, ing., bibl. IGME.

* Dinantiense, Missisipiense, Corte geológico, Paleogeografía, Provincia faunística, Asociación fósil, Correlación.

850074. **The middle carboniferous of China. GAO LIANDA; WANG ZENGJI, y WU XIANGHE.**

The Carboniferous of the world. I. (1983), 56-86, ing., bibl. IGME.

* Carbonífero medio, Corte geológico, Roca carbonatada, Correlación, Bioestratigrafía, Fauna, Fauna ammonites, Fauna foraminíferos, Palinomorfo, Sedimentación continental, Medio continental, Sedimentación marina, Medio marino.

850075. **The upper Carboniferous of China. LIN XINXUE; ZHANG LINXIN.**

The Carboniferous of the world. I. (1983), 87-121, ing., bibl. IGME.

* Carbonífero sup., Transgresión, Sedimentación marina, Medio marino, Roca carbonatada, Corte geológico, Estratotipo, Fauna, Bioestratigrafía, Provincia florística, Palinomorfa, Correlación.

850076. **The Carboniferous of China. Bibliographie. YANG SHIPU; GAO LIANDA, y LI XINXUE.**

The Carboniferous of the world. I. (1983), 122-129, 175 ref., ing., bibl. IGME.

* Carbonífero, Bibliografía, China.

850077. **Korea. CHANG HI CHEONG.**

The Carboniferous of the world. I. (1983), 173-177, 11 ref., ing., bibl. IGME.

* Carbonífero, Pérmico, Cuenca hullera, Pizarra, Pizarra no metamórfica, Bioestratigrafía, Fauna, Corea.

850078. **Japan. MINATO, M.**

The Carboniferous of the world. I. (1983), 179-211, 141 ref., ing., bibl. IGME.

* Carbonífero, Sedimentación marina, Medio marino, Roca carbonatada, Fauna, Correlación, Fauna conodontos, Paleogeografía, Japón.

850079. **Southeast Asia. METCALFE, I.**

The Carboniferous of the world. I. (1983), 213-244, 78 ref., ing., bibl. IGME.

* Carbonífero, Bioestratigrafía, Fauna, Correlación, Sedimentación marina, Medio marino, Sedimentación continental, Medio continental, Sudeste Asia.

GEOMORFOLOGIA

850033. **Microformas graníticas tipo Tafoni (cachola) y Gnamma (pia). Un micromodelado sin relación con el clima o la estacionalidad. VIDAL ROMANI, J. R.**

Cuad. lab. xeol. Laxe (1984), núm. 7, 273-277, esp., res. ing., bibl. IGME.

* Granito, Alteración meteórica, Morfoscopía, Deformación, Elasticidad, Contracción.

850035. **Datos preliminares para el estudio de espeleotemas en cavidades graníticas. VIDAL ROMANI, J. R., y VILAPLANA, J. M.**

Cuad. lab. xeol. Laxe (1984), núm. 7, 305-324, 16 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Espeleotema, Estalactita, Disolución, Caverna, Precipitación química, Granito, Diaclasa, Análisis químico, Galicia, Cataluña.

850046. **Formas periglaciares antiguas en la Península Ibérica. Posibilidades de una consideración climática.** BROSCHÉ, K. V.

Estud. geogr. (1982), vol. 43, núm. 166, 5-16, 31 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Periglaciario, Morfología glaciario, Sedimento detrítico, Corteza calcárea, Soliflujión, Crioturbação, Datación, C14, Pleistoceno, Wurm, Clima, España.

850063. **Las playas de los estuarios de Vizcaya: Su dinámica y alteraciones antropogénicas.** CRUZ SANJULIAN, J. J.; GARCIA MONDEJAR, J., y PUJALTE, V.

Thalassas (1984), vol. 2, núm. 1, 35-42, 17 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Estuario, Playa, Morfología costa, Acción humana, Corriente litoral, Provincia Vizcaya.

850065. **Incidenca medio ambiental de los procesos litorales en el Sur del óvalo valenciano.** DIEZ GONZALEZ, J. J.; SERRA PERIS, J., y ESTEBAN CHAPAPRIA, V. de.

Thalassas (1984), vol. 2, núm. 1, 51-58, 14 ref., esp., res. fr., bibl. IGME.

* Medio litoral, Morfología costa, Acción hombre, Estudio impacto medio, Clasificación granulométrica, Provincia Valencia, Provincia Castellón.

850066. **Modificaciones recientes en el biotipo de la ría de Foz y sus causas.** DIEZ GONZALEZ, J. J.

Thalassas (1984), vol. 2, núm. 1, 59-64, 7 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Estuario, Línea costa, Morfodinámica, Barra, Batimetría, Sedimento, Materia orgánica, Composición mineralógica, Clasificación granulométrica, Provincia Lugo.

850067. **Las barras submarinas de la zona interna de la plataforma continental frente al Mar Menor (Murcia, España): estudio sísmico y cronobioestratigráfico.** MATEU, G.; REY SALGADO, J., y DIAZ DEL RIO, V.

Thalassas (1984), vol. 2, núm. 1, 65-85, 24 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Off shore, Barra, Cordón litoral, Beach-rock, Fauna, Biofacies, Plioceno, Pleistoceno, Perfil geofísico, Levantamiento sísmico, Provincia Murcia, Mar Mediterráneo Oeste.

CUATERNARIO

850032. **Nuevas aportaciones al periglaciario Galaico-Astur.** ASENSIO AMOR, I., y GOMEZ MIRANDA, M. J.

Cuad. lab. xeol. Laxe (1984), núm. 7, 255-270, esp., res. ing., bibl. IGME.

* Periglaciario, Crioturbação, Glaciación, Riss, Wurm, Síntesis bibliográfica, Provincia Lugo, Asturias.

GEOLOGIA MARINA

842196. **Toponimia del Mar Catalo-Balear.** CANALS, M.; SERRA, J., y RIBA, O.

10.º Congreso Nac. de Sedim. Menorca. 8.1-8.3, 5 ref., esp., bibl. IGME.

* Nomenclatura, Relieve submarino, Mar Mediterráneo Oeste, Cataluña, Baleares.

842197. **La cobertera sedimentaria de la plataforma continental española, desde Cabo de Palos hasta Cabo Tiñoso.** REY, J.; DIAZ DEL RIO, V.; MATEU, G., y BALLE, P.

10.º Congreso Nac. de Sedim. Menorca. 8.4-8.7, 5 ref., esp., bibl. IGME.

* Levantamiento sísmico, Sísmica de reflexión, Formación de recubrimiento, Espesor, Plataforma continental, Provincia Murcia, Mar Mediterráneo Oeste.

842198. **Repartición de los sedimentos superficiales sobre la plataforma mediterránea española, desde Torreveja hasta Cabo de Palos.** DIAZ DEL RIO, V., y REY, J.

10.º Congreso Nac. de Sedim. Menorca. 8.8-8.10, 5 ref., esp., bibl. IGME.

* Levantamiento sísmico, Sísmica reflexión, Sedimentación marina, Distribución espacial, Textura, Plataforma continental, Mar Mediterráneo Oeste, Provincia Murcia, Provincia Alicante.

842199. **La sedimentación de la plataforma continental del Cabo de Gata, Almería.** VAZQUEZ, A., y ZAMARREÑO, I.

10.º Congreso Nac. de Sedim. Menorca. 8.11-8.16, 8 ref., esp., bibl. IGME.

* Sedimentación marina, Medio marino, Formación de recubrimiento, Sedimento marino, Litofacies, Plataforma continental, Provincia Murcia, Mar Mediterráneo Oeste.

842200. **Sedimentación silíceo-clástica en la plataforma continental del Golfo de Valencia, Mediterráneo occidental.** GIRO, S., y MALDONADO, A.

10.º Congreso Nac. de Sedim. Menorca. 8.17-8.21, 10 ref., esp., bibl. IGME.

* Sedimentación marina, Medio marino, Sedimento marino, Litofacies, Volumen sedimento, Granulometría, Análisis componente principal, Mar Mediterráneo Oeste, Provincia Valencia.

842201. **Modelos sedimentarios de abanicos submarinos en el Mediterráneo noroccidental.** MALDONADO, A.; ALONSO, B.; GOT, H.; MONACO, A.; NELSON, H.; PALANQUES, A., y RUIZ-ORTIZ, P. A.

10.º Congreso Nac. de Sedim. Menorca. 8.22-8.27, 10 ref., esp., bibl. IGME.

* Sedimentación marina, Medio talud marino, Abanico submarino, Litofacies, Distribución espacial, Distribución temporal, Modelo, Mar Mediterráneo Oeste.

842202. **La fosa de Valencia: Un sistema deposicional profundo por aportes longitudinales y transversales.** PALANQUES, A., y MALDONADO, A.

10.º Congreso Nac. de Sedim. Menorca. 8.28-8.31, 3 ref., esp., bibl. IGME.

* Off shore, Cuenca sedimentaria, Fosa abisal, Canal ma-

rino, Cono submarino, Región Valencia, Mar Mediterráneo Oeste.

842203. **Sedimentos y procesos sedimentarios en el margen continental distal de Baleares durante el Cuaternario.** DIAZ, J. I., y MALDONADO, A.

10.º Congreso Nac. de Sedim. Menorca. 8.32-8.36, 7 ref., esp., bibl. IGME.

* Off shore, Sedimentación margen continental, Medio margen continental, Sondeo, Muestreo, Fango, Bioturbación, Cuaternario, Clasificación granulométrica, Análisis factorial, Análisis grupo, Histograma, Baleares, Mar Mediterráneo Oeste.

842204. **Análisis Cluster aplicado a la caracterización geológica de los sedimentos profundos del Mediterráneo Sur-Occidental.** LIFARRAN, M., y MALDONADO, A.

10.º Congreso Nac. de Sedim. Menorca. 8.37-8.40, 5 ref., esp., bibl. IGME.

* Off shore, Cuenca sedimentaria, Ciclo sedimentario, Sondeo, Muestreo, Sedimentación margen continental, Medio margen continental, Cuaternario, Análisis menores, Informe químico, Análisis multivariable, Análisis grupo, Mar de Alborán, Mar Mediterráneo Oeste.

842205. **Disolución diagenética de pátinas de hierro-manganeso en un testigo de caja del escarpe de Cabrera (margen Sur-Balear).** ALONSO, B., y LIFARRAN, M.

10.º Congreso Nac. de Sedim. Menorca. 8.41-8.43, esp., bibl. IGME.

* Off shore, Testigo, Difracción RX, Metal pesado, Manganeso, Hierro, Informe químico, Alteración, Diagénesis, Mar Mediterráneo Oeste, Baleares.

842206. **Dispersión de sedimentos de origen terrestre y urbano en la plataforma continental del Mediterráneo español. El papel de los metales pesados como trazadores.** ALONSO, B., y MALDONADO, A.

10.º Congreso Nac. de Sedim. Menorca. 8.44-8.46, 2 ref., esp., bibl. IGME.

* Off shore, Plataforma continental, Polución, Metal pesado, Análisis grupo, Mar Mediterráneo Oeste, España.

842207. **Caracterización geoquímica de los aportes terrígenos y urbanos en el área metropolitana de Barcelona.** DIAZ, J. I.; PALANQUES, A., y MALDONADO, A.

10.º Congreso Nac. de Sedim. Menorca. 8.47-8.50, esp., bibl. IGME.

* Off shore, Sedimentación litoral, Medio litoral, Polución, Residuo doméstico, Residuo industrial, Testigo, Análisis menores, Metal pesado, Informe químico, Provincia Barcelona, Mar Mediterráneo Oeste.

850003. **Estudio de los sedimentos recientes de la plataforma continental gaditana entre Chiptona y Cabo Roche.** SEGADO, M.; GUTIERREZ, J. M.; HIDALGO, F.; MARTINEZ, J. M., y CEPERO, F.

Bol. Geol. Min. (1984), vol. 95, núm. 4, 310-324, 17 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Sedimentación marina, Medio marino, Plataforma continental, Sedimento marino, Actual, Granulometría, Litofacies, Provincia Cádiz, Atlántico Noreste.

850060. **Contribución al conocimiento del Cuaternario marino en la ría de Muros y Noya.** ACOSTA, J., y HERRANZ, P.

Thalassas (1984), vol. 2, núm. 1, 13-21, 5 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Sedimento marino, Medio litoral, Off shore, Perfil geofísico, Levantamiento sísmico, Cuaternario, Mapa isopacas, Basamento, Fosa tectónica, Horst, Fractura, Estuario, Provincia La Coruña, Atlántico Nord Este.

850061. **Algunos aspectos morfoestructurales del Cuaternario submarino en la plataforma continental del Mediterráneo español.** REY, J., y DIAZ DEL RIO, V.

Thalassas (1984), vol. 2, núm. 1, 23-29, 27 ref., esp., bibl. IGME.

* Off shore, Plataforma continental, Margen continental pasivo, Relieve submarino, Control tectónico, Perfil geofísico, Levantamiento sísmico, Estructura sedimentaria, Sedimentación marina, Terraza marina, Cuaternario, Provincia Valencia, Provincia Alicante, Provincia Murcia, Mar Mediterráneo Oeste.

GEOLOGIA DEL INGENIERO

850057. **Conclusiones de la Asamblea de la Unión Internacional de Conservación de la Naturaleza, UICN.** BARCINA, M. A.

Rev. MOPU (1984), núm. 316, 66-71, esp., bibl. IGME.
* Reunión, Institución, Protección medio ambiente, Mundo.

850058. **Desalación: una alternativa a los problemas de escasez de agua.** FARIÑAS, M.

Tecnol. agua (1984), vol. 4, núm. 17, 83-92, 13 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Agua mar, Agua salada, Depuración, Tecnología, Estudio crítico, Coste, España.

850059. **Aplicación del permanganato potásico, KMnO₄, al tratamiento de aguas blancas.** Caso práctico. CATALAN, J.; GARCIA MARTINEZ, E.; GARCIA MONJE, J., y BOTAS, T.

Tecnol. agua (1984), vol. 4, núm. 17, 95-98, 8 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Lago artificial, Agua dulce, Contaminación, Hierro, Manganeso, Depuración, Tecnología, Costo, Provincia Cáceres.

850083. **Patología de las cimentaciones.** LOGEASIS, L.

Gustavo bili, S. A., Barcelona (1984), 143 pp., esp., bibl. IGME.

* Tratado, Fundación, Mecánica suelo, Capacidad de carga, Morfodinámica.

PALEONTOLOGIA DE LOS INVERTEBRADOS

850030. **Contribución al conocimiento sobre la morfología y distribución geográfica de la *Erebria triarius* (de Prun-**

ner 1798) en la región gallega (Lep. Satyridae). FERNANDEZ VIDAL, E.

Cuad. lab. xeol. Laxe (1984), núm. 7, 221-238, 33 ref., esp., bibl. IGME.

* Lepidopteroidea, Biogeografía, Contaminación, Zona fría, Glaciación, Riss, Galicia, Portugal.

HIDROGEOLOGIA

850047. **Apuntes sobre el origen de la laguna de Zoñar (Aguilar de la Frontera, Córdoba).** RECIO, J. M., y TIRADO, J. L.

Estud. geogr. (1982), vol. 43, núm. 166, 96-103, 7 ref., esp., bibl. IGME.

* Laguna, Geometría, Divisoria de aguas, Alimentación natural, Infiltración, Caudal, Aforo, Balance agua, Precipitación atmosférica, Corte geológico, Trias, Provincia Córdoba.

850052. **Las aguas subterráneas en el proceso de planificación hidrológica.** ECHEVARRIA, M. R.

Ind. mín. (1982), núm. 222, 7-15, esp., bibl. IGME.

* Agua subterránea, Gestión recursos agua, Reserva, Planificación, Política, España.

850071. **Competencia propia del Instituto Geológico y Minero de España sobre las aguas subterráneas.** PEREZ PEREZ, E.

IRYDA (1982), 101 pp., 39 ref., esp., bibl. IGME.

* IGME, Agua subterránea, Legislación, Histórico, España.

850080. **Hidrología subterránea.** CUSTODIO, E. y LLAMAS, M. R.

Omega, S. A. Barcelona (1983), 2 vol., esp., bibl. IGME.

* Tratado, Hidrogeología, Agua subterránea, Acuífero.

850081. **Hidrología subterránea. Tomo I.** CUSTODIO, E., y LLAMAS, M. R.

Omega, S. A. Barcelona (1983), 1.193 pp., esp., bibl. IGME.

* Agua subterránea, Trazador radioactivo, Captación, Recarga acuífero, Modelo matemático, Recursos agua, Gestión recursos agua, Legislación.

MINERALOGIA: SILICATOS

850117. **Estudio de la superficie y de la textura de bentonitas homioónicas. II. Constantes relativas de equilibrio.** GONZALEZ PRADAS, E.; DEL REY, F.; VALENZUELA, C., y LOPEZ GONZALEZ, J. D.

An. edafol. agrobiol. (1983), vol. 42, núm. 11-12, 1773-1780, 2 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Filossilicato, Bentonita, Adsorción, Nitrógeno, Temperatura, Equilibrio, Ensayo laboratorio, Metodología.

MINERALOGIA: NO SILICATOS

850069. **Nomenclatura de los sulfatos de calcio y sus materiales derivados.** DIAZ REYES, M. C.

Yeso (1981), núm. 37, 7-10, esp., bibl. IGME.

* Nomenclatura, Sulfato, Calcio, Clasificación.

850070. **Los enlaces en el yeso. Estudio teórico.** VILLANUEVA, L.

Yeso (1982), núm. 42, 3-4, esp., bibl. IGME.

* Sulfato, Yeso, Enlace interatómico, Teoría.

850119. **Estudio del proceso de intercalación del éter benzo-15-corona-5 en óxido grafito procedente de un grafito de la Sierra de Huelma (Jaén).** LOPEZ PEINADO, A. J.; LOPEZ GONZALEZ, J. de D.; PEINADO GARCIA, J., y RIVERA, J.

An. edafol. agrobiol. (1983), vol. 42, núm. 11-12, 1815-1820, 15 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Experiencias, Elemento nativo, Grafito, Oxidación, Metodología, Oxido, Constante reticular, Estructura laminar, Difracción RX.

PETROLOGIA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

842116. **El paleokarst del contacto mesozoico-mioceno en el Penedés y Camp de Tarragona.** CALVET, F.; PERMANIER, A., y VAQUER, R.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca (1983), 1.73-1.75, esp., bibl. IGME.

* Fosa tectónica, Oligoceno medio, Paleokarst, Morfología disolución, Superficie erosión, Provincia Tarragona.

842117. **Evolución de los sistemas sedimentarios del borde SE de la depresión del Ebro entre Gandesa y Horta de St. Joan (Prov. de Tarragona).** COLOMBO, F., y ROBLES, S.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca 1.76-1.79, esp., bibl. IGME.

* Depresión, Sedimentación continental, Medio continental, Cono aluvión, Río anastomosado, Plano inundable, Ciclo sedimentario, Roca clástica, Eoceno, Oligoceno, Mioceno inf., Cuenca Ebro, Provincia Tarragona.

842118. **Modelo de interacción sedimentaria entre un complejo de abanicos aluviales y un sistema lacustre.** ROBLES, S., y ARDEVOL, L.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca 1.80-1.85, esp., bibl. IGME.

* Depresión, Cono aluvión, Sedimentación lacustre, Medio lacustre, Molasa, Ciclo sedimentario, Control tectónico, Eoceno sup., Oligoceno, Provincia Lérida.

842119. **Sistemas de barras arenosas en los depósitos fluviales del Buntsandstein de la Cordillera Ibérica.** PEREZ ARLUCEA, M.; RAMOS, A., y SOPEÑA, A.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca 1.86-1.89, ref., esp., bibl. IGME.

* Sedimentación fluvial, Medio fluvial, Roca clástica, Clasificación granulométrica, Superficie erosión, Sinuosidad río, Barra, Buntsandstein, Provincia Guadalajara, Macizo Ibérico.

842120. **Las eollanitas del Pleistoceno de Mallorca y sus estructuras asociadas.** FORNOS, J. J.; POMAR, L., y RODRIGUEZ PEREA, A.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca 1.90-1.93, ref., esp., bibl. IGME.

* Sedimentación eólica, Medio litoral, Eolianita, Duna, Cordón litoral, Morfología eólica, Pleistoceno, Balears, Mallorca.

842121. **Clasificación de los lóbulos deposicionales. Formación Capella, Eoceno Superior, Cuenca de Tremp-Graus, Lérida-Huesca.** CUEVAS GOZALO, M.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca 2.1-2.3, esp., bibl. IGME.

* Cuerpos sedimentarios, Lóbulos, Arenisca, Conglomerado, Clasificación, Estructura sedimentaria, Sedimentación lagunar, Medio lagunar, Luteciense, Eoceno sup., Provincia Lérida, Provincia Huesca, Pirineos españoles.

842122. **Facies deltaicas del Eoceno inferior entre Areny e Iscles, Prov. de Huesca, Valle del Noguera Ribagorzana.** FONNESU, F.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca 2.4-2.8, esp., bibl. IGME.

* Sedimentación deltaica, Medio deltaico, Cuerpos sedimentarios, Litofacies, Estructura sedimentaria, Onda arena, Regresión, Eoceno inf., Provincia Huesca.

842123. **Estudio sedimentológico de la Formación Calizas, Areniscas y Arcillas de Villar del Arzobispo, Jurásico terminal, NW de la provincia de Valencia y E de la de Cuenca.** MAS, J. R.; ALONSO, A., y MELENDEZ, N.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca 2.9-2.11, 3 ref., esp., bibl. IGME.

* Sedimentación lagunar, Medio lagunar, Regresión, Estructura sedimentaria, Litofacies, Bioturbación, Caliza, Arenisca, Arcilla, Isopaca, Jurásico sup., Pubeckiense, Macizo Ibérico, Provincia Valencia, Provincia Cuenca.

842124. **Aspectos sedimentológicos de las dunas pleistocenas de la costa alicantina.** SANJAUME SAUMELL, E.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca 2.13-2.16, esp., bibl. IGME.

* Duna costera, Sedimentación litoral, Medio litoral, Eolianita, Roca clástica, Granulometría, Textura, Diagénesis, Pleistoceno, Provincia Alicante.

842125. **Sistema transgresivo de Islas barreras. Cuenca de Tremp-Graus, Lérida-Huesca.** DONSELAAR, M. E.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca 2.17-2.18, esp., bibl. IGME.

* Isla barrera, Sedimentación litoral, Medio litoral, Transgresión, Megaciclo sedimentario, Cuerpos sedimentarios, Luteciense, Eoceno medio, Provincia Lérida, Provincia Huesca.

842126. **La Formación Molicias: Un abanico deltaico del Mioceno superior de la depresión de Guadix.** RODRIGUEZ FERNANDEZ, J., y VERA TORRES, J. A.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca 2.19-2.22, 3 ref., esp., bibl. IGME.

* Sedimentación deltaica, Medio deltaico, Litofacies, Estructura sedimentaria, Regresión, Turbiditas, Megaripple, Ripple-mark, Mioceno sup., Provincia Granada.

842127. **Medios de transición en la bahía de Cádiz durante el Pleistoceno.** ZAZO, C.; GOY, J. L., y DABRIO, C. J.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca 2.23-2.24, esp., bibl. IGME.

* Ciclo sedimentario, Plioceno sup., Pleistoceno, Golfo, Sedimentación litoral, Medio litoral, Provincia Cádiz.

842128. **Cuenca potásica catalana del Eoceno superior, aportaciones para un modelo deposicional.** ORTI CABO, F.; PUEYO MUR, J. J., y ROSELL ORTIZ, L.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca 2.25-2.26, 6 ref., esp., bibl. IGME.

* Evaporita, Potasa, Sedimentación química, Medio marino, Medio continental, Ciclo sedimentario, Modelo, Estromatolito, Priabonense, Eoceno sup., Cataluña.

842129. **Salinas de evaporación del litoral mediterráneo peninsular. Sedimentología y geoquímica de sus precipitados.** ORTI CABO, F., y PUEYO MUR, J. J.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca 2.27-2.30, esp., bibl. IGME.

* Sedimentación química, Medio litoral, Agua mar, Evaporación, Salmuera, Halita, Yeso, Litofacies, Precipitación química, Alga, Sedimentación carbonatada, España, Mar Mediterráneo Oeste.

842130. **Observaciones de la morfología de los «Washover fans» de las lagunas costeras de Galicia.** VILAS, F., y SOMOZA, L.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca 2.31, esp., bibl. IGME.

* Sedimentación litoral, Medio litoral, Cordón litoral, Fango, Galicia.

842131. **La actividad de Anphípodes en los sedimentos de Playa Ladeira (Sur Oeste de la costa de Galicia).** VILAS, F.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca 2.32, esp., bibl. IGME.

* Medio litoral, Acción biogénesis, Terraza, Crustáceo, Provincia Pontevedra.

842132. **Relación espacio-temporal entre arrecifes y evaporitas en las cuencas neógenas de Almería y Sorbas.** MEGIAS, A. G.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca 2.33-2.36, 18 ref., esp., bibl. IGME.

* Neógeno, Arrecife, Evaporita, Discontinuidad, Hard-ground, Discordancia angular, Correlación, Provincia Almería.

842133. **Mund Mounds de esponjas y tormentitas en la plataforma fangosa del Bartoniense de Vic (Barcelona, sector oriental de la depresión del Ebro).** SERRA-KIEL, J., y BARNOLAS, A.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca. 2.37-2.40, 7 ref., esp., bibl. IGME.

* Porífera, Cerro, Fango, Dictyda, Lychnistyda, Biohermia, Geometría, Bartoniense, Sedimentación-marea, Mediomarea, Provincia Barcelona.

842135. **Características sedimentarias litorales en las facies terrígenas de la formación de Lunada (Albiense inferior, región Vasco cantábrica occidental).** GARCIA MONDEJAR, J.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca. 2.45-2.48, 2 ref., esp., bibl. IGME.

* Sedimentación litoral, Medio litoral, Caliza, Arenisca, Conglomerado, Estructura sedimentaria, Bioturbación, Aptiense, Urgoniense, Corte geológico, Provincia Burgos, Región Cantábrica.

842136. **La sedimentación holocena en el prodelta del Llobregat.** SERRA, J.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca. 2.49-2.51, 2 ref., esp., bibl. IGME.

* Sedimentación deltaica, Medio deltaico, Fango, Bioturbación, Arena, Holoceno, Off-shore, Provincia Barcelona, Cuenca Llobregat.

842137. **Geomorfología y ambientes sedimentarios de la plataforma continental del Ebro.** VERDAGUER, A.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca. 2.52-2.54, esp., bibl. IGME.

* Plataforma continental, Off-shore, Sedimentación deltaica, Medio deltaico, Corte geológico, Holoceno, Provincia Tarragona, Cuenca Ebro.

842138. **Influencia del control climático-eustático en el desarrollo de la plataforma continental del Ebro.** VERDAGUER, A.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca. 2.55-2.57, esp., bibl. IGME.

* Plataforma continental, Holoceno, Mapa isopacas, Sedimentación deltaica, Medio deltaico, Eustatismo, Ciclo sedimentario, Provincia Tarragona, Cuenca del Ebro.

842139. **Un complejo de isla barrera-lagoon del Jurásico superior (Talveila, Soria).** DÍAZ MOLINA, M.; GOY, A., y YEBENES, A.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca. 2.58-2.62, 10 ref., esp., bibl. IGME.

* Sedimentación-marea, Medio-marea, Isla barrera, Albufera, Canal marino, Jurásico sup., Provincia Soria.

842140. **Sedimentología y diagénesis de la barra inferior del Muschelkalk en la rama aragonesa de la Cordillera Ibérica, Provincia de Zaragoza.** ARRIBAS MOCOROJA, J., y DE LA PEÑA BLASCO, J. A.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca. 3.1-3.4, esp., bibl. IGME.

* Sedimentación albufera, Medio albufera, Litofacies, Estructura sedimentaria, Mudstone, Wackstone, Grainstone,

Calcarenita, Dolomía, Marga, Argilita, Diagénesis, Muschelkalk, Provincia Zaragoza, Macizo Ibérico.

842141. **Sedimentación litoral durante el Coniaciense en el sector central de la Cordillera Ibérica.** MELENDEZ, A.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca. 3.5-3.8, 6 ref., esp., bibl. IGME.

* Caliza dolomítica, Litofacies, Sedimentación litoral, Medio litoral, Paleogeografía, Coniaciense, Provincia Soria, Provincia Teruel, Macizo Ibérico.

842142. **Origen, karstificación y enterramiento de unos materiales carbonatados albienses. Punta del Castillo, Górliz, Vizcaya.** GARCIA-MONDEJAR, J., y PUJALTE, V.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca. 3.9-3.12, esp., bibl. IGME.

* Roca carbonatada, Sedimentación talud marino, Sedimentación arrecifal, Emersión, Karst, Subsistencia, Estructura sedimentaria, Albiense, Provincia Vizcaya.

842143. **Los materiales carbonatados del Alcudiense superior en los alrededores de Casas de Miravete, Provincia de Cáceres.** GARCIA-HIDALGO PALLARES, J. F.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca. 3.13-3.16, 7 ref., esp., bibl. IGME.

* Roca carbonatada, Litofacies, Estructura sedimentaria, Sedimentación marea, Medio marea, Alcudiense, Infracámbrico, Provincia Cáceres.

842144. **Intercalaciones calcareníticas en la facies «Ammonítico Rosso» del Jurásico Superior de la Sierra de Ahillo, Subbético externo, Cordilleras Béticas.** CHECA, A.; MOLINA, J. M., y OLORIZ, F.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca. 3.17-3.20, 10 ref., esp., bibl. IGME.

* Calcarenita, Secuencia rítmica, Estructura sedimentaria, Sedimentación marina, Medio marino, Génesis, Tempestad, Titónico, Provincia Jaén, Zona Bética, Zona Subbética.

842145. **Un modelo de sedimentación pélica en cavidades kársticas: La Almola (Cordillera Bética).** MARTIN ALGARRA, A.; CHECA, A.; OLORIZ, F., y VERA, J. A.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca. 3.21-3.24, 3 ref., esp., bibl. IGME.

* Jurásico inf., Sedimentación pélica, Medio pélico, Karst, Caliza, Lumaquela, Packstone, Wackstone, Fauna ammonite, Modelo, Calcarenita, Provincia Málaga.

842146. **Algunos tipos de calizas oolíticas del Dogger. Zonas externas de las cordilleras Béticas. Interpretación paleogeográfica.** MOLINA, J. M.; RUIZ ORTIZ, P. A., y VERA, J. A.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca. 3.26-3.29, 6 ref., esp., bibl. IGME.

* Caliza oolítica, Calcarenita, Grainstone, Packstone, Wackstone, Mundstone, Dogger, Plataforma continental, Sedimentación agua poco profunda, Medio agua poco profunda, Paleogeografía, Provincia Jaén.

842147. **Estromatolitos pelágicos y facies asociadas en el Jurásico Superior penibético (Cordilleras Béticas).** COMAS, M. C.

10.º Congreso Nacional de Sedimentología, Menorca. 3.30-3.33, 7 ref., esp., bibl. IGME.

* Caliza bioclástica, Sedimentación pélica, Medio pe-

lágico, Estructura biógena, Estromatolitos, Calcarenita, Packstone, Wackstone, Fauna, Jurásico sup., Cretácico inf., Zona Bética.

PETROLOGIA DE ROCAS IGNEAS Y METAMORFICAS

850024. **Mineralizações especial e geneticamente associadas ao Maciço granítico da Sierra do Geres. Um exemplo de zonallidade.** NORONHA, F.

Cuad. lab. Xeol. Laxe (1984), núm. 7, 87-99, 10 ref., por., res. esp., bibl. IGME.

* Tungsteno sustancia, Estaño sustancia, Mineralización, Granito, Filón, Metalogenia, Variación espacial, Zonallidad, Análisis químico, Portugal.

850026. **Nuevas aportaciones al conocimiento de la evolución Tectono-metamórfica del complejo de Cabo Ortegal, NW de España.** MARCOS, A.; MARQUINEZ, J.; PEREZ-ESTAUN, A.; PULGAR, J. A., y BASTIDA, F.

Cuad. lab. Xeol. Laxe (1984), núm. 7, 125-137, 12 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Polimetamorfismo, Retrometamorfismo, Metamorfismo catazonal, Roca metamórfica, Ofiolita, Aloctonía, Deformación, Tectónica superpuesta, Pliegue, Pliegue sinforme, Obducción, Ordovícico, Devónico, Cabo Ortegal, Macizo Galicia, Provincia La Coruña.

850027. **El Complejo de Ordenes: Subdivisión, descripción y discusión sobre su origen.** MARTINEZ CATALAN, J. R.; KLEIN, E.; DE PABLO MACIA, J. G., y GONZALEZ LODEIRO, F.

Cuad. lab. Xeol. Laxe (1984), núm. 7, 139-210, 70 ref., esp., bibl. IGME.

* Micaesquisto, Ortogneis, Anfibolita, Eclogita, Esquisto verde, Ultrabasita, Metabasita, Gabro, Diorita, Roca metasedimentaria, Metamorfismo, Geoquímica, Macizo Galicia, Provincia La Coruña.

850034. **Recubrimientos no cristalinos en rocas graníticas de Galicia: Propiedades e hipótesis sobre su origen.** GARCIA-RODEJA, E.; FERNANDEZ GARCIA, M.; BERMEJO, M. R., y MACIAS, F.

Cuad. lab. Xeol. Laxe (1984), núm. 7, 281-304, 40 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Granito, Alteración corteza, Propiedad física, Análisis térmico diferencial, Espectrometría IR, Análisis mayores, Informe químico, Metodología, Génesis, Precipitación química, Agua cristalización, Galicia.

YACIMENTOLOGIA DE SUSTANCIAS NO METALICAS

850037. **Estudio previo para el aprovechamiento de unas arenas feldespáticas del Norte de la Provincia de**

Lugo. I. Variación del contenido en álcalis y hierro según la granulometría. JAUREGUIZAR ISASI, F.

Cuad. lab. Xeol. Laxe (1984), núm. 7, 337-350, esp., res. ing., bibl. IGME.

* Arena sustancia, Feldespato potásico, Cuarzita, Análisis químico, Granulometría, Textura, Utilización sustancia, Cerámica, Provincia Lugo.

SUELOS

850118. **Suelos AC sobre granitos de Galicia (NO de España) con especial referencia al Ranker Atlántico. III. Fracción orgánica.** CARBALLAS, M.; CARBALLAS, T.; CABANEIRO, A.; VILLAR, M. C.; LEIROS, M. C., y GUITIAN OJEA, F.

An. edafol. agrobiol. (1983), vol. 42, 11-12, 1781-1814, 28 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Suelo aluvión, Ranker, Roca madre suelo, Granito, Perfil suelo, Humus, Materia orgánica, pH, Acido fúlvico, Metodología, Galicia.

850120. **Estudio de un perfil con caracteres isohúmicos en la comarca de la Bureba (Burgos).** JIMENEZ BALLESTA, R.; ALMENDROS, G.; POLO, A., y MARTIN DE VIDALES, J. L.

An. edafol. agrobiol. (1983), vol. 42, núm. 11-12, 1821-1835, 31 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Roca madre suelo, Marga, Suelo pardo, Pseudogley, Chernozem, Difracción RX, Mineralogía arcilla, Materia orgánica, Humus, Acido húmico, pH, Carbono, Nitrógeno, Capacidad carga catión, Clasificación granulométrica, Provincia Burgos.

850121. **Uso de algas marinas como fertilizantes de suelos gallegos. I. Efectos de la adición de mezcla de algas marinas en las características químicas de diversos suelos de cultivo en la provincia de Pontevedra.** RODRIGUEZ SEOANE, P.; ANDRADE, M. L.; LOPEZ LOPEZ, M. I., y GUITIAN OJEA, F.

An. edafol. agrobiol. (1983), vol. 42, núm. 11-12, 1837-1850, 13 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Suelo, Roca madre suelo, Granito, Agricultura, Enmienda suelo, Alga, pH, Carbono orgánico, Materia orgánica, Análisis químico, Capacidad carga catión, Provincia Pontevedra.

850122. **Uso de algas marinas como fertilizantes de suelos gallegos. II. Efecto de las algas marinas en la disponibilidad y contenido total de diversos oligoelementos en suelos de cultivo de la provincia de Pontevedra.** ANDRADE, M. L.; RODRIGUEZ SEOANE, P.; GUITIAN RIVERA, F.; LOPEZ LOPEZ, M. I., y GUITIAN OJEA, F.

An. edafol. agrobiol. (1983), vol. 42, núm. 11-12, 1851-1865, 10 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Suelo, Agricultura, Enmienda suelo, Alga, Análisis elemento traza, Hierro, Cinc, Manganeso, Cobalto, Cobre, Cromo, Metodología, Provincia Pontevedra.

850123. **Transformaciones en la organización durante la alteración y edafogénesis de rocas esquistosas en Galicia.** SILVA HERMO, B. M., y MACIAS, F.

An. edafol. agrobiol. (1983), vol. 42, núm. 11-12, 1867-1883, 25 ref., esp., res. ingl., bibl. IGME.

* Roca madre suelo, Micaesquisto, Alteración, Perfil suelo, Composición mineralógica, Estructura suelo, Pedogénesis, Galicia.

850124. **La influencia conjunta del relieve y la vegetación sobre los suelos forestales de la dehesa del Camarate (Sierra Nevada).** PARRAGA, J.; DELGADO, R., y AGUILAR, J.

An. edafol. agrobiol. (1983), vol. 42, núm. 11-12, 1885-1903, 26 ref., esp., res. ingl., bibl. IGME.

* Suelo pardo forestal, Roca madre suelo, Micaesquisto, Pedogénesis, Vegetación, Morfología, Provincia Granada.

850125. **Haploxeórols de la Sierra de María, Almería.** ALIAS, L. J., y MARTINEZ, J.

An. edafol. agrobiol. (1983), vol. 42, núm. 11-12, 1905-1912, 6 ref., esp., res. ingl., bibl. IGME.

* Suelo, Mollisol, Perfil suelo, Materia orgánica, pH, Carga ión, Provincia Almería.

GEOFISICA

850053. **Tomografía sísmica.** ANDERSON, D. L., y DZIEWONSKI, A. M.

Invest. cienc. (1984), núm. 99, 3443, 3 ref., esp., bibl. IGME.

* Método sísmico, Onda sísmica, Velocidad, Corteza terrestre, Manto Globo, Anisotropía.

ENERGIA

850038. **Minería del Carbón: El Carbón en España.** *Cant. explot.* (1984), núm. 213, 15-21, esp., bibl. IGME.

* Carbón, Reserva, Consumo, Demanda, Producción, Importación, Stock, España.

850039. **Minería del Carbón: Explotación a cielo abierto de la mina «San Antonio» (Córdoba).** HERRANZ DIAZ, J. C.

Cant. explot. (1984), núm. 213, 40-45, esp., bibl. IGME.

* Explotación, Cielo abierto, Mina, Carbón, Geología minera, Provincia Córdoba.

850040. **Energía hidroeléctrica. Nuevos sistemas energías del mar.** BLAZQUEZ, L.

Energ. Altern. (1984), vol. 5, núm. 26, 5-33, esp., bibl. IGME.

* Energía, Central eléctrica, Economía de energía, Demanda, Energía mareomotriz, Histórico, Coste.

850041. **Energía solar.** MARCOS PEÑALBA, J. de. *Energ. Altern.* (1984), vol. 5, núm. 26, 35-51, 26 ref., esp., bibl. IGME.

* Energía solar, Termodinámica, Central eléctrica, Teoría, Tecnología, Instrumentación.

850042. **Energía geotérmica.** SANCHEZ GUZMAN, J., y ALOS, J. M.

Energ. Altern. (1984), vol. 5, núm. 26, 55-65, esp., bibl. IGME.

* Energía geotérmica, Gradiente geotérmico, Flujo calor, Campo geotérmico, Electricidad, Producción, Coste.

850043. **Aprovechamiento y desarrollo de los recursos hidroeléctricos.** CAMPO, A. del.

Energ. Altern. (1984), vol. 5, núm. 26, 67-77, esp., bibl. IGME.

* Gestión recurso agua, Central eléctrica, Electricidad, Producción, Divisoria de aguas, Política Estado, España.

850044. **La energía eólica. Una energía alternativa.** SANCHEZ BALLESTEROS, J., y VAZQUEZ, J.

Energ. Altern. (1984), vol. 5, núm. 26, 79-82, 6 ref., esp., bibl. IGME.

* Energía eólica, Histórico, Electricidad, Viento, Velocidad.

850045. **La radiactividad del carbón y la de sus residuos.** GARZON RUIPEREZ, L., y FERNANDEZ DIAZ, J. M.

Energ. nucl. (Madrid, 1984), núm. 151, 23 ref., esp., bibl. IGME.

* Carbón, Radioactividad, Desintegración radioactiva, Th 232, U 238, Ra 226, Pb 210, Po 210, K 40.

850048. **Situación y perspectivas de las industrias del petróleo y gas natural en España.** DIAZ FERNANDEZ, J. L.

Ind. min. (1981), núm. 209, 5-15, esp., bibl. IGME.

* Petróleo, Gas natural, Prospección, Investigación, Refino, Política Estado, Perspectiva, España.

850050. **Análisis del Plan Energético Nacional.** ASOC. NAC. ING. MIN.

Ind. min. (1981), núm. 209, 23-26, esp., bibl. IGME.

* Estudio crítico, Energía, Planificación, Política Estado, España.

850051. **Resumen de actividades en investigación y explotación de hidrocarburos durante 1980.** DIC. GRAL. DE LA ENERGIA SERV. HIDROCARBUROS.

Ind. min. (1981), núm. 213, 5-69, esp., bibl. IGME.

* Informe actividad, Hidrocarburo, Prospección, Explotación, Producción, Concesión minera, Inventario, Investigación, España.

850056. **La energía que viene del mar.** GARCIA DE LA TORRE, J.

Rev. MOPU (1984), núm. 316, 50-54, esp., bibl. IGME.

* Energía mareomotriz, Estudio crítico, Metodología, Economía de energía, Mundo.

MAPAS

850054. **Membrío.** BASCONES ALVIRA, L.; MARTIN HERRERO, D.; CORRETGE, L. G., e IGME.

Mapa geol. Esp., escala 1:50.000, MAGNA, 1982, núm. 676, 70 ref., esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Antecámbrico, Ordovícico inf., Ordovícico medio, Ordovícico sup., Orogenia hercínica, Microtectónica, Dique, Roca metamórfica, Provincia Cáceres, Hercínico Centro.

850055. **Cáceres.** TENA DAVILA, M., y CORRETGE, L. G.

Mapa geol. Esp., escala 1:50.000, MAGNA, 1982, núm. 704, 77 ref., esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Infracámbrico, Primario, Cuaternario, Granito, Grauvaca, Pizarra, Caliza, Metamorfismo, Fauna, Orogenia hercínica, Tectónica superpuesta, Pliegue, Esquistosidad, Microtectónica, Lineación, Fractura, Paleogeografía, Análisis químico, Hidrología superficie, Provincia Cáceres.

ECONOMIA

850036. **Ensayo previo de volatilización de estaño.** BODEGA, F.

Cuad. lab. Xeol. Laxe (1984), núm. 7, 327-336, esp., res. ingl., bibl. IGME.

* Estaño sustancia, Volatilización, Metodología, Planta piloto, Análisis químico.

850085. **La propiedad minera en la Sierra de Cartagena.** EGEA, P. M.

An. Univ. Murcia. Letras (1984), 269-312, esp., bibl. IGME.

* Concesión minera, Histórica, Dato, Dato económico, Provincia Murcia.

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

INDICE DE MATERIAS

Tomo XCVI

	Páginas
GEOLOGIA	
C. SANZ DE GALDEANO, R. FERNÁNDEZ-RUBIO y S. FERNÁNDEZ-LORCA: Fracturación y fotointerpretación en el sector de Albuñol-La Rábida (Granada) (Conjunto Alpujarride. Cordilleras Béticas)	3
M. NAVIDAD y M. ALVARO: El vulcanismo alcalino del Triásico Superior de Mallorca (Mediterráneo Occidental)	10
A. MARTÍN-SERRANO: La estructura de las unidades del Flysch del Campo de Gibraltar, consecuencias tectónicas y paleogeográficas	117
M. ^a C. MORENO-GARRIDO y J. A. VERA: El Culm al sur del anticlinorio de Puebla de Guzmán (Huelva, España)	141
G. COLOM: Estratigrafía y Paleontología del Andalucense y del Plioceno de Mallorca (Baleares)	235
J. ROSELL, E. REMACHA, M. ZAMORANO y V. GABALDÓN: Serie turbidítica del Cretácico Superior del País Vasco	361
MARÍA DOLORES GIL CID: Trilobites Agnóstidos del Cámbrico Medio de la Sierra de Córdoba	367
J. E. GÓMEZ PALLEROLA: Nuevos Hybodóntidos del Cretácico Inferior de Santa María de Meyá (Lérida)	372
J. ROSELL, E. REMACHA, M. ZAMORANO y V. GABALDÓN: Estratigrafía de la cuenca turbidítica terciaria de Guipúzcoa. Comparación con la cuenca turbidítica prepirenaica central	471
MARÍA DOLORES GIL CID: Sobre la existencia de Paradoxides enrollados en el Cámbrico hispano	483
J. MARTÍNEZ MARTÍNEZ: Dunas de Maspalomas (Gran Canaria, España). Los parámetros morfoscópicos-granulométricos	486
J. ALLER, J. L. ALONSO y A. PÉREZ-ESTAÚN: Procedencia de los conglomerados cantabrienses del Grupo Cea en la región del Manto del Esla (Zona Cantábrica, valles del Esla y Cea)	581
MARÍA DOLORES GIL CID: Presencia de Delgadella souzai caudata (Delgado, 1904) en el Cámbrico Inferior de Nogales (Badajoz)	592
F. J. GRACIA PRIETO: Las formaciones aluviales de la depresión presomontana de Cinco Villas	596
MINERIA	
J. SIERRA, A. ARRIBAS y P. GUMIEL: Geología, Mineralogía y Metalogénia del yacimiento de Aznalcóllar (Tercera parte: Metalogénia)	23
C. J. FERNÁNDEZ: Los yacimientos stratabound de barita en la Formación Cándana o Herrería (Cámbrico Inferior), Asturias, NO de España	31
I. FERNÁNDEZ MORALES, J. LÓPEZ GARZÓN, A. LÓPEZ PEINADO y J. RIVERA UTRILLA: Estudio de las características químicas y superficiales de tres lignitos de la cuenca carbonífera de Teruel	152

	Páginas
F. PALERO, P. GUMIEL y J. FERNÁNDEZ CARRASCO: Ensayo de tipología de las mineralizaciones BPGC de la Alta Extremadura	381
JOSEFINA SIERRA: Naturaleza y distribución de las menas que constituyen el yacimiento de Aznalcóllar, provincia de Sevilla (España)	492
R. CASTROVIEJO BOLIBAR y T. NODAL RAMOS: Estudio geológico de las concentraciones de Co-(Ni-Cu-Fe) en el Silúrico de San Juan de Plan, valle de Gistaín (Pirineo de Huesca)	607
M. BUSTILLO REVUELTA y S. ORDÓÑEZ DELGADO: Los yacimientos PB-ZN del tipo de Reocín en el sector oeste de Cantabria: Estudio comparativo y aspectos genéticos	626
AGUAS SUBTERRANEAS	
A. IGLESIAS LÓPEZ: Filosofía de los modelos para la satisfacción conjunta de necesidades de agua. Modelos de regulación garantía (REGA)	44
J. CRUZ-SANJULIÁN y T. MORALES: Termometría geoquímica de aguas termales del País Vasco	50
F. JAVIER SÁNCHEZ SAN ROMÁN: Utilización de un modelo de flujo complejo en microordenador	303
A. IGLESIAS LÓPEZ: Usos y aplicaciones del agua en España	512
E. SANZ PÉREZ: Un modelo SIMERO de simulación de las escorrentías superficial y subterránea	632
GEOFISICA	
ANA SÁNCHEZ QUINTANILLA: Interpolación en tres dimensiones mediante generación de funciones BICUBIC SPLINES y obtención de isolíneas por ordenador	165
A. GRANDA SANZ y A. PÉREZ TEREÑES: La prospección geofísica de las mineralizaciones del Macizo de Aracena. Aplicación al sector de Fuenteheridos (Huelva)	316
J. L. PLATA TORRES y J. L. GARCÍA LOBÓN: Tendencias actuales para tratamiento de datos gravimétricos: Aplicación de un sistema desarrollado por el IGME.	413
J. E. BERGAMÍN, R. CAPOTE y A. CARBÓ: Detección mediante gravimetría de cuerpos graníticos ocultos en la región del Campo de Calatrava (Ciudad Real) ...	653
GEOQUIMICA	
C. VALENZUELA y A. BERNALTE: Un método termogravimétrico rápido para análisis inmediato de carbones	58
J. GUIJARRO, J. ASTUDILLO, A. MORENO y A. GUTIÉRREZ: Distribución de uranio y torio en el plutón de Trujillo (Cáceres, España)	186
GEOTECNIA	
A. RODRÍGUEZ-REY, L. CALLEJA, V. G. RUIZ y L. M. SUÁREZ: Contracción lineal térmica de rocas plutónicas	310
F. J. AYALA CARCEDO y J. M. RODRÍGUEZ ORTIZ: Introducción a los métodos empíricos de diseño de sostenimientos en galerías mineras	424
ROSA M. ^a ESBERT ALEMANY y L. VALDEÓN MENÉNDEZ: Alterabilidad de areniscas asturianas utilizadas en monumentos	659

	Páginas
ESTUDIO DE MINERALES Y ROCAS	
M. LORENC y J. SAAVEDRA: Estudio geológico del Plutonismo ácido-básico y su entorno metamórfico en el área de Guijuelo-Bercimuelle (SE de Salamanca) ...	62
J. J. ELORZA, M. I. ARRIORTÚA y J. M. AMIGÓ: Índices de Cristalinidad en los sílex de carácter turbidítico de Barrika (NE de Bilbao)	74
A. J. AZNAR y A. DE LA IGLESIA: Diagramas de estabilidad de zeolitas naturales y sintéticas	197
MARÍA E. ARRIBAS y MARÍA A. BUSTILLO: Modelos de silicificación en los carbonatos lacustres-palustres del Paleógeno del borde NE de la Cuenca del Tajo ...	325
J. SAAVEDRA, A. GARCÍA SÁNCHEZ, J. A. ROMERO ESCUDERO y F. CARRIÓN MOLES: Las silicificaciones del valle de Amblés (inmediaciones de Avila)	437
A. J. AZNAR y A. DE LA IGLESIA: Obtención de zeolitas a partir de arcillas aluminosas españolas	541
INFORMACION	
J. M. LÓPEZ DE AZCONA: Mineros destacados del siglo XVIII. Andrés Manuel del Río y Fernández (1764-1849)	82
G. NÚÑEZ ROMERO-BALMAS: La minería Alpujarreña en la primera mitad del siglo XIX. Capítulos 1 y 2	90
Noticias y notas bibliográficas	105
J. M. LÓPEZ DE AZCONA: Mineros destacados del siglo XVIII. Rafael Cavanillas y Malo (1778-1853)	203
G. NÚÑEZ ROMERO-BALMAS: La minería Alpujarreña en la primera mitad del siglo XIX. Capítulos 3, 4 y 5	206
Noticias y notas bibliográficas	220
J. M. LÓPEZ DE AZCONA: Mineros destacados del siglo XVIII. Diego de Larrañaga y Gárate	344
Noticias y notas bibliográficas	347
J. M. LÓPEZ DE AZCONA: Mineros destacados del siglo XVIII. José de Larrañaga y Arámbarri	444
G. NÚÑEZ ROMERO-BALMAS: La minería Alpujarreña en la primera mitad del siglo XIX. Capítulos 6 y 7	446
Noticias y notas bibliográficas	456
J. M. LÓPEZ DE AZCONA: Promoción de la Comisión Nacional de Geología	550
G. NÚÑEZ ROMERO-BALMAS: La minería Alpujarreña en la primera mitad del siglo XIX. Capítulo 8	553
Noticias y notas bibliográficas	563
J. M. LÓPEZ DE AZCONA: Mineros destacados del siglo XVIII. Timoteo Alvarez de Veriña y Cardecha	667
G. NÚÑEZ ROMERO-BALMAS: La minería Alpujarreña en la primera mitad del siglo XIX. Capítulos 9, 10 y 11	669
Noticias y notas bibliográficas	677

INDICE DE AUTORES

Tomo XCVI

	Páginas
ALONSO, J. L.; ALLER, J., y PÉREZ-ESTAÚN, A.: Procedencia de los conglomerados cantabrienses del Grupo Cea en la región del Manto del Esla (Zona Cantábrica, valles del Esla y Cea)	581
ALLER, J.; ALONSO, J. L., y PÉREZ-ESTAÚN, A.: Procedencia de los conglomerados cantabrienses del Grupo Cea en la región del Manto del Esla (Zona Cantábrica, valles del Esla y Cea)	581
ALVARO, M., y NAVIDAD, M.: El vulcanismo alcalino del Triásico Superior de Mallorca (Mediterráneo Occidental)	10
AMIGÓ, J. M.; ELORZA, J. J., y ARRIORTÚA, M. I.: Índices de Cristalinidad en los sílex de carácter turbidítico de Barrika (NE de Bilbao)	74
ARRIBAS, A.; SIERRA, J., y GUMIEL, P.: Geología, Mineralogía y Metalogena del yacimiento de Aznalcóllar (Tercera parte: Metalogena)	23
ARRIBAS, MARÍA E., y BUSTILLO, MARÍA A.: Modelos de silicificación en los carbonatos lacustres-palustres del Paleógeno del borde NE de la Cuenca del Tajo	325
ARRIORTÚA, M. I.; ELORZA, J. J., y AMIGÓ, J. M.: Índices de Cristalinidad en los sílex de carácter turbidítico de Barrika (NE de Bilbao)	74
ASTUDILLO, J.; GUIJARRO, J.; MORENO, A., y GUTIÉRREZ, A.: Distribución de uranio y torio en el plutón de Trujillo (Cáceres, España)	186
AYALA CARCEDO, F. J., y RODRÍGUEZ ORTIZ, J. M.: Introducción a los métodos empíricos de diseño de sostenimientos en galerías mineras	424
AZNAR, A. J., y DE LA IGLESIA, A.: Diagramas de estabilidad de zeolitas naturales y sintéticas	197
AZNAR, A. J., y DE LA IGLESIA, A.: Obtención de zeolitas a partir de arcillas aluminosas españolas	541
BERGAMÍN, J. E.; CAPOTE, R., y CARBÓ, A.: Detección mediante gravimetría de cuerpos graníticos ocultos en la región de Campo de Calatrava (Ciudad Real)	653
BERNALTE, A., y VALENZUELA, C.: Un método termogravimétrico rápido para análisis inmediato de carbones	58
BUSTILLO, MARÍA A., y ARIBAS, MARÍA E.: Modelos de silicificación en los carbonatos lacustres-palustres del Paleógeno del borde NE de la Cuenca del Tajo	325
BUSTILLO REVUELTA, M., y ORDÓÑEZ DELGADO, S.: Los yacimientos PB-ZN del tipo de Reocín en el sector oeste de Cantabria: Estudio comparativo y aspectos genéticos.	626
CALLEJA, L.; RODRÍGUEZ-REY, A.; RUIZ, V. G., y SUÁREZ, L. M.: Contracción lineal térmica de rocas plutónicas	310
CAPOTE, R.; BERGAMÍN, J. E., y CARBÓ, A.: Detección mediante gravimetría de cuerpos graníticos ocultos en la región de Campo de Calatrava (Ciudad Real)	653
CARBÓ, A.; BERGAMÍN, J. E., y CAPOTE, R.: Detección mediante gravimetría de cuerpos graníticos ocultos en la región de Campo de Calatrava (Ciudad Real)	653
CARRIÓN MOLES, F.; SAAVEDRA, J.; GARCÍA SÁNCHEZ, A., y ROMERO ESCUDERO, J. A.: Las silicificaciones del valle de Amblés (inmediaciones de Avila)	437

	Páginas
CASTROVIEJO BOLIBAR, R., y NODAL RAMOS, T.: Estudio geológico de las concentraciones de Co-(Ni-Cu-Fe) en el Silúrico de San Juan de Plan, valle de Gistaín (Pirineo de Huesca)	607
COLOM, G.: Estratigrafía y Paleontología del Andalucense y del Plioceno de Mallorca (Balears)	235
CRUZ-SANJULIÁN, J., y MORALES, T.: Termometría geoquímica de aguas termales del País Vasco	50
ELORZA, J. J.; ARRIORTÚA, M. I., y AMIGÓ, J. M.: Índices de Cristalinidad en los sílex de carácter turbidítico de Barrika (NE de Bilbao)	74
ESBERT ALEMANY, ROSA M. ^a , y VALDEÓN MENÉNDEZ, L.: Alterabilidad de areniscas asturianas utilizadas en monumentos	659
FERNÁNDEZ, C. J.: Los yacimientos stratabound de barita en la Formación Cándana o Herrería (Cámbrico Inferior), Asturias, NO de España	31
FERNÁNDEZ CARRASCO, J.; PALERO, F., y GUMIEL, P.: Ensayo de tipología de las mineralizaciones BPGC de la Alta Extremadura	381
FERNÁNDEZ-LORCA, S.; SANZ DE GALDEANO, C., y FERNÁNDEZ-RUBIO, R.: Fracturación y fotointerpretación en el sector de Albuñol-La Rábida (Granada) (Conjunto Alpujárride. Cordilleras Béticas)	3
FERNÁNDEZ MORALES, I.; LÓPEZ GARZÓN, J.; LÓPEZ PEINADO, A., y RIVERA UTRILLA, J.: Estudio de las características químicas y superficiales de tres lignitos de la cuenca carbonífera de Teruel	152
FERNÁNDEZ-RUBIO, R.; SANZ DE GALDEANO, C., y FERNÁNDEZ-LORCA, S.: Fracturación y fotointerpretación en el sector de Albuñol-La Rábida (Granada) (Conjunto Alpujárride. Cordilleras Béticas)	3
GABALDÓN, V.; ROSELL, J.; REMACHA, E., y ZAMORANO, M.: Serie turbidítica del Cretácico Superior del País Vasco	361
GABALDÓN, V.; ROSELL, J.; REMACHA, E., y ZAMORANO, M.: Estratigrafía de la cuenca turbidítica terciaria de Guipúzcoa. Comparación con la cuenca turbidítica prepirenaica central	471
GARCÍA LOBÓN, J. L., y PLATA TORRES, J. L.: Tendencias actuales para tratamiento de datos gravimétricos: Aplicación de un sistema desarrollado por el IGME	413
GARCÍA SÁNCHEZ, A.; SAAVEDRA, J.; ROMERO ESCUDERO, J. A., y CARRIÓN MOLES, F.: Las silicificaciones del valle de Amblés (inmediaciones de Avila)	437
GIL CID, MARÍA DOLORES: Trilobites Agnóstidos del Cámbrico Medio de la Sierra de Córdoba	9
GIL CID, MARÍA DOLORES: Sobre la existencia de Paradoxides enrollado en el Cámbrico hispano	483
GIL CID, MARÍA DOLORES: Presencia de Delgadella souzai caudata (Delgado, 1904) en el Cámbrico Inferior de Nogales (Badajoz)	592
GÓMEZ PALLEROLA, J. E.: Nuevos Hybodontidos del Cretácico Inferior de Santa María de Meyá (Lérida)	372
GRACIA PRIETO, F. J.: Las formaciones aluviales de la depresión presomontana de Cinco Villas	596
GRANDA SANZ, A., y PÉREZ TEREÑES, A.: La prospección geofísica de las mineralizaciones del Macizo de Aracena. Aplicación al sector de Fuenteheridos (Huelva)	316
GUIJARRO, J.; ASTUDILLO, J.; MORENO, A., y GUTIÉRREZ, A.: Distribución de uranio y torio en el plutón de Trujillo (Cáceres, España)	186

	Páginas
GUMIEL, P.; PALERO, F., y FERNÁNDEZ CARRASCO, J.: Ensayo de tipología de las mineralizaciones BPGC de la Alta Extremadura	381
GUMIEL, P.; SIERRA, J., y ARRIBAS A.: Geología, Mineralogía y Metalogenia del yacimiento de Aznalcóllar (Tercera parte: Metalogenia)	23
GUTIÉRREZ, A.; GUIJARRO, J.; ASTUDILLO, J., y MORENO, A.: Distribución de uranio y torio en el plutón de Trujillo (Cáceres, España)	186
IGLESIA, A. DE LA, y AZNAR, A. J.: Diagramas de estabilidad de zeolitas naturales y sintéticas	197
IGLESIA, A. DE LA, y AZNAR, A. J.: Obtención de zeolitas a partir de arcillas aluminosas españolas	541
IGLESIAS LÓPEZ, A.: Filosofía de los modelos para la satisfacción conjunta de necesidades de agua. Modelos de regulación garantía (REGA)	158
IGLESIAS LÓPEZ, A.: Usos y aplicaciones del agua en España	512
LÓPEZ DE AZCONA, J. M.: Mineros destacados del siglo XVIII. Andrés Manuel del Río y Fernández (1764-1849)	82
LÓPEZ DE AZCONA, J. M.: Mineros destacados del siglo XVIII. Rafael Cavanillas y Malo (1778-1853)	203
LÓPEZ DE AZCONA, J. M.: Mineros destacados del siglo XVIII. Diego de Larrañaga y Gárate	344
LÓPEZ DE AZCONA, J. M.: Mineros destacados del siglo XVIII. José de Larrañaga y Arámbarrí	444
LÓPEZ DE AZCONA, J. M.: Promoción de la Comisión Nacional de Geología	550
LÓPEZ DE AZCONA, J. M.: Mineros destacados del siglo XVIII. Timoteo Alvarez de Veriña y Cardecha	667
LÓPEZ GARZÓN, J.; FERNÁNDEZ MORALES, I.; LÓPEZ PEINADO, A., y RIVERA UTRILLA, J.: Estudio de las características químicas y superficiales de tres lignitos de la cuenca carbonífera de Teruel	152
LÓPEZ PEINADO, A.; FERNÁNDEZ MORALES, I.; LÓPEZ GARZÓN, J., y RIVERA UTRILLA, J.: Estudio de las características químicas y superficiales de tres lignitos de la cuenca carbonífera de Teruel	152
LORENC, M., y SAAVEDRA, J.: Estudio geológico del Plutonismo ácido-básico y su entorno metamórfico en el área de Guijuelo-Bercimuelle (SE de Salamanca)	62
MARTÍN-SERRANO, A.: La estructura de las unidades del Flysch del Campo de Gibraltar, consecuencias tectónicas y paleogeográficas	117
MARTÍNEZ MARTÍNEZ, J.: Dunas de Maspalomas (Gran Canaria, España). Los parámetros morfoscópicos-granulométricos	486
MORALES, T., y CRUZ-SANJULIÁN, J.: Termometría geoquímica de aguas termales del País Vasco	50
MORENO, A.; GUIJARRO, J.; ASTUDILLO, J., y GUTIÉRREZ, A.: Distribución de uranio y torio en el plutón de Trujillo (Cáceres, España)	186
MORENO-GARRIDO, M. ^a C., y VERA, J. A.: El Culm al sur del anticlinorio de Puebla de Guzmán (Huelva, España)	141
NAVIDAD, M., y ALVARO, M.: El vulcanismo alcalino del Triásico Superior de Mallorca (Mediterráneo Occidental)	10
NÚÑEZ ROMERO-BALMAS, G.: La minería Alpujarreña en la primera mitad del siglo XIX. Capítulos 1 y 2	90

	Páginas
NÚÑEZ ROMERO-BALMAS, G.: La minería Alpujarreña en la primera mitad del siglo XIX. Capítulos 3, 4 y 5	206
NÚÑEZ ROMERO-BALMAS, G.: La minería Alpujarreña en la primera mitad del siglo XIX. Capítulos 6 y 7	446
NÚÑEZ ROMERO-BALMAS, G.: La minería Alpujarreña en la primera mitad del siglo XIX. Capítulo 8	553
NÚÑEZ ROMERO-BALMAS, G.: La minería Alpujarreña en la primera mitad del siglo XIX. Capítulos 9, 10 y 11	669
ORDÓÑEZ DELGADO, S., y BUSTILLO REVUELTA, M.: Los yacimientos PB-ZN del tipo de Reocín en el sector oeste de Cantabria: Estudio comparativo y aspectos genéticos	626
PALERO, F.; GUMIEL, P., y FERNÁNDEZ CARRASCO, J.: Ensayo de tipología de las mineralizaciones BPGC de la Alta Extremadura	381
PÉREZ-ESTAÚN, A.; ALLER, J., y ALONSO, J. L.: Procedencia de los conglomerados cantabrienses del Grupo Cea en la región del Manto del Esla (Zona Cantábrica, valles del Esla y Cea)	581
PÉREZ TEREÑES, A., y GRANDA SANZ, A.: La prospección geofísica de las mineralizaciones del Macizo de Aracena. Aplicación al sector de Fuenteheridos (Huelva)	316
PLATA TORRES, J. L., y GARCÍA LOBÓN, J. L.: Tendencias actuales para tratamiento de datos gravimétricos: Aplicación de un sistema desarrollado por el IGME	413
REMACHA, E.; ROSELL, J.; ZAMORANO, M., y GABALDÓN V.: Serie turbidítica del Cretácico Superior del País Vasco	361
REMACHA, E.; ROSELL, J.; ZAMORANO, M., y GABALDÓN, V.: Estratigrafía de la cuenca turbidítica terciaria de Guipúzcoa. Comparación con la cuenca turbidítica prepirenaica central	471
RIVERA UTRILLA, J.; FERNÁNDEZ MORALES I.; LÓPEZ GARZÓN, J., y LÓPEZ PEINADO, A.: Estudio de las características químicas y superficiales de tres lignitos de la cuenca carbonífera de Teruel	152
RODRÍGUEZ ORTIZ, J. M., y AYALA CARCEDO, F. J.: Introducción a los métodos empíricos de diseño de sostenimientos en galerías mineras	424
RODRÍGUEZ-REY, A.; CALLEJA, L.; RUIZ, V. G., y SUÁREZ, L. M.: Contracción lineal térmica de rocas plutónicas	310
ROMERO ESCUDERO, J. A.; SAAVEDRA, J.; GARCÍA SÁNCHEZ, A., y CARRIÓN MOLES, F.: Las silicificaciones del valle de Amblés (inmediaciones de Avila)	437
ROSELL, J.; REMACHA, E.; ZAMORANO, M., y GABALDÓN V.: Serie turbidítica del Cretácico Superior del País Vasco	361
ROSELL, J.; REMACHA, E.; ZAMORANO, M., y GABALDÓN, V.: Estratigrafía de la cuenca turbidítica terciaria de Guipúzcoa. Comparación con la cuenca turbidítica prepirenaica central	471
RUIZ, V. G.; RODRÍGUEZ-REY, A.; CALLEJA, L., y SUÁREZ, L. M.: Contracción lineal térmica de rocas plutónicas	310
SAAVEDRA J.; GARCÍA SÁNCHEZ, A.; ROMERO ESCUDERO, J. A., y CARRIÓN MOLES, F.: Las silicificaciones del valle de Amblés (inmediaciones de Avila)	437
SAAVEDRA, J., y LORENC, M.: Estudio geológico del Plutonismo ácido-básico y su entorno metamórfico en el área de Guijuelo-Bercimuelle (SE de Salamanca)	62
SÁNCHEZ QUINTANILLA, ANA: Interpolación en tres dimensiones mediante generación de funciones BICUBIC SPLINES y obtención de isolíneas por ordenador	165

	Páginas
SÁNCHEZ SAN ROMÁN, F. JAVIER: Utilización de un modelo de flujo complejo en microordenador	303
SANZ DE GALDEANO, C.; FERNÁNDEZ-RUBIO, R., y FERNÁNDEZ-LORCA, S.: Fracturación y fotointerpretación en el sector de Albuñol-La Rábida (Granada) (Conjunto Alpujárride. Cordilleras Béticas)	3
SANZ PÉREZ, E.: Un modelo SIMERO de simulación de las escorrentías superficial y subterránea	632
SIERRA, J.; ARRIBAS A., y GUMIEL P.: Geología, Mineralogía y Metalogenia del yacimiento de Aznalcóllar (Tercera parte: Metalogenia)	23
SIERRA, JOSEFINA: Naturaleza y distribución de las menas que constituyen el yacimiento de Aznalcóllar, provincia de Sevilla (España)	432
SUÁREZ L. M.; RODRÍGUEZ-REY, A.; CALLEJA, L., y RUIZ, V. G.: Contracción lineal térmica de rocas plutónicas	310
VALENZUELA, C., y BERNALTE, A.: Un método termogravimétrico rápida para análisis inmediato de carbones	58
VALDEÓN MENÉNDEZ, L., y ESBERT ALEMANY, ROSA M. ^a : Alterabilidad de areniscas asturianas utilizadas en monumentos	659
VERA, J. A., y MORENO-GARRIDO, M. ^a C.: El Culm al sur del anticlinorio de Puebla de Guzmán (Huelva, España)	141
ZAMORANO, M.; ROSELL, J.; REMACHA, E., y GABALDÓN V.: Serie turbidítica del Cretácico Superior del País Vasco	361
ZAMORANO, M.; ROSELL, J.; REMACHA, E., y GABALDÓN, V.: Estratigrafía de la cuenca turbidítica terciaria de Guipúzcoa. Comparación con la cuenca turbidítica prepirenaica central	471



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA
Ríos Rosas, 23 - 28003 Madrid