

En este número:

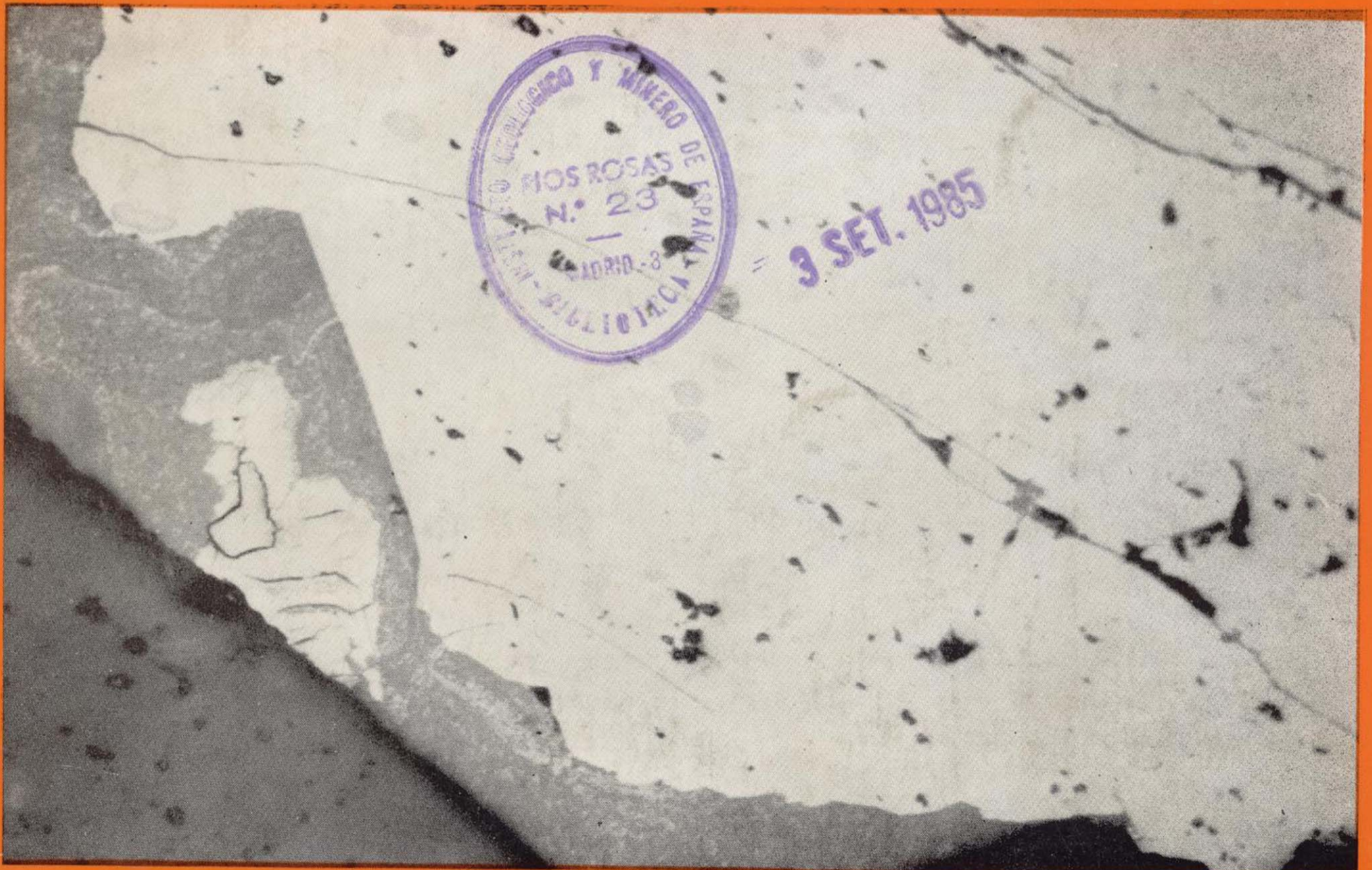
- La estructura de las unidades del Flysch del Campo de Gibraltar, consecuencias tectónicas y paleogeográficas.
- El Culm al sur del anticlinorio de Puebla de Guzmán (Huelva, España)
- Estudio de las características químicas y superficiales de tres lignitos de la cuenca carbonífera de Teruel.
- Filosofía de los modelos para la satisfacción conjunta de necesidades de agua. Modelos de regulación garantía (REGA).
- Interpolación en tres dimensiones mediante generación de funciones BICUBIC SPLINES y obtención de isolíneas por ordenador.
- Distribución de uranio y torio en el plutón de Trujillo (Cáceres, España).
- Diagramas de estabilidad de zeolitas naturales y sintéticas.

REVISTA BIMESTRAL DEL IGME FUNDADA EN 1874

T. XCVI. Segundo Fascículo. Marzo - Abril 1985

boletín geológico y minero

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



Tomo 96
Fascículo II
Marzo - Abril 1985

Boletín Geológico y Minero



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

SUMARIO

Geología	A. MARTÍN-SERRANO: La estructura de las unidades del Flysch del Campo de Gibraltar, consecuencias tectónicas y paleogeográficas	3
	M.ª C. MORENO-GARRIDO y J. A. VERA: El Culm al sur del anticlinorio de Puebla de Guzmán (Huelva, España)	27
Minería	I. FERNÁNDEZ MORALES, J. LÓPEZ GARZÓN, A. LÓPEZ PEINADO y J. RIVERA ÚTRILLA: Estudio de las características químicas y superficiales de tres lignitos de la cuenca carbonífera de Teruel.	38
Aguas subterráneas	A. IGLESIAS LÓPEZ: Filosofía de los modelos para la satisfacción conjunta de necesidades de agua. Modelos de regulación garantía (REGA)	44
Geofísica	ANA SÁNCHEZ QUINTANILLA: Interpolación en tres dimensiones mediante generación de funciones BICUBIC SPLINES y obtención de isolíneas por ordenador	51
Geoquímica	J. GUIJARRO, J. ASTUDILLO, A. MORENO y A. GUTIÉRREZ: Distribución de uranio y torio en el plutón de Trujillo (Cáceres, España)	72
Estudio de minerales y rocas	A. J. AZNAR y A. LA IGLESIA: Diagramas de estabilidad de zeolitas naturales y sintéticas	83
Información	J. M. LÓPEZ DE AZCONA: Mineros destacados del siglo XVIII. Rafael Cavanillas y Malo (1778-1853)	89
	G. NÚÑEZ ROMERO-BALMAS: La minería Alpujarreña en la primera mitad del siglo XIX. Capítulos 3, 4 y 5	92
	Noticias y Notas Bibliográficas	106

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

Yacimiento estannífero de Logrosán (Cáceres, España)
Texturas de: Exolución de blenda en estannina y reemplazo de estannina por covellina, escorodita, calcosina y digenita

Foto: Dr. J. Guijarro - U. A. M.

ISSN 0366 - 0176

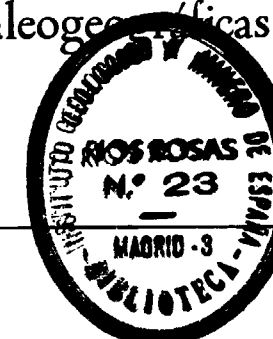
Depósito legal: M. 3.279 - 1958

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

La estructura de las unidades del Flysch del Campo de Gibraltar. Consecuencias tectónicas y paleogeográficas

3 SET. 1985

Por A. MARTIN-SERRANO (*)



RESUMEN

Se describen los principales rasgos estratigráficos y estructurales del Flysch en observaciones realizadas en una amplia zona del Campo de Gibraltar. Se analizan y se discuten las mismas y también los datos e interpretaciones de otros autores en éstas y en otras zonas próximas.

Como resultado se propone un modelo estructural basado en esfuerzos compresivos, e inducidos por estos fenómenos de gravedad. Este mecanismo se relaciona con la traslación hacia el oeste de la Zona Interna.

La principal ventaja de este dispositivo tectónico es que explica simultáneamente, sin necesidad de recurrir a más de una etapa de emplazamiento, el apilamiento de todas las unidades del Campo de Gibraltar. Además, la aplicación de este modelo acarrea importantes consecuencias paleogeográficas.

ABSTRACT

The principal stratigraphical and structural characteristics of the Flysch are described through several observations made on a wide zone of the «Campo de Gibraltar». This observations are analyzed and discussed at the same time than data and interpretations from several others authors, in this and other near zones.

As result a compressive-stress structural model is proposed. This compressive-stress induce gravitational phenomena. This mechanism is related with the through the west traslation of the Internal Zone.

The principal advantage of this tectonic mechanism is that it explains, at the same time and without to have to define more than one period of putting in place, the piling up of every unity of the «Campo de Gibraltar». In addition, the application of this model bring important paleogeographic conclusions.

INTRODUCCION

El Campo de Gibraltar da nombre a un conjunto de unidades de tipo «flysch», cuyo emplazamiento actual ocupa una posición cartográfica intermedia entre las Zonas Internas y las Zonas Externas de las Cordilleras Béticas (fig. 1). Este dominio, que mediante el Arco de Gibraltar une esta cadena con las Mogrébides africanas, es la Zona Circumbética de la reciente denominación propuesta por BAENA y JEREZ (1982).

Aunque a comienzos de siglo la complejidad geológica de la región ya suscita ideas aloctonistas (GENTIL, 1918), que hoy nadie parece discutir,

dicha dificultad no queda bien planteada hasta el trabajo de DIDON (1969). En éste, se interpreta la estructura geológica mediante el apilamiento en mantos de corrimiento de origen gravitacional.

Durante algunos años, los problemas actuales de este sector de las béticas ha permanecido tal y como los planteó el autor anterior. En este sentido hay que señalar la gran complejidad estratigráfica y tectónica con que se disponen las unidades por él definidas. La utilidad inicial de tales unidades, por su complejidad, se ha transformado con el transcurso del tiempo en el mayor obstáculo para definir una disposición estructural más concreta. Esta idea inicial de lo que debe ser el edificio tectónico de estas unidades, aunque es un excelente planteamiento general y necesario punto de partida para cualquier trabajo geológico

(*) Departamento de Geomorfología y Geotectónica, Facultad de Geología, Madrid.

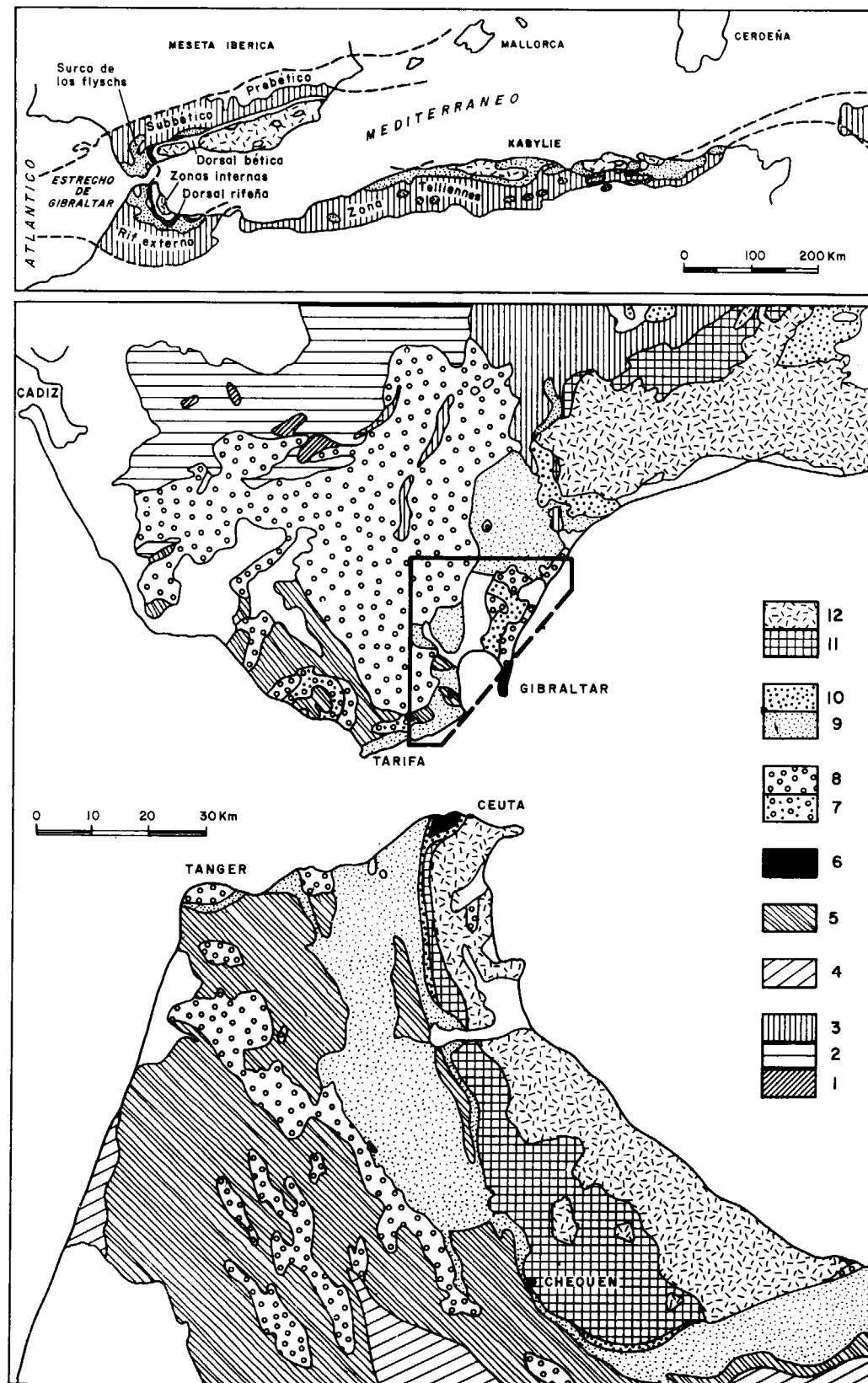


Figura 1.—Situación de los trabajos realizados para MAGNA (Esquemas geológicos: a) según DURAND DELGA y FONTBOTÉ, 1980, y b) según DIDON, DURÁN DELGA y KORNPROBST, 1973).

Leyenda: Zonas Externas: 1, Unidad de Paterna; 2, Subbético; 3, Penibético; 4, Zona Externa rifeña. Flyschs: 5, Unidad de Tánger, Almarchal, Facinas y Algarrobo; 6, Taríquides; 7, Unidad de Bolonia; 8, Unidad de Aljibe (Numídico); 9, Unidades Mauritánides; 10, Unidades Predorsalianas. Zonas Internas: 11, Dorsal; 12, Unidades Internas s. str.

regional, no resuelve muchas de las características estructurales observadas con detalle. Además, el amontonamiento de las unidades turbidíticas en su disposición actual debe suponer, de acuerdo con los datos manejados, varias etapas gravitacionales muy complejas.

Más adelante, la reinterpretación de sus propios resultados lleva a DIDON (1977) a eliminar algunas formaciones de sus primitivas unidades, a interpretar de manera diferente otras, y a definir un importante complejo tectono-sedimentario con un papel fundamental en los mecanismos de emplazamiento, que es ásimilable al complejo de «Arcillas con bloques» de BOURGOIS (1973). Esta idea, que a juicio de muchos se le ha dado una dimensión exagerada en la Cordillera, ni ha podido ser confirmada plenamente en esta región, ni supone tampoco la resolución estructural de las unidades que afloran en la misma.

Recientemente los estudios emprendidos por el IGME y por SECEGSA han proporcionado observaciones de detalle y una cartografía geológica a escala más reducida que las precedentes, limitadas al referido trabajo de DIDON (1969). De tales estudios y concretamente del que se refiere al proyecto MAGNA del IGME (Hojas geológicas a escala 1/50.000, núm. 1.075, San Roque, y número 1.078, La Línea) se han extraído gran parte de los datos en los que se basa este artículo. La síntesis y maduración posterior de los mismos, el conocimiento de otras zonas de la Cordillera merced a los trabajos del MAGNA de estos últimos tres años (MARTÍN-SERRANO, 1981, 1982 y 1983), y la revisión actualizada de la bibliografía regional, han dado como resultado las ideas que se exponen a continuación.

PRINCIPALES RASGOS ESTRATIGRAFICOS

IDEAS PALEOGEOGRAFICAS Y ESTRATIGRAFICAS MAS GENERALIZADAS

Desde el punto de vista sedimentológico se está de acuerdo en considerar estas unidades turbidíticas como un conjunto homogéneo con evidentes rasgos comunes. La gradación y continuidad de sus facies facilitan su correlación y sugieren la

existencia de un único modelo sedimentario basado en la coalescencia de sucesivos abanicos profundos.

DIDON (1969), que enumera todos estos aspectos semejantes en cronológicos y de facies, hace en su planteamiento inicial la siguiente correlación estratigráfica, cuya sucesión se realiza a partir de la Zona Interna, y en ella están incluidas la mayoría de las unidades por él definidas.

a) Argüelles - La Novia - Aljibe - Bolonia - Camarote.

Algeciras - Almarchal
Los Nogales

o bien esta otra:

b) La Novia - Aljibe - Bolonia - Algeciras - Nogales

Argüelles - Almarchal
Camarote.

Por su parte, PENDON (1978) centra su investigación en las que considera unidades fundamentales del Campo de Gibraltar, es decir: Aljibe, Bolonia, Algeciras y Almarchal, y mantiene la hipótesis del autor anterior tanto estratigráfica como estructuralmente. O sea, un autóctono relativo que es al mismo tiempo paleogeográficamente el más externo: Almarchal; y varias unidades alóctonas apiladas sobre él, paleogeográficamente internas y en la disposición señalada por DIDON (1969).

La segunda interpretación estructural de DIDON (1977) supone importantes cambios estratigráficos que es preciso señalar. Esta hipótesis no es sino la aplicación del complejo de «Arcillas con bloques» de BOURGOIS (1973) a esta zona del Estrecho. Mediante esta idea considera que el emplazamiento del Flysch acarrea importantes fenómenos tectono-sedimentarios, que aunque no han podido ser datados exactamente se cree que son posteriores al Aquitaniense Superior-Burdigaliense Inferior.

Supone que las distintas unidades, en masas o bloques de dimensiones variadas, están empastadas en una formación plástica o matriz. En ésta, incluye varias formaciones y facies inicialmente definidas dentro de las diversas unidades. Son: las «arcillas de Jimena», los bloques de Jurásico

y Cretácico y las arcillas versicolores que los incluyen, la mayor parte de las masas arcillosas que envuelven los bloques de la unidad de Algeciras y de Los Nogales, y el complejo arcillo-detritico del Cretácico Superior-Eoceno, en el que se disponen los fragmentos de la Unidad de Bolonia y de «las arcillas de Facinas». Además, señala dos sectores diferenciados: el oriental, donde están empastados elementos de Algeciras, Nogales, Bloques de Mesozoico (Los Pastores), e incluso masas numídicas (Loma Negra, Sierra Carbonera, Sierra Almenara y Sierra del Arca); y el occidental, con masas pertenecientes a Bolonia, Aljibe, e incluso a Almarchal.

OBSERVACIONES ESTRATIGRAFICAS REALIZADAS EN LA ZONA DE ALGECIRAS

El trabajo realizado con motivo del MAGNA (MARTÍN-SERRANO y PILES, 1980, a y b; CANO y TORRES, 1980) sigue por lo general los esquemas estratigráficos iniciales de DIDON (1969). Por eso las «arcillas de Jimena» se incluyen en la Unidad de Aljibe y se sitúan hacia el muro del término margo-calcáreo inferior de dicha unidad. Esta formación, esencialmente pelítica y por tanto con dificultades de observación, tiene un contacto con el término superior, las «areniscas de Aljibe», que comúnmente se supone mecánico. Por el contrario, cuando el contacto entre el término superior y el inferior se realiza mediante la «formación Benaiza» este es normal (Cerro del Ermitaño y embalse del Guadarranque en Castellar de la Frontera). En cierto modo este hecho puede reforzar la idea de que en esta zona las «arcillas de Jimena» ocupan esa posición basal.

En relación con la Unidad de Almarchal hay que referirse en primer lugar a la mala calidad de sus afloramientos más orientales; o sea, los localizados en las proximidades de Algeciras. Esta unidad fue definida por DIDON (1969) al este de este territorio y la interpretó paraautóctona, muro del edificio estructural del resto de los «flyschs», y correlacionable con la Unidad de Tánger del Rif. Este supuesto emplazamiento bajo las otras unidades conlleva que cartográficamente sus afloramientos se consideran ventanas tectónicas, incluso contraponiéndose a evidencias estructurales.

En el SO de Algeciras todos esos afloramientos semicubiertos, atribuidos por DIDON (1960) a la Unidad de Almarchal, presentan aspectos comunes: el carácter esencialmente pelítico, y en consecuencia las casi nulas posibilidades de observación, y la presencia de bloques de bancos de calcarenitas con convolutas espectaculares.

Observaciones realizadas con motivo de la ejecución de la citada Hoja del MAGNA (MARTÍN-SERRANO y PILES, 1980, b) demuestran que esa proximidad cartográfica con el «flysch calcáreo» eoceno de las Unidades de Algeciras y Bolonia es consecuencia de una relación estratigráfica normal. Esta, puede verse en los afloramientos de la playa de Getares, en los alrededores de la Plaza de Toros al N de la ciudad de Algeciras, y sobre todo en la costa de la Bahía, entre Torre del Almirante y el Cementerio (*).

En el trabajo que se acaba de citar, se señala la conveniencia de incluir tales afloramientos atribuidos a Almarchal, en las unidades con las que se relacionan cartográficamente; es decir, con Algeciras en esas zonas, y con Bolonia en el Oeste. De acuerdo con esta hipótesis la serie suprayacente de esos enigmáticos afloramientos no es otra que la del «flysch eoceno». El muro, que es aún más difícil de precisar en esta zona de Algeciras, parece estar ligado a las formaciones arcillosas que DIDON (1977) llama complejo detritico-arcilloso del Cretácico Superior-Eoceno de estas unidades y que «rodea» numerosos afloramientos de las mismas. Supone que es equivalente a lo que en los primeros escritos identifica bajo la denominación de «flysch senonense» y en la última ocasión la integra en la matriz del Complejo de «Arcillas con bloques». Los afloramientos reconocidos corresponden a facies muy confusas de pelitas versicolores, oscuras, con bancos más o menos potentes de calizas areniscosas muy compactas con nódulos de pirita en sus muros. Por tanto no se han localizado tales afloramientos de la unidad de Almarchal, o mejor dicho, no se dispone de criterios suficientes para suponer que las facies señaladas constituyan una unidad aparte. Por el contrario, sí existen datos a favor de su integración en las Unidades de Algeciras y Bolonia. La realidad es que con los afloramientos

(*) Ver informe sedimentológico adjunto a la Memoria de la Hoja geológica de La Línea.

identificados en los lugares próximos a Algeciras, las series de la unidad que lleva ese nombre, si exceptuamos los niveles con *Microcodium*, están completas. En este sentido conviene señalar que ESTERAS (1982) también admite que la serie arcillosa con convolutas es el muro del «flysch» eoceno. Sin embargo, en el esquema cartográfico presentado por este autor, aún se conservan muchos de esos afloramientos como pertenecientes a la Unidad de Almarchal. En el citado trabajo no sólo se reconocen esas facies con convolutas en la Unidad de Algeciras, sino también en Bolonia, e incluso en el muro de Aljibe. En esas dos últimas unidades se relacionan estas facies con la presencia de microbrechas y nódulos de pirita, aspecto éste muy frecuente a techo y a muro de la Unidad de Algeciras en los alrededores de esa ciudad.

Por otra parte, la separación cartográfica de esas series basales, en las Unidades de Algeciras y Bolonia, se llamen como se llamen (Almarchal, «flysch senonense», o complejo detritico-arcilloso del Cretácico Superior-Eoceno), con el muro del que se supone dominio estructural superior (Unidad de Aljibe), presenta serias dificultades (MARTÍN-SERRANO y PILES, 1980 b). Fundamentalmente estriba en sus semejanzas estratigráficas y en la escasez de afloramientos. Por esta circunstancia, que ha sido ratificada recientemente por ESTERAS (1982), se comprenden las razones posteriores de DIDON (1977) al incluir varias de esas facies y formaciones implicadas, en el Complejo de «arcillas con bloques».

La Unidad del Yebel Tisirene del Rif, tramo inferior del manto de Beni-Ider, equivalente a la Unidad de Algeciras en ese lado del Estrecho, ha sido reconocida por DIDON (1969) en dos lugares del Campo de Gibraltar. Es la Unidad de Los Nogales del vértice Tambor, al SO de Algeciras, y de la orla meridional de la Sierra de Arca, al norte de La Línea. También en la zona de Manilva se describen afloramientos afines que se atribuyen a las Unidades de Los Nogales y de Camarote (DIDON, 1969; CANO y TORRES, 1980). La mayor parte de esos afloramientos son areniscas y margas grises en facies areniscoso-micáceas casi numídicas. Aunque estos niveles son azoicos, se atribuyen al Cretácico Inferior (Neocomiense) en base a la presencia de bancos con *Aptychus* de una formación margosa cartográficamente adya-

cente y que DIDON (1969) considera basal; hipótesis muy discutible dado el grado de tectonización que existe. Aunque sin criterios paleontológicos capaces de rebatir tal idea, en el trabajo del MAGNA (MARTÍN-SERRANO y PILES, 1980, b) se asimiló tal unidad a la correspondiente a sus afloramientos vecinos, pues tanto estructural como estratigráficamente es perfectamente correlacionable con ellos. La proximidad cartográfica de esos «tramos basales» que pudieran corresponder a cualquiera de las unidades allí representadas (Algeciras y Bolonia), es fácil de explicar tectónicamente. El problema surge al considerar las dataciones que se les atribuyen, Cretácico Inferior, pues ninguna de las unidades presentes en el Campo de Gibraltar alcanza esa edad.

Desde La Línea, todo el litoral mediterráneo está jalonado por afloramientos de unos flyschs de tipo numídico. En la parte meridional, además del ya citado afloramiento atribuido a la Unidad de Los Nogales, DIDON (1969) separa los correspondientes a la Unidad de Aljibe y los que pertenecen a la Unidad del Cerro de La Novia (Punta Cullera). Con ellos se relacionan sus correspondientes series de base, pelíticas y calcareníticas eocenas y oligocenas, con abundantes niveles organógenos. Los términos superiores de unas y otras, totalmente azoicos presentan un aspecto estratigráfico muy parecido, y una composición petrológica muy constante, fácilmente diferenciable no sólo del «flysch areniscoso-micáceo» de Algeciras, sino también de las «areniscas de Aljibe» de los afloramientos occidentales.

CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DE LOS FLYSCHS

Hasta la fecha dos hipótesis tectónicas tratan de explicar la disposición geométrica de los «flyschs» del Campo de Gibraltar:

— La hipótesis clásica de DIDON (1969), que supone un apilamiento de las unidades mediante cabalgamientos perfectamente estructurados según tres pisos tectónicos superpuestos: el superior, con la Unidad de Aljibe; el intermedio, que incluye la Unidad de Algeciras y la de Bolonia, y el basal, que es paraautóctono y está constituido por la Uni-

dad de Almarchal (nos referimos exclusivamente a estas cuatro unidades principales).

— La segunda hipótesis, que se basa en los mecanismos tectosedimentarios ideados por BOURGOIS (1973), supondría un deslizamiento caótico de los distintos elementos que componen las unidades de los «flyschs». Sin embargo, DIDON (1977) que aplica tardíamente esta idea en el Campo de Gibraltar, pasa por alto cualquier interpretación de la disposición estructural de esas unidades desde esa nueva perspectiva. El edificio tectónico queda, pues, según lo imagina inicialmente.

Hay opiniones recientes (SECEGSA, 1981) que consideran que se han extrapolado exageradamente las ideas de BOURGOIS (1973, 1978), factibles en algunos sectores de la cordillera, y que la interpretación inicial de DIDON (1969) está más cerca de la realidad. Sin embargo, en ese mismo trabajo se señala que las relaciones entre el manto de Aljibe y el de Algeciras son ambiguas. La Unidad de Aljibe tan sólo cabalga ligeramente hacia el Este a la de Algeciras. Estos dos conjuntos más que superponerse se enfrentan. Las hipótesis clásicas de superposición por avance de la unidad superior hacia el O están en entredicho.

Con respecto a la Unidad de Almarchal, los mismos autores (SECEGCA, 1981) admiten la posibilidad de que ésta no constituya un sustrato para autóctono, sino una lámina alóctona superpuesta a otras facies de la unidad más externa de Tánger Occidental.

Sin embargo, los rasgos estructurales observados confirman la primera hipótesis de DIDON (1969) con sólo una salvedad: la eliminación de la Unidad de Almarchal. Esto determina la reducción del edificio tectónico a dos únicos pisos o dominios. Sus características son las que se describen a continuación:

a) *Dominio tectónico Superior: Unidad Aljibe.*

De las diferencias litoestratigráficas que conforman los dos términos que componen la Unidad de Aljibe va a depender en gran parte su estilo estructural. Es decir, de la competencia de la formación suprayacente, areniscas de Aljibe, y de la plasticidad del término basal. Sin embargo, aunque el contraste es importante, los despegues entre uno y otro término no están generalizados.

Contrariamente a la opinión de DIDON (1969) que describe esta Unidad como «icebergs areniscos flotando sobre un océano de arcillas», las disarmonías no son tan frecuentes en la mayor parte de los afloramientos que la constituyen. El símil de DIDON se ajusta sobre todo a los afloramientos más occidentales, próximos a la costa atlántica.

En pleno dominio de la Unidad de Aljibe, el término plástico inferior, que suele aflorar tan sólo en sus tramos más altos, se presenta en concordancia con el término superior. Estos niveles, constituidos por la «formación Benaiza», que suelen consistir en series monoclinales con polaridad normal, ofrecen una cierta continuidad con las grandes alineaciones de «areniscas de Aljibe». Sin embargo, las observaciones realizadas en la periferia de este dominio tectónico, donde afloran los términos más bajos de esta unidad, revelan que hacia el muro las series tienden a replegarse y la estructura general se hace cada vez más confusa a medida que nos aproximamos al dominio tectónico infrayacente.

Los afloramientos de «areniscas de Aljibe» y margo-calizas de la «formación Benaiza» se alternan para dibujar pliegues apretados y fallas inversas, con paso lateral de unos a otras, con vergencia general hacia el oeste y noroeste.

Las inflexiones y cabeceos de las series, que llegan a confundir al estilo estructural dominante, es debido a esfuerzos posteriores. A dichas etapas, que DIDON (1969, 1973) interpreta como consecuencia de una compresión N-S en la que juegan accidentes transversales y desgarres dextros, se deben los grandes rasgos estructurales de este dominio (pliegues sigmoides).

b) *Dominio tectónico inferior: Unidad de Algeciras, Unidad de Bolonia, Unidad de Los Nogales (?), Unidad de Aljibe (?) y Unidad de La Novia (?).*

El caos estructural que se supone caracteriza a la Unidad de Algeciras es más aparente, y consecuencia, a veces, más que de su complejidad intrínseca, de sus malas condiciones de observación. De forma general, tanto esta como las demás unidades incluidas en este dominio, se disponen según trozos más o menos individualizados en donde las series se presentan en estruc-

turas monoclinales con buzamientos entre los 40° y 60° y polaridad invertida. Por el contrario, los afloramientos con estratificación normal son escasos. Los contactos entre cada porción, que suelen ser cartográficamente líneas arqueadas, se interpretan como escamas o fallas inversas de bajo ángulo. Tanto este arqueamiento como la verticalidad, que caracteriza con frecuencia los planos de dichos contactos, se suponen forzados por una o más etapas de deformación posterior. A ellas ya hicimos referencia al describir estructuralmente la Unidad de Aljibe. Tal y como sucede en ese dominio, estas fases superponen al menos un plegamiento de plano axial subvertical y ligera vergencia al E.

Los afloramientos atribuidos por DIDON a la Unidad de Los Nogales y a la Unidad de La Novia (Loma Negra), cuyos problemas ya han sido señalados, independientemente de que formen parte

o no de dichas unidades, están claramente integrados en la estructura general de este dominio. Algo semejante parece que ocurre con los afloramientos del litoral mediterráneo entre La Línea y el río Guadiaro, que se atribuyen a la Unidad de Aljibe. Los que más claramente se pueden incluir en este dominio tectónico son los de las proximidades del Cortijo de Las Aguzaderas. Allí la repetición de los afloramientos de arenisca que alternan con las calizas de La Línea (facies de la Formación Benaiza) hacen pensar a DIDON en escamas tectónicas. Por otro lado, él mismo señala que cuando la polaridad de la serie ha sido determinada, cosa que ocurre raras veces, ésta se encuentra invertida. Este hecho se ha podido confirmar en los niveles margo-calíceos intercalados, pues están siempre en series monoclinales invertidas, tal y como corresponde al dominio estructural inferior.

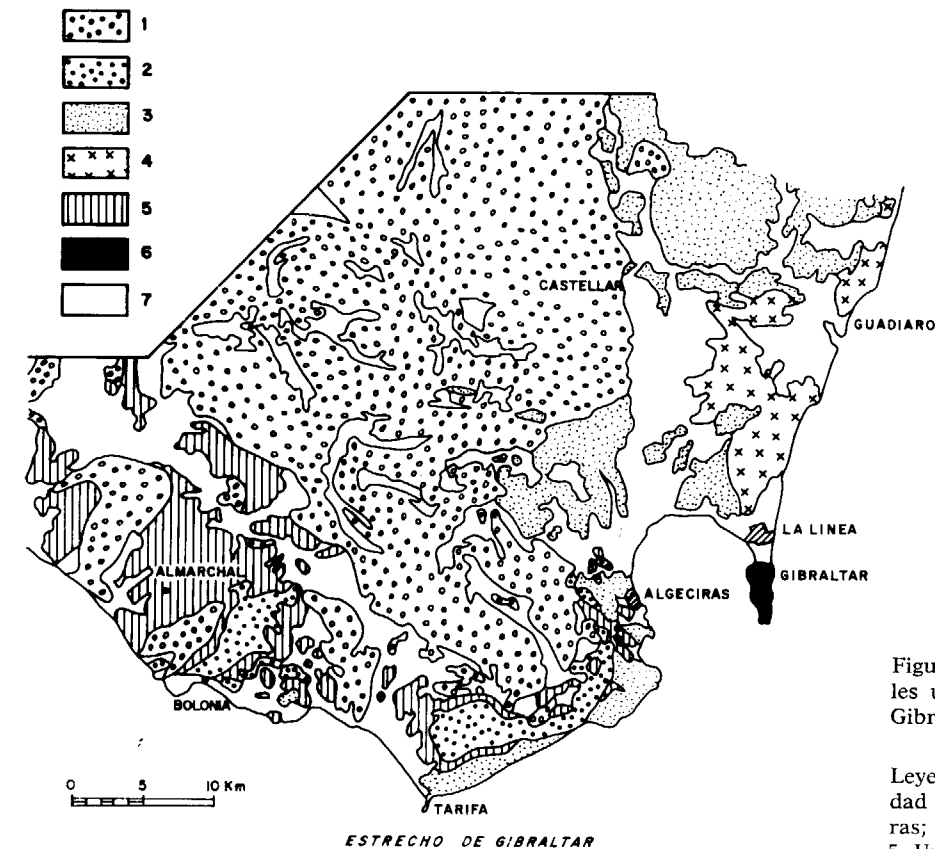


Figura 2.—Localización de las principales unidades del Flysch del Campo de Gibraltar (esquema cartográfico modificado de DIDON, 1969).

Leyenda: 1, Unidad de Aljibe; 2, Unidad de Bolonia; 3, Unidad de Algeciras; 4, Numídico del norte de La Línea; 5, Unidad de Almarchal; 6, Tariques; 7, Formaciones postorogénicas.

Las Sierras Carbonera, Almenara y Arca, son para DIDON porciones de la Unidad de Aljibe, por tanto se interpretarían truncadas por las bases y apoyadas sobre el dominio estructural inferior, al que geográficamente pertenecen. Se deduce que según esta idea los afloramientos de Aljibe de las Aguzaderas no estarían relacionados con ninguna de esas sierras.

Sin embargo, la posibilidad de que todas puedan incluirse en el dominio estructural inferior parece más factible. Por un lado existe una cierta continuidad cartográfica en los afloramientos de este tipo de «flyschs numídicos del N de La Línea» (fig. 2). Por otro lado, la polaridad general de las series, tanto de las pelítico-areniscosas como pelítico-calcareas asociadas, es invertida. La Sierra del Arca constituye una antiforma en cofre que parece estar en perfecta relación estructural con

el afloramiento areniscoso atribuido a Los Nogales, y este a su vez ligados a las escamas tectónicas de Las Aguzaderas. Lo mismo ocurre con Sierra Almenara y con Loma Negra (ambos monoclinales invertidos) e incluso con Sierra Carbonera.

Además conviene señalar que la consideración de la hipótesis que relaciona este «numídico» con su sustrato mediante truncaduras basales, debe suponer también su correlación con los afloramientos de la Unidad de Aljibe s. str. más próximos. Como la idea es que son bloques retrasados de esa unidad, deben tener afinidades litoestratigráficas con los cercanos afloramientos de la región de Castellar de la Frontera. Sin embargo, las diferencias en ese campo son más señaladas de lo que cabía esperar (ver informe sedimentológico adjunto a la Hoja núm. 14-18, San Roque, IGME).

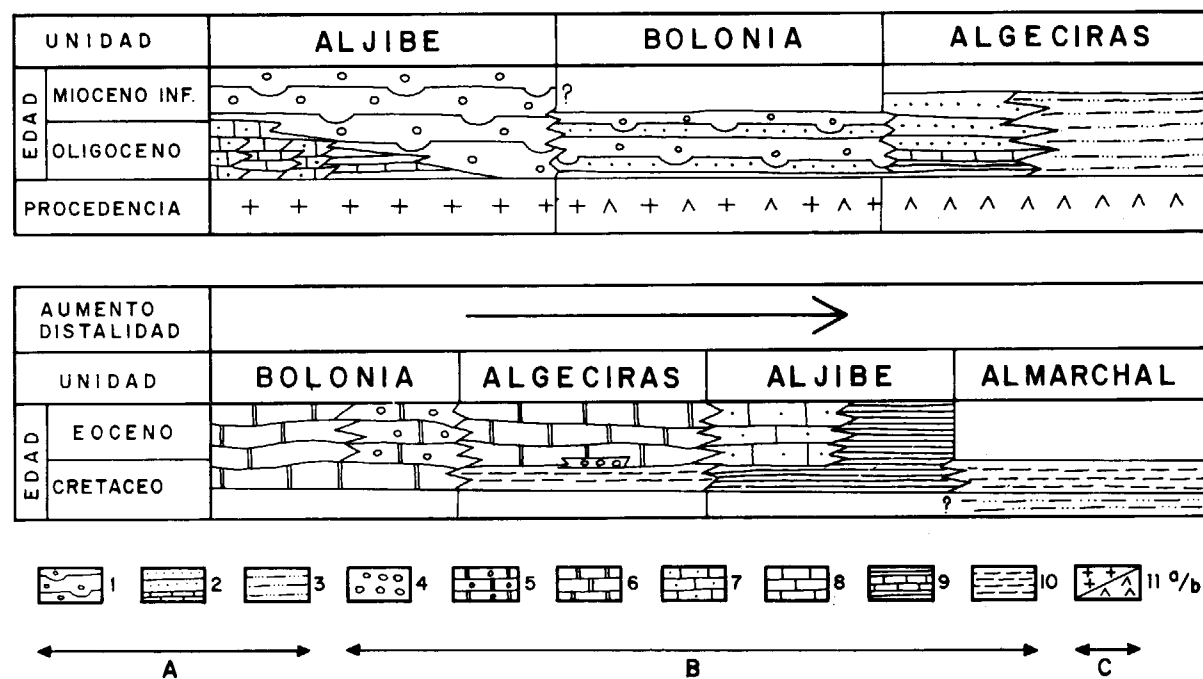


Figura 3.—Correlación de las Unidades del Flysch del Campo de Gibraltar según PENDON (1978) (Esquema simplificado).

Leyenda: A, Sedimentos detríticos: 1, Depósitos proximales al abanico interno/medio; 2, Depósito de abanico externo; 3, Depósito de llanura submarina. B, Depósitos carbonatados: 4, Conglomerados calcáreos; 5, Depósitos de abanico externo; 6 a 10, Depósitos carbonatados de llanura submarina (la distalidad aumenta de 6 a 10). 11, Procedencia del material detrítico: a, Rocas ígneas; b, Rocas metamórficas.

LOS PROBLEMAS ESTRATIGRAFICOS Y ESTRUCTURALES DEL FLYSCH. DISCUSION

Consideraciones estratigráficas

Las correlaciones bioestratigráficas de DIDON (1969) y los estudios sedimentológicos de PENDON (1978) llegan a conclusiones muy parecidas. En el esquema presentado por PENDON (fig. 3), basado en las que considera las cuatro unidades fundamentales en el Campo de Gibraltar, se diferencian dos términos cuya procedencia está claramente diferenciada. Uno y otro forman conjuntos homogéneos que se superponen en el tiempo. A excepción de la Unidad de Almachal, cada una de las unidades correlacionadas poseen ambos términos, y estos pueden ser interrelacionables con una cierta facilidad. El problema se plantea con el desfase de edad existente entre la Unidad de Algeciras y las otras unidades numídicas. La parte superior areniscosa de aquélla ha sido atribuida al Oligoceno (DIDON, 1969) o como mucho al límite Oligoceno-Mioceno (ESTERAS, 1981), y la de éstas, al Mioceno Inferior (Aquitaniense-Burdigaliense Inferior). Los términos inferiores, que en muchos casos han sido los que han permitido mediante sus determinaciones micropaleontológicas la datación de las areniscas superiores, presentan el mismo salto cronológico.

La solución está en la propia dinámica de la cuenca. Concretamente, en la movilidad en uno u otro sentido y a lo largo del tiempo del surco de sedimentación; en cierta forma semejante a la idea señalada por DURAND DELGA (1980) para explicar un problema similar en Argelia, donde se supone una propagación de N a S del eje de la cuenca de sedimentación.

Ateniéndose a los datos paleontológicos de DIDON (1969), el término inferior de las unidades fundamentales (excepto Almachal) abarcaría un período comprendido entre el Cretácico Superior y el Eoceno-Oligoceno, y el superior, entre el Oligoceno y el Mioceno Inferior (*).

(*) La idea generalizada de que la sedimentación del Flysch comienza en el Cretácico es consecuencia del hallazgo de microfaua de esa edad. Sin embargo, las especiales características de este tipo de sedimentación exigen una cierta reserva a la hora de establecer tales determinaciones. En este sentido, conviene señalar que en el trabajo realizado anteriormente (MARTÍN-SERRANO y

De todas formas, independientemente de los problemas que suscitan todas esas dataciones, todo parece indicar que la compleja sistematización cartográfica de los «flysch» se reduce a dos etapas turbidíticas fundamentales superpuestas. En el caso concreto de las unidades de Aljibe, Bolonia y Algeciras esta idea es bastante viable.

Un hecho que no puede pasar inadvertido, sobre todo si se establecen comparaciones con otras unidades, es que la Unidad de Almachal no presenta término superior areniscoso. Por otro lado, la edad que se le atribuye, Cretácico Superior-Eoceno (DIDON, 1969), casi siempre Campaniense-Maestrichtiense (ESTERAS, 1981) marca también la diferencia. Sin embargo, en el muro de las otras unidades se admiten también tramos con esta edad. Es más, muchas de esas series basales presentan facies comunes entre ellas y la propia unidad de Almachal. En la reciente publicación de ESTERAS (1982), donde se sigue manteniendo la independencia y parautoctonía de Almachal, se reconocen multitud de analogías litoestratigráficas entre esta unidad y los términos más bajos no sólo de Algeciras y Bolonia, sino también de Aljibe; e incluso con facies del «Cretácico Inferior» del Tambor (Unidad de Los Nogales) y de la formación «Arcillas de Facinas». Por otra parte, se señaló (MARTÍN-SERRANO y PILES, 1980, b) que los afloramientos de la unidad de Almachal en los alrededores de Algeciras ocupan una posición estratigráfica inferior y normal con el «flysch calcáreo» eoceno. Esta relación, cartográficamente constante (fig. 4), se ha podido comprobar puntualmente. En esos puntos los niveles más altos de esa facies se dataron como Eoceno Superior-Oligoceno. Sin embargo, lo más frecuente es que el contacto cartográfico esté mecanizado y sin condiciones de observación. El carácter esencialmente pelítico de «Almachal» origina casi siempre el despegue tectónico.

Por lo tanto, la Unidad de Almachal no tiene tal rango en los alrededores de Algeciras. Sus afloramientos son asimilables a los términos

PILES, 1980, a y b) se ha detectado igualmente la presencia de fauna cretácica, pero siempre acompañada de especies más modernas, nunca de edad inferior al Eoceno, en aquellos casos en que las determinaciones eran suficientemente precisas. (Estudios micropaleontológicos realizados por el Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias de Málaga.)

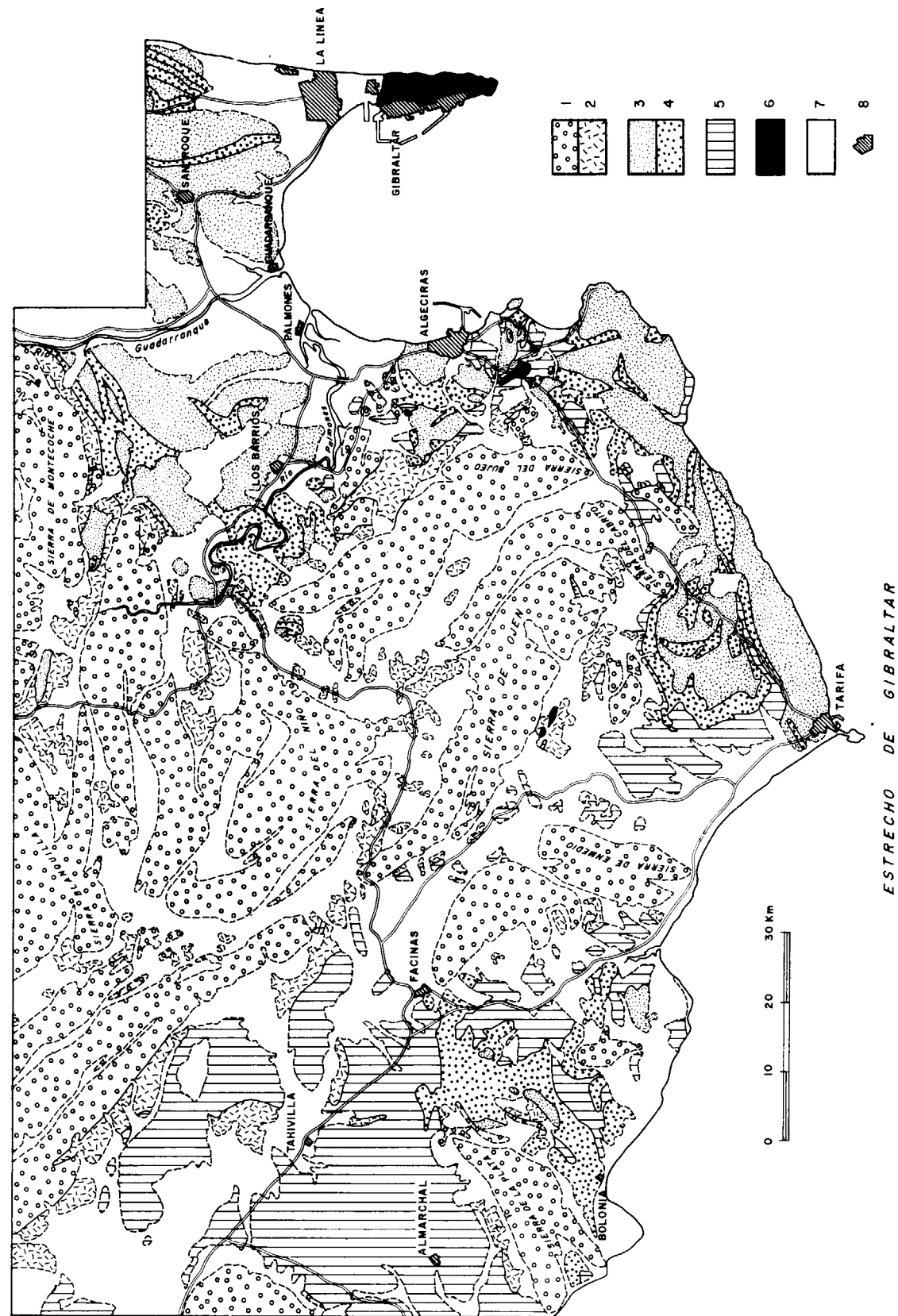


Figura 4.—Relaciones cartográficas de la Unidad de Almarshal con los dominios tectónicos del Flysch (esquema cartográfico basado en DIDON, 1969, y PENDON, 1978).
 Leyenda: A, Dominio estructural superior; 1, Término areniscoso; 2, Término pelítico carbonatado. B, Dominio estructural inferior; 3, Término areniscoso; 4, Término pelítico carbonatado; 5, Unidad de Almarshal; 6, Tariquides; 7, Formaciones post-orogénicas.

basales de las unidades presentes. Además, a juzgar por las referencias disponibles, esta circunstancia podría ser extrapolada a otros lugares del Campo de Gibraltar.

De acuerdo con esto, los afloramientos de Almarshal no quedarían estructuralmente por debajo de las series de Algeciras y de Bolonia. Por el contrario, reposan sobre ellas casi siempre, ya que constituyen el muro de las series de cada uno de los elementos de un conjunto tectónico que está investido en la mayor parte de los casos.

De esta forma se explican muchas de las «anomalías» en la posición y disposición cartográfica de Almarshal en relación con el resto de las unidades. El hecho de que en la mayoría de las veces la supuesta unidad cabalgada, cabalgara a las que se suponían cabalgantes, ha sido achacado a intensas deformaciones tardías post-mantos. Sin embargo, no se puede dudar de la existencia de estas etapas póstumas, ni tampoco se pueden referir a ellas todos los dispositivos estructurales inexplicables mediante las hipótesis establecidas. Resulta demasiado forzado suponer que «los retazos del manto de Algeciras reposan «horizontales» sobre el Cretácico Inferior (norte de Almarshal), y que éste puede ascender entre ellos cuando «a primera vista se podría pensar que los diferentes términos litoestratigráficos de los afloramientos de Los Pastores, el Cretácico Superior de Almarshal, y el manto de Algeciras constituyen una sola serie»... (SECEGSA, 1981). No obstante, en el mismo trabajo se dice que el dispositivo geométrico establecido y los hechos conocidos en Marruecos, imponen la separación de los tres conjuntos a pesar de todo.

Las referencias consultadas deducen situaciones semejantes para la zona occidental del Estrecho. Merecen destacarse los problemas habidos con la serie de Bolonia en El Pulido. Interpretada como un sinclinal por DIDON (1969), se comprobó más tarde que estaba invertida y que se trataba de un antiforme. Este nuevo planteamiento, que implica la aparición de la unidad de Bolonia en ventana bajo la de Almarshal, es decir, una inversión total del edificio de los mantos, lleva a considerar otra vez como más correcta la interpretación inicial (SECEGSA, 1981). Esta observación, tan explicable con la hipótesis que se propone en estas páginas, no es única. Almarshal aflora contorneando preferentemente los muros de las dos grandes estructuras de la Unidad de Bolonia: la zona Bujo-El Cabrito, y el arco donde está definida. En ambas, ESTERAS (1982) señala un contacto mecánico con inversión actual secundaria. La interpretación, que se basa también en esa importante fase tardía, es la de estructuras en «blague á tabac» (encapuchadas) (SECEGSA, 1981).

Por estos planteamientos, la resolución estructural más sencilla del problema derivado de esos afloramientos tan sólo pasa por la consideración de Almarshal como muro de las distintas unidades, y por su eliminación como tal unidad tectónica independiente. No todo tiene que achacarse a la complejidad de esa tectónica polifásica que deja irreconocible la estructura de la disposición inicial del emplazamiento de los mantos. Según esta idea el esquema de correlación que para las unidades fundamentales del Campo de Gibraltar suponen DIDON (1969) y PENDON (1978) se podría modificar según se señala en la figura 5.

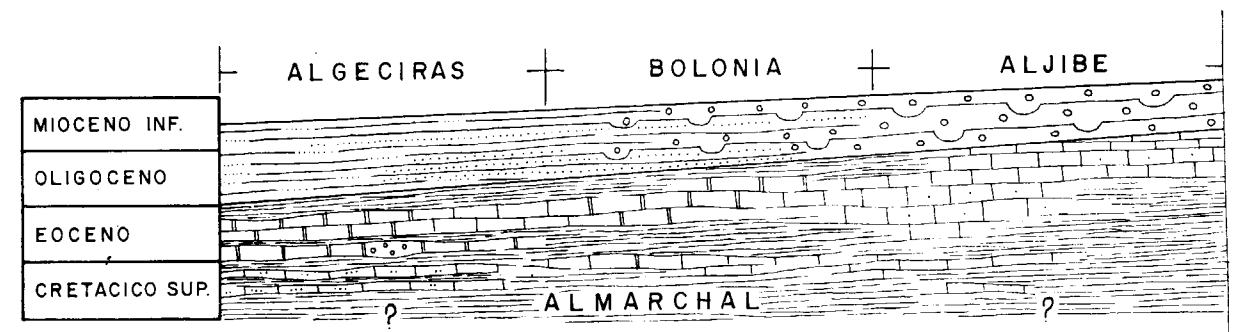


Figura 5.—Correlación de las cuatro unidades principales del Flysch del Campo de Gibraltar. Leyenda: Ver figura 3.

Consideraciones estructurales

Aunque recientemente se ha cuestionado (SECEGSA, 1981) la idea de la superposición de la unidad de *Aljibe* sobre otras unidades, concretamente sobre las de *Bolonia* y *Algeciras*, es un hecho regionalmente aceptado aunque en detalle sea difícil de observar. La plasticidad de las series próximas al contacto, su propia complejidad estructural debida a superposiciones tectónicas consecuencia de esfuerzos posteriores, y las malas condiciones de observación por efecto de la vegetación y de las circunstancias geomorfológicas de la región (grandes deslizamientos), hacen tremendamente complicado concretar cartográficamente este contacto. Otro hecho de singular importancia, que añade nuevas complicaciones, es el parecido estratigráfico que en ocasiones presentan las series de uno y otro piso estructural que frecuentemente se ponen en contacto; es decir, sus respectivos términos pelíticos basales. La identificación de unas y otras, y por tanto su separación, es a veces imposible. Tal hecho lo resuelve DIDON en su segunda interpretación incluyendo a ambas en la matriz de las «Arcillas con bloques». Precisamente en esa zona difusa y compleja se sitúan los afloramientos atribuidos a Almarchal y se detecta la presencia de bloques extraños a los «flyschs», tales como restos de calizas jurásicas y margocalizas cretácicas. Según DIDON (1969) tales «bloques» aparecen en dos agrupaciones distintas; unas situadas geométricamente en la base de la Unidad de Aljibe y otras en torno al afloramiento mesozoico de Los Pastores. En este último caso, todos esos pequeños bloques aparecen relacionados geográficamente con aquellos afloramientos atribuidos por DIDON a la Unidad de Almarchal o bien al «flysch senonense» de la Unidad de Algeciras. En concreto, la aparición de estos bloques no se hace de forma impredecible como opinan algunos, sino que coincide con esa zona enigmática y compleja donde la observación de las series de cada una de las unidades, que por otra parte son siempre las de edad más antigua, se hace más difícil. Es donde confluyen cartográficamente uno y otro dominio tectónico. El mayor de estos bloques, el afloramiento de Los Pastores (atribuido junto con el Peñón de Gibraltar y el Yebel Moussa a la cordillera tariquide) lo interpreta como una astilla de origen tectónico metida en la Unidad de Almarchal. Esta idea supone que dichos bloques yacen sobre esa unidad que se hunde, bajo la de Alge-

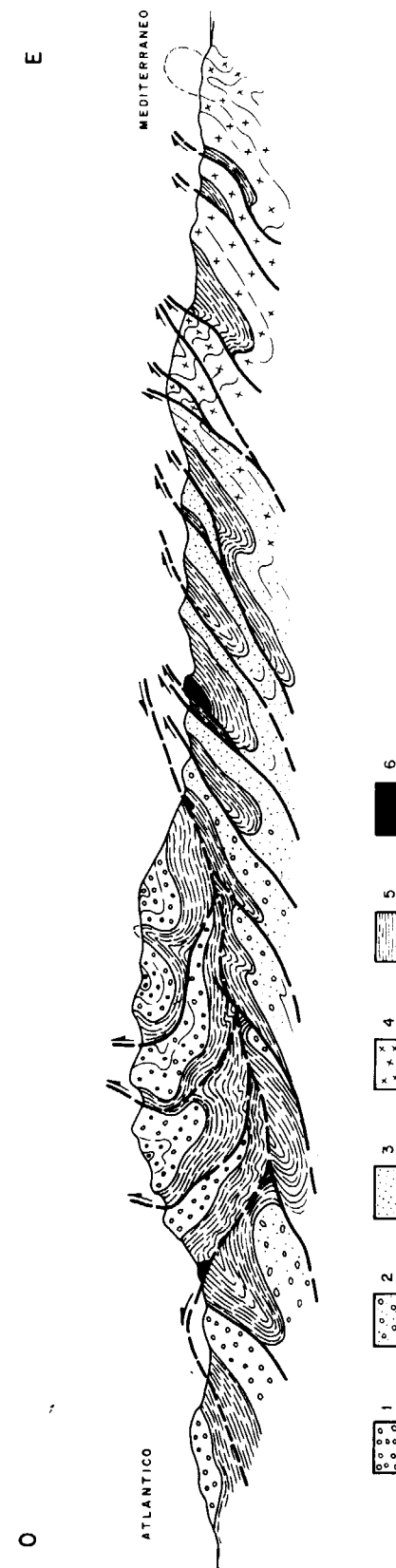
circas. Se está de acuerdo con lo primero, pero se interpreta lo segundo como un simple cabalgamiento entre elementos; todos de la misma unidad, es decir, Algeciras.

El otro grupo de afloramientos, localizados al norte de Tarifa, están situados cartográficamente en una posición tectónica compleja, ligados a las arcillas de la serie basal de la unidad de Aljibe y a la formación «arcillas de Facinas» (ESTERAS, 1982). En la zona de Tánger se conocen también numerosos afloramientos similares en la base del manto numídico, que con independencia de su procedencia o no tariquide, se han interpretado como bloques insertos en las pelitas basales de dicho manto. Precisamente esa dispersión de pequeños bloques ha sido la que ha dado lugar a que se consideren los fenómenos tectono-sedimentarios en la idea de BOURGOIS (1973).

Aunque en su hipótesis inicial, DIDON (1969) considera ya la posibilidad de que se trata de olistolitos, parece que allí se inclina más por la idea tectónica. La incorporación de estos bloques al tramo basal de la Unidad de Aljibe es simplemente el resultado del arrastre en el emplazamiento de dicha unidad. ESTERAS (1982) persiste también en la idea tectónica, pues desestima la presencia del complejo de «Arcillas con bloques» evocada recientemente por el propio DIDON (1977). Sin embargo, la interpretación de esas zonas caóticas observadas, la basa en una tectonización tardía producida por importantes accidentes de desgarre. No obstante, esa milonitización señalada no siempre se sitúa en alineaciones marcadas, y por el contrario, sí lo hace contorneando los afloramientos de la Unidad de Aljibe, coincidiendo con el límite entre los dos dominios estructurales definidos. A muro de la Unidad de Aljibe, y a techo de la Unidad de Algeciras (también de la de Bolonia), e implicando a las dos.

Estas circunstancias inclinan a considerar más viable la hipótesis tectónica que supone la «milonitización» basal del manto de Aljibe.

Por otra parte, la existencia al otro lado del Estrecho de los ya señalados bloques extraños en la base del manto numídico, y la de un conjunto de aspecto caótico con elementos flyschoides coronando el «flysch areniscoso-micáceo», cuyos afloramientos también parecen disponerse regularmente invertidos (BAHMED, 1982), puede ser la prueba que el fenómeno está generalizado.



Asimismo los hechos estructurales descritos revelan, a pesar de toda la complejidad expresada, la existencia de una discontinuidad tectónica, pues definen dos pisos bien diferenciados. Algunos de esos rasgos diferenciadores son difíciles de explicar, si no son identificados como propios de su dinámica de emplazamiento, en especial el choque entre la polaridad general de las series de uno y otro dominio.

En el piso superior, constituido en exclusivo por la unidad de Aljibe, los distintos elementos se disponen según un amontonamiento de escamas, pliegues-fallas y pliegues con vergencia general al Oeste y Noroeste. En el piso inferior no sólo está implicada la Unidad de Algeciras, sino también la Unidad de Bolonia y la serie de afloramientos de facies «numídicas» del N de La Línea. Casi siempre este dominio más bajo presenta mayor complejidad, pues está muy fragmentado. Su característica más significativa es la existencia de una vergencia general al Este y Sureste con inversión de las series, cuyas repeticiones se han interpretado mediante escamas tectónicas (fig. 6).

Los demás rasgos comunes a ambos pisos, e incluso algunos de los señalados antes, se interpretan como consecuencia de otras deformaciones posteriores. El trazado curvilíneo de los contactos, mecanizados o no; el plegamiento sigmoide asociado que retuerce las escamas y pliegues de uno y otro dominio; la fracturación; y con bastante probabilidad esas escamas que repiten las series en el dominio estructural inferior, están ya ligados a una o más etapas finales de compresión.

Cartográficamente, el dominio tectónico superior se sitúa en cierto modo algo más al oeste que el infrayacente. De acuerdo con las ideas paleogeográficas más generalizadas y con la dinámica global de la Cordillera, esto supone que aquél ha sobrepasado ligeramente a éste. Por otra parte, considerando unidad por unidad la disposición ge-

Figura 6.—Corte ideal del Campo de Gibraltar.

Leyenda: A, Término Superior de: 1, Unidad de Aljibe; 2, Unidad de Bolonia; 3, Unidad de Algeciras; 4, Numídico del norte de La Línea.
B, Término Inferior de todas las unidades.
C, Mesozoico.

neral de Este-Sureste a Oeste-Noroeste es: afloramientos de facies «numídicas» del norte de La Línea, Unidad de Algeciras, Unidad de Bolonia y Unidad de Aljibe. Según la estructura tectónica observada esta disposición cartográfica es equivalente a superposición espacial. De acuerdo con esto la Unidad de Bolonia es el techo, y las facies «numídicas» del norte de La Línea el muro del dominio tectónico inferior. La Unidad de Aljibe constituye por sí sola el dominio tectónico superior (figura 7).

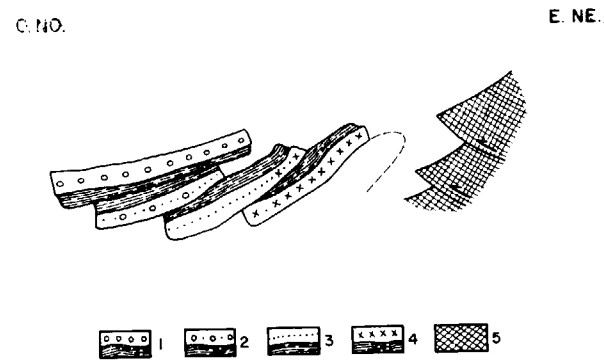


Figura 7.—Disposición estructural de las Unidades del Flysch del Campo de Gibraltar.

Leyenda: 1, Unidad de Aljibe; 2, Unidad de Bolonia; 3, Unidad de Algeciras; 4, Numídico del norte de La Línea; 5, Zonas Internas.

CONCLUSION

Los mecanismos tectónicos pensados inicialmente por DIDON (1969) se ajustan a los rasgos estructurales del dominio superior, pero no resuelven suficientemente la dinámica implicada por los datos recogidos en el nivel inferior. O mejor dicho, de acuerdo con esos hechos se tendría que imaginar para uno y otro dominio dos formas de emplazamiento distintas. En los mecanismos sucesivos de despegues y caídas gravitacionales como suponen las hipótesis clásicas (fig. 8), se superpondrían al menos dos episodios de dinámica muy diferente, pues la polaridad y vergencia de sus respectivas series están enfrentadas.

Una posible solución a este enfrentamiento es la de que algunos de esos rasgos estructurales

sean heredados de una etapa anterior al emplazamiento de estos mantos en esta región del Estrecho. Sin embargo, las estrechas relaciones cro-noestratigráficas y paleogeográficas que ligan a las distintas unidades hacen prácticamente imposible imaginar, para unas y para otras, caminos tectónicos diferentes. Por eso la hipótesis estructural señalada en el trabajo de ESTERAS (1982), que supone una primera fase de compartimentación en unidades de tamaño relativamente reducido, originándose pliegues, truncaduras y cizalladuras, antes del emplazamiento definitivo mediante mecanismos gravitacionales, es difícil de creer. Este dispositivo tectónico es insuficiente para explicar los rasgos estructurales diferenciados en cada uno de los dominios. Por el contrario la consecuencia de esos mecanismos no sería esa sistematización sino un apilamiento bastante más desorganizado y caótico. A idéntico resultado nos llevaría la consideración de las hipótesis tectono-sedimentarias de BOURGOIS (1973, 1978) aplicadas en esta zona por DIDON (1977). Tampoco mediante el complejo de «Arcillas con bloques» se alcanza a solucionar el problema tectónico planteado, pues en realidad, desde el punto de vista estructural no supone cambios significativos.

Por su paleogeografía inicial y por sus relaciones cartográficas actuales lo más sencillo es suponer que las unidades de Algeciras, de Aljibe y de Bolonia (término de paso entre ambas, tanto estratigráfico como estructural) han seguido en su emplazamiento alóctono la misma dinámica. En consecuencia la idea de una única etapa de emplazamiento que explique al mismo tiempo ese contraste de estilo estructural entre ambos dominios sería la más adecuada. La posibilidad que más se ajusta es la que se propone en la figura 9. La estructura se ciñe a la idea apuntada antes, puesto que implica unos mecanismos simples y derivados de una única etapa de emplazamiento que al mismo tiempo es coherente con la dinámica general de la Cordillera.

CONSECUENCIAS

El dispositivo tectónico ideado explica muchas de las objeciones e inconvenientes hechos a las hipótesis establecidas, las cuales ya se expusie-

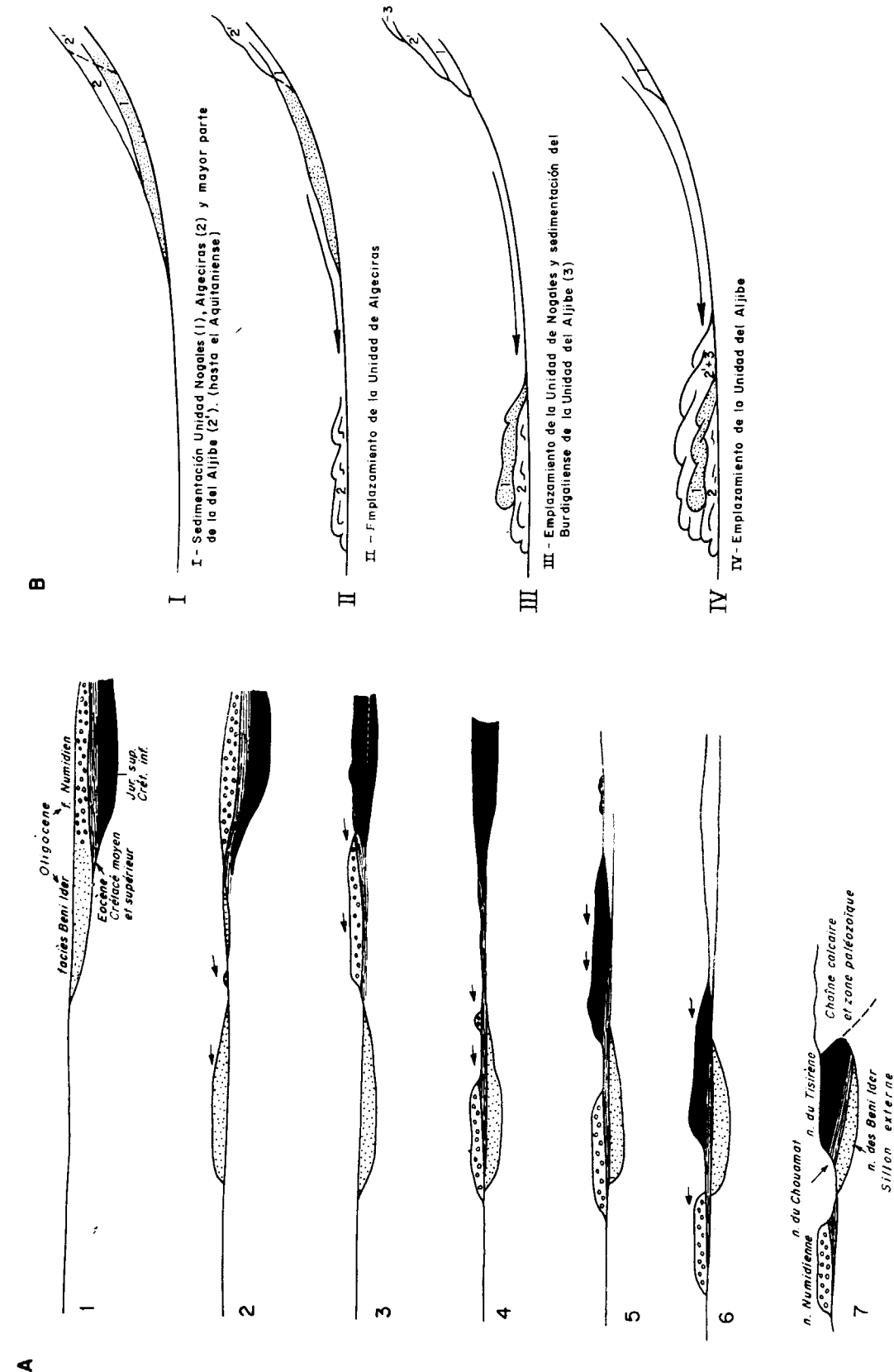


Figura 8.—Hipótesis que explican el emplazamiento de los «flyschs» del Arco de Gibraltar. A) MATAUER (1963). B) IGME (1969), basado en las ideas de DIDON (1969).

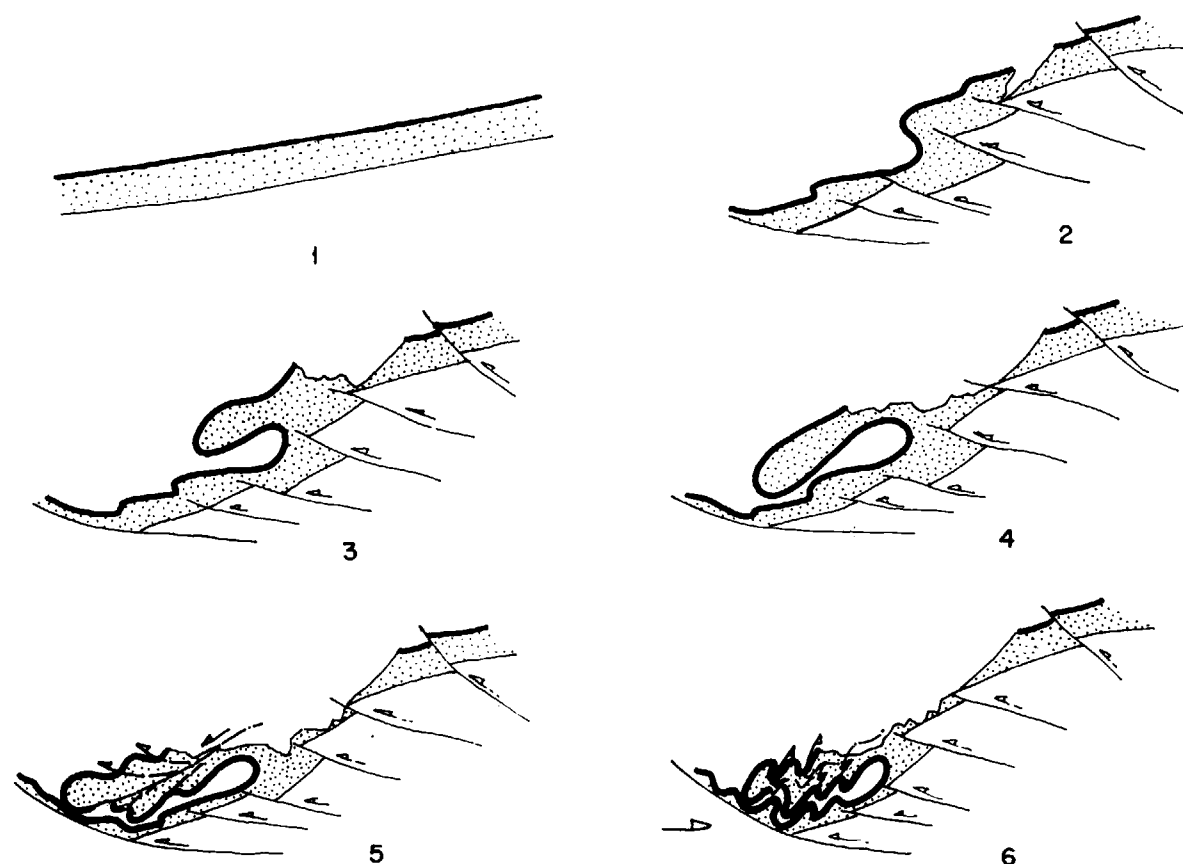


Figura 9.—Mecanismo de emplazamiento único de las Unidades del Flysch del Campo de Gibraltar.

La penetración de las zonas internas exagera (2) la inclinación inicial del Flysch (1) y origina un desplome gravitacional (3) que se resuelve mediante una estructura volcada (4) cuyo flanco superior progresa sobre el inferior rompiéndose en escamas (5). El apretamiento final retuerce las escamas del piso superior y origina retrocambios en el inferior (6).

ron en páginas pasadas. Es fundamental sobre todo en lo referente a la significación de la unidad de Almarchal, y a las de los bloques extraños de la base de Aljibe y del propio Almarchal. De una manera general puede surgir, además, importantes consecuencias paleogeográficas.

La unidad de Almarchal

En el primer caso, esta idea que supone la eliminación de Almarchal como Unidad, sitúa a tales facies en el muro stratigráfico de las distintas unidades y en el núcleo de la estructura propuesta. La posibilidad apuntada por algunos autores, de que el numídico podría haber constituido la co-

bertera de los «flyschs» masilienses (arcillas de Facinas), cobra aquí gran importancia. Por otro lado, el hallazgo en profundidad de areniscas numídicas en varios sondeos realizados sobre los afloramientos de Almarchal que hasta la fecha no han sido interpretados satisfactoriamente, se explican mediante esta hipótesis. De acuerdo con el mecanismo estructural presentado las citadas areniscas tendrían que corresponder a la Unidad de Bolonia.

Los bloques mesozoicos

La problemática de los bloques extraños, por el hecho de encontrarlos situados en el eje de

esa estructura, tiene que contemplarse desde una perspectiva netamente tectónica. Ahora bien, la dinámica deducida para ese tipo de dispositivo estructural implica una consecuencia stratigráfica y paleogeográfica importante: que los bloques mesozoicos pertenezcan a la base de esos «flyschs». El tipo de mecanismo propuesto no puede haber arrastrado en su recorrido hacia su zona de emplazamiento otros restos de mesozoico que los de su propio sustrato, del que se ha desolarizado mediante un sistema de esfuerzos compresivos y probablemente, de una manera conjunta e inducida por aquéllos, también de fenómenos de gravedad. La posible continuidad stratigráfica entre la Unidad de Algeciras, Almarchal y el afloramiento mesozoico de Los Pastores, ya señalada en este artículo, es una buena prueba de este hecho. Según todo lo anterior, la hipótesis de que las taríquides constituyeran la separación entre los flyschs mauritanos (Algeciras) y los flyschs masilienses carecería de sentido.

El numídico del norte de La Línea

Este mecanismo tectónico, que en principio sirve para explicar simultáneamente el estilo estructural de las Unidades de Algeciras, Bolonia y Aljibe sin necesidad de que esta última se emplace en una etapa posterior puede presentar una objeción importante. Esta, es la que se desprende de la posición cartográfica de los afloramientos numídicos del N de La Línea, si se les considera como tales, ya sea stratigráfica o estructuralmente. Como desde esta última perspectiva no cabe la menor duda de que participan de los rasgos estructurales del nivel tectónico inferior y no de los del superior, los problemas se plantean desde el lado stratigráfico. La posición paleogeográfica inicial, deducida a partir de los hechos estructurales, no sería precisamente adyacente a los otros afloramientos numídicos (Aljibe s. str.) sino en cierto modo opuesta. Sin embargo, esta posición *a priori* incorrecta, podría ser explicada por el hecho de que unas y otras formaciones presentan en sus términos areniscosos algunos rasgos litostratigráficos diferenciados y muy constantes en uno y otro dominio. En este sentido no tendrían por qué existir objeciones a que ambos ocuparan situaciones paleogeográficas separadas, y por qué no, distantes. Por otra parte, el suponer una localización paleogeográfica correlativa

entre el numídico del norte de La Línea y la Unidad de Aljibe implica unos mecanismos de emplazamiento mucho más complejos cuya resolución necesita más de una etapa.

Relaciones paleogeográficas entre las unidades

La paleogeografía que se deduce (fig. 10), aunque tiene algunos puntos coincidentes con la interpretación de DIDON (1969) y la de PENDON (1978), presenta diferencias notables. Tampoco se ajusta a los esquemas propuestos por BAENA y JEREZ (1982). Estos últimos (fig. 11) mucho más completos, se diferencian de los de los anteriores autores en la ubicación de las Unidades de Bolonia y de Aljibe; posición que en uno y otro caso, deriva de su consideración paleogeográfica originaria; citrabetica para unos, ultrabetica para otros.

Sin embargo, en estas reconstrucciones siempre resalta un hecho. A pesar de la general coincidencia en la aloctonía de los «flyschs», la distribución inicial que se les supone no dista mucho de la que hoy ocupan cartográficamente. En todos los casos la excepción a esta norma la constituyen las unidades numídicas, Aljibe y Bolonia. Resulta muy difícil de suponer que si los flyschs se encuentran fuera de su cuenca original y están estructurados según mantos de corrimiento gravitacionales, mantengan en la actualidad casi las mismas relaciones geográficas que en su situación de partida. Por el contrario, el esquema que se propone aquí no es coincidente con esa cartografía de hoy y se deduce según los mecanismos tectónicos sencillos que por otra parte no contradicen las relaciones stratigráficas deducidas. Una paleogeografía muy esquemática, transversal a la estructura, supondría que de E a O nos encontraríamos sucesivamente Aljibe, Bolonia, Algeciras y el numídico del norte de La Línea. La posición de estos últimos no corresponde en absoluto con la que hasta ahora se le supone, pues la idea es que estos retazos numidienses del bajo Guadiaro, Estepona y Casares, y los de la Unidad de Beliounis en Marruecos, ocuparían una estrecha cuenca oriental predorsal (SECEGSA, 1981). BAENA y JEREZ (1982) sitúan también estos afloramientos en proximidad con las zonas internas. En este sentido hay que resaltar el nulo contenido en elementos paleozoicos que poseen, bastante inferior que los encontrados en las areniscas de Alji-

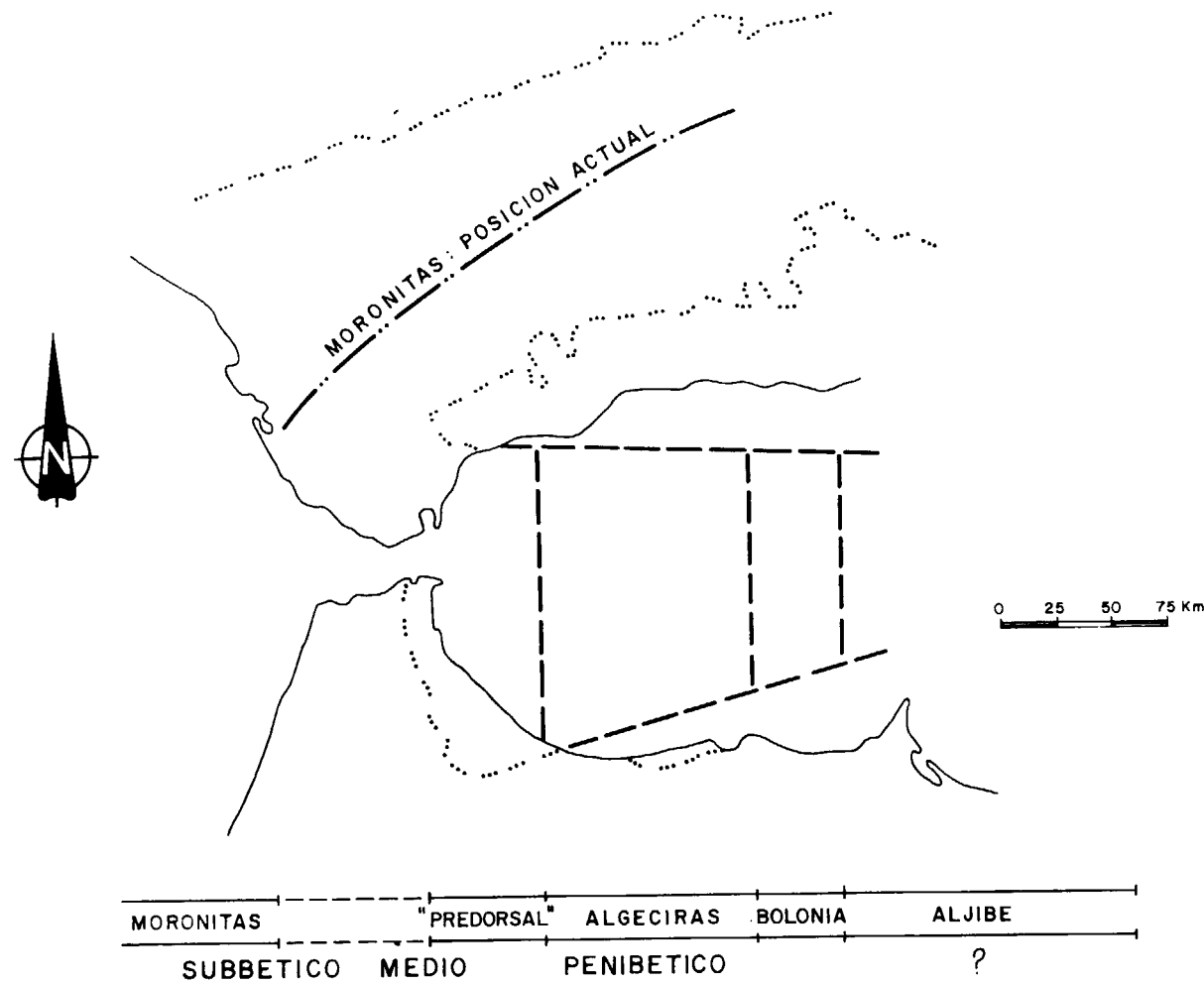


Figura 10.—Situación paleogeográfica que como mínimo tendrían los «flyschs» del Campo de Gibraltar una vez deshecho el apilamiento actual. Como a este proceso habría que añadir algunos otros, la posición original con toda probabilidad variaría aún más al Este. En cualquier caso de ser admitido este modelo, una distribución Oeste-Este de las facies durante el Oligoceno Aquitaniense podría ser la que se expresa en esta figura. En la parte inferior de la misma la franja superior corresponde a los sedimentos terciarios (Flyschs) y la inferior a su sustrato.

be s. str. Aún en el caso de que la Zona Bética haya ejercido una influencia directa durante la etapa de sedimentación de los «flyschs», ésta hubiera sido mayor en la Unidad de Aljibe que en el numídico del norte de La Línea. En cualquier forma la posición paleogeográfica intermedia de Algeciras en la figura 10, *a priori* eliminaría también la posibilidad de que las zonas internas fueran el área fuente de los flyschs arenoso-micáceos, al menos en la etapa de sedimentación de Aljibe. Los aparatos turbidíticos de las Unidades

de Bolonia y Aljibe se interpondrían geográficamente. Habría que suponer que el área de aporte de todas las turbiditas arenosas Oligoceno-Aquitaniense fuera de procedencia meridional.

Dos importantes consecuencias paleogeográficas resumen lo dicho hasta ahora. La eliminación de Almarchal como Unidad, que supone la supresión de uno de los cuatro grandes «surcos» sedimentarios clásicos, y la permutación, de la zona interna a la zona externa, de los flyschs predor-

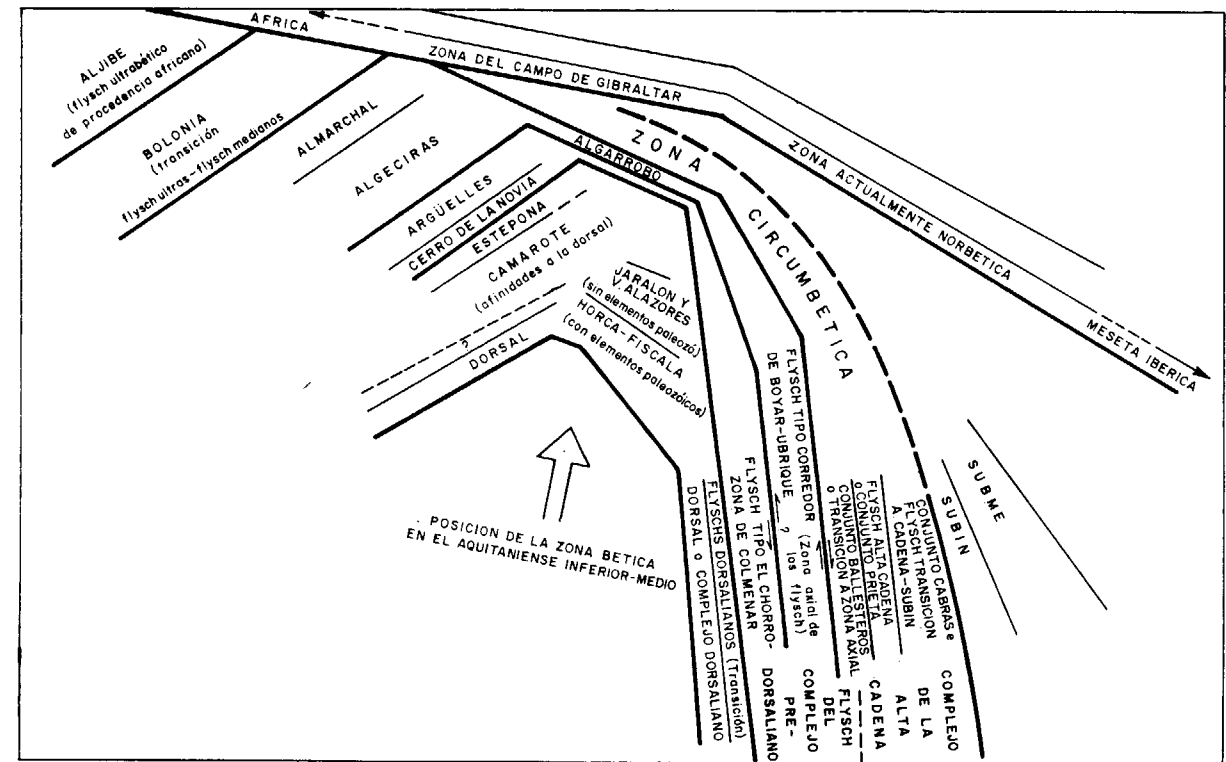


Figura 11.—Ensayo de reconstrucción paleogeográfica de los «flyschs» (ultras, Campo de Gibraltar y flyschs Circumbéticos de la Zona de El Chorro-Colmenar) (BAENA y JEREZ, 1982).

salianos. También se ratifica la idea de una sola cuenca de sedimentación de DIDON (1969). Ni la zona mauritánide (Algeciras) sería la parte relativamente interna, ni Almarchal externa, ni el caso numídico un acontecimiento particular e independiente en superestructura.

Los «flyschs» cretácicos

Sin embargo, la problemática surgida con el numídico del norte de La Línea no acaba con las consideraciones anteriores. Estos afloramientos, que se prolongan por el Norte hasta Gaucín y tienen por el Sur a partir de Ceuta su continuidad en Marruecos, están bordeando la Zona Interna. Entre Gaucín y Gibraltar, en esa posición cartográfica predorsal, se sitúan dos grupos de flyschs a los que se les atribuyen edades diferentes: una correlativa a la de la mayoría del Flysch del Campo de Gibraltar y otra al Cretácico Inferior. En ambos casos están presentes los dos

términos clásicos del Flysch; el arenoso y el pelítico-carbonatado. En la parte africana los flyschs de esta edad pertenecen al manto del Yebel Tisirene, que junto con el Beni-Ider (Algeciras) constituyen una sola columna sedimentaria y ocupan una posición cartográfica próxima a la Zona Interna. El contraste entre esos rasgos estratigráficos y estructurales comunes, y las edades que se les atribuyen plantea, en los afloramientos reconocidos (Tambor y Arca-Aguzaderas), una compleja problemática cuya extrapolación se sale de los límites de este trabajo. Tan sólo destacaríamos un par de hechos significativos y generalizados: su inclusión en el edificio estructural inferior de los «flyschs» (*), y su posición cartográfica predorsal. En cualquier caso, desde el punto de vista tectónico estos flyschs cretácicos están inmersos en el dispositivo estructural propuesto.

(*) CANO y TORRES (1980) al norte de Manilva, y BAMBHED (1982) en la zona marroquí del Estrecho, citan una inversión generalizada en estas series.

La posición predorsal

Por otra parte la consideración del sustrato de los flyschs en esta zona acarrearía consecuencias muy interesantes. Por un lado la serie de Los Pastores, que consideramos sustrato de la Unidad de Algeciras, presenta afinidades penibéticas. En otras zonas dominadas por esta unidad el sustrato que se conoce pertenece también a este dominio (Cerro Gordo, Manilva). Al mismo tiempo el sustrato de los «flyschs» de los afloramientos predorsalianos parece que tiene rasgos comunes en el Subbético Medio. Las series de Camarote y del Yebel Moussa (margocalizas con sílex, radiolarias...) de estar en otros puntos geográficos podrían haber pasado fácilmente por afloramientos de ese dominio.

La asociación tipo de flyschs con tipo de sustrato es concordante con el modelo tectónico definido, puesto que deshaciendo la estructura sitúa a los flyschs predorsalianos con sustrato de afinidades de Subbético Medio, en posición paleogeográfica más externa que los flyschs de Algeciras con sustrato tipo penibético (fig. 10).

En ese sentido hay que recordar la posición cartográfica del Complejo predorsaliano en la región de Ronda (BOURGOIS, 1978). Ocupa una situación geográfica más externa que el penibético, que a su vez está ligado como en la zona del Estrecho al flysch de Algeciras. El hecho de que estos «flyschs» reposen cartográficamente sobre las capas rojas del Cretácico Superior hace dudar de su aloctonía y volver a la idea de BLUMENTAL (1934-35) y FALLOT (1948) (ref. en BAENA y JEREZ, 1982) que reconocieron varias formaciones «flyschs» del Corredor de Boyar y de la zona de Colmenar transgresivas sobre las Zonas Externas. El flysch de Algeciras ocupa aquí una posición predorsal, que antes de Gaucín correspondía a los flyschs predorsalianos, ahora situados inmediatamente al norte del dominio Subbético Interno (fig. 12), en una zona donde estos y su sustrato se confunden con los afloramientos dislocados del Subbético Medio. Estos últimos presentan series muy semejantes a los que se atribuyen el sustrato de los flyschs del Complejo predorsaliano. Esta circunstancia ha originado discrepancias en la atribución de los distintos bloques a uno u otro dominio (Sierra del Tablón). Desde una perspectiva paleogeográfica predorsaliana la situación actual de estos elementos tiene necesariamente una explicación tectónica, y desde luego muy com-

pleja. Sin embargo, desde el planteamiento estructural propuesto, es más sencillo suponer esa posición paleogeográfica original en la zona que ahora ocupan en el área del Corredor de Boyar-Ubrique, más externa que Algeciras y el dominio Penibético y ligada al dominio del Subbético Medio. Según esto la controversia planteada sobre la significación de la Sierra del Tablón no tendría lugar, pues Subbético Medio y «sustrato de los flyschs» serían una misma cosa.

Asimismo, desde esta nueva visión se comprendería mejor la presencia de formaciones «alóctonas» en facies parecidas a las del Campo de Gibraltar en posiciones demasiado septentrionales del dominio Subbético. En este sentido el «Aljibe» del Corredor de Boyar, Olvera y Teba tendría una significación semejante al numídico del norte de La Línea. Estaría en posición paleogeográfica más occidental que Algeciras y apoyado sobre un sustrato Penibético y Subbético Medio. No se correlacionaría, pues, con la Unidad de Aljibe s. str.

También es el caso de los afloramientos que cita PEYRE (1974), sobre el sinclinal Arroyo de la Luz, entre Iznajar y Benamejí, cuya problemática se ha puesto de manifiesto en las Hojas del MAGNA de Rute (CANO, 1983) y Benamejí (MARTÍN-SERRANO, 1983). Más al sur, la atribución de la Alta Cadena de la región de Colmenar al Subbético Medio (PINEDA, 1983) ratifica plenamente todo lo dicho. De otra parte, por la existencia de los flyschs del Cretácico Inferior, habría que suponer la permanencia durante esta época del carácter de surco que se le atribuye al Subbético Medio durante el Jurásico.

Como partimos de un planteamiento inverso a la hipótesis establecida, habría que considerar que la situación original de estos flyschs predorsalianos está aproximadamente coincidiendo con la del Subbético Medio y que la posición cartográfica predorsal en el arco de Gibraltar es consecuencia de una respuesta diferencial de esa zona que invierten la mayor parte de las series del Flysch, a la penetración de la Zona Interna (fig. 13). En consecuencia la aplicación de este modelo tectónico cuestionaría la existencia del Complejo predorsaliano como dominio paleogeográfico. La patria de los flyschs alóctonos tipo Campo de Gibraltar no sólo se colocaría más allá de las zonas externas (Subbético) sino también sobre gran parte de este dominio.

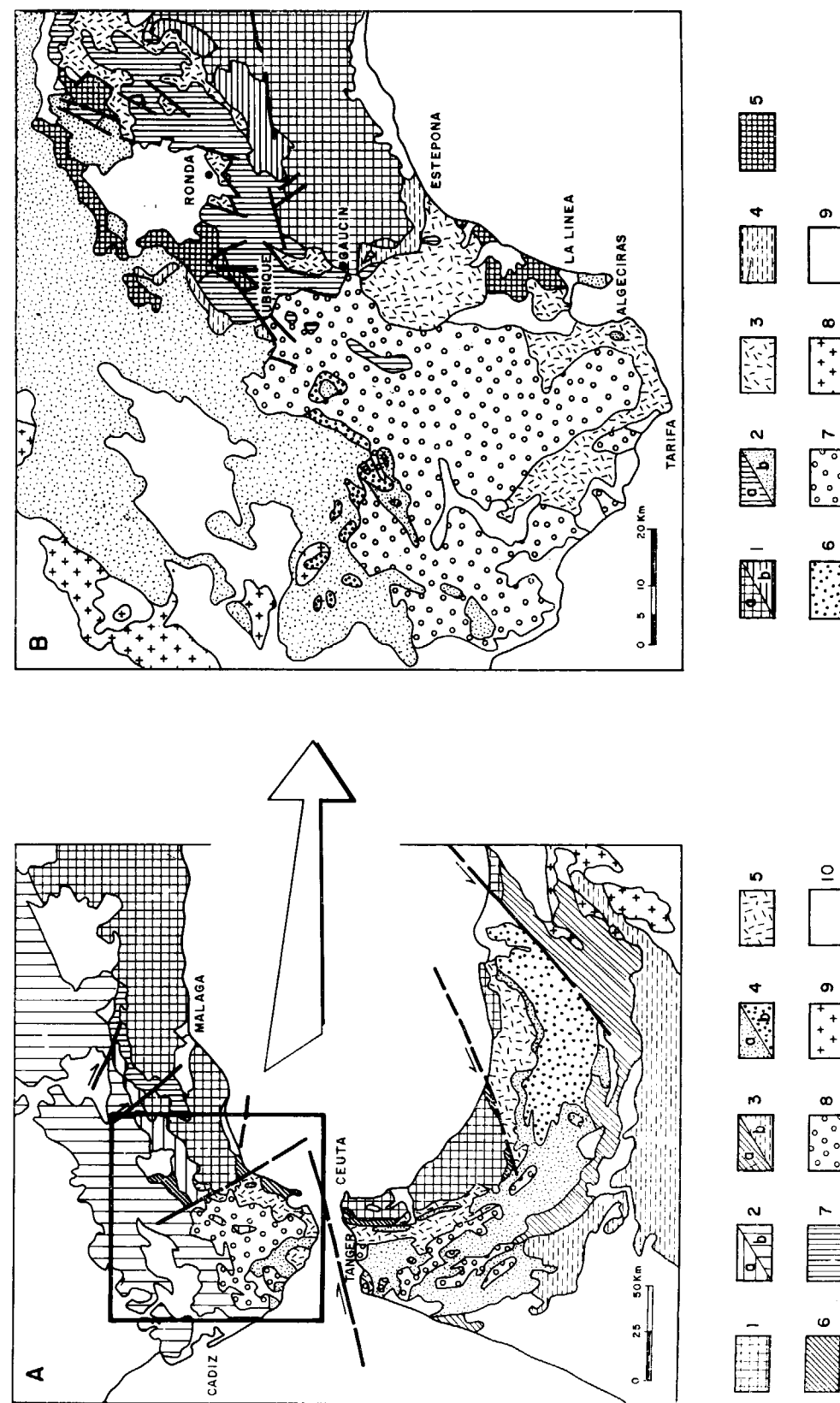


Figura 12.—A) Esquema geológico del Arco de Gibraltar; B) Detalle de la orilla septentrional del Estrecho: Campo de Gibraltar-región de Ronda (Documentos cartográficos consultados: BOURGOIS, 1973, 1978; CHAUVÉ, 1967; DIDON, 1969; DIDON, DURAND DELGA y KORPROBST, 1973; IGME, 1972, 1980).
 Leyenda: A) 1, Zona Interna; 2, Zona Externa del Rif; a) Mesorifense, b) Prerifense. 3, Zona Externa de las Béticas; a) Penibético; b) Subbético. Dominio de los flyschs (Zona intrarifeña). 4, Unidades Externas: a) Tánger y Almarchal; b) Ktama. 5, Flyschs mauritanos. 7, Otros «flyschs» (Chorro-Colmenar). 8, Flyschs numídicos. 9, Antepais atlásico. 10, Formaciones post-orogénicas.
 B) 1, Zonas Internas: a) Bético, b) Dorsal. 2, Zonas Externas: a) Penibético, b) Subbético. 3, Flyschs tipo Algeciras. 4, Flysch predorsalianos. 5, Numídico del norte de La Línea y de Ronda-Teba. 6, Unidades de Paterna y Algarrobo. 7, Unidad de Aljibe. 8, Moronitas. 9, Formaciones postorogénicas.

Figura 12.—A) Esquema geológico del Arco de Gibraltar; B) Detalle de la orilla septentrional del Estrecho: Campo de Gibraltar-región de Ronda (Documentos cartográficos consultados: BOURGOIS, 1973, 1978; CHAUVÉ, 1967; DIDON, 1969; DIDON, DURAND DELGA y KORPROBST, 1973; IGME, 1972, 1980).
 Leyenda: A) 1, Zona Interna; 2, Zona Externa del Rif; a) Mesorifense, b) Prerifense. 3, Zona Externa de las Béticas; a) Penibético; b) Subbético. Dominio de los flyschs (Zona intrarifeña). 4, Unidades Externas: a) Tánger y Almarchal; b) Ktama. 5, Flyschs mauritanos. 7, Otros «flyschs» (Chorro-Colmenar). 8, Flyschs numídicos. 9, Antepais atlásico. 10, Formaciones post-orogénicas.
 B) 1, Zonas Internas: a) Bético, b) Dorsal. 2, Zonas Externas: a) Penibético, b) Subbético. 3, Flyschs tipo Algeciras. 4, Flysch predorsalianos. 5, Numídico del norte de La Línea y de Ronda-Teba. 6, Unidades de Paterna y Algarrobo. 7, Unidad de Aljibe. 8, Moronitas. 9, Formaciones postorogénicas.

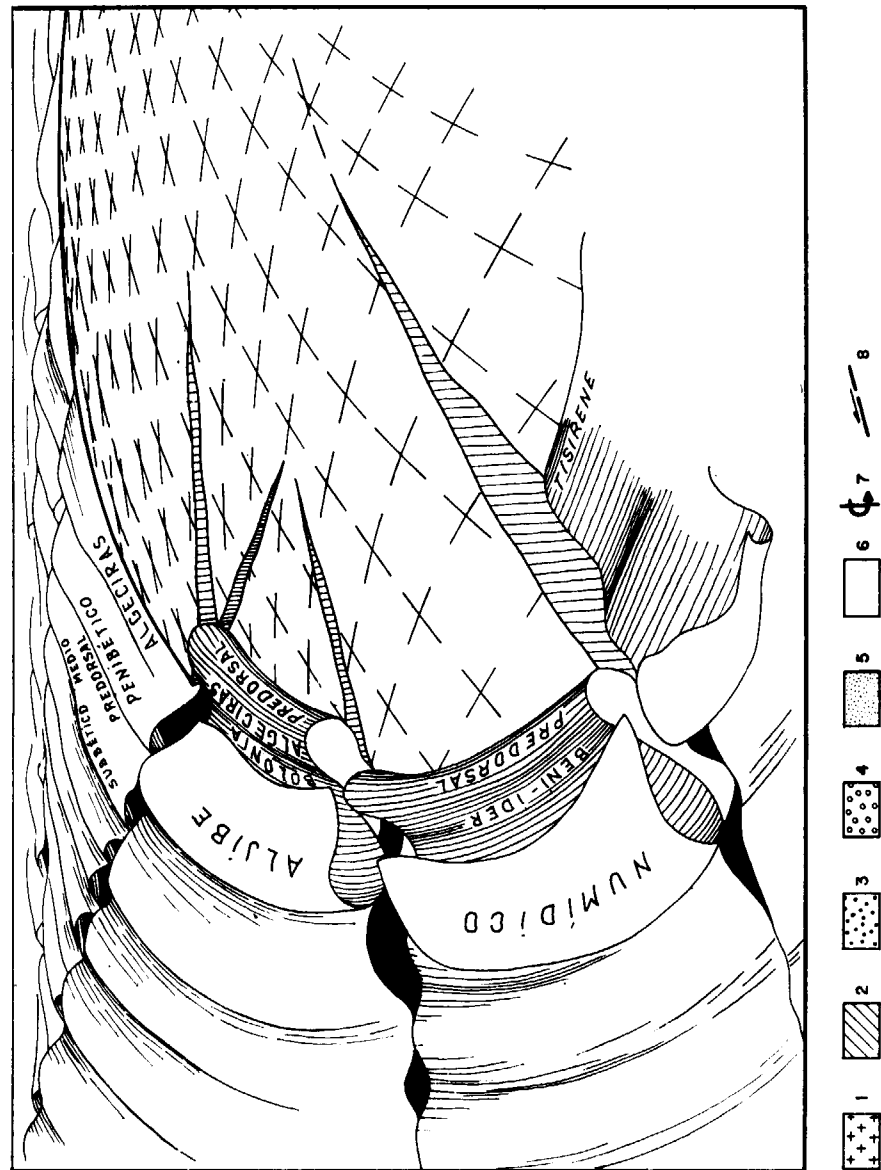
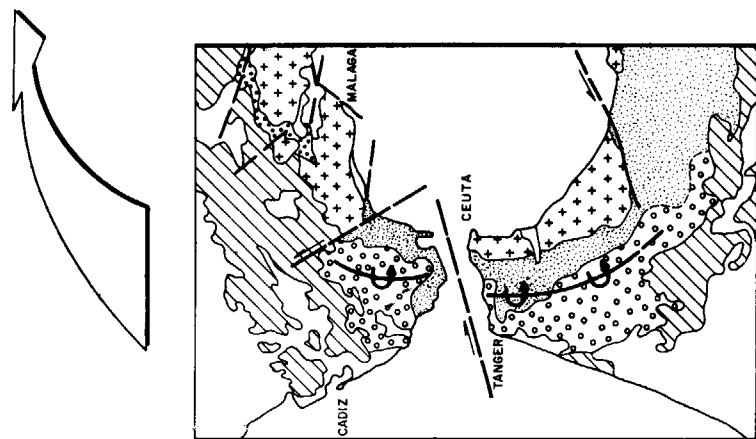


Figura 13.—Modelo tectónico deducido a partir de la disposición estructural del Flysch en el Campo de Gibraltar.

Leyenda: A) 1, Zonas Internas; 2, Zonas Externas. B) Flyschs: 3, Indiferenciados; 4, Dominio tectónico superior (Aljibe y Nu-

mídico s. str.); 5, Dominio tectónico inferior (Algeciras, Bolonia, «flyschs» predorsal, Tisirene, Beni-Ider); 6, Formaciones postorogénicas; 7, Estructura principal volcánica; 8, Principales accidentes tectónicos.



Consideraciones tectónicas y paleogeográficas generales

Desde el punto de vista estrictamente estructural, la actual disposición de las unidades turbídicas que afloran en el arco de Gibraltar deduce para los mecanismos desencadenantes de la estructura propuesta, una dinámica de dirección aproximada Este-Oeste. Esta, es conforme con la traslación de la Zona Interna que habría sido la causa, mediante su movimiento en ese sentido, del emplazamiento de los «flyschs». Este, que podría hacerse extensivo a otras áreas mediterráneas, está perfectamente diferenciado en el frente de la penetración en lo que se denomina el «Arco de Gibraltar». Se ajusta, como mínimo, a la cuña terminal de las Zonas Internas claramente definida por dicho arco y dos accidentes mayores: Estepona-Gaucín-Ubrique de dirección NO-SE en la parte septentrional, y (Chaouen) Djebba-Alborán, de dirección ENE-SOS, en la meridional (fig. 13). La progresiva penetración de este zócalo rígido originaría en sus etapas últimas el apretamiento final de la estructura. Considerando este último acortamiento y deshaciendo la estructura «gravitacional» del Flyschs, la deriva de la Zona Interna sería, como poco, del orden de unos 150 a 200 kilómetros. Los fenómenos compresivos de dirección N-S producidos por el supuesto acercamiento de la placa africana señalada por DIDON (1973) es probable que se localicen en una etapa más tardía aún.

Según este esquema tectónico la posición original de las unidades del Campo de Gibraltar quedaría, de acuerdo con DIDON (1969) y con PENDON (1978) en la zona hoy ocupada por el mar de Alborán (Unidades predorsalianas y de Algeciras) o algo más al oeste (Numídico). No habría que suponer ni la «hispanización de los flyschs rifenses» (BOURGOIS, 1973) ni la expulsión del numídico por encima de la Zona Interna desde su supuesta posición paleogeográfica ultrabética.

AGRADECIMIENTOS

A Pedro Ruiz Reig (IGME); a Eduardo Piles Mateo (IBERGESA) y en especial a Antonio Pineda Velasco (IBERGESA) por su constante apoyo y sugerencias durante la elaboración de este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BAENA, J., y JEREZ, L.: *Síntesis para un ensayo paleogeográfico entre la Meseta y la Zona Bética* (s.str.). Colección-Informe. IGME, 256 pp. (1982).

BAHMED, M. ALÍ: *Geologie de la rive sur du Detroit de Gibraltar*. Coloquio nacional sobre la factibilidad de una comunicación fija a través del estrecho de Gibraltar. Madrid, 9-13 nov. 1982, pp. 287-303 (1982).

BOURGOIS, J.: *Presence et definition dans la region de Cañete la Real et de Grazalema d'une formation d'argiles á blocs (provinces de Seville, Cádiz et Málaga, Espagne)*. R.C.AC. SC. Paris, t. 276, ser. D, pp. 2939-2942 (1973).

BOURGOIS, J.: *La transversale de Ronda. Données géologiques pour une modele d'evolution a L'arc de Gibraltar*. Tesis Univ. Besanson. Extrait des Ann. Scient. Geol., 3.^a s. fasc. 30, 445 pp. (1978).

BOURGOIS, J.; CHAUVE, P., et DIDON, J.: *Sur la presence et l'extension de la Formation d'argiles á blocs dans la province de Cadix*. Ann. Univ. Besanson, Geol., 3.^a ser. fasc. 20, pp. 169-172 (1973).

CANO, F.: *Hoja Geológica 1:50.000, número 17-14 (Rute)*. IGME (1983).

CANO, F., y TORRES, R.: *Hoja Geológica 1:50.000, número 14-46 (Jimena de la Frontera)*. IGME (1980).

DIDON, J.: *Etude geologique du Campo de Gibraltar*. Thèse Fac. Sc. Paris, 539 pp. (1969).

DIDON, J.: *Accidents transverses et coulissages longitudinaux dextres dans la partie N de L'arc de Gibraltar (Cordilleres bétiques occidentales. Espagne)*. Bull. Soc. Geol. F. (7), XV, núm. 2, pp. 121-127 (1973).

DIDON, J.: *Role des phenomennes de glissement et d'ecoulement por gravité dans la mise en place du materiel flysch a la peripherie de l'arc de Gibraltar. Consequences*. Bull. Soc. Geol F. (7), t. XIX, núm. 4, pp. 765-771 (1977).

DURAND DELGA, M.: *La Mediterranée occidentale: etapes de sa genese et problemas estructuraux liés a celle-ci*. Mem. h. serv. Soc. Geol. de France, núm. 10, pp. 203-224 (1980).

ESTERAS, M.: *Geologia de la orilla europea del Estrecho de Gibraltar*. Coloquio Internacional sobre la factibilidad de una comunicación fija a través del Estrecho de Gibraltar, Madrid, 9-13 nov. 1982, pp. 305-324 (1982).

GENTIL, L.: *Sur l'existence de grandes nappes de recouvrement dans la province de Cadix (Espagne meridionale)*. C. R. Acad. Sc. Paris, 166, pp. 1003-1005 (1918).

- MARTÍN-SERRANO, A.: *Hoja Geológica* 1:50.000 número 17-39 (*Morón de la Frontera*). IGME (1981).
- MARTÍN-SERRANO, A.: *Hoja Geológica* 1:50.000, número 17-41 (*Antequera*). IGME (1982).
- MARTÍN-SERRANO, A.: *Hoja Geológica* 1:50.000, número 16-41 (*Benamejí*). IGME (1983).
- MARTÍN-SERRANO, A., y PILES, E.: *Hoja Geológica* 1:50.000, número 14-47 (*San Roque*). IGME (1980).
- MARTÍN-SERRANO, A., y PILES, E.: *Hoja Geológica* 1:50.000, número 14-48 (*La Línea*). IGME (1980).
- PENDON, J. G.: *Sedimentación turbidítica en las unidades del Campo de Gibraltar*. Tesis Fac. Ciencias Univ. de Granada, 261 pp. (1978).
- PINEDA, A.: *Hoja Geológica* 1:50.000, número 17-42 (*Archidona*). IGME (1983).
- PEYRE, Y.: *Geologie d'Antequera et de sa région (Cordillères Bétiques, Espagne)*. Thèse. París, 528 pp. (1974).
- SECEGSA: *Geología del Estrecho de Gibraltar*. (Síntesis del Estudio monográfico sobre la geología del Estrecho de Gibraltar, realizado por J. DIDON, M. DURAND DELGA, J. M. FONTBOTÉ, V. GARCÍA DUEÑAS, A. MALDONADO, Ph. OLIVIER y J. A. VERA), 69 pp. (1981).

Recibido: Diciembre 1984.

El Culm al sur del anticlinorio de Puebla de Guzmán (Huelva, España)

Por M.^a C. MORENO-GARRIDO (*) y J. A. VERA (**)

RESUMEN

Los materiales turbidíticos de facies Culm se sitúan sobre el Complejo volcánico-sedimentario y constituyen la casi totalidad de la serie estratigráfica del Carbonífero de la Faja Pirítica Hispano-Portuguesa. A los términos más bajos se les llama «serie de base» y están formados por pizarras hemipelágicas de la cuenca. Se estudian numerosos cortes de los materiales del Culm en superficie y un sondeo de testigo continuo realizado al SO de Villanueva de los Castillejos, que corta 388 metros de potencia real.

El medio sedimentario fue un abanico submarino progradante desde el noroeste hacia el sureste, con un área fuente localizada hacia el noroeste (en Portugal). La distribución de las facies turbidíticas varía desde la parte interna del abanico medio (en el noroeste) hasta la llanura submarina (en el sureste). Existían, además, abanicos más locales que se alimentaban desde el norte y que interferían el abanico principal, como se deduce del estudio de los paleocorrientes y el análisis de secuencias de las turbiditas. La presencia de estructuras *slumps* en la serie turbidítica indican que la cuenca submarina estaría adyacente a un talud o pendiente.

ABSTRACT

The turbidite materials of Culm facies are placed on a volcanic-sedimentary Complex and constitute the most part of the Carboniferous stratigraphic sequence of the Hispano-Portuguese Pirite Belt. The lowermost terms, called «basal serie», are formed by hemipelagic basal shales. Numerous outcropping sections, as well as a continuous core, 388 m thick, from a bore-hole placed SW of «Villanueva de los Castillejos», are studied.

The inferred sedimentary environment corresponds to a submarine fan prograding SE, with a source area localized toward the NW (in Portugal), and its distribution of turbidite facies changing from a medium fan internal zone (NW) to a basin plain (SE). There existed as well, some more local fans, feeded from the North, that interfered with the main fan as it is deduced from the study of the paleocurrents and the analysis of turbidite sequences. The presence of slump structures in the turbidites points to the existence of a slope close to the submarine basin.

INTRODUCCION

Se realiza un estudio de los materiales de facies Culm en el borde meridional del anticlinorio de la Puebla de Guzmán, en la provincia de Huelva. Este estudio estratigráfico se basa en el levantamiento de cortes en superficie y en los datos suministrados por un sondeo. La localización del área de estudio, de los cortes y el emplazamiento del sondeo se pueden ver en la figura 1.

Los trabajos anteriores sobre el Culm de esta región son muy escasos y en ninguno se aborda con detalle su interpretación paleogeográfica. Contrasta este hecho con la abundante información que se dispone sobre los materiales infrayacentes (complejo volcanosedimentario) de la «faja piritífera» debido a su gran interés económico.

El único estudio estratigráfico de detalle sobre estos materiales es el de OLIVEIRA et al. (1979) realizado en la región portuguesa adyacente a la que se estudia. Estos autores diferencian tres formaciones (Mertola, Mira y Brejeira), que corresponden a depósitos turbidíticos o interturbidíticos que alcanzan algunos miles de metros de poten-

(*) Departamento de Estratigrafía. Sección de Ciencias Geológicas. Huelva.

(**) Departamento de Estratigrafía. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada.

cia. En trabajos más recientes (OLIVEIRA y FLO-RIDO, 1983, y OLIVEIRA, 1983) actualizan los datos.

En el área española recientemente se han publicado las Hojas del Mapa Geológico Nacional (SANTOS et al., 1982) y en las memorias correspondientes se trata someramente sobre el que se denomina «grupo Culm» y que consideran, dichos autores, con la fase flysch de la evolución del geosinclinal. Le dan una potencia superior a 600 metros en la Hoja 980 y a 200 en la Hoja 958; le atribuyen una edad Visense Superior. Genéticamente interpretan estos materiales como depositados en un abanico submarino y la llanura abisal adyacente.

Uno de nosotros (M.ª C. M.-G.) realizó durante 191 un trabajo que fue presentado como Tesis de Licenciatura (MORENO-GARRIDO, 1982) donde se hacía un estudio monográfico de las facies Culm con la metodología usual en el estudio de las turbiditas. La edad de los materiales, como en todos los trabajos anteriores, se considera Carbonífero Inferior (Visense Superior).

En la zona de Ossa-Morena se disponen de diferentes trabajos que tratan sobre las facies Culm, bien dentro de un contexto regional (LIÑÁN, 1974, y PÉREZ-LORENTE, 1977) o bien monográficos (GABALDÓN et al., 1983; QUESADA y GARROTE, 1983). En estos últimos se dan modelos sedimentarios muy interesantes para las facies Culm, en los que se considera que durante el Carbonífero Inferior la cuenca surportuguesa, de carácter francamente marino, no estaría conectada con la de Ossa-Morena septentrional, existiendo un área emergida entre ambas.

DESCRIPCION DEL AREA Y METODOS UTILIZADOS

El área estudiada queda marcada en la figura 1; se localiza al sur del anticlinorio de la Puebla de Guzmán y en ella aflora extensamente el complejo volcano-sedimentario sobre el que se apoyan los materiales de facies Culm.

Los afloramientos de estos materiales ocupan gran parte de la región, pero debido al relieve peneplanizado y la cobertura actual son escasos los cortes de buena calidad. Por ello el estudio principal se ha realizado en el testigo continuo del

sondeo Las Marías-1, emplazado en las coordenadas X=279.5, Y=328.5 y Z=210, muy cerca de la Fuente de los Perros, en la finca del Medio Millar, al SO de Villanueva de los Castillejos. El sondeo fue realizado por la Compañía Phelps Dodge Española, en el verano de 1981, con una máquina Croellius C-90 con testigo continuo. El diámetro de perforación inicial fue de 156 mm. y se terminó con varilla tipo BQ. El sondeo, originariamente vertical, se desvió 16° (ver fig. 2).

Los testigos han sido cuidadosamente estudiados, comprobando siempre la posición de techo y muro de estratos (a partir de las estructuras de ordenamiento interno) con el fin de reconocer los repliegues y posibles duplicaciones de la serie. A partir de los datos de dirección y buzamiento de las capas efectuadas con el *dipmeter* se han podido transformar los valores de espesores aparentes en la vertical a potencias reales. El sondeo alcanzó la profundidad de 538 metros, que equivalen a 388 metros de potencia real. Se inicia el sondeo en partes altas de la serie, como se deduce de la estructura de la región, y no llega a la base de los materiales del Culm (aunque probablemente muy cerca), por lo que se puede decir que el espesor mínimo es de 400 metros.

Además del material del sondeo se han estudiado cortes de superficie en tres sectores (fig. 1). En uno de ellos, localizado al oeste de El Granada, se han levantado 13 cortes parciales, en su mayoría en la trinchera del canal de Río Chanzas a Río Piedras. En el segundo, localizado al sur del pueblo El Granada y al sur de Villanueva de los Castillejos, se han levantado 12 cortes en la trinchera del citado canal y otros 7 en la carretera de Villanueva de los Castillejos a Villablanca. El tercer sector se localiza al sur de Villablanca y en él se han levantado cinco cortes en la carretera de Ayamonte.

En todos los casos los métodos han sido los usuales en el estudio de las turbiditas. Se han reconocido secuencias de estructuras, secuencias de espesores, geometría de los estratos, variaciones laterales (cuando es posible) y litología. Se han medido paleocorrientes a partir de estructuras (*flute casts*, *groove casts*, *prod casts*, *bounce casts* y más localmente *crescent casts*), con un total de 209 medidas de dirección y sentido y 328 medidas de dirección (no sentido).

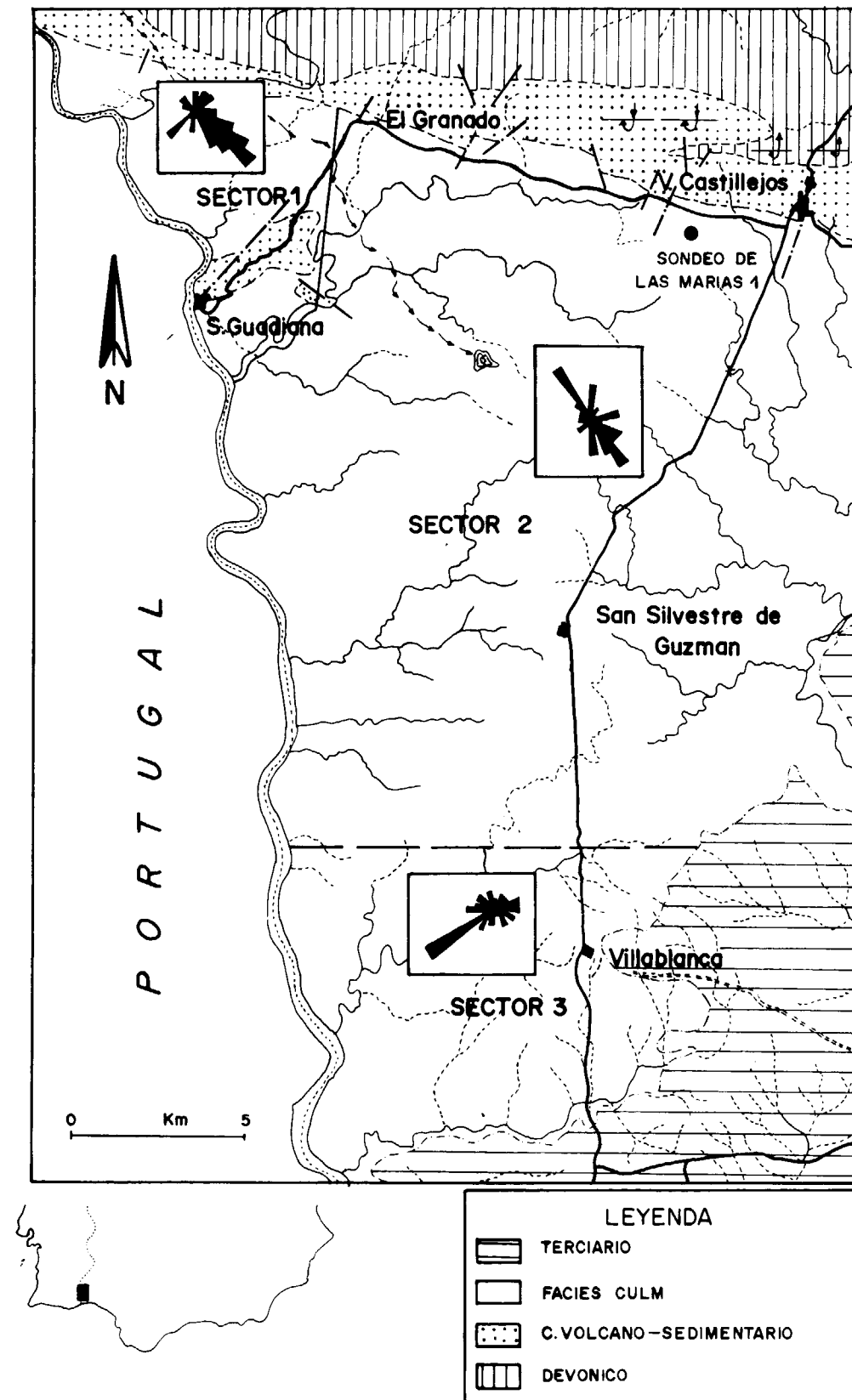
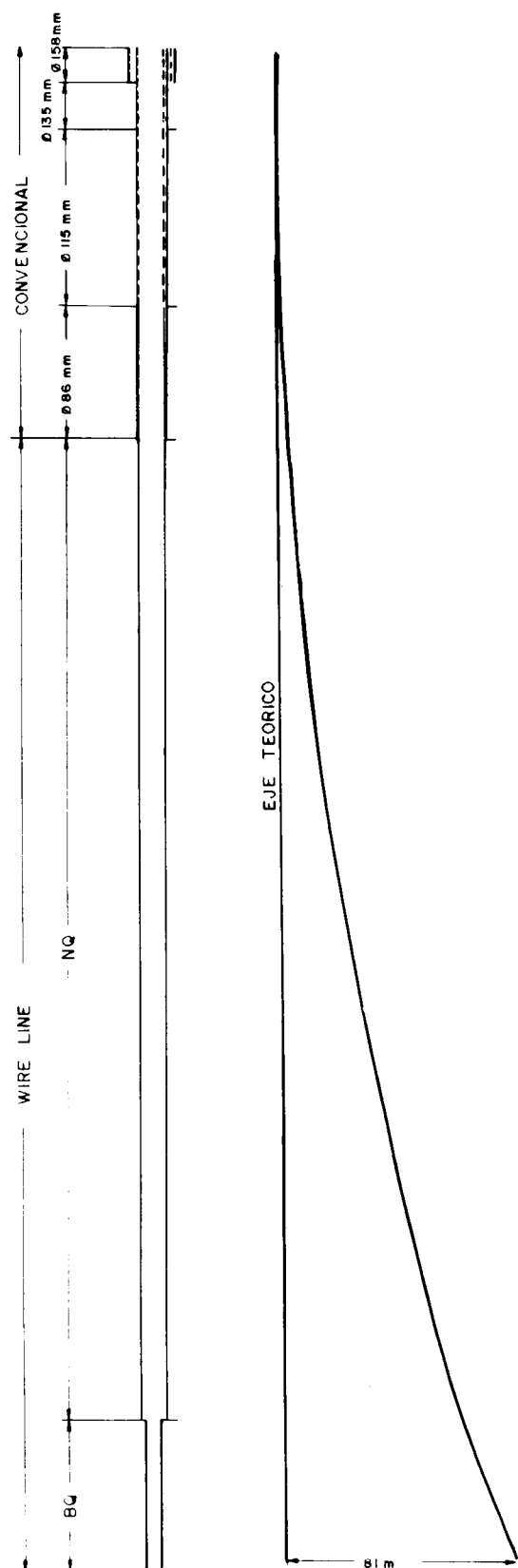


Figura 1



RESULTADOS E INTERPRETACION

Un primer aspecto a considerar, común a todos los cortes, es la litología de los materiales (areniscas y pizarras alternantes). Las areniscas tienen un alto contenido en matriz detrítica (superior al 15 por 100) por lo que se pueden considerar como grauvacas). La trama está formada fundamentalmente por feldespatos (plagioclasas) y cuarzo, y en menor cantidad fragmentos de rocas. El contenido en cuarzo es siempre superior al 25 por 100 y aumentan hacia el techo de la serie. Las pizarras están constituidas mayoritariamente por minerales de la arcilla (clorita, illita y caolinita), el segundo componente es cuarzo (25 por 100 al 30 por 100) y el resto son feldespatos; la fracción carbonatada es muy baja. Estos resultados, en especial los relativos a las areniscas, son propios de unas facies turbidíticas en las que los materiales proceden de la destrucción de relieves de rocas ricas en feldespatos.

Los estudios de las facies turbidíticas se realizan utilizando la nomenclatura de facies de MUTTI y RICCI-LUCCHI (1975), recogida y completada en RICCI-LUCCHI (1980).

A continuación se exponen los resultados obtenidos y a la vez se hace una primera interpretación, comparando los datos con los modelos conceptuales de abanicos submarinos (MUTTI y RICCI-LUCCHI, 1975; NELSON y KULM, 1973; NORMARK, 1970, 1978; WALKER, 1978). Posteriormente se discutirán dichos resultados y las interpretaciones de los mismos para llegar a proponer un modelo de sedimentación para estos materiales.

Sondeo Las Marías-1

La información más valiosa se ha obtenido del estudio de los testigos del sondeo, ya que permite disponer de una serie muy completa.

La serie estratigráfica, expresada en potencias reales, se representa en la figura 3; en ella se delimitan un conjunto de unidades litoestratigráficas (tramo I a XVII) basada en su litología, lo que facilita su descripción y la interpretación de los resultados.

Figura 2.—Sondeo Las Marías-1 (LM-1).

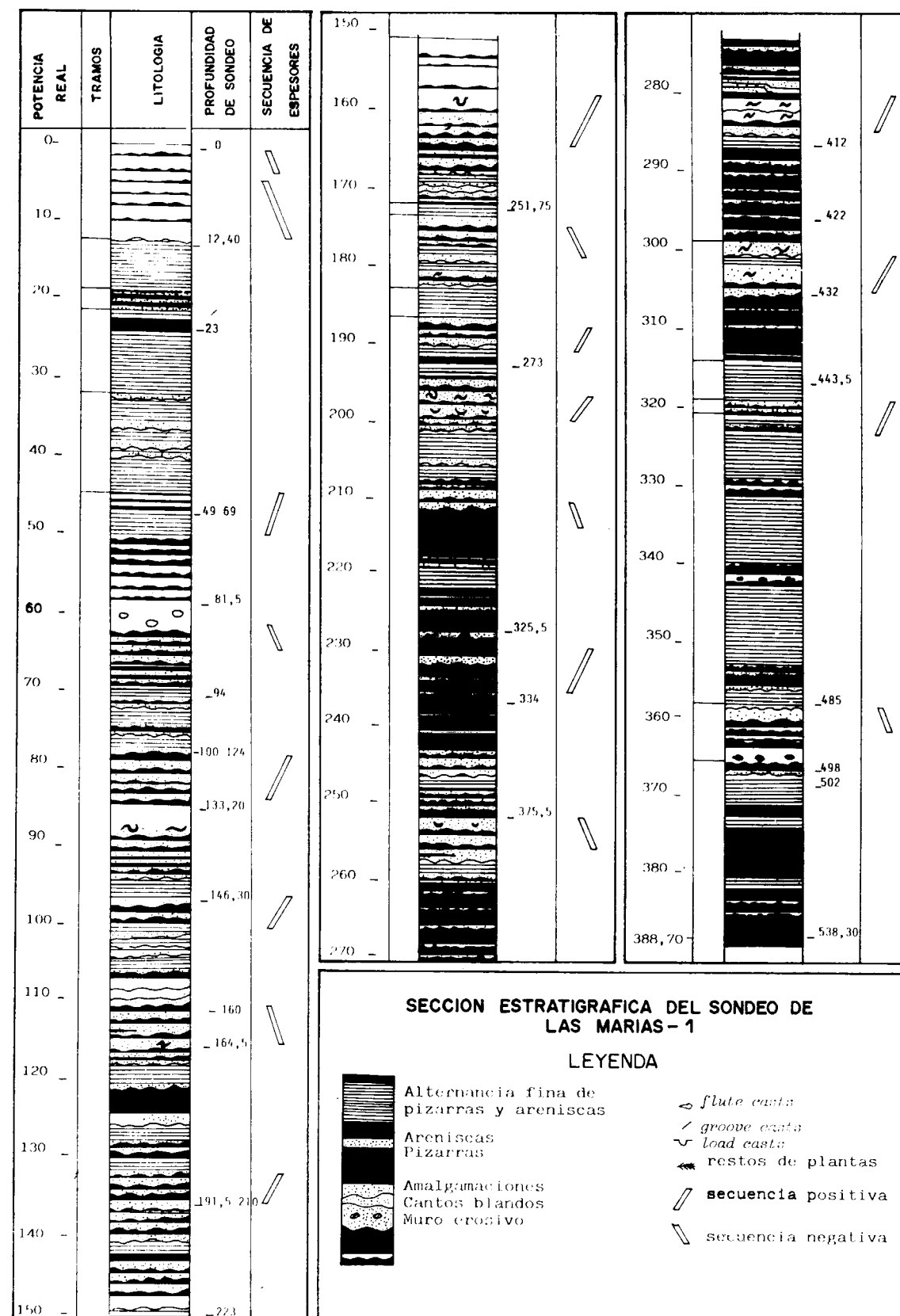


Figura 3

El tramo I está formado mayoritariamente por pizarras (facies D₃) y con episodios de alternancia rítmica de pizarras y areniscas, las areniscas muestran secuencia Tbc y espesores de 2 a 10 cm. (facies D₂). La relación arena/lutita en estos episodios es de 1/6 a 1/10. En la base aparece un nivel carbonatado con restos de braquiópodos, gasterópodos, equínidos y algas mal conservadas. Se trata en conjunto de un depósito de cuenca llana (*basin plain*) con turbiditas distales.

El tramo II corresponde a una alternancia rítmica de areniscas y pizarras con una relación arena/lutita de 2 a 3. Las areniscas forman bancos de más de un metro de potencia, sus muros son irregulares y presentan amalgamaciones y cantos blandos y estructuras de escape de agua (*dish*), que corresponden a facies B₁. Muestra una secuencia de espesores decrecientes hacia el techo, lo que permite considerarla como facies canalizadas de abanico medio, que se colocarían sobre las facies de cuenca llana del tramo basal.

El tramo III está formado por una alternancia rítmica de pizarras y areniscas con una relación arena/lutita baja que varía de 1/10 en el muro a 1/5 en el techo. Se observan magníficos ejemplos de *slumps* en los testigos hacia la parte superior. Son facies D₂ propias de cuenca llana y abanico externo en la parte superior, en este segundo caso muestran una megasecuencia negativa, adyacentes a un talud como indican los *slumps*.

El tramo IV, de escaso espesor (2,3 m.), está constituido por bancos de 0,5 a 1,2 m. de areniscas con muros irregulares y cantos blandos (facies B₁). Corresponde a facies de lóbulo de abanico medio, que prograda de nuevo sobre facies las más distales del tramo anterior.

El tramo V es semejante al I y III. El tramo VI comprende una parte inferior pizarrosa con algunas intercalaciones de areniscas muy finas (facies D₂) propias de cuenca llana y otra superior de bancos de areniscas potentes (hasta 2,75 m.) con muros irregulares, estructuras de *flute casts*, de carga y de escape de agua (facies B₁) que muestran megasecuencias negativas típicas de lóbulos progradantes.

El tramo VII, de gran espesor (106 m.), presenta características similares al VI. En conjunto se trata de la alternancia rítmica de pizarras y areniscas (facies D₂ y B₁) con megasecuencias ne-

gativas que a su vez forman secuencias de rango mayor que indican un aumento progresivo de las areniscas hacia el techo. Igualmente se observan *slumps* bien desarrollados en diversos niveles. Se trata de depósitos de lóbulos progradantes dentro de un dispositivo general, igualmente, progradante.

Los tramos VIII, IX, X y XI presentan características análogas; así, los VIII y X son predominantemente pizarrosos (facies D₂ y D₃), mientras que el IX y XI son areniscosos, siendo más potente y con mayor espesor de estratos el XI (facies D₁ y B₁). En los tramos IX y XI se observan megasecuencias negativas que terminan con bancos de areniscas de facies B₁ con muros irregulares erosivos propios de lóbulos de abanico medio.

El tramo XII, de gran potencia (105 m.), presenta las facies más proximales de toda la columna. La relación arena/lutita es del orden de 1 y muestra megasecuencias tanto positivas como negativas. Son frecuentes los bancos de muro irregular erosivo y las amalgamaciones (facies B₁). Se observan también estructuras *slump* en diversos niveles. Se trata de depósitos de abanico medio, tanto de canal como de lóbulos adyacentes a un talud o pendiente a favor de los cuales se formaron los *slumps*.

El tramo XIII comienza con un paquete predominantemente pizarroso y termina con una alternancia de areniscas y pizarras semejantes a la de otros paquetes inferiores. Los tramos XIV, XV y XVI presentan facies distales con dominio con las lutitas (pizarras) y algunos niveles areniscosos que muestran secuencias negativas. Se interpreta como una sedimentación de cuenca llana, con llegada de material del abanico externo.

Por último, el tramo XVII presenta características semejantes al XII, con bancos de areniscas de 0,5 a 4 m., con secuencias Tab, muros irregulares, amalgamaciones y megasecuencias negativas (facies B₁) propias de depósitos canalizados de abanico medio.

En conjunto la serie descrita del sondeo Las Marías corresponde a un depósito de facies turbidíticas que indican la progradación de un abanico sobre facies pelágicas o de cuenca llana. Esta progradación se realiza de manera intermitente y alcanza el máximo a los 300 metros (en potencia real) de la base del sondeo, o sea, hacia el tercio superior de la columna.

Datos de los cortes de campo

Los datos del sondeo, muy valiosos, son incompletos en cuanto a criterios de polaridad lateral se refiere, ya que no se puede saber la geometría de las capas, ni tampoco ver las variaciones laterales, ni medir paleocorrientes.

Los datos de los cortes realizados en el campo complementan esta información y permiten valorar el contexto paleogeográfico.

Sector 1.—Oeste de El Granado

Se han levantado 13 cortes parciales con potencias totales de 10 a 65 metros. No se tienen criterios para establecer una ordenación relativa, ya que la estructura es bastante compleja y no hay continuidad en la observación. No obstante, su estudio es de interés, ya que suministra datos de conjunto sobre las características de las facies en este sector, que permiten la comparación con los datos del sondeo y de los otros sectores.

El primer dato que se puede destacar es la existencia de niveles aislados de conglomerados y de arenas de grano grueso que no son visibles en el sondeo y que indican un carácter más proximal. Otro dato es la abundancia de restos de plantas en los niveles areniscosos que indican una procedencia de influencia continental. En cuanto al contexto general hay que destacar que en todos los cortes realizados la relación arena/lutita es muy superior a la medida en el sondeo y en general bastante superior a los valores máximos en el mismo.

En un corte representativo del conjunto (figura 4a) se puede ver que son muy frecuentes los tramos de areniscas con amalgamaciones sin lutitas (pizarras) intercaladas (facies B₁, localmente A₂). La mayoría de los bancos tienen granuloclasificación y las megasecuencias dominantes son positivas. Son muy frecuentes las estructuras de corrientes (*flute casts*) que permiten medir una dirección dominante de paleocorrientes hacia el SE con unos valores secundarios hacia el SO (ver figura 1). Todos estos datos muestran unas características más proximales que las del sondeo, lo que concuerda con la dirección de paleocorrientes principal. Se tendrían en este sector las facies más proximales del abanico observadas, posiblemente todo dentro del abanico medio con dominio de facies canalizadas. Las facies del abanico interno se localizarían hacia el NO, en Portugal.

Sector 2.—Sur de El Granado y sur de Villanueva de los Castillejos

En la figura 4 se representan dos secciones estratigráficas parciales representativas de este sector. En los cortes de este sector podemos diferenciar a su vez dos conjuntos. El primero localizado al sur de El Granado (por tanto entre el sector 1 y el sondeo), y el segundo al sur de Villanueva de los Castillejos (al sur del sondeo).

En el primero de ellos, los cortes levantados en el canal las características son intermedias entre las descritas en el sector 1 y en el sondeo. Existen tramos con abundancia de areniscas con amalgamaciones y granuloclasificaciones en la base (facies B₁ y D₁), que alternan con tramos pizarrosos con escasas intercalaciones de areniscas (facies D₂ y D₃). En el segundo de los niveles de areniscas tiene menor espesor y en conjunto se asemejan a los tipos de facies dominantes en el sondeo. Las paleocorrientes medidas en el sector (ver fig. 1) muestran una dirección principal hacia el SE; una segunda hacia el sur, y en tercer lugar otra con dirección hacia el SO, como en el sector 1.

Sector 3.—Sur de Villablanca

Presenta facies de características más distales que en los anteriores con potentes paquetes de lutitas (pizarras), que ocasionalmente presentan intercalaciones finas de areniscas (facies D₂) propias de cuenca llana. Algunos cortes presentan episodios más ricos en areniscas (facies D₁) con secuencias positivas que indicarían depósitos canalizados que eventualmente, en los momentos de progradación del abanico, accedían a este sector. Las paleocorrientes, dominantes en este sector (figura 1), serían las que se dirigen hacia el SO, o sea, las menos representativas de los otros sectores.

DISCUSION

Los datos y las interpretaciones parciales anteriores pueden ser discutidas y comparadas con los modelos de sedimentación propuestos en la bibliografía.

Un primer aspecto que interesa discutir es el carácter marino de la cuenca. Los materiales de

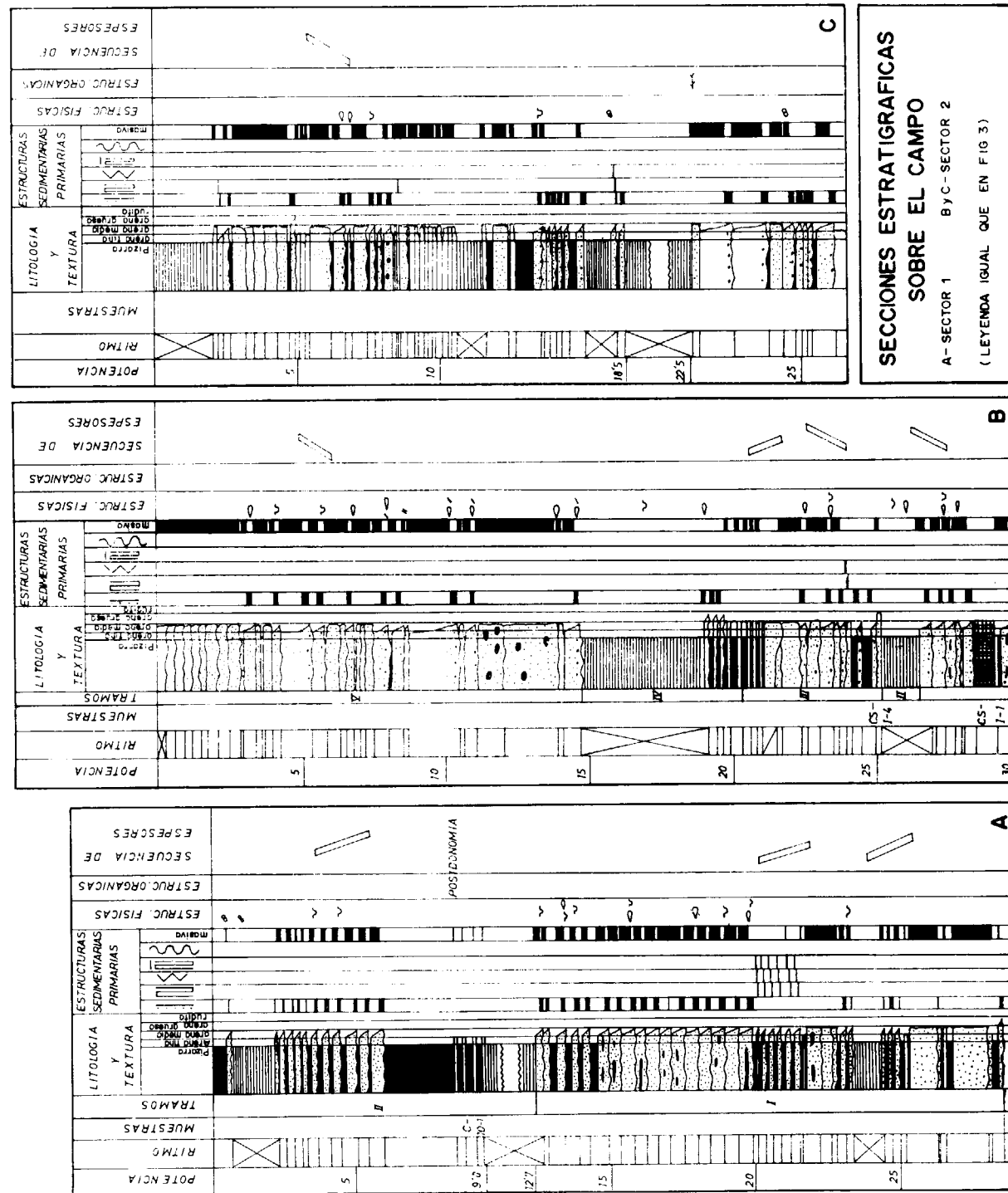


Figura 4

facies Culm presentan una «serie de base», predominantemente pizarrosa, rica en fauna de braquiópodos, briozoos, etc., típicamente marina. Los restos de plantas son alóctonos, llevados por las corrientes de turbidez. Estos datos permiten decir que el depósito tuvo lugar, tal como para el sector adyacente de Portugal (OLIVEIRA, 1983), en un mar abierto de un margen continental. Esto contrasta con la sedimentación para materiales de esta misma edad en el norte de la Zona de Ossa-Morena (GABALDÓN et al., 1983; QUESADA y GARROTE, 1983) donde el depósito en parte fue deltaico y de mar cerrado; los mismos autores indican la existencia de un área emérgida entre ambos dominios.

El continente estaría localizado, de acuerdo con las reconstrucciones paleogeográficas (SCHERMERHORN, 1976; OLIVEIRA, 1983), hacia el N y NE del área estudiada, sin que pueda fijarse con exactitud la posición de la línea de costas dada la falta de afloramientos. Es seguro, sin embargo, que una parte de la faja piritífera estaría emergida durante el Carbonífero Inferior y serviría de área fuente de los sedimentos terrígenos.

Otro aspecto que puede discutirse es el tipo de cuenca turbidítica y las variaciones que sufrió a lo largo del tiempo. Se trataba básicamente de un abanico submarino progradante, semejante a los descritos por NORMARK (1970, 1978), y NELSON y KULM (1973), y WALKER (1978). La progradación se pone de manifiesto por la distribución de facies (más proximales hacia el techo) y las secuencias de espesor creciente, frecuentes en las areniscas. El sentido de la progradación se deduce de la distribución lateral de facies (más proximales en el NO) y de las paleocorrientes; el abanico progradaba desde el NO hacia el SE, o sea, en una dirección aproximadamente paralela a la línea de costas. Son numerosos los ejemplos actuales de abanicos que se localizan al pie del talud continental y que progradan paralelamente a borde del continente. Igualmente en materiales antiguos son bastante frecuentes los ejemplos de abanicos en los que la progradación no es perpendicular a la línea de costas (MUTTI, 1977; RICCI-LUCCHI, 1978), sino que se adapta a la morfología del fondo.

Las facies más proximales se tienen en el sector del noroeste y se continúan hacia Portugal (OLIVEIRA et al., 1979). La alimentación principal del abanico sería desde cañones localizados hacia el NE de la cuenca y que atravesaría el talud conti-

mental y una parte de la plataforma. Se puede pensar en un cañón principal próximo a la frontera portuguesa como la principal fuente de alimentación. Sin embargo, la existencia de paleocorrientes en otras direcciones, además de la principal, hace pensar que podrían existir aportes secundarios de cañones localizados en diferentes sectores del margen continental. Ejemplos semejantes han sido también descritos en la bibliografía para otras cuencas turbidíticas, como es el caso de la cuenca miocénica de los Apeninos (RICCI-LUCCHI, 1978). Otro efecto posible que puede justificar la dispersión de las corrientes es el efecto de fallas que controlan la morfología de la cuenca, como las descritas por RUIZ-ORTIZ (1983), para otras cuencas turbidíticas.

Del análisis de las facies se deduce la distribución en espacio y tiempo de los medios sedimentarios. Al iniciarse el depósito de las turbiditas las partes más proximales corresponden al sector noroccidental donde se tendrían facies propias de abanico medio y externo, mientras que en el resto se depositaban facies de cuenca llana. De manera progresiva, aunque intermitente, va progradando el abanico externo y después de abanico medio. En las áreas más proximales dominan las facies areniscosas (con niveles de conglomerados) de las partes más internas del abanico medio sin que se observen facies de abanico interno.

Otro aspecto que merece discutirse es la posición de la cuenca turbidítica con respecto al margen continental. El dato más interesante, al respecto, es la existencia en los sectores 1 y 2 y en el sondeo, de frecuentes *slumps*. No se ha podido deducir la paleopendiente a partir de los *slumps*, pero por su distribución y relación con las facies se estima que no se inician dentro de la cuenca turbidítica, sino que proceden de un área adyacente con mayor pendiente. Este área sería el talud continental localizado hacia el NE y a través del cual cruzaban los cañones secundarios antes aludidos.

La batimetría del depósito es un tema más difícil de interpretar, ya que faltan argumentos (¿paleoecológicos?) en los que basar la interpretación. No obstante, se puede especular sobre sus posibles valores. Hemos considerado que el depósito se hacía en el borde del talud continental, por lo que se podría decir que se hacía entre los 2.000 y los 2.500 metros. Sin embargo, dada la proximidad del continente, se podrían pensar

en valores inferiores si se tratase de cuencas turbidíticas ligadas a pendientes del margen (no necesariamente el talud continental). Casos semejantes han sido descritos por KAMP et al. (1974), para el Terciario de California, con profundidades de unos centenares de metros.

La existencia de niveles carbonatados turbidíticos en la parte inferior se puede interpretar como producidos por redepósitos de materiales de la plataforma en la etapa inicial de encajamiento del cañón. Fenómenos semejantes han sido descritos por SÁNCHEZ DE LA TORRE y GONZÁLEZ-LASTRA (1978) en el Namuriense de la región cantábrica, en el que en etapas iniciales se tienen los depósitos procedentes de la plataforma.

La alimentación de los cañones fue fundamentalmente desde el continente adyacente, como indica la litología de las areniscas y la presencia de restos de plantas. Esto se explicaría con una cierta relación entre la cabecera de los cañones submarinos (en la plataforma) y la desembocadura de los ríos.

CONCLUSIONES

Las características expuestas permiten elaborar una interpretación genética de los materiales del Culm, que se considera de la mayor coherencia con los datos disponibles.

Esta interpretación queda reflejada en el modelo gráfico de la figura 5. Como se puede ver en él, el depósito tuvo lugar en una cuenca turbidítica cuya alimentación principal se hizo por un cañón principal localizado hacia el NO. El abanico se adapta a la morfología del margen continental y se alarga paralelamente a la línea de costas, con paleocorrientes dominantes hacia el SE.

Este abanico se localizaría inmediatamente adyacente a la pendiente (¿talud?) continental y desde ella accedían a la cuenca materiales por fenómenos de *slumps*.

Igualmente en la cuenca habría algunos pequeños abanicos locales que darían lugar a las paleocorrientes que se dirigen hacia el S y SO. Estos abanicos se alimentan por cañones que cruzan el margen adyacente y proceden desde el N.

A lo largo del tiempo, durante el Carbonífero Inferior, el abanico prograda hacia el SE de manera que de forma general (intermitentemente en detalle) las facies más proximales se disponen sobre las distales, en todos los sectores.

Los términos infrayacentes a los materiales del Culm (la serie de base) corresponden a facies hemipelágicas de cuenca llana, que se podrían considerar como las facies más distales sobre las que se dispone el conjunto del abanico progredante.

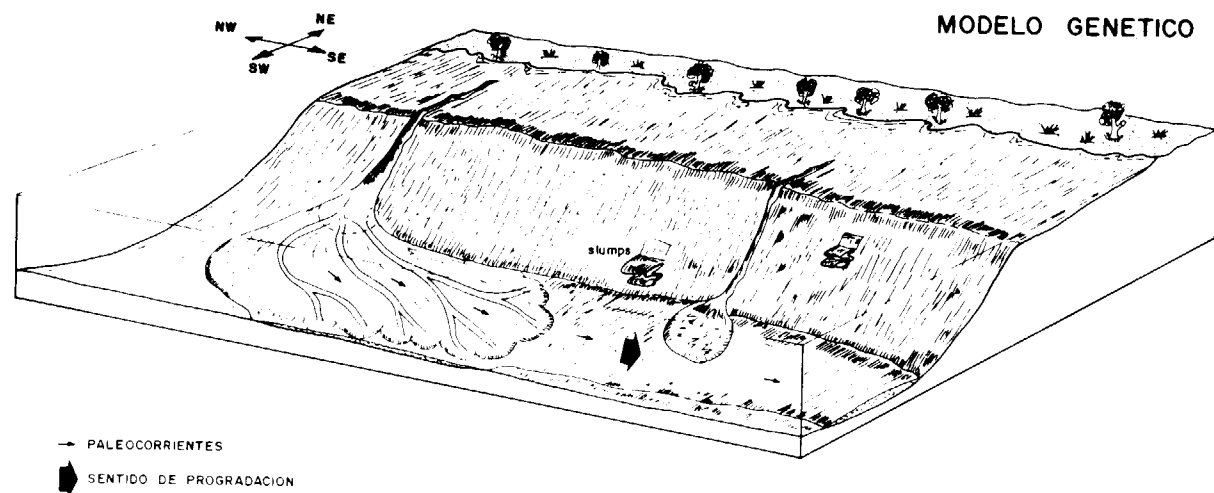


Figura 5

AGRADECIMIENTOS

A la compañía Phelps Dodge España, por la autorización para disponer de los datos del sondeo Las Marías-1.

BIBLIOGRAFIA

- GABALDÓN, V.; GARROTE, A., y QUESADA, C.: *El Carbonífero inferior del Norte de la Zona de Ossa-Morena (SW de España)*. X Inter. Congr. Carbón (en prensa) (1983).
- KAMP, P. C. van de; HARPER, J. D.; CONNIFF, J. J., y MORRIS, D. A.: *Facies relations in the Eocene-Oligocene in the Santa Ynez Mountains, California*. J. Geol. Soc. London, 130, 545-565 (1974).
- LIÑÁN, E.: *Bioestratigrafía de la Sierra de Córdoba*. Tesis Doctoral. Univ. Granada, 218 pp. (1974).
- MORENO-GARRIDO, M. C.: *Estudio estratigráfico del Carbonífero de facies Culm de un sector del flanco sur del anticlinorio de Puebla de Guzmán en la provincia de Huelva*. Tesis de Licenciatura. Univ. Granada, 146 pp. (inédita) (1982).
- MUTTI, E.: *Distinctive thin-bedded turbidites facies and related depositional environments in the Eocene Hecho Group (South Central Pyrenees, Spain)*. Sedimentology, 44, 107-131 (1977).
- MUTTI, E., y RICCI-LUCCHI, F.: *Turbidites facies and facies associations*. In: *Examples of Turbiditas facies and facies associations from selected formations of the Northern Apennines*. Field Trip, Guide book A, 11 IX Int. Cong. Sediment., 21-36 (1975).
- NELSON, H. C., y KULM, L. D.: *Submarine fans and deep-sea channels*. In: S. E. P. M. Pacific Sect. Short Course, *Turbidites and deep-water sedimentation*, 39-48 (1973).
- NORMARK, W. R.: *Growth patterns of deep-sea fans*. Am. Ass. Petrol. Geol. Bull., 54, 2170-2195 (1970).
- NORMARK, W. R.: *Fan valleys, channel and depositional lobes on modern submarine fans: Characters for recognition of sandy turbidite environments*. Am. Ass. Petr. Geol. Bull., 62, 912-931 (1978).
- OLIVEIRA, J. T.: *The Marine Carboniferous of the South Portugal: Stratigraphic and sedimentological approach*. In: LEMOS SOUSA, M., y OLIVEIRA, J. T. *The Carboniferous of Portugal*. X Int. Congr. Carbon. Mem., núm. 29, Serv. Geol. Portugal, 3-37 (1983).
- OLIVEIRA, J. T. y FLORIDO, P.: *Marine Carboniferous of the SW Iberian Peninsula*. Field Trip H. X. Int. Congr. Carbon. E. N. ADARO, 73 pp. (1983).
- OLIVEIRA, J. T.; HORN, M., y DAPROTH, E.: *Preliminary note on the stratigraphy of the Baixo Alentejo Flysch Group, Carboniferous of Southern Portugal and on the paleogeographic development, compared to corresponding units in Northwest Germany*. Comunic. Serv. Geol. Portugal, 65, 151-168 (1979).
- PÉREZ-LORENTE, F.: *Geología de la zona Ossa-Morena al norte de Córdoba (Pozoblanco-Belmez-Villaviciosa de Córdoba)*. Tesis Doctoral. Univ. Granada, 718 pp. (1977).
- QUESADA, C., y GARROTE, A.: *Carboniferous geology of the Sierra Morena*. Field Trip D. X Inter. Congr. Carbon. E. N. ADARO, 104 pp. (1983).
- RICCI-LUCCHI, F.: *Turbidite dispersal in a Miocene deep-sea plain the Marnosoarenacea of the southern Apennines*. Geol. in Minjb., 57, 559-576 (1978).
- RICCI-LUCCHI, F.: *Sedimentologia*. Coop. Libreria Universit. Bologna, 3 vols. 545 pp. (1980).
- RUIZ-ORTIZ, P. A.: *A carbonate submarine fan in a fault-control basin of the Upper Jurassic, Betic Cordillera, southern Spain*. Sedimentology, 30, 33-48 (1983).
- SÁNCHEZ DE LA TORRE, L., y GONZÁLEZ LASTRA, J.: *Esquema de la distribución de ambientes y facies sedimentarias en el Carbonífero Inferior de la Cordillera Cantábrica*. Trabajos de Geología, 401-406 (1978).
- SANTOS, A., y FERNÁNDEZ-ALONSO, F.: *Mapa y memoria explicativa de la Hoja 958 (Puebla de Guzmán) del Mapa Geológico Nacional E. 1:50.000 plan Magna*. IGME, 57 pp. (1982).
- SANTOS, A.; FERNÁNDEZ-ALONSO, F., y LEYVA, F.: *Mapa y memoria explicativa de la Hoja 980 (San Silvestre de Guzmán) del Mapa Geológico Nacional E. 1:50.000. Plan Magna*. IGME, 41 pp. (1982).
- SCHERMERHORN, L. J. G.: *An outline stratigraphy of the Iberian Pyrite Belt*. Bol. Geol. Min., 82, III-IV (1976).
- WALKER, R. G.: *Deep-water sandstone facies submarine fans: models for exploration for stratigraphic traps*. Am. Ass. Petr. Geol. Bull., 62, 932-966 (1978).

Recibido: Marzo de 1984

MINERIA

Estudio de las características químicas y superficiales de tres lignitos de la cuenca carbonífera de Teruel

Por I. FERNANDEZ MORALES (*), J. LOPEZ GARZON (*), A. LOPEZ PEINADO (*)
y J. RIVERA UTRILLA (*)

RESUMEN

Se ha efectuado el análisis elemental (C, H, N), inmediato (C_{fijo} , volátiles, cenizas) y mineralógico de tres carbones procedentes de Teruel. El contenido en carbono de los mismos oscila desde un 41,02 por 100 hasta un 55,63 por 100. Los minerales que impurifican a los carbones son, fundamentalmente, cuarzo, caolinita, calcita, hematites, siderita y algunos otros minerales de arcilla.

Se ha estudiado la textura porosa de las muestras de carbón original, así como la de sus correspondientes desmineralizados (libres de materia mineral). Estos carbones presentan valores de superficie próximos a 200 m²/g., y una porosidad que oscila entre el 12,7 por 100 y el 24,4 por 100. Más del 50 por 100 de esta porosidad es debida a la presencia de macroporos.

SUMMARY

CHEMICAL AND SUPERFICIAL CHARACTERIZATION OF THREE LIGNITES FROM THE COAL MINES OF TERUEL

Elemental (C, H, N), proximate (fixed carbon, volatile matter, ash) and mineralogical analyses of three coals from Teruel (Spain) have been obtained. Their carbon content varies from 41.02% to 55.63%. The mineral matter of the coals is essentially: quartz, kaolinite, calcite, hematite, siderite and some clay minerals.

The porous texture of the original samples as well as of the demineralized ones (mineral matter free) has been studied.

These coal samples have surface area values close to 200 m²/g and their porosity ranges from 12.7% to 24.4%. More of 50% of this porosity is due to the existence of macropores.

INTRODUCCION

Las dificultades que presenta la implantación de centrales nucleares y el aumento de los precios del petróleo, unido a la probable escasez del mismo a medio plazo, han originado que vuelva el interés por el carbón, cuyas reservas pueden garantizar suministros a plazos muy superiores.

En el caso particular de España, con unas reservas energéticas muy deficientes, en las que el petróleo es escaso, el carbón se muestra como el recurso más importante en tanto que nuevas alternativas energéticas puedan ser desarrolladas adecuadamente.

En los últimos años se está despertando un

gran interés por el estudio de los procesos de gasificación (9, 22, 24) y licuefacción (1, 21, 23, 32) del carbón, pues éstos ofrecen la posibilidad de obtener combustibles gaseosos y líquidos de diferente contenido energético que pueden sustituir al gas natural o petróleo en diversas aplicaciones industriales (4). Por ello, dichos procesos han de constituir, sin duda alguna, el principal destino del carbón en el futuro.

El proceso de gasificación de un sólido poroso, como es el carbón, es complejo (19) y depende principalmente de tres parámetros: a) concentración de centros activos; b) textura porosa, que determinará el acceso del gas de combustión al interior del carbón y, por tanto, a los centros activos, y c) presencia de minerales y elementos metálicos que puedan actuar de catalizadores dissociando las especies moleculares de los gases de

reacción en sus correspondientes especies atómicas, las cuales son más reactivas (26).

Dado que las características químicas y texturales, no sólo son determinantes en la gasificación y licuefacción de los carbones, sino también en la mayoría de los procesos en los que intervienen, es necesario efectuar un estudio de las mismas como etapa previa a la utilización del carbón en dichos procesos.

Siguiendo en esta línea, el presente trabajo se ha orientado en la caracterización química y de la textura porosa de tres lignitos de la cuenca carbonífera de Teruel. Los resultados obtenidos se han comparado con los correspondientes a las muestras de carbón desmineralizadas (libres de compuestos inorgánicos).

PARTE EXPERIMENTAL

Los carbones utilizados en este trabajo son tres lignitos de la cuenca carbonífera de Teruel, dos de ellos (carbón A y B) procedentes de la mina «Innominada» y el tercero (carbón D) de la mina «Corta Alloza». Estos fueron suministrados por ENDESA. Los carbones fueron triturados y tamizados, seleccionando la fracción cuyo tamaño de partícula está comprendido entre 0,15 y 0,25 mm. de diámetro.

Los carbones originales fueron sometidos a un proceso de desmineralización consistente en tratamientos alternativos con CIH y FH, siguiendo el método descrito en la referencia (5). De este modo se obtuvieron las correspondientes muestras desmineralizadas AD, BD y DD.

Análisis químico

a) Análisis elemental

Estos análisis, que nos permiten conocer el contenido en C, H, N y S, se han efectuado con un equipo Carlo Erba Elemental Analyzer, modelo 1.106.

b) Análisis inmediato

Dentro de este apartado se incluye la determinación del contenido en humedad, cenizas, carbono fijo y materia volátil de las diferentes mues-

tras. Estos análisis se efectuaron siguiendo las normas editadas por el Instituto Nacional de Racionalización del Trabajo (UNE).

El porcentaje de humedad de los carbones se calculó por diferencia de peso entre la muestra original y la muestra seca (calentada a 373K hasta pesada constante). Se denominan cenizas del carbón al residuo de compuestos inorgánicos que queda después de quemar, a 1073K, los combustibles sólidos de la muestra. Se considera materia volátil aquella que se elimina al calentar la muestra de carbón a 1173K en atmósfera de gas inerte (N₂, Ar o He). El contenido en C fijo se obtuvo por diferencia.

c) Análisis mineralógico.

Al objeto de identificar los minerales presentes en los carbones originales se ha efectuado el análisis químico (cualitativo y cuantitativo) de los mismos, así como un estudio de los diagramas de R-X obtenidos tanto en los carbones originales como en sus correspondientes cenizas.

El análisis químico se realizó disolviendo las cenizas mediante tratamiento con HCl, HNO₃ y HF según (3,14) y utilizando la técnica de espectrometría de absorción atómica. Para ello se usó un aparato Pye Unicam, modelo SP1900. El contenido en SiO₂ se determinó disolviendo el resto de la materia inorgánica de las cenizas con HCl y NHO₃ y pesando el residuo seco de sílice.

Los diagramas de difracción de R-X se obtuvieron en un aparato Philips modelo PW 1730, utilizando la técnica de Scherrer y usando la Radiación K α del Cu.

La identificación de los minerales presentes se ha efectuado utilizando un programa denominado RX Fortran y un ordenador Data General MPT/100.

Superficie y textura porosa

Los valores de superficie de las diferentes muestras de carbón se obtuvieron aplicando la ecuación de BET, a las isoterms de absorción de N₂ a 77K y la ecuación de Dubinin-Radushkevich a las correspondientes isoterms de adsorción de CO₂ a 298K. Como valor de Am (área cubierta por molécula) se ha usado 0,162 nm² para el N₂ y 0,253 nm² para CO₂ (28).

(*) Departamento de Química Inorgánica. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada, Granada (España).

Los procesos de adsorción se llevaron a cabo usando un aparato volumétrico de gran precisión descrito con anterioridad (16), al cual le hemos incorporado un baratrón de la casa MKS, modelo 170M-25C, que permite medir la presión de gas con una aproximación de 0.01 torr.

Mediante la técnica de porosimetría de mercurio se ha calculado el volumen parcial de meso y macroporos y la densidad de las muestras medida con mercurio. Para ello se ha utilizado un porosímetro de la casa Carlo Erba, M-2000.

La densidad de los carbones se ha obtenido también usando He. Para ello hemos construido un aparato de vidrio, semejante al descrito en la referencia (29), que permite conocer el volumen de He que ocupa la unidad de masa de la muestra. A esta densidad medida con He se le denomina «verdadera» densidad del carbón (29), ya que como consecuencia del tamaño tan pequeño de la molécula de He ($\varnothing=0,4$ nm) éste tiene una gran accesibilidad al interior del carbón (30).

El volumen total de poros abiertos al He de las muestras de carbón se ha calculado mediante la expresión

$$V_T = \frac{1}{\rho_{Hg}} - \frac{1}{\rho_{He}}$$

donde ρ_{Hg} es la densidad medida con mercurio y ρ_{He} la obtenida con helio (29).

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos del análisis elemental de las tres muestras de carbón original se exponen en la tabla I. Se puede apreciar que el por-

centaje de carbono oscila desde 48,80 por 100 en la muestra D hasta 56,14 por 100 en la muestra A. El contenido en hidrógeno y nitrógeno es muy similar en las tres muestras de carbón.

En la tabla I se ha incluido también los datos correspondientes al análisis inmediato de los carbones. Los porcentajes dados en la tabla están referidos al peso de muestra seca. De ellos se deduce que en la muestra A y D el carbono fijo es ligeramente inferior al carbono total (obtenido del análisis elemental); sin embargo, en la muestra B la diferencia en el contenido de los dos tipos de carbono es bastante superior ($\approx 14\%$), este hecho nos indica que una parte considerable del C de la muestra B se elimina como materia volátil. Así lo confirma la disminución en el contenido de materia volátil de la muestra desmineralizada (BD) en relación con la original B; por el contrario, el contenido en volátiles de las muestras A y D es un poco inferior ($\approx 2\%$) que el correspondiente a sus desmineralizadas, AD y DD.

El porcentaje de cenizas de las muestras guarda una estrecha relación con el contenido de materia mineral (o inorgánica) que acompaña al carbón. En los carbones objeto de estudio el contenido en cenizas varía desde un 8,13 por 100, muestra A, hasta un 18,28 por 100, muestra D. Asimismo, se puede observar, tabla I, que en las muestras desmineralizadas se obtuvo una apreciable cantidad de cenizas; ello nos indica que el proceso de desmineralización al que fueron sometidos los carbones originales no eliminó todos los minerales que acompañan al propio carbón.

Por otra parte, la caracterización de los minerales y elementos que impurifican a los carbones es de gran importancia en el uso industrial de los mismos. En primer lugar, como consecuencia de la estrecha relación existente entre gasifica-

TABLA I

Muestra	Análisis elemental (%)					Análisis inmediato (%)			
	C	H	N	S	O (por dif.)	Humedad	Volátiles	Cenizas	C (fijo)
A	56,14	4,62	0,66	4,43	26,02	15,88	36,24	8,13	55,63
B	55,29	4,31	0,63	3,80	22,04	14,76	45,25	13,73	41,02
D	48,80	4,65	0,75	5,09	22,43	17,82	35,39	18,28	46,33
AD							38,52	0,80	60,69
BD							37,38	1,39	61,23
DD							38,93	3,91	57,16

ción y materia mineral (15, 25, 31), y en segundo término, debido a que este conocimiento permitirá reducir al máximo los problemas ocasionados por los residuos de los carbones en los tubos de las calderas y en la contaminación atmosférica y de aguas.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, se han efectuado los análisis químicos de las cenizas de las muestras originales y se ha intentado identificar los minerales que se encuentran presentes en los carbones; para ello se ha seguido el método descrito anteriormente.

En la tabla II se exponen los resultados obtenidos en el análisis químico de las muestras de carbón. En las tres muestras cabe destacar el alto contenido en Fe y Ca frente al resto de los elementos, así como el elevado porcentaje de Fe, Na y K en la muestra D en comparación con las otras dos muestras.

Para la detección de los minerales presentes en las muestras se han efectuado los diagramas de R-X, tanto en los carbones originales como en sus correspondientes cenizas. Como es lógico, los picos de los diagramas de las cenizas son más intensos y definidos que los de las muestras originales, dado que, en estas últimas, el carbón presente enmascara las reflexiones correspondientes a los minerales que le acompañan.

De la información obtenida de los diversos diagramas se ha podido identificar los siguientes minerales: cuarzo, caolinita, calcita, hematites, siderita, así como mezcla de otros minerales de arcilla. Todos ellos se encuentran presentes en las tres muestras de carbón. Cabe destacar que la mayor parte del hierro se encuentra como geles de hierro, así como que la muestra B presenta mayor cantidad de calcita que el resto de las muestras.

Otra característica importante de los carbones

es su textura porosa, hasta el punto de que influye en el comportamiento del carbón más que cualquier otra característica del mismo. Esta actúa de un modo decisivo en los procesos de gasificación y licuefacción del carbón (12, 13), así como en sus propiedades mecánicas (20) y en su uso como materia prima para la obtención de carbones activos (18). Por ello, es muy interesante efectuar un estudio acerca de los parámetros superficiales y de porosidad de las muestras de carbón.

Siguiendo los métodos descritos anteriormente se ha efectuado esta caracterización tanto en las muestras originales como en las desmineralizadas. Los resultados obtenidos se exponen en la tabla III.

Se puede apreciar que los valores de superficie medidos a partir de la isoterma de adsorción de CO_2 a 298K (S_{CO_2}) son más elevados que los obtenidos con N_2 a 77K (S_{N_2}); este hecho indica que la superficie del carbón presenta ciertas restricciones para el acceso del N_2 al interior de los poros. La temperatura de adsorción también influye en el proceso de difusión del adsorbato hacia el interior de los microporos; así, el CO_2 a 298K tiene una mayor accesibilidad que el N_2 a 77K, pues éste, para su difusión, requiere una considerable energía de activación que no puede ser suministrada a 77K (17). Por tanto, la superficie más real de los carbones minerales es la determinada con CO_2 a 298K (2, 8, 27). La relación S_{CO_2}/S_{N_2} nos da información acerca de la accesibilidad del N_2 a 77K a la superficie interior del carbón. Esta relación aumenta al desmineralizar las muestras de carbón (tabla III).

Los valores de superficie obtenidos para nuestros carbones se ajustan perfectamente a la representación gráfica dada por WALKER y col. (8, 29), que relaciona los valores de superficie con el contenido en C de carbones americanos. Asi-

TABLA II
Análisis químico de las muestras de carbón (*)

Muestra	SiO ₂	Fe	Ca	Mg	Na	K	Al	Cr . 10 ⁴	Pb . 10 ⁴	Cu . 10 ⁴	Zn . 10 ⁴
A	2,63	0,83	0,95	0,11	0,05	0,03	0,40	6,5	8,1	4,9	18,7
B	7,43	1,62	1,24	0,13	0,05	0,04	0,93	13,7	9,6	9,6	9,6
D	8,76	5,10	0,74	0,05	0,12	0,21	1,26	14,6	20,1	22,8	28,3

(*) Resultados expresados en % referido al carbón original.

TABLA III
Caracterización de la textura porosa de las muestras de carbón

Muestra	% C (SLC)*	SN ₂ (m ² /g)	SCO ₂ (m ² /g)	SCO ₂		ρ _{Hg} (g/cm ³)	ρ _{He} (g/cm ³)	V _T (cm ³ /g)	V ₁ (cm ³ /g)	V ₂ (cm ³ /g)	V ₃ (cm ³ /g)	V ₂ (%)	Poros. abierta (%)
				SN ₂	ρ _{Hg}								
A	60,6	5,6	196	35,0	1,234	1,510	0,148	0,050	0,024	0,074	50,0	18,3	
B	47,6	6,3	204	32,4	1,263	1,669	0,193	0,061	0,035	0,097	50,3	24,4	
D	56,7	5,6	183	32,6	1,349	1,686	0,148	0,026	0,039	0,082	55,4	20,0	
AD	61,2	2,7	230	85,1	1,262	1,447	0,101	0,014	0,012	0,076	75,2	12,7	
BD	62,1	4,6	192	41,8	1,204	1,476	0,153	0,007	0,015	0,132	86,3	18,4	
DD	59,5	3,4	203	50,9	1,205	1,490	0,159	0,021	0,021	0,117	73,6	19,2	

* %C (SLC): Porcentaje de carbón referido a la muestra seca y libre de cenizas.

mismo, los valores de densidad obtenidos tanto con mercurio (ρ_{Hg}) como con helio (ρ_{He}) son similares a los encontrados para carbones americanos (8), ingleses (6) y japoneses (7) del mismo rango.

Como es sabido, los carbones minerales están formados, fundamentalmente, por compuestos aromáticos unidos, esencialmente en el plano, por eslabones tales como: éter, azufre y metileno. En los anillos aromáticos se encuentran, principalmente, grupos hidroxilo, carboxilo, carbonilo, hidrógeno y oxígeno (10). Lógicamente, el empaquetamiento de estas unidades en las tres dimensiones es poco compacto y ello origina que los carbones tengan una gran porosidad (11). Una elevada fracción de estos poros son de tamaño muy pequeño (Ø ~ 0.4-0.5 nm), esto hace que los carbones minerales tengan la propiedad de tamiz molecular (30).

En la tabla III se ha incluido el volumen de poros (cm³/g) de cada una de las muestras. En ella se pueden distinguir las fracciones de porosidad siguientes: Volumen total de poros abiertos, V_T, correspondiente a los pocos accesibles al helio (0,4 nm < Ø < 15.000 nm); volumen de poros V₁, contenido en poros de diámetro comprendido entre 0,4 nm y 7,5 nm; volumen de poros V₂, cuyo diámetro de poros está comprendido entre 7,5 nm y 20 nm y volumen de poros V₃ que corresponde a los macroporos (20 nm < Ø < 15.000 nm).

En términos generales se puede decir que estos carbones presentan una porosidad ligeramente superior a la de los lignitos americanos (8, 29), siendo el carbón B (cuyo contenido en C es el más bajo, 47,6%) el que tiene una mayor porosi-

dad. Por otra parte, como se ha observado en carbones de rango semejante a los nuestros (29), la porosidad de las muestras es principalmente debida a la presencia de macroporos (> 50%). Por el contrario, en carbones de rango superior (> 75 por 100 de C) predomina la meso o microporosidad (29).

BIBLIOGRAFIA

- (1) ABDEL-BASED, M.; YARZAB, R. F., and GIVEN, P. H.: Fuel, 57, 89 (1978).
- (2) ANDERSON, R. B.; BAYER, J., and HOTEL, L. J. E.: Fuel, 50, 345 (1965).
- (3) BEA BARREDO y POLO DíEZ: Talanta, 93, 859 (1976).
- (4) BERKOWITZ, N.: *An Introduction to coal technology*. Academic Press, New York (1979).
- (5) BISHOP, M., and WARD, D. L.: Fuel, 37, 191 (1958).
- (6) FRANKLIN, R. E.: Trans. Faraday Soc., 45, 274 (1949).
- (7) FUJII, S., and TSUBOY, H.: Fuel, 46, 361 (1967).
- (8) GAN, H.; NANDI, S. P., and WALKER, P. L., Jr.: Fuel, 51, 272 (1972).
- (9) GAVALAS, G. R.: Combust. Sci. Technol., 24, 197, (1981).
- (10) GORBATY, M. L.; LARSEN, J. W., and WENDER, J. (Ed.): *Coal Science*, vol. I, Academic Press, New York (1982).
- (11) GRIMES, W. R.: *Coal Science*, vol. I, p. 21, Academic Press, New York (1982).
- (12) HIPPO, E., and WALKER, P. L., Jr.: Fuel, 54, 245 (1975).

- (13) JENKINS, R. J.; NANDI, S. P., and WALKER, P. L., Jr.: Fuel, 52, 288 (1973).
- (14) LANGHMER, F. J., and PAUS, P. E.: Anal. Chim. Acta, 43, 397 (1968).
- (15) LINARES SOLANO, A.; MAHAJAN, O. P., and WALKER, P. L., Jr.: Fuel, 58, 327 (1979).
- (16) LÓPEZ GONZÁLEZ, J. DE D.; RODRÍGUEZ REINOSO, F.; BAÑARES MUÑOZ, M. A., y LINARES SOLANO, A.: An. Quim., 72, 441 (1976).
- (17) MAGGS, F. A. P.: Nature, 169, 793 (1952).
- (18) MARSH, H., and WYNNE-JONES, W. F. K.: Carbon, 1, 269 (1964).
- (19) NEAREL, R. C.: Fuel, 55, 237 (1976).
- (20) NELSON, J. R.; MAHAJAN, O. P., and WALKER, P. L., Jr.: Fuel, 59, 831 (1980).
- (21) PETRAKIS, L., and GRANDY, D. W.: Fuel, 60, 120 (1980).
- (22) RADOVIC, L. R.; WALKER, P. L., Jr., and JENKINS, R. G.: J. Catal., 82, 382 (1983).
- (23) SHIBAOKA, M., and UEDA, S.: Fuel, 57, 667 (1978).
- (24) SMITH, J. M.: *Chemical Engineering Kinetics*, 3rd. Ed., McGraw-Hill, New York (1981).
- (25) TOMITA, A.; MAHAJAN, O. P., and WALKER, P. L., Jr.: Fuel, 56, 137 (1977).
- (26) WALKER, P. L., Jr.; SHELEF, M., and ANDERSON, R.: *Chemistry and Physics of Carbon*, vol. 4, p. 287, Marcel Dekker, New York (1968).
- (27) WALKER, P. L., Jr., and PATEL, R. L.: Fuel, 49, 91 (1970).
- (28) WALKER, P. L., Jr., and KINI, K. A.: Fuel, 44, 453 (1965).
- (29) WALKER, P. L., Jr., and MAHAJAN, O. P.: *Analytical Methods for Coal and Coal Products*, vol. I, p. 125, Academic Press, New York (1978).
- (30) WALKER, P. L., Jr.: Phil. Trans. R. Soc. Lond., A 300 (1981).
- (31) WALKER, P. L., Jr.; RUSINKO, F., and AUSTIN, L. G.: *Advances in Catalysis*, vol. 11, Academic Press, New York (1959).
- (32) WHITEHURST, D. D.; MITCHELL, T. O., and FARCASIN, M.: *Coal liquefaction*, Academic Press, New York (1980).

Recibido: Abril de 1984

AGUAS SUBTERRANEAS

Filosofía de los modelos para la satisfacción conjunta de necesidades de agua. Modelos de regulación garantía (REGA).

Por A. IGLESIAS LOPEZ (*)

RESUMEN

Se exponen algunas ideas concernientes a la integración de las aguas subterráneas en los Planes Hidrológicos Generales.

Se desarrolla la filosofía del modelo REGA (modelo de regulación-garantía) señalando principalmente las relaciones entre ríos y acuíferos.

Esta clase de modelos o filosofía de trabajo, puede ser usada en un futuro próximo en la gestión del agua en España cuando la nueva Ley de Aguas esté en funcionamiento.

ABSTRACT

Same ideas concerning to principals ways to integrate the groundwater into General Hydraulics Plans are exposed.

The philosophy of the REGA model (conservation-service probability model), is developed pointing out principally the relationships between rivers and acuífers.

This kind of model or work-philosophy may be used in the near future in water management in Spain when the new Water Law is passed.

En la presente propuesta quiere exponerse la filosofía general de los modelos de regulación-garantía para la satisfacción conjunta de necesidades de agua.

Quiere hacerse esta exposición en atención a que desgraciadamente las aguas subterráneas no siempre son aceptadas a la hora de integrarse correctamente en los planes hidrológicos.

Por otra parte, este tipo de modelos pueden ser, cara al futuro, un punto de partida extraordinario para otorgar concesiones de aguas subterráneas amparándose en la futura ley de aguas, con los precisos elementos de juicio tanto en los fenómenos de descenso en los niveles de los acuíferos como de variación de la regulación y garantía en los ríos.

Actualmente se piensa que la utilización conjunta de las aguas superficiales y subterráneas

será cara al futuro el mecanismo más potente para lograr una mejor regulación del ciclo hidrológico, siendo para ello preciso conseguir integrar las aguas subterráneas en los Sistemas de Recursos Hidráulicos, utilizando una misma nomenclatura y filosofía.

Los mecanismos generales para exponer este tema, parten de introducir las aguas subterráneas en el concepto de regulación.

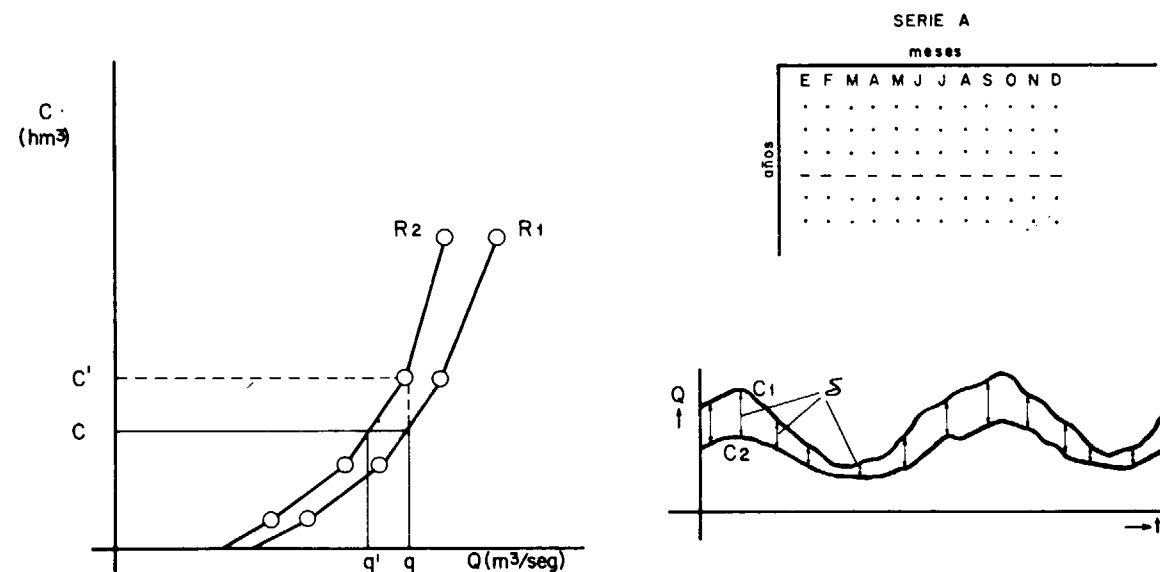
Recordando conceptos, puede indicarse lo siguiente:

Si se dispone de un período de aportaciones representativo en un punto característico de un curso superficial (fig. 1) puede construirse la curva de regulación haciendo uso de la relación,

$$C = q T - A$$

Capacidad = Caudal regulado x Tiempo —
— Aportación

(*) División de Aguas Subterráneas del Instituto Geológico y Minero de España.



R1 = Curva de regulación de la serie A en ausencia de bombeos y G=100%. Idem. supuestos bombeos y G=80%

R2 = Curva de regulación de la serie A' supuestos bombeos y G=100%

C1 = Regimen natural de caudales en el río

C2 = Regimen de caudales en el río considerada la influencia de los bombeos

S = Diferencias a restar mes a mes a la serie A. La serie que se obtendra A' dara lugar a R2

Figura 1

Como es bien sabido, se aplica a un mes de aportación mínima dentro de la serie disponible. En segundo lugar, se hace el mismo cálculo para dos meses consecutivos, en el cual la suma de las aportaciones mensuales sea mínima. Posteriormente se continúa con los períodos de tres y cuatro meses y así sucesivamente. Se obtienen unas rectas cuya envolvente es la curva de regulación R1, que fija la capacidad del embalse necesaria para obtener un caudal regulado, con determinadas garantías de 100 por 100, 90 por 100, etc., según se utilice la totalidad de la serie, o se desprecien una serie de años de aportaciones mínimas.

Al bombear las aguas subterráneas la serie de descargas acuífero-río, sufrirá variaciones en cantidad y tiempo.

Si se restan las disminuciones ocasionadas por los bombeos a la serie de aportaciones naturales,

se obtiene una nueva serie mediante la cual puede construirse una nueva curva R2.

Con esta curva, se puede ver cómo el caudal regulado en el río disminuye para la misma capacidad de embalse, aunque el caudal regulado a nivel de toda la cuenca mejora al bombear agua de los acuíferos.

Las curvas R1 y R2 están representadas con garantías del 100 por 100. R1 es la curva en ausencia de bombeos. R2 es la curva que se obtendría si los supuestos bombeos se efectuaran.

Sin embargo, la curva R1 puede ser la curva real en presencia de bombeos, sin más que considerar que la garantía de la regulación ha disminuido.

La nueva garantía para R1, podría calcularse por comparación de sus abscisas con las de R2 según una simple proporcionalidad.

Consecuentemente, al explotar el acuífero se aumenta la regulación global de la cuenca a expensas de disminuir la garantía en el río.

Como se sabe, alguna de las actuaciones para paliar déficits no cubiertos por los márgenes de garantía, en los períodos de sequía, utilizan las aguas subterráneas bombeándolas de los acuíferos y vertiéndolas a los ríos.

Sin embargo, los bombeos producen una disminución de la garantía como se ha visto, y aunque se cubran los déficits, en los períodos de bombeo, estos causan nuevos períodos de déficits, donde es preciso repetir la operación.

La ganancia que se obtiene nunca suele llegar al 100 por 100. Además de esto, si el río queda afectado muy rápidamente por las extracciones del acuífero, puede ocurrir que se esté vertiendo al río el agua que se le está quitando.

El óptimo, se produce, naturalmente, cuando se bombea el acuífero en las épocas de déficit, vertiendo agua al río y éste no se afecta hasta la época de grandes aportaciones superficiales.

Existe una amplia gama de posibilidades de satisfacción de déficits en épocas de sequía utilizando conjuntamente los acuíferos y los ríos. Estas posibilidades se barajan en función del tipo del acuífero, del régimen y situación del río y de las condiciones de relación río-acuífero.

El área principal de conocimiento para el estudio de todos estos planteamientos, se funda precisamente en el cálculo de las disminuciones que va a sufrir la descarga del acuífero al río, medida en cantidad y tiempo, frente a un proceso de extracción localizado en un área específica del acuífero a lo largo de un período definido. Los modelos matemáticos son la herramienta a utilizar para este logro, habiendo sido diseñados y puestos a punto gracias al espectacular desarrollo de la informática y el cálculo numérico en los últimos decenios.

En España, el IGME ha trabajado intensamente durante los últimos años en esta materia, habiéndose conseguido terminar los modelos de unos 25 acuíferos entre los de mayor entidad del país.

Los resultados que aportan estos modelos, se integran dentro de otros modelos o programas de regulación-explotación o gestión.

Básicamente consiste en balances de agua mes a mes entre nudos de ríos, siguiendo el método aceptado en los Planes Hidrológicos Nacionales (figura 2). Entre los embalses 1 y 2, cuyas disponibilidades son D_1 y D_2 , se establece un balance de agua entre aportaciones incluida su distribución temporal y usos del agua incluida también su distribución temporal.

Para un valor de disponibilidades en el punto 1, D_1 , y un esquema de aportaciones-usos en el tramo (incluidos aportes por agua importada y retornos de regadíos) se obtiene un valor de disponibilidades en el punto 2, D'_2 . Esta disponibilidad D'_2 , junto con la capacidad del embalse 2, definen las disponibilidades reguladas y no reguladas, D_2 , para el siguiente tramo.

La aportación subterránea (A_s) del acuífero al río puede ser modificada en función de los bombeos y esta modificación altera la disponibilidad en el punto 2.

Conviene señalar, en este momento, cómo estas herramientas modelo son insustituibles en planes de satisfacción de déficits en períodos de sequía, no cubiertos por los márgenes de garantía de la regulación. Los bombeos de los acuíferos vertiendo el agua al río, mejoran la disponibilidad global D'_2 . Pero es necesario conocer cuál es el nuevo régimen de descargas acuífero-río después de bombear el acuífero en épocas de déficits, porque estos bombeos ocasionan a su vez nuevos déficits.

Las relaciones acuífero-río son, consecuentemente, el punto más importante en el estudio de la utilización conjunta para paliar déficits.

El modelo expuesto en la figura 2 sintetiza la filosofía de los modelos de gestión regulación-garantía REGA, que ha sido diseñado por el autor en el Instituto Geológico y Minero para aplicar a los diversos estudios de utilización conjunta que actualmente se llevan a cabo.

El desarrollo informático ha sido concluido, en su primera y segunda fases, a través de un convenio de colaboración de investigación de métodos numéricos aplicables a la gestión y utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas entre el Instituto Geológico y Minero de España y la Universidad Politécnica de Madrid (Cátedra de Cálculo Numérico e Informática de la E. T. S. de Ingenieros de Minas de Madrid).

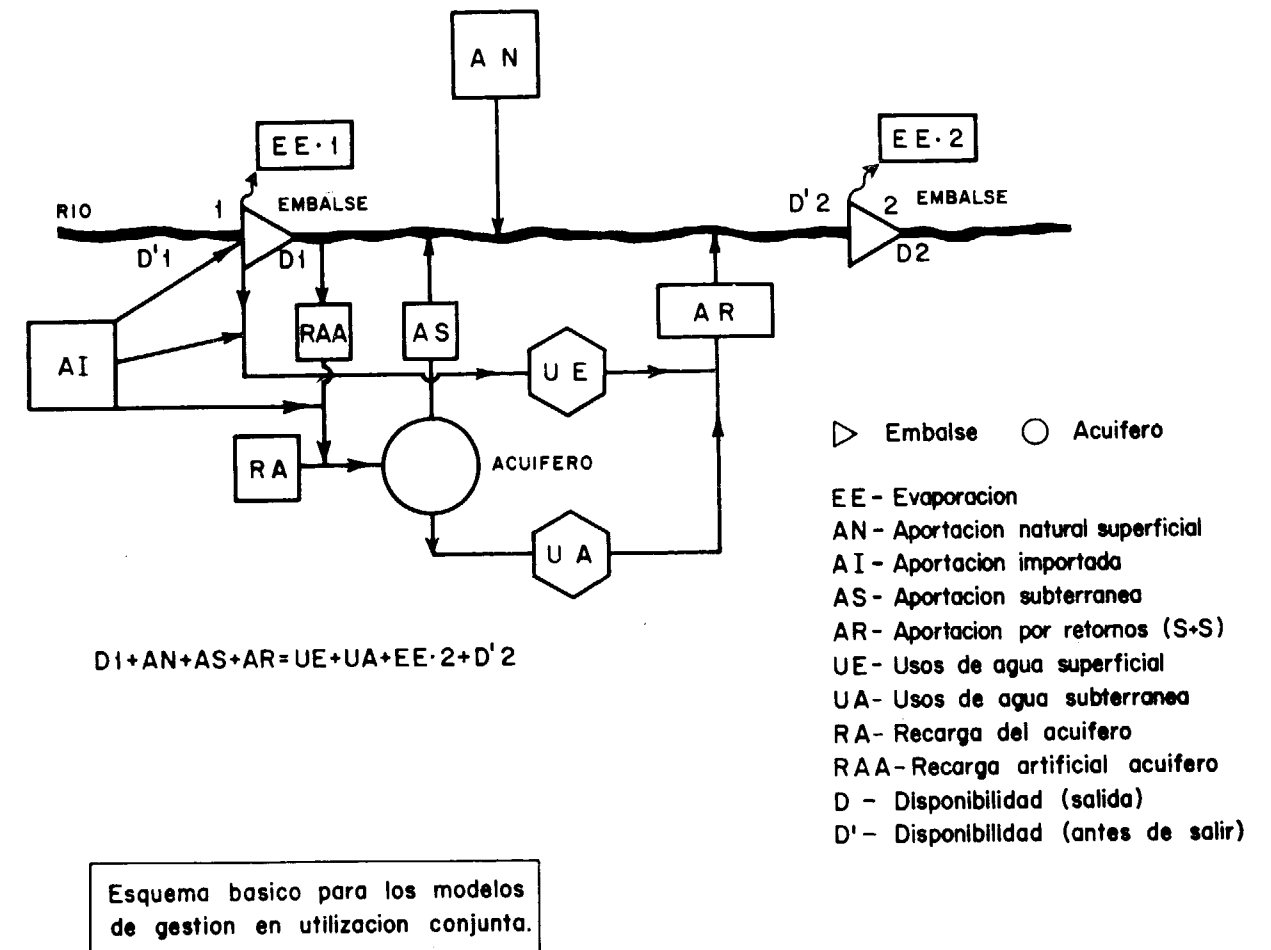


Figura 2

La filosofía de aprovechamiento de los acuíferos, cara a la regulación, haciendo uso de los esquemas de utilización conjunta, puede sintetizarse, en sus líneas principales, en los puntos que a continuación se relatan:

a) Figura 3a.

En el caso de tener un acuífero, y aguas abajo de éste, un embalse o un simple uso del agua del río, puede bombearse el acuífero en los meses de estío, produciéndose una disminución variable en los caudales del río a lo largo de todos los meses del año. Como la utilización se ha llevado a cabo en los meses de necesidad y la detracción al río se ha difuminado en el tiempo, gracias al retardo que se produce en la reacción de las descargas del acuífero al río, consecuentes al

bombeo, se logra aumentar la regulación general en el uso del agua, aún a expensas de perder regulación o disminuir la garantía de la misma en el río o embalse. Si el agua bombeada no se utilizara en el acuífero y fuera directamente vertida al río, se aumentaría la regulación y la garantía en los usos del mismo.

b) Figura 3b.

Si el embalse está aguas arriba del acuífero, la utilización conjunta embalse-acuífero o río-acuífero puede ser un mecanismo de muy notable mejora en la regulación y en el aumento de la garantía de la misma.

El curso superficial sirve unos recursos R con una garantía de suministro G. Se podría servir

un mayor volumen de recursos R' para satisfacer mayores recursos con una garantía más baja G'. Los nuevos déficits ocasionados en esta disminución de garantía, pueden ser restituidos en la cuantía precisa mediante los oportunos bombeos en el acuífero.

Resulta preciso en este punto indicar que el concepto usual de garantía, o su manera de usarlo, no es demasiado válido para el planteamiento de la utilización conjunta.

Se considera garantía la relación de meses con suministro suficiente a meses totales.

Es evidente que ahora interesa no sólo saber si un mes es suficiente o no para cubrir una demanda, sino que se necesita conocer su déficit al objeto de paliarlo.

Se hace preciso no sólo el estudio de las garantías, sino también de los déficits y de la cuantía y características estadísticas de los mismos.

Cuando se utilizan procedimientos conjuntos

para mejora de la garantía en usos de fuerte variabilidad estacional, como los agrícolas, frecuentemente los resultados calculados son inferiores a los reales, debido a que se considera para el cálculo de la garantía los meses totales y no únicamente los meses en que exista necesidad de suministro.

El porcentaje de meses deficitarios paliados por la operación de uso conjunto, debe calcularse sobre el conjunto de meses que se quieren suministrar y no sobre los meses totales.

c) Figura 3c.

En los casos anteriores no se ha planteado específicamente la posibilidad de que al bombear el acuífero se invierta el sentido del flujo, creando una recarga inducida del río al acuífero.

Teniendo en cuenta esta circunstancia, pueden obtenerse regulaciones aún mayores y con garantías aún más favorables para los usos del agua.

Estos problemas pueden tratarse mediante mo-

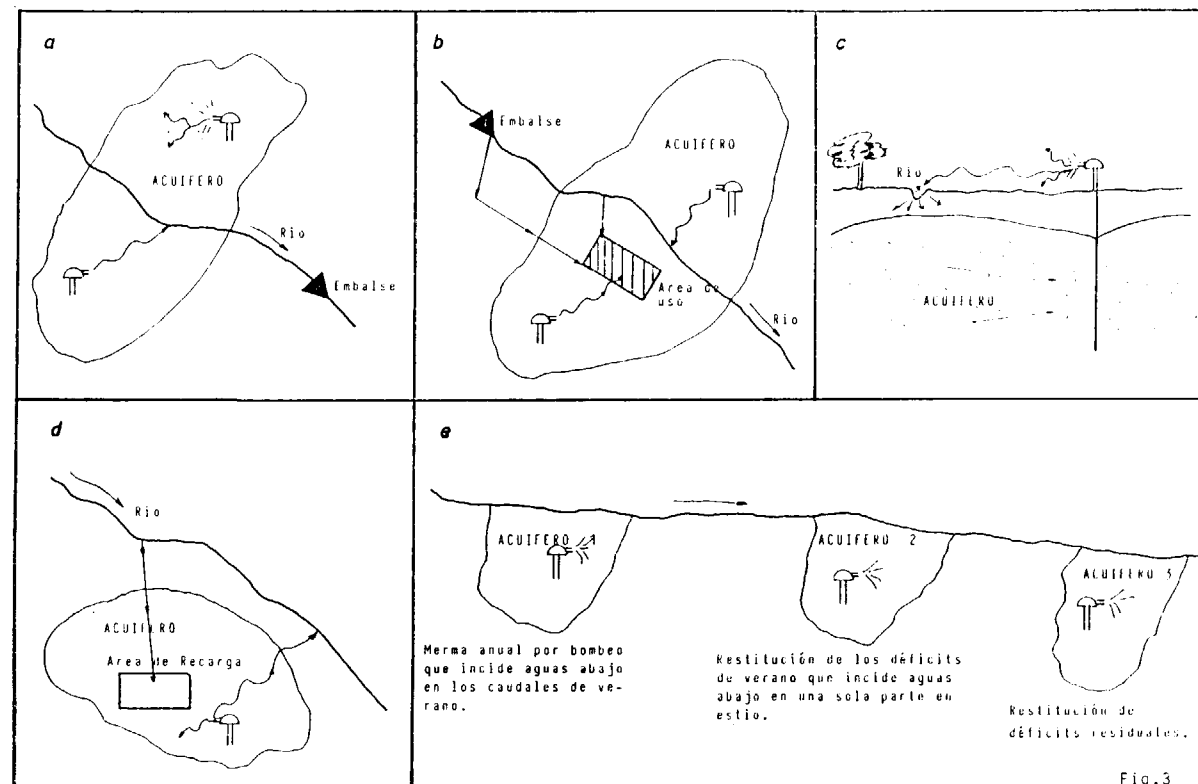


Figura 3

delos del tipo PRC (programa de regulación conjunta) del Instituto Geológico y Minero de España.

d) Figura 3d.

La recarga artificial de acuíferos puede ser incluida entre las operaciones de uso conjunto que reportan una mayor regulación de las aportaciones. Países como Israel y California, basan la gestión de sus aguas en mecanismos generalizados de recarga artificial.

De igual modo a como se almacena agua en los embalses de superficie, pueden recargarse los embalses subterráneos cuando el agua no se necesita, para ser extraída cuando las necesidades la reclamen.

e) Figura 3e.

El último esquema de utilización conjunta es, en cierto modo, una continuación de la filosofía de los anteriores.

El esquema múltiple, puede definirse como un río hidráulicamente conectado a una serie de acuíferos.

Si se bombea el primer acuífero en estío, se merma a nivel anual la aportación del río en el mismo volumen bombeado. Los déficits producidos en el caudal del río y que afectan al uso del segundo acuífero sólo tendrán significado en el siguiente estío, para lo cual se bombeará de nuevo en las cantidades acordes al déficit estacional producido.

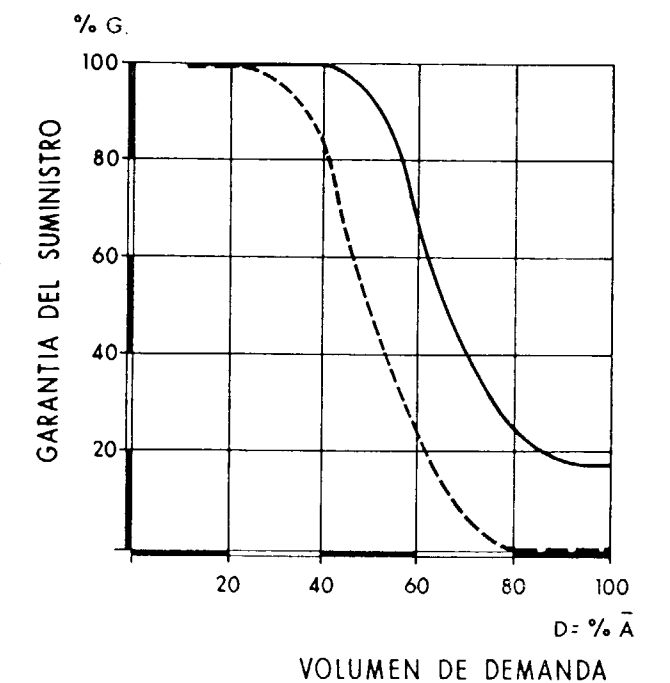
Estos bombeos afectarán al río a lo largo de todo el año, siendo preciso restituir solamente los déficit de estío que se produjeran en el tercer acuífero.

Así sucesivamente, podrían utilizarse los acuíferos relacionados con el río sin afectar a la regulación general.

Con todo lo visto, la filosofía de los modelos REGA (regulación-garantía) queda totalmente perfilada. Cada cédula engloba un tramo de río-embalse a través de su módulo de regulación explotación y en éstas se integran los acuíferos, a través de sus modelos de flujo, de tal suerte que es posible plantearse y obtener respuesta a los siguientes cuatro grupos principales de simulaciones.

Si se escoge una zona de un acuífero con una situación determinada respecto a un río y se plantea una explotación con unas características dadas a lo largo del tiempo:

— ¿Cuál será el estado de niveles futuro del acuífero, en definitiva, el estado general de afecciones entre unas y otras captaciones?



Hipótesis : Demanda uniforme
Año de aportaciones mínimas

Ref. Modelo de Gestión de la Cuenca del Ebro.

GESTO 1. Nudo 10

LEYENDA

- G Garantía
- D Demanda anual
- \bar{A} Aportación media anual
- Con utilización de aguas subterráneas
- - - Sin utilización de aguas subterráneas

Figura 4

— ¿Y el río? ¿Cuál será cara al futuro la disminución del estado de regulación o la pérdida de garantía de la misma?

Si se fijan unas condiciones restrictivas de niveles en un acuífero en base a las afecciones entre sondeos:

— ¿Cuáles son los máximos caudales que podrán obtenerse, distribuidos en el tiempo y en el espacio para que en el futuro no se sobrepasen las limitaciones de nivel impuestas?

Por último, si se requiere en un río un nivel de regulación y de garantía, para uso determinado aguas abajo:

— ¿Cuáles son los máximos bombeos que deben efectuarse distribuidos en el tiempo y en el espacio en el acuífero que está conectado con él y aguas arriba de donde se imponen los valores de regulación-garantía, para que cara al futuro queden totalmente respetados?

En la figura 4 se muestra una aplicación muy típica de estos modelos. Consiste sencillamente en bombear agua de los acuíferos y verterla al río en los períodos de aportaciones insuficientes en el río.

El ejemplo que se muestra es una salida real del nudo 10 del modelo de gestión de la Cuenca

del Ebro del Instituto Geológico y Minero de España.

En abscisas se representa el volumen de demanda en tanto por ciento de la aportación media, y en ordenadas la garantía que puede dejarse satisfecha.

Puede verse cómo la utilización de las aguas subterráneas aumenta la garantía del uso del agua, o bien permite aumentar este uso manteniendo la misma garantía.

Las posibilidades más importantes de estos modelos de gestión de regulación-garantía (REGA) estarán, sin duda, cara a la nueva ley de aguas, en su utilización como herramientas de ayuda en las decisiones para el otorgamiento de concesiones de explotación de aguas subterráneas.

Podrán simularse zonas de bombeo en los acuíferos y conocerse su repercusión en acuíferos y ríos. Los resultados pueden dirigirse a una normativa de utilización del acuífero, que ha de ser la base directora, a la hora de dar concesiones de explotación.

Se han realizado por parte del Instituto Geológico y Minero varias versiones de modelos REGA, como son: REGAIGME, REGA de prioridades, GESTO 1, 2 y 3, COMBI y PRC, disponiéndose de estas herramientas en la totalidad de las cuencas de los grandes ríos españoles, en versiones simplificadas y versiones de mayor detalle.

Recibido: Diciembre de 1984.

Interpolación en tres dimensiones mediante generación de funciones BICUBIC SPLINES y obtención de isolíneas por ordenador

Por ANA SANCHEZ QUINTANILLA (*)

RESUMEN

En el tratamiento de datos en tres dimensiones es imprescindible poder contar con un método de interpolación que sea fácilmente adaptable a la computación numérica práctica y de máxima exactitud y fiabilidad.

Una de las herramientas de interpolación más interesante es la de generar funciones BICUBIC SPLINES. En este trabajo, se presenta un método de generación de las mismas, cuyo interés reside en el mantenimiento de la continuidad de la variable, su pendiente y su curvatura a lo largo de toda el área.

Consiste en generar polinomios cúbicos «a trozos», que representan la función de campo en cada celda —limitada por cuatro puntos de observación— de una malla regular. En esta generación, se aplica la continuidad de la función y de sus dos primeras derivadas sucesivas en todos los puntos-dato.

Esta técnica de interpolación, aplicada a datos de campo, muestra una gran resolución, reproduciendo con exactitud formas, picos, etc.

También se expone, en este trabajo, un método de trazado de isolíneas que representan anomalías geofísicas o cualquier otra característica representable por isolíneas; consiste en el tratamiento puntual de curvas proyectadas sobre el plano, resultantes de la intersección de la superficie tridimensional —obtenida mediante dicha interpolación— con planos paralelos al plano base.

Se adjunta el listado del programa en lenguaje BASIC, así como algunos resultados de su procesado en un ordenador HP-9845-B.

El presente trabajo forma parte del desarrollo de una beca de formación de postgraduados en el Instituto Geológico y Minero de España.

ABSTRACT

In the field of three dimensional data processing, there is a need for a method of interpolation easily adaptable to practical numerical computation with the maximum of accuracy and reliability.

One of the most promising tools of interpolation is that of BICUBIC SPLINE functions. The method of generation of these functions presented in this paper leads to the conclusion that the potential strength in accuracy and reliable representation of data is due to the maintenance of the continuity of the variable and its slope and curvature throughout the area of observation.

The scheme of this interpolation essentially consists of generating piecewise bicubic polynomials, representing the field function in every cell of a regular grid, each one limited by four points of observation. For this generation, the scheme utilizes the continuity of the function and of its two first successive derivatives at all data points.

This interpolation technique applied to field data shows high resolution; the shapes, peaks... being faithfully reproduced.

A method of drawing the isolines representing the geophysical anomalies is also presented in this paper; it consists of a puntual processing of the projected curves, resulting from the intersection of the three dimensional surface —built by the afore-mentioned interpolation— with plans parallel to the basis one.

The listing of the programme in BASIC language and some of the results of its processing are also enclosed. The computer used is a HP-9845-B.

This work is part of the research of a postgraduate fellowship in the «Instituto Geológico y Minero de España».

(*) Sección de Geofísica. IGME.

1. INTRODUCCION

El progreso y sofisticación habidos en los últimos años en los instrumentos de campo utilizados en la investigación geofísica permite disponer de datos digitales de gran exactitud y resolución. En el proceso de compilación y tratamiento de este nuevo tipo de datos han ido quedándose anticuados los métodos manuales, siendo paulatinamente sustituidos por otros semiautomáticos; estos últimos, para ser veraces, han de contar con un procedimiento de interpolación de gran calidad y fácilmente adaptable a la computación numérica práctica.

Como es sabido, existen varios métodos de interpolación; esto es, métodos de generación de expresiones matemáticas que representan curvas —caso de dos dimensiones— o superficies —caso de tres dimensiones— que se ajustan a los datos, en número finito, de los que partimos.

En este trabajo deduciremos la configuración del método interpolante conocido como funciones SPLINES, BICUBIC SPLINES para tres dimensiones, partiendo del caso bidimensional: CUBIC SPLINES.

El esquema consiste en generar polinomios cúbicos «a trozos» que representan la función de campo entre cada dos puntos de observación. En la generación de dichos polinomios, nos apoyamos en que éstos cumplen lo siguiente:

- a) Continuidad en todos los puntos-dato de partida.
- b) Continuidad de la primera derivada en dichos puntos.
- c) Continuidad de la segunda derivada en los mismos.

Estas tres condiciones son las que proporcionan el mayor interés a este método de interpolación, ya que obtendremos una función cuya pendiente y curvatura son continuas a lo largo de toda el área de observación.

2. CUBIC SPLINES

Supongamos que tenemos una función de una variable, de la que sólo conocemos su valor en un número finito de puntos a lo largo de un perfil.

Sean $\{x_i\}$, $i = 0, 1, \dots, N$ los puntos donde se conoce el valor de una función f , tales que $x_0 < x_1 < x_2 < \dots < x_N$. A este conjunto de puntos le llamaremos *conjunto de puntos-nodo* o *conjunto de nodos*.

En 1962, DE BOOR demostró que, dado un conjunto de datos $\{f_0, f_1, \dots, f_N, f'_0, f'_N\}$, donde $f_i = f(x_i)$ y $f'_i = f'(x) |_{x_i}$ para $i = 0, 1, \dots, N$, existe una única función f que satisface estos valores y pendientes, y que en cada intervalo viene definida del siguiente modo:

$$f(x) = c_0 + c_1(x - x_{i-1}) + c_2(x - x_{i-1})^2 + c_3(x - x_{i-1})^3, \quad x \in [x_{i-1}, x_i] \quad [1]$$

$i = 1, 2, \dots, N$

Para conocer el valor de esta función en cada punto, precisamos conocer los coeficientes c_0, c_1, c_2 y c_3 en cada intervalo; para ello, aplicamos las condiciones a), b) y c) anteriores, es decir:

- a) $f(x_i -) = f(x_i +) \quad i = 0, 1, \dots, N$
- b) $f'(x_i -) = f'(x_i +) \quad i = 0, 1, \dots, N$
- c) $f''(x_i -) = f''(x_i +) \quad i = 0, 1, \dots, N$

En el intervalo $[x_{i-1}, x_i]$, sea $h_i = x_i - x_{i-1}$; los coeficientes $\{c_i\}_{i=0,1,2,3}$ del polinomio [1], en los puntos extremos del intervalo, satisfacen las ecuaciones:

$$f_i = f(x_i) = c_0 + c_1 h_i + c_2 h_i^2 + c_3 h_i^3$$

$$f_{i-1} = f(x_{i-1}) = c_0$$

$$f'_i = f'(x) |_{x_i} = c_1 + 2c_2 h_i + 3c_3 h_i^2$$

$$f'_{i-1} = f'(x) |_{x_{i-1}} = c_1$$

Estudiando este sistema deducimos que tiene solución única en los $\{c_i\}_{i=0,1,2,3}$, cuyo valor sería:

$$c_0 = f_{i-1}$$

$$c_1 = f'_{i-1}$$

$$c_2 = (3f_i - 3f_{i-1} - f'_i h_i - 2f'_{i-1} h_i) / h_i^2 \quad [2]$$

$$c_3 = (2f_{i-1} - 2f_i + f'_{i-1} h_i + f'_i h_i) / h_i^3$$

donde los datos f_i, f_{i-1} son conocidos; si encontramos los valores de las derivadas en los puntos-nodo, podemos deducir los cuatro valores $\{c_i\}_{i=0,1,2,3}$ correspondientes a cada intervalo y por tanto el valor de la función en un punto interior al mismo.

Obtenemos los valores de las derivadas en esos puntos aplicando la condición c), es decir, que $f''(x_i -) = f''(x_i +)$, para $i = 0, 1, \dots, N$:

$$\forall x < x_i, f''(x) = 2c_2 + 6c_3(x - x_{i-1})$$

$$\forall x > x_i, f''(x) = 2b_2 + 6b_3(x - x_i) \quad (*)$$

y, dado que en el punto x_i han de coincidir, tenemos que:

$$2(3f_i - 3f_{i-1} - f'_i h_i - 2f'_{i-1} h_i) / h_i^2 + 6(2f_{i-1} - 2f_i + f'_{i-1} h_i + f'_i h_i) / h_i^3 =$$

$$= 2(3f_{i+1} + 3f_i - 3f'_{i+1} h_i - 2f'_i h_{i+1}) / h_{i+1}^2$$

de donde:

$$h_i f'_{i+1} + 2(h_i + h_{i+1}) f'_i + f'_{i-1} h_{i+1} = 3[h_i^2(f_{i+1} - f_i) + h_{i+1}^2(f_i - f_{i-1})] / h_i h_{i+1} \quad [3]$$

$i = 1, 2, \dots, (N - 1)$

que nos da $(N - 1)$ ecuaciones relacionando el valor de las derivadas y el de la función en los puntos-nodo.

Si estamos en el caso simplificado en que los puntos son equiespaciados, esto es: $h_i = h_{i+1} = h \quad \forall i = 0, 1, \dots, (N - 1)$, las correspondientes ecuaciones serían:

$$f'_{i+1} + 4f'_{i+1} + f'_{i-1} = 3(f_{i+1} - f_{i-1}) / h$$

$i = 1, 2, \dots, (N - 1)$

Las dos ecuaciones restantes se deducen de imponer que $f''(x_0) = 0$ y $f''(x_N) = 0$.

a) $f''(x_0) = 0$.

Si $\forall x \in [x_0, x_1], f(x) = c_0 + c_1(x - x_0) + c_2(x - x_0)^2 + c_3(x - x_0)^3$, entonces $f''(x) = 2c_2 + 6c_3(x - x_0) \quad \forall x \in [x_0, x_1]$, luego si $f''(x_0) = 0, c_2 = 0$

o lo que es lo mismo: $(3f_1 - 3f_0 - f'_1 h_1 - 2f'_0 h_1) / h_1 = 0$

lo que equivale, ya que $h_1 \neq 0$, a la ecuación

$$f'_1 + 2f'_0 = 3(f_1 - f_0) / h_1 \quad [4]$$

(*) Los coeficientes varían porque se trata de intervalos distintos.

que, en el caso equiespaciado, sería:

$$f'_1 + 2f'_0 = 3 (f_1 - f_0) / h \quad [4]$$

b) $f''(x_N) = 0$

Suponemos que el polinomio correspondiente al intervalo $[x_{N-1}, x_N]$ es $f(x) = a_0 + a_1(x - x_{N-1}) + a_2(x - x_{N-1})^2 + a_3(x - x_{N-1})^3 \quad \forall x \in [x_{N-1}, x_N]$; procediendo de modo análogo al apartado a), deducimos:

$$f'_{N-1} + 2f'_N = 3 (f_N - f_{N-1}) / h_N \quad [4]$$

que, en el caso equiespaciado, se convierte en:

$$f'_{N-1} + 2f'_N = 3 (f_N - f_{N-1}) / h \quad [4]$$

Con las ecuaciones [3] y [4] formamos el sistema de $(N + 1)$ -ecuaciones cuyas incógnitas son los valores de las pendientes de la función en cada uno de los $(N + 1)$ puntos-nodo; sería el siguiente:

$$2f'_0 + f'_1 = 3 (f_1 - f_0) / h_1$$

$$h_2 f'_0 + 2 (h_1 + h_2) f'_1 + h_1 f'_2 = 3 [h_1^2 (f_2 - f_1) + h_2^2 (f_1 - f_0)] / h_1 h_2$$

$$h_2 f'_1 + 2 (h_2 + h_3) f'_2 + h_2 f'_3 = 3 [h_2^2 (f_3 - f_2) + h_3^2 (f_2 - f_1)] / h_2 h_3$$

$$h_N f'_{N-1} + 2 (h_{N-1} + h_N) f'_{N-1} + h_{N-1} f'_N = 3 [h_{N-1}^2 (f_N - f_{N-1}) + h_N^2 (f_{N-1} - f_{N-2})] / h_{N-1} h_N$$

$$f'_{N-1} + 2f'_N = 3 (f_N - f_{N-1}) / h_N$$

Simplificando al caso de puntos equiespaciados, tenemos:

$$2f'_0 + f'_1 = 3 (f_1 - f_0) / h$$

$$f'_0 + 4f'_1 + f'_2 = 3 (f_2 - f_0) / h$$

$$f'_1 + 4f'_2 + f'_3 = 3 (f_3 - f_1) / h$$

$$f'_{N-2} + 4f'_{N-1} + f'_N = 3 (f_N - f_{N-2}) / h$$

$$f'_{N-1} + 2f'_N = 3 (f_N - f_{N-1}) / h$$

Resolviendo este sistema, encontramos los valores de las derivadas de la función en todos los puntos-nodo. Con estos datos y los valores puntuales de que partimos, podemos plantear —para cada intervalo— el sistema [2] inicial que nos permitirá conocer los coeficientes del polinomio cúbico correspondiente a ese intervalo y, por tanto, el valor de dicho polinomio en cualquier punto interior al mismo.

Si realizamos este proceso, intervalo tras intervalo, obtenemos un polinomio «a trozos» que ajusta los valores puntuales de partida.

Generalizamos el procedimiento a tres dimensiones:

3. BICUBIC SPLINES

En este caso, supongamos que tenemos una serie de puntos en el plano, en los que conocemos su valor en una tercera dimensión. Sean $\{(x_i, y_j)\}$, $i = 0, 1, \dots, M$ esos puntos, que supone $j = 0, 1, \dots, N$

mos alineados paralelamente a los ejes coordenados del plano, y separados entre sí a intervalos que pueden ser o no iguales, y sea $\{g_{ij}\}$ $i = 0, 1, \dots, M$ el conjunto de sus valores en el espacio.
 $j = 0, 1, \dots, N$

Consideramos en el plano la red formada por estos puntos. En cada celda rectangular de la red, la correspondiente función polinómica «a trozos» tendrá la configuración siguiente:

$$g^{ij} = \sum_{m=0}^3 \sum_{n=0}^3 a_{nm}^{ij} (x - x_i)^m (y - y_j)^n \quad (x, y) \in [x_i, x_{i+1}] \times [y_j, y_{j+1}]$$

Para obtener la superficie «a trozos» en el espacio, precisamos conocer los dieciséis coeficientes $\{a_{mn}^{ij}\}_{n=0,1,2,3}^{m=0,1,2,3}$ correspondientes a cada celda rectangular de la red (en este caso la correspondiente a $[x_i, x_{i+1}] \times [y_j, y_{j+1}]$).

Vamos a considerar dos casos:

a) Caso en que las coordenadas $\{x_i\}_{i=0,1,\dots,M}$ e $\{y_j\}_{j=0,1,\dots,N}$ no están equiespaciadas; esto es, si llamamos $\{h_i\}_{i=1,2,\dots,M}$ a las longitudes de los intervalos en el eje X y $\{k_j\}_{j=1,2,\dots,N}$ a las correspondientes en el eje Y, entonces $h_i \neq h_{i+1}$ para $i \in \{1, 2, \dots, M\}$ y $k_j \neq k_{j+1}$ para $j \in \{1, 2, \dots, N\}$.

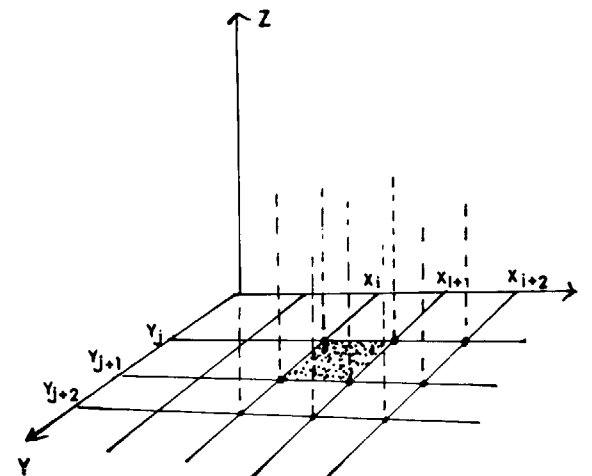


Figura 1.—Distribución regular en el plano de los puntos sobre cuyos valores de coordenada Z se interpola una superficie.

b) Caso en que las coordenadas de los puntos están equiespaciadas; es decir, que $h_i = h_{i+1} = h \quad \forall i = 1, 2, \dots, M$ y $k_j = k_{j+1} = k \quad \forall j = 1, 2, \dots, N$. Consideraremos el caso en que $h = k = 1$.

El razonamiento general es el siguiente: Procediendo de un modo análogo al caso de dos dimensiones, imponemos que la función interpolante, su pendiente y su curvatura sean continuas en los puntos-malla de la red; ello nos va a permitir establecer unos sistemas de ecuaciones para calcular el valor de las derivadas parciales en todos los puntos-malla. Una vez obtenidos estos valores, tomamos una celda de la red y planteamos el sistema de dieciséis ecuaciones correspondiente a los dieciséis coeficientes de dicha celda; los términos independientes de este sistema son los valores funcionales y los de las derivadas parciales en los cuatro puntos que la delimitan. Conocidos los coeficientes correspondientes a esta celda, ya podemos calcular el valor de la superficie en cualquier punto interior de la misma.

Iterando sucesivamente este proceso a todas las celdas de la red, obtenemos la superficie «a trozos» buscada.

A continuación, explicitamos este proceso:

Si llamamos $g_x = \frac{\partial}{\partial x} g(x, y)$ y $g_y = \frac{\partial}{\partial y} g(x, y)$, aplicaremos —para el cálculo de las derivadas parciales primeras— que g_{xx} y g_{yy} son continuas en todo punto interior a los puntos malla y , para el cálculo de las derivadas parciales cruzadas, que lo son g_{xy} o bien g_{yx} (nosotros aplicaremos que lo es g_{xy}).

Análogamente al caso de dos dimensiones, en los puntos frontera de las celdas aplicaremos las siguientes condiciones:

- A) $g_{xx}(x_i, y_j) = 0$ $i = 0, M$
 $j = 0, 1, \dots, N$
- B) $g_{yy}(x_i, y_j) = 0$ $i = 0, 1, \dots, M$
 $j = 0, N$
- C) $g_{xy}(x_i, y_j) = 0$ $i = 0, M$
 $j = 0, N$

Notación.—Llamamos $g_{ij} = g(x_i, y_j)$ $i = 0, 1, \dots, M$
 $j = 0, 1, \dots, N$

$$p(x, y) = \frac{\partial}{\partial x} g(x, y); p_{ij} = \frac{\partial}{\partial x} g(x, y) \quad \left| \quad (x_i, y_j) = g_x(x_i, y_j) \right.$$

$$q(x, y) = \frac{\partial}{\partial y} g(x, y); q_{ij} = \frac{\partial}{\partial y} g(x, y) \quad \left| \quad (x_i, y_j) = g_y(x_i, y_j) \right.$$

$$s(x, y) = \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial}{\partial y} g(x, y) \right]; s_{ij} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial}{\partial y} g(x, y) \right] \quad \left| \quad (x_i, y_j) = g_{xy}(x_i, y_j) \right.$$

$$i = 0, 1, \dots, M$$

$$j = 0, 1, \dots, N$$

Vamos a considerar la celda formada por $[x_i, x_{i+1}] \times [y_j, y_{j+1}]$. En este intervalo, el polinomio cúbico tendría la configuración siguiente:

$$g^{ij}(x, y) = \sum_{m=0}^3 \sum_{n=0}^3 a_{mn} (x - x_i)^m (y - y_j)^n$$

El sistema de dieciséis ecuaciones correspondiente a esta celda sería el formado por aquellas que cumplen la función y sus derivadas en los puntos frontera de la misma; es decir, sería el siguiente:

$$a_{00}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^0 (y_{j+1} - y_j)^0 + \dots + a_{03}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^0 (y_{j+1} - y_j)^3 +$$

$$+ a_{10}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^1 (y_{j+1} - y_j)^0 + \dots + a_{13}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^1 (y_{j+1} - y_j)^3 +$$

$$+ a_{20}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^2 (y_{j+1} - y_j)^0 + \dots + a_{23}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^2 (y_{j+1} - y_j)^3 +$$

$$+ a_{30}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^3 (y_{j+1} - y_j)^0 + \dots + a_{33}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^3 (y_{j+1} - y_j)^3 = g_{i+1, j+1}$$

$$a_{00}^{ij} (y_{j+1} - y_j)^0 + a_{01}^{ij} (y_{j+1} - y_j)^1 + a_{02}^{ij} (y_{j+1} - y_j)^2 + a_{03}^{ij} (y_{j+1} - y_j)^3 = g_{i, j+1}$$

$$a_{00}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^0 + a_{10}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^1 + a_{20}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^2 + a_{30}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^3 = g_{i+1, j}$$

$$a_{00}^{ij} = g_{i, j}$$

$$a_{10}^{ij} + a_{11}^{ij} (y_{j+1} - y_j)^1 + a_{12}^{ij} (y_{j+1} - y_j)^2 + a_{13}^{ij} (y_{j+1} - y_j)^3 + 2 a_{20}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^1 +$$

$$+ 2 a_{21}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^1 (y_{j+1} - y_j)^1 + 2 a_{22}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^1 (y_{j+1} - y_j)^2 + 2 a_{23}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^1$$

$$(y_{j+1} - y_j)^3 + 3 a_{30}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^2 + 3 a_{31}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^2 (y_{j+1} - y_j)^1 + 3 a_{32}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^2$$

$$(y_{j+1} - y_j)^2 + 3 a_{33}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^2 (y_{j+1} - y_j)^3 = p_{i+1, j+1}$$

$$a_{10}^{ij} + a_{11}^{ij} (y_{j+1} - y_j)^1 + a_{12}^{ij} (y_{j+1} - y_j)^2 + a_{13}^{ij} (y_{j+1} - y_j)^3 = p_{i, j+1}$$

$$a_{10}^{ij} + 2 a_{20}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^1 + 3 a_{31}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^2 = p_{i+1, j}$$

$$a_{10}^{ij} = p_{i, j}$$

$$a_{01}^{ij} + 2 a_{02}^{ij} (y_{j+1} - y_j)^1 + 3 a_{03}^{ij} (y_{j+1} - y_j)^2 + a_{11}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^1 + 2 a_{12}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^1$$

$$(y_{j+1} - y_j)^1 + 3 a_{13}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^1 (y_{j+1} - y_j)^2 + a_{21}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^2 +$$

$$+ 2 a_{22}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^2 (y_{j+1} - y_j)^1 + 3 a_{23}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^2 (y_{j+1} - y_j)^2 + a_{31}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^3 +$$

$$+ 2 a_{32}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^3 (y_{j+1} - y_j)^1 + 3 a_{33}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^3 (y_{j+1} - y_j)^2 = q_{i+1, j+1}$$

$$a_{01}^{ij} + 2 a_{02}^{ij} (y_{j+1} - y_j)^1 + 3 a_{03}^{ij} (y_{j+1} - y_j)^2 = q_{i, j+1}$$

$$a_{01}^{ij} + a_{11}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^1 + a_{21}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^2 + a_{31}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^3 = q_{i+1, j}$$

$$a_{01}^{ij} = q_{i, j}$$

$$a_{11}^{ij} + 2 a_{12}^{ij} (y_{j+1} - y_j)^1 + 3 a_{13}^{ij} (y_{j+1} - y_j)^2 + 2 a_{21}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^1 +$$

$$+ 4 a_{22}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^1 (y_{j+1} - y_j)^1 + 6 a_{23}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^1 (y_{j+1} - y_j)^2 +$$

$$+ 3 a_{31}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^2 + 6 a_{32}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^2 (y_{j+1} - y_j)^1 +$$

$$+ 9 a_{33}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^2 (y_{j+1} - y_j)^2 = s_{i+1, j+1}$$

$$a_{11}^{ij} + 2 a_{21}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^1 + 3 a_{31}^{ij} (x_{i+1} - x_i)^2 = s_{i+1, j}$$

$$a_{11}^{ij} + 2 a_{12}^{ij} (y_{j+1} - y_j)^1 + 3 a_{13}^{ij} (y_{j+1} - y_j)^2 = s_{i, j+1}$$

$$a_{11}^{ij} = s_{i, j}$$

Para resolver este sistema, detallamos seguidamente los procesos de cálculo de las derivadas «p», «q» y «s».

3.1. Cálculo de las «p»

Supongamos que estamos en el caso a), es decir, que los puntos no están equiespaciados.

Para cada $j = 0, 1, \dots, M$ fija, tomamos la derivada parcial de $g(x, y)$ respecto de la primera variable, g_x . En una función de dos variables, fijado el valor de una de ellas, podemos razonar con la derivada parcial de primer orden respecto de la otra variable como si estuviésemos en el caso de la derivada primera de una función cuando ésta es de una sola variable (fig. 2). Por tanto, apoyándonos en lo visto en el apartado 2 y aplicando la continuidad de g_{xx} en todo punto interior a cada dos valores $\{x_i\}$ $i = 0, 1, \dots, M$, se puede afirmar que se cumple la siguiente relación:

$$h_i p_{i+1, j} + 2(h_i + h_{i+1}) p_{i, j} + h_{i+1} p_{i-1, j} = 3 [h_i^2 (g_{i+1, j} - g_{i, j}) + h_{i+1}^2 (g_{i, j} - g_{i-1, j})] / h_i h_{i+1}$$

$$i = 1, 2, \dots, M-1$$

$$j = 0, 1, \dots, N$$

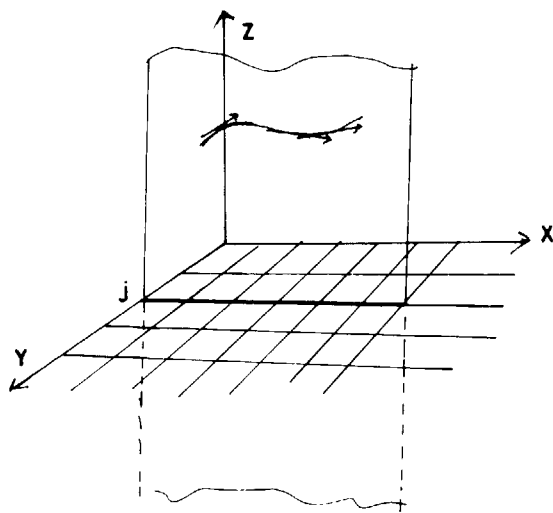


Figura 2.—El corte de una superficie en el plano tridimensional por un plano paralelo al plano XZ permite considerar la derivada parcial respecto de X como la derivada primera de una función de una variable.

De aplicar la condición A), pág. 56, obtenemos:

$$2p_{0, j} + p_{1, j} = 3 (g_{1, j} - g_{0, j}) / h_1$$

$$p_{M-1, j} + 2p_{M, j} = 3 (g_{M, j} - g_{M-1, j}) / h_M$$

$$j = 0, 1, \dots, N$$

Luego, si llamamos $h_i = x_i - x_{i-1}$ y $k_j = y_j - y_{j-1}$, para cada j fija, el sistema completo para calcular los valores de las derivadas parciales respecto de la primera variable, en los puntos malla, será:

$$2p_{0, j} + p_{1, j} = 3 (g_{1, j} - g_{0, j}) / h_1$$

$$h_2 p_{0, j} + 2(h_1 + h_2) p_{1, j} + h_1 p_{2, j} = 3 [(h_1^2 (g_{2, j} - g_{1, j}) + h_2^2 (g_{1, j} - g_{0, j}))] / h_1 h_2$$

.....

$$h_M p_{M-2, j} + 2(h_{M-1} + h_M) p_{M-1, j} + h_{M-1} p_{M, j} = 3 (h_{M-1}^2 (g_{M, j} - g_{M-1, j}) + h_M^2 (g_{M-1, j} - g_{M-2, j})) / h_{M-1} h_M$$

$$p_{M-1, j} + 2p_{M, j} = 3 (g_{M, j} - g_{M-1, j}) / h_M$$

$$j = 0, 1, \dots, N$$

Si consideramos el caso en que los puntos están equiespaciados y que $k = h = 1$, este sistema quedaría:

$$2p_{0, j} + p_{1, j} = 3 (g_{1, j} - g_{0, j})$$

$$p_{0, j} + 4p_{1, j} + p_{2, j} = 3 (g_{2, j} - g_{0, j})$$

.....

$$p_{M-2, j} + 4p_{M-1, j} + p_{M, j} = 3 (g_{M, j} - g_{M-2, j})$$

$$p_{M-1, j} + 2p_{M, j} = 3 (g_{M, j} - g_{M-1, j})$$

$$j = 0, 1, \dots, N$$

3.2. Cálculo de las «q»

Análogamente al apartado 3.1, para cada $i = 0, 1, \dots, M$ determinada, consideraremos la derivada parcial g_y y razonamos como si estuviésemos en el caso bidimensional. Luego, aplicando que g_{yy} es continua en todo punto interior a cada dos puntos $\{y_j\}$ $j = 0, 1, \dots, N$, se verifican las ecuaciones demostradas para el caso de una función de una variable.

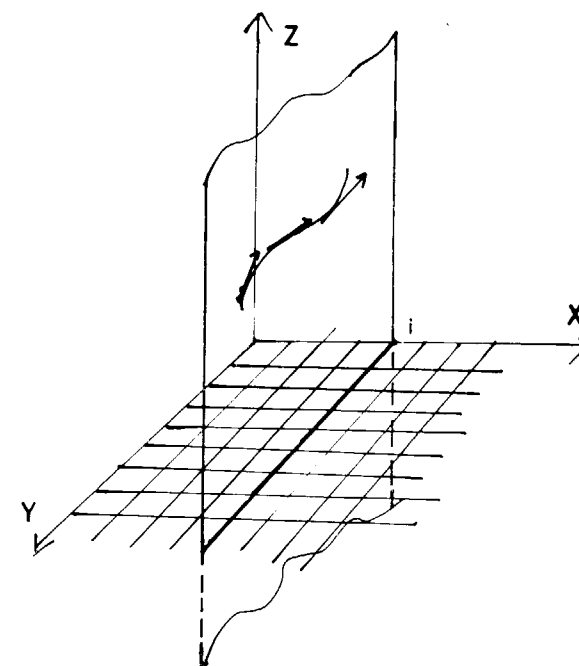


Figura 3.—Cortando la superficie por un plano paralelo al plano YX, se considera la derivada parcial respecto de la segunda variable como derivada primera de una función definida en el plano YZ.

Si tomamos, en primer lugar, el caso en que los puntos no están equiespaciados a lo largo del eje Y y aplicamos la condición B), pág. 56, deducimos que el sistema para calcular los valores de las derivadas parciales respecto de la segunda variable, en los puntos-malla, sería:

$$2q_{i, 0} + q_{i, 1} = 3 (g_{i, 1} - g_{i, 0}) / k_1$$

$$k_2 q_{i, 0} + 2(k_1 + k_2) q_{i, 1} + k_1 q_{i, 2} = 3 [k_1^2 (g_{i, 2} - g_{i, 1}) + k_2^2 (g_{i, 1} - g_{i, 0})] / k_1 k_2$$

$$k_N q_{i, N-1} + 2(k_{N-1} + k_N) q_{i, N-1} + k_{N-1} q_{i, N} = 3 [k_{N-1}^2 (g_{i, N} - g_{i, N-1}) + k_N^2 (g_{i, N-1} - g_{i, N-2})] / k_{N-1} k_N$$

$$q_{i, N-1} + 2q_{i, N} = 3 (g_{i, N} - g_{i, N-1}) / k_N$$

$$i = 0, 1, \dots, M$$

Si estamos en el caso equiespaciado, donde $k_j = k_{j+1} = 1$ para $j = 1, 2, \dots, N-1$, el sistema quedaría:

$$2q_{i, 0} - q_{i, 1} = 3 (g_{i, 1} - g_{i, 0})$$

$$q_{i, 0} + 4q_{i, 1} + q_{i, 2} = 3 (g_{i, 2} - g_{i, 0})$$

$$q_{i, N-2} + 4q_{i, N-1} + q_{i, N} = 3 (g_{i, N} - g_{i, N-2})$$

$$q_{i, N-1} + 2q_{i, N} = 3 (g_{i, N} - g_{i, N-1})$$

$$i = 0, 1, \dots, M$$

3.3. Cálculo de las «s»

Ya que la «s» son derivadas de segundo orden, están relacionadas con respecto a las de primer orden de un modo semejante a como lo están las de primer orden respecto a la función. Aplicamos esto en los puntos concretos que llamamos puntos-malla, y, por tanto, de aplicar que g_{xxy} es continua en los puntos interiores de la red y que en los puntos frontera de la celda se cumple la condición C), pág. 56, esto es, que $g_{xxy}(x_i, y_j) = 0$, para $i = 0, M, j = 0, N$, deducimos lo siguiente:

1. Consideramos —en primer lugar— los casos en que $j = 0$ y $j = N$.

$j = 0$:

Como consecuencia de las condiciones anteriores, y para el caso de coordenadas no equiespaciadas, tenemos:

$$2s_{0, 0} + s_{1, 0} = 3 (q_{1, 0} - q_{0, 0}) / h_1$$

$$h_2 s_{0, 0} + 2(h_1 + h_2) s_{1, 0} + h_1 s_{2, 0} = 3 [h_1^2 (q_{2, 0} - q_{1, 0}) + h_2^2 (q_{1, 0} - q_{0, 0})] / h_1 h_2$$

$$h_M s_{M-2, 0} + (h_{M-1} + h_M) s_{M-1, 0} + h_{M-1} s_{M, 0} = 3 [h_{M-1}^2 (q_{M, 0} - q_{M-1, 0}) + h_M^2 (q_{M-1, 0} - q_{M-2, 0})] / h_{M-1} h_M$$

$$s_{M-1, 0} + 2s_{M, 0} = 3 (q_{M, 0} - q_{M-1, 0}) / h_M$$

$j = M$:

Análogamente al caso anterior:

$$2s_{0, N} + s_{1, N} = 3 (q_{1, N} - q_{0, N}) / h_1$$

$$h_2 s_{0, N} + 2(h_1 + h_2) s_{1, N} + h_1 s_{2, N} = 3 [h_1^2 (q_{2, N} - q_{1, N}) + h_2^2 (q_{1, N} - q_{0, N})] / h_1 h_2$$

$$h_M s_{M-2, N} + 2(h_{M-1} - h_M) s_{M-1, N} + h_{M-1} s_{M, N} = 3 [h_{M-1}^2 (q_{M, N} - q_{M-1, N}) + h_M^2 (q_{M-1, N} - q_{M-2, N})] / h_{M-1} h_M$$

$$s_{M-1, N} + 2s_{M, N} = 3 (q_{M, N} - q_{M-1, N}) / h_M$$

De este modo en la matriz:

$$\begin{bmatrix} \boxed{s_{0, 0}} & s_{0, 1} & s_{0, 2} & \dots & s_{0, N-1} & \boxed{s_{0, N}} \\ \boxed{s_{1, 0}} & \boxed{s_{1, 1}} & \boxed{s_{1, 2}} & \dots & \boxed{s_{1, N-1}} & \boxed{s_{1, N}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \boxed{s_{M-1, 0}} & s_{M-1, 1} & \dots & s_{M-1, N-1} & \boxed{s_{M-1, N}} \\ \boxed{s_{M, 0}} & s_{M, 1} & \dots & s_{M, N-1} & \boxed{s_{M, N}} \end{bmatrix}$$

conocemos los términos enmarcados.

2. Para deducir $\{s_{i, j}\}$ $i=0, 1, \dots, M, j = 1, 2, \dots, (N-1)$, aplicamos que para cada $i = 0, 1, \dots, M$ se verifica:

$$k_{j+1} s_{i, j-1} + 2(k_j + k_{j+1}) s_{i, j} + k_j s_{i, j+1} = 3 [k_j^2 (p_{i, j+1} - p_{i, j}) + k_{j+1}^2 (p_{i, j} - p_{i, j-1})] / k_j k_{j+1}$$

$$j = 1, 2, \dots, (N-1)$$

luego, el sistema de $(N-1)$ ecuaciones queda:

$$k_2 s_{i, 0} + 2(k_1 + k_2) s_{i, 1} + k_1 s_{i, 2} = 3 [k_1^2 (p_{i, 2} - p_{i, 1}) + k_2^2 (p_{i, 1} - p_{i, 0})] / k_1 k_2$$

$$k_3 s_{i, 1} + 2(k_2 + k_3) s_{i, 2} + k_2 s_{i, 3} = 3 [k_2^2 (p_{i, 3} - p_{i, 2}) + k_3^2 (p_{i, 2} - p_{i, 1})] / k_2 k_3$$

$$k_N s_{i, N-2} + 2(k_{N-1} + k_N) s_{i, N-1} + k_{N-1} s_{i, N} = 3 [k_{N-1}^2 (p_{i, N} - p_{i, N-1}) + k_N^2 (p_{i, N-1} - p_{i, N-2})] / k_{N-1} k_N$$

$$i = 0, 1, \dots, M$$

donde $s_{i, 0}$ y $s_{i, N}$, $i = 0, 1, \dots, M$ son datos calculados en el apartado 1 anterior.

Para el caso en que los datos están equiespacialmente distribuidos, tenemos:

Caso de $j = 0, N$:

$$2s_{0, 0} + s_{1, 0} = 3 (q_{1, 0} - q_{0, 0})$$

$$s_{0, 0} + 4s_{1, 0} + s_{2, 0} = 3 (q_{2, 0} - q_{0, 0})$$

$$s_{M-2, 0} + 4s_{M-1, 0} + s_{M, 0} = 3 (q_{M, 0} - q_{M-2, 0})$$

$$s_{M-1, 0} + 2s_{M, 0} = 3 (q_{M, 0} - q_{M-1, 0})$$

$$\begin{aligned}
 2 s_{0, N} + s_{1, N} &= 3 (q_{1, N} - q_{0, N}) \\
 s_{0, N} + 4 s_{1, N} + s_{2, N} &= 3 (q_{2, N} - q_{0, N}) \\
 &\dots \\
 &\dots \\
 s_{M-2, N} + 4 s_{M-1, N} + s_{M, N} &= 3 (q_{M, N} - q_{M-2, N}) \\
 s_{M-1, N} + 2 s_{M, N} &= 3 (q_{M, N} - q_{M-1, N})
 \end{aligned}$$

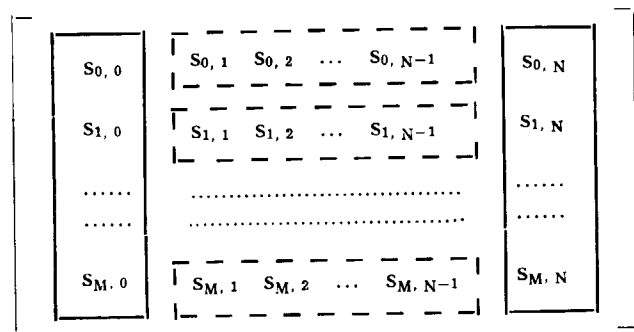
Para cada $i = 0, 1, \dots, M$, dentro del caso de puntos equiespaciados, tenemos $(N - 1)$ —ecuaciones siguientes:

$$\begin{aligned}
 s_{i, 0} + 4 s_{i, 1} + s_{i, 2} &= 3 (p_{i, 2} - p_{i, 0}) \\
 s_{i, 1} + 4 s_{i, 2} + s_{i, 3} &= 3 (p_{i, 3} - p_{i, 1}) \\
 &\dots \\
 &\dots
 \end{aligned}$$

$$s_{i, N-2} + 4 s_{i, N-1} + s_{i, N} = 3 (p_{i, N} - p_{i, N-2})$$

donde las incógnitas son $s_{i, 1}, \dots, s_{i, N-1}$, ya que para $i = 0, 1, \dots, M$ los datos $s_{i, 0}$ y $s_{i, N}$ están calculados.

En la matriz:



habríamos calculado en este último paso los datos enmarcados en línea discontinua.

Calculados, en todos los puntos-malla, los valores de las derivadas parciales de primer orden y de las derivadas parciales cruzadas —de segundo orden—, tenemos todos los términos independientes que nos permitirán plantear el sistema de 16 ecuaciones del que partíamos, donde las incógnitas son los 16 coeficientes que definen el polinomio bicúbico correspondiente a cada una de las celdas de la malla.

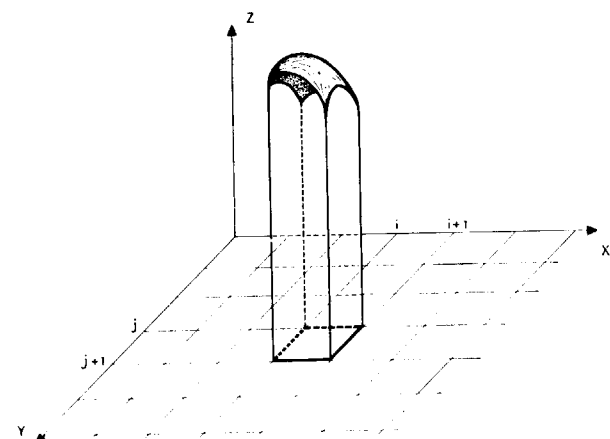


Figura 4.—La superficie queda definida, celda a celda, a lo largo de toda la malla delimitada en el plano XY.

Repitiendo este proceso para todas y cada una de las celdas, obtendremos tantos conjuntos de 16 coeficientes como número de celdas.

Luego dado un número finito de puntos, distribuidos según una malla regular sobre el plano, en los que conocemos su valor en el espacio, si queremos obtener el valor interpolado correspondiente a un punto cualquiera (x, y) , interior a la malla, localizamos, en primer lugar, la cuadrícula de la misma a la que pertenece: en esta cuadrícula tendremos calculados los dieciséis coeficientes que nos definen la expresión del polinomio bicúbico correspondiente; aplicamos la fórmula:

$$g(x, y) = \sum_{m=0}^3 \sum_{n=0}^3 a_{mn}^{ij} (x - x_i)^m (y - y_j)^n$$

(supuesto que $(x, y) \in [x_i, x_{i+1}] \times [y_j, y_{j+1}]$)

y obtenemos el valor $z = g(x, y)$.

4. CALCULO Y TRAZADO DE ISOLINEAS

Partiendo de que tenemos definida, mediante $z = g(x, y)$, una superficie en el espacio tridimensional, se realiza un barrido de la porción del plano XY limitada por la malla, a intervalos $\Delta x, \Delta y$ predeterminados; en cada punto así definido del plano se calcula su correspondiente valor de z , formando un fichero en la memoria del ordenador con las ternas (x, y, z) tales que cumplen la condición de que z es igual a un valor constante dado. Con ello, lo que hacemos es cortar la superficie por tantos planos paralelos al plano base como isolíneas deseamos obtener.

En la programación de esto último, como puede verse en el listado del programa, en realidad lo que haremos será recoger los puntos de la superficie que se encuentran dentro de una estrechísima banda por encima y por debajo del plano por el que cortamos la superficie. La razón es que el ordenador, al comparar valores, rechazaría aquellos que difirieran de los buscados en una cifra decimal no significativa. Esto no le resta rigor al trazado de las isolíneas, ya que se toma una anchura Δz de la banda tal que la desviación de los valores seleccionados sea inferior al 1 por 1.000.

Una vez almacenados todos los puntos (x, y, z) antes citados, consideramos para cada uno de ellos su proyección cilíndrica sobre el plano XY (fig. 5) y dibujamos el punto correspondiente.

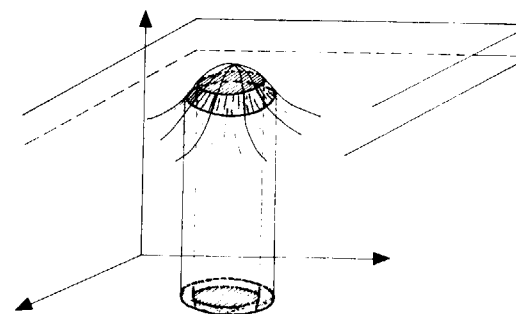


Figura 5.—Proyección cilíndrica de los puntos que resultan de cortar la superficie por planos paralelos al plano base.

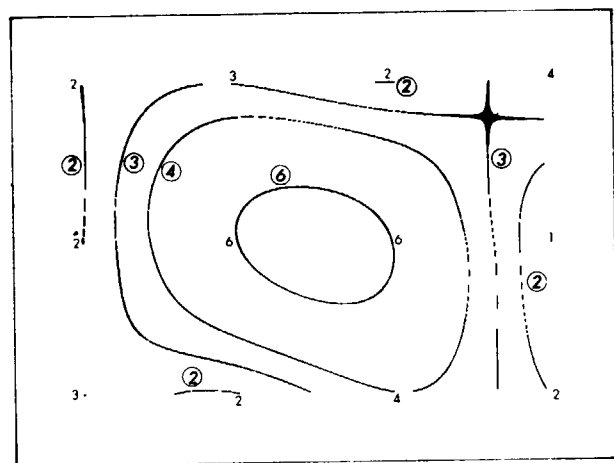
Repitiendo el proceso en todo el fichero, obtenemos una colección de puntos proyectados que, si el cálculo de la superficie se ha realizado a intervalos suficientemente próximos, se yuxtaponen componiendo líneas que resultan ser las isolíneas buscadas.

5. CONCLUSIONES

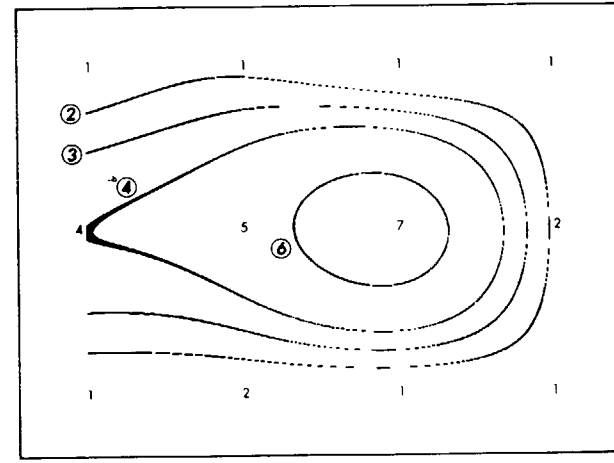
El procesado del programa que se adjunta, tomando ejemplos cuyos valores de partida se encuentran distribuidos sobre una malla regular cuadrada, permite concluir lo siguiente:

- a) Mediante la aplicación de este método de generación de funciones BICUBIC SPLINES se consigue una interpolación de gran calidad y suavidad, debido a la imposición de que la función, su pendiente y su curvatura sean continuas en todo el área de interpolación.
- b) El proceso de obtención de isólineas aquí expuesto tiene gran interés para localizar y representar de inmediato anomalías geofísicas, ya que esto se consigue rápida y fiablemente mediante líneas de puntos. Sin embargo, si se desean obtener líneas continuas, presenta la objeción del prolongado tiempo de cálculo que se necesita, en un ordenador de estas características.

En las figuras 6, 7 y 8 podemos ver diferentes salidas por ordenador del procesado de este programa.



2 - VALOR DE PARTIDA EN MALLA
 ② VALOR ISOLINEA



2 - VALOR DE PARTIDA EN MALLA
 ② VALOR ISOLINEA

Figura 6.—Isólineas obtenidas procesando el programa adjunto, tomando 12 valores distribuidos según una malla regular, a intervalos de separación constantes entre coordenadas ($h=k=1$) y de dimensión 4×3 .

Figura 7.—Ejemplo del procesado del programa, interpolando sobre 12 valores distribuidos según una malla de dimensión 4×3 , regular y cuadrada ($h=k=1$).

A la vista del elevado tiempo de procesado para obtener líneas continuas, nos pareció aconsejable contar con otro programa que aprovechara la bondad de las funciones BICUBIC SPLINES como método interpolador, pero variando la concepción del trazado, de modo que no fuese necesario calcular tantos valores interpolados. Así se hizo, aplicando el método de trazado de isólineas mediante teselado, que, a su vez, contiene un cálculo mucho más elaborado que el consistente en proyectar punto a punto. No obstante, en conjunto, este programa se puede considerar de más rápida aplicación práctica que el anterior, ya que, si bien es verdad que las isólineas resultantes son más quebradas que en el primer caso, sin embargo, se consigue reducir considerablemente el tiempo de procesado, problema que, como es sabido, es, junto con la capacidad de memoria del ordenador, uno de los mayores a solventar en programas de diseño y trazado de líneas por ordenador.

En la figura 9 podemos ver un ejemplo de aplicación de este segundo procedimiento para la obtención de un mapa de anomalías de Bouguer. Se remite al lector interesado en el detalle de su programación a la Memoria entregada con motivo de esta Beca.

Así, pues, dependiendo de lo que se persiga conseguir y de la capacidad y velocidad del ordenador que se posea, es aconsejable utilizar uno u otro procedimiento.

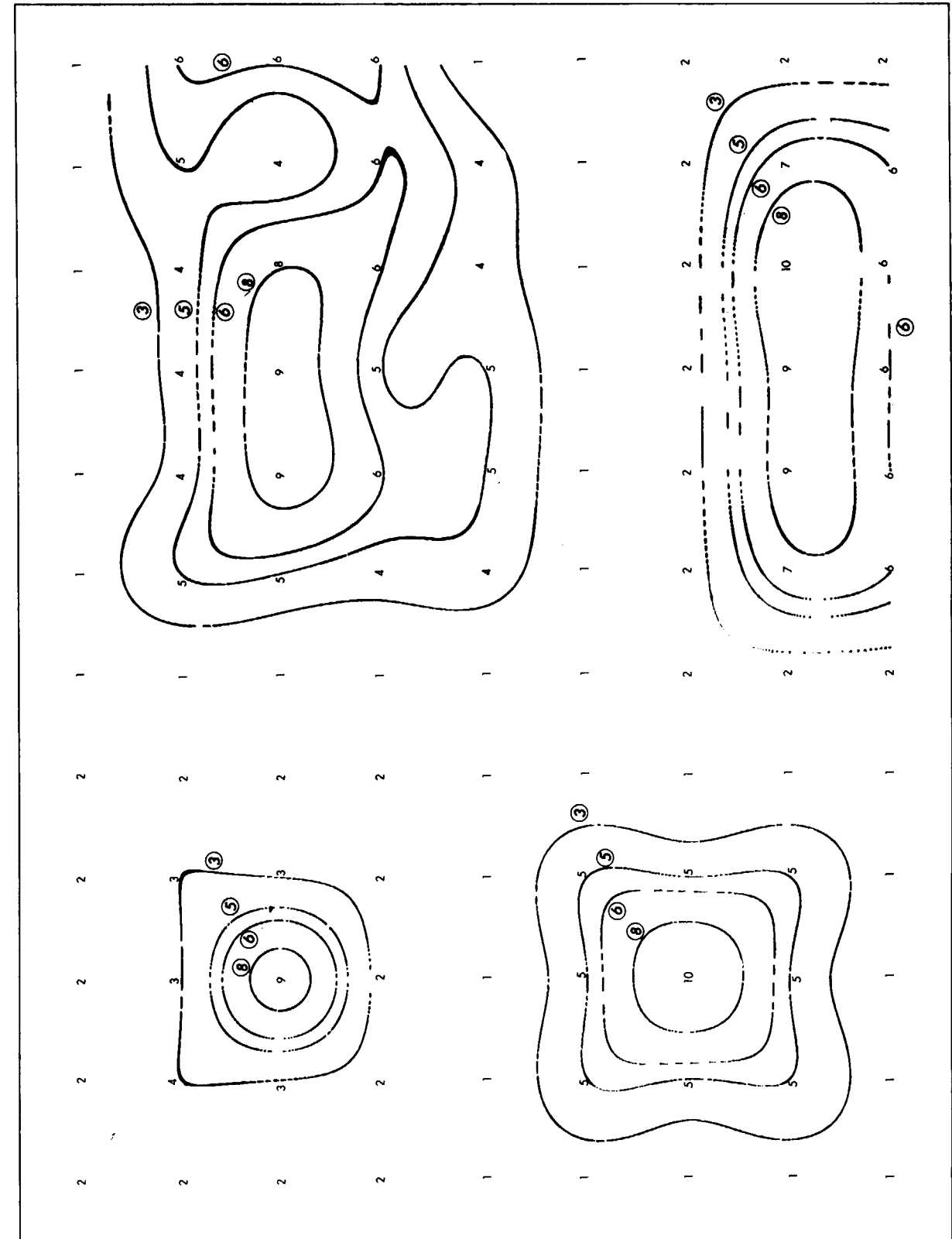


Figura 8.—Distribución de isólineas de valores 3, 5, 6 y 8 interpolando sobre 108 valores, distribuidos según una malla regular de dimensión 12×9 .

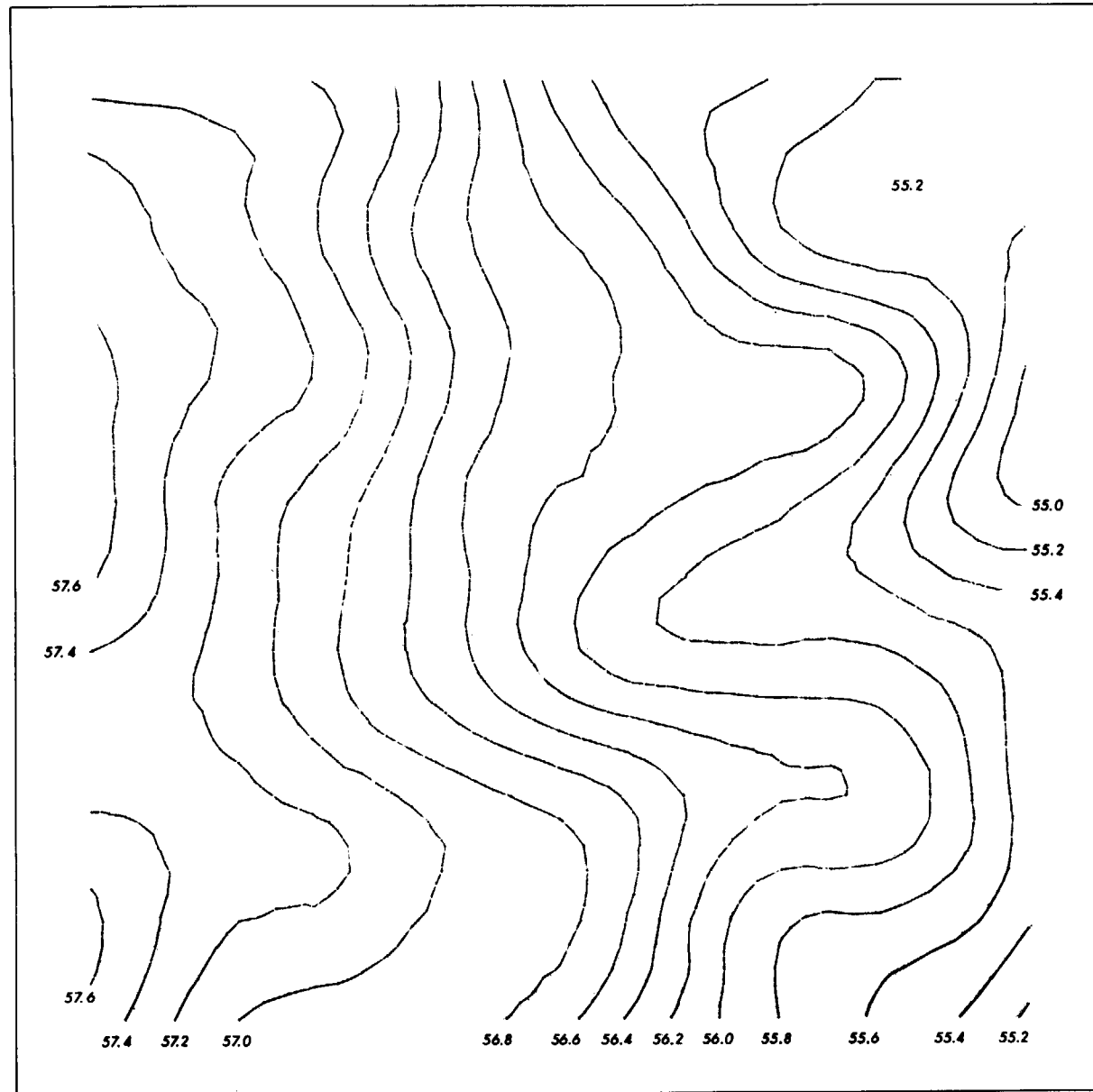


Figura 9.—Ejemplo del procesado del programa implementado sobre el que se adjunta. Obtención de isolíneas a partir de una malla de 20x20 valores, de una porción de un mapa de gravimetría. Intervalo de valores de isolíneas: 0,20 miligales.

BIBLIOGRAFIA

ACCORD. Automatic Contouring of Raw Data - D. F. Watson (Department of Geology and Geophysics. University of Sydney. N. S. W2006 - Australia). Computers & Geosciences, 1982, Great Britain.

Bicubic Spline Interpolation as a method for treatment of potential field data - B. K. Bhattacharyya (Geological Survey of Canada. Ottawa, Ontario - Canadá). Geophysics, 1969.

Recibido: Diciembre de 1984.

```

10 | "ISOBIC"
20 |
30 | =====
40 |
50 | Este programa toma valores sobre una malla regular (máx=1.521 valores),
60 | calcula la función interpolante -mediante funciones BICUBIC SPLINES- y
70 | traza isolíneas punto a punto.
80 |
90 | Ana Sánchez Quintanilla - Sección de Geofísica
100 | I G M E - 1 . 9 8 5
110 | =====
120 |
130 | DICCIONARIO
140 | T(I,B,H)= Matriz de los coeficientes de todas y cada una de las celdas.
150 | G(I,J) = Datos de partida.
160 | M(I,J),D(I,J),Q1(J) = Matrices y vectores que definen los sistemas de
170 | ecuaciones.
180 | N(I,J) = Inversa de M.
190 | H(16,16)= Matriz que define el sistema de obtención de los coeficientes
200 | K(16,16)= Matriz inversa de H.
210 | P(I,J) = Valores de las derivadas parciales respecto de la primera va-
220 | riante, en los puntos-malla.
230 | Q(I,J) = Valores de las derivadas parciales respecto de la segunda va-
240 | riante, en los puntos-malla.
250 | S(I,J) = Valores de las derivadas parciales de segundo orden en los
260 | puntos-malla.
270 | X(I),Y(J) = Vectores coordenados.
280 | Cx(I),Cy(I),Cz(I)= Coordenadas de los puntos que pertenecen a isolíneas
290 | I2(I) = Vector de isolíneas.
300 |
310 | =====
320 |
330 | DIMENSIONADO
340 |
350 | OPTION BASE 1
360 | PRINTER IS 16
370 | INTEGER I,J,K,H,B,I1,I2,P,S2,T1
380 | SHORT T(16,38,38),G(39,39),M(39,39),D(78,39),N(39,39),Q1(39),H(16,16),K(16
390 | ,16),P(39,39),Q(39,39),S(39,39),X(39),Y(39),Punto(3)
390 | SHORT Cx(2000),Cy(2000),Cz(2000),I2(10)
400 | INPUT "¿Extensión de la primera variable de la malla?",M1
410 | INPUT "¿Extensión de la segunda variable de la malla?",N1
420 | REDIM T(16,M1-1,N1-1),G(M1,N1),D(2*M1,N1),P(M1,N1),Q(M1,N1),S(M1,N1),X(M1
430 | ,Y(N1)
440 |
450 | =====
460 |
470 | ENTRADA DE DATOS (POR TECLADO)
480 |
490 | FOR I=1 TO M1
500 | FOR J=1 TO N1
510 | PRINT LIN(18),SPA(30),"G(";I;",";J;")"
520 | INPUT G(I,J)
530 | NEXT J
540 | NEXT I
550 | PRINT PAGE
560 |
570 |
580 | =====
590 |
600 | SECUENCIA OBTENCION ELEMENTOS DE Q(I,J)
610 |
620 | FOR I=1 TO M1
630 | D(I,1)=(G(I,2)-G(I,1))*3
640 | D(I,N1)=(G(I,N1)-G(I,N1-1))*3
650 | FOR J=2 TO N1-1
660 | D(I,J)=(G(I,J+1)-G(I,J-1))*3
670 | NEXT J
680 | NEXT I
690 | FOR J=1 TO N1
700 | D(M1+1,J)=(G(2,J)-G(1,J))*3

```

```

710 D(2*M1,J)=(G(M1,J)-G(M1-1,J))*3
720 FOR I=M1+2 TO 2*M1-1
730 D(I,J)=(G(I-(M1-1),J)-G(I-(M1+1),J))*3
740 NEXT I
750 NEXT J
760 REDIM M(N1,N1),N(N1,N1),Q1(N1)
770 MAT M=IDN(N1,N1)
780 FOR J=1 TO N1-1
790 M(J,J)=M(J,J)*4
800 M(J,J+1)=1
810 M(J+1,J)=1
820 NEXT J
830 M(1,1)=2
840 M(N1,N1)=2
850 IF DET(M)<>0 THEN 890
860 PRINT "DET(M)=0"
870 BEEP
880 PAUSE
890 MAT N=INV(M)
900 FOR I=1 TO M1
910 FOR J=1 TO N1
920 S=0
930 FOR K=1 TO N1
940 Q1(K)=N(J,K)*D(I,K)
950 S=S+Q1(K)
960 NEXT K
970 Q(I,J)=S
980 NEXT J
990 NEXT I
1000 !
1010 !
1020 ! -----
1030 !
1040 ! SECUENCIA OBTENCION VALORES DE P(I,J)
1050 !
1060 REDIM M(M1,M1),N(M1,M1),Q1(M1)
1070 MAT M=IDN(M1,M1)
1080 FOR I=1 TO M1-1
1090 M(I,I)=M(I,I)*4
1100 M(I,I+1)=1
1110 M(I+1,I)=1
1120 NEXT I
1130 M(1,1)=2
1140 M(M1,M1)=2
1150 IF DET(M)<>0 THEN 1190
1160 PRINT "DET(M)=0"
1170 BEEP
1180 PAUSE
1190 MAT N=INV(M)
1200 FOR J=1 TO N1
1210 FOR I=1 TO M1
1220 S=0
1230 FOR K=1 TO M1
1240 Q1(K)=N(I,K)*D(M1+K,J)
1250 S=S+Q1(K)
1260 NEXT K
1270 P(I,J)=S
1280 NEXT I
1290 NEXT J
1300 !
1310 !
1320 ! -----
1330 !
1340 ! SECUENCIA OBTENCION VALORES DE S(I,J)
1350 !
1360 REDIM D(2*M1,1)
1370 D(1,1)=(Q(2,1)-Q(1,1))*3
1380 D(M1,1)=(Q(M1,1)-Q(M1-1,1))*3
1390 D(M1+1,1)=(Q(2,N1)-Q(1,N1))*3
1400 D(2*M1,1)=(Q(M1,N1)-Q(M1-1,N1))*3

```

```

1410 FOR I=2 TO M1-1
1420 D(I,1)=(Q(I+1,1)-Q(I-1,1))*3
1430 D(I+M1,1)=(Q(I+1,N1)-Q(I-1,N1))*3
1440 NEXT I
1450 FOR I=1 TO M1
1460 S=0
1470 FOR J=1 TO M1
1480 Q1(J)=N(I,J)*D(J,1)
1490 S=S+Q1(J)
1500 NEXT J
1510 S1=0
1520 FOR K=1 TO M1
1530 Q1(K)=N(I,K)*D(M1+K,1)
1540 S1=S1+Q1(K)
1550 NEXT K
1560 S(I,1)=S
1570 S(I,N1)=S1
1580 NEXT I
1590 REDIM D(M1,N1-2),M(N1-2,N1-2),N(N1-2,N1-2)
1600 FOR I=1 TO M1
1610 FOR J=2 TO N1-1
1620 D(I,J-1)=(P(I,J+1)-P(I,J-1))*3
1630 NEXT J
1640 NEXT I
1650 MAT M=IDN(N1-2,N1-2)
1660 FOR I=1 TO N1-3
1670 M(I,I)=M(I,I)*4
1680 M(I,I+1)=1
1690 M(I+1,I)=1
1700 NEXT I
1710 M(N1-2,N1-2)=4
1720 IF DET(M)<>0 THEN 1760
1730 PRINT "DET(M)=0"
1740 BEEP
1750 PAUSE
1760 MAT N=INV(M)
1770 FOR I=1 TO M1
1780 FOR J=2 TO N1-1
1790 S3=0
1800 FOR K=2 TO N1-3
1810 S2(K)=N(J-1,K)*D(I,K)
1820 S3=S3+S2(K)
1830 NEXT K
1840 S(I,J)=S3+N(J-1,1)*(D(I,1)-S(I,1))+N(J-1,N1-2)*(D(I,N1-2)-S(I,N1))
1850 NEXT J
1860 NEXT I
1870 !
1880 !
1890 ! -----
1900 !
1910 ! SECUENCIA OBTENCION DE LOS COEFICIENTES DE TODAS Y CADA UNA DE LAS
1920 ! CELDAS DE LA MALLA
1930 !
1940 !
1950 DATA 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
1960 DATA 1,0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
1970 DATA 0,0,0,0,1,1,1,1,1,2,2,2,2,3,3,3,3,0,0,0,0,1,1,1,1,1,0,0,0,0,0,0
1980 DATA 0,0,0,0,1,0,0,0,2,0,0,0,3,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
1990 DATA 0,1,2,3,0,1,2,3,0,1,2,3,0,1,2,3,0,1,2,3,0,1,2,3,0,0,0,0,0,0,0,0
2000 DATA 0,1,0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0
2010 DATA 0,0,0,0,0,1,2,3,0,2,4,6,0,3,6,9,0,0,0,0,0,1,0,0,0,2,0,0,0,3,0,0
2020 DATA 0,0,0,0,0,1,2,3,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0
2030 MAT READ H
2040 IF DET(H)<>0 THEN 2080
2050 PRINT "DET(H)=0"
2060 BEEP
2070 PAUSE
2080 MAT K=INV(H)
2090 FOR H=1 TO N1-1
2100 FOR B=1 TO M1-1
2110 FOR I=1 TO 16

```

```

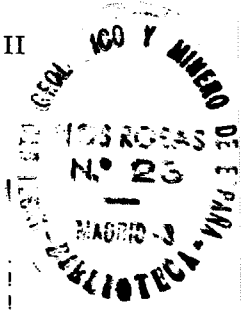
2120 T1=T2=T3=T4=0
2130 T1=K(I,1)*G(B+1,H+1)+K(I,2)*G(B,H+1)+K(I,3)*G(B+1,H)+K(I,4)*G(B,H)
2140 T2=K(I,5)*P(B+1,H+1)+K(I,6)*P(B,H+1)+K(I,7)*P(B+1,H)+K(I,8)*P(B,H)
2150 T3=K(I,9)*Q(B+1,H+1)+K(I,10)*Q(B,H+1)+K(I,11)*Q(B+1,H)+K(I,12)*Q(B,H)
2160 T4=K(I,13)*S(B+1,H+1)+K(I,14)*S(B,H+1)+K(I,15)*S(B+1,H)+K(I,16)*S(B,H)
2170 T(I,B,H)=T1+T2+T3+T4
2180 NEXT I
2190 NEXT B
2200 NEXT H
2210 !
2220 !
2230 ! -----
2240 !
2250 ! SECUENCIA OBTENCION VALORES SUPERFICIE Y OBTENCION PUNTOS
2260 ! PERTENECIENTES A LAS ISOLINEAS
2270 !
2280 !
2290 FOR I=1 TO M1
2300 X(I)=I
2310 NEXT I
2320 FOR J=1 TO N1
2330 Y(J)=J
2340 NEXT J
2350 N=0
2360 INPUT "¿Nº de isolíneas a dibujar?",L1
2370 REDIM I2(L1)
2380 FOR I=1 TO L1
2390 PRINT PAGE,LIN(17),SPR(20),"¿Valor de la isolínea ";I;"?"
2400 INPUT I2(I)
2410 NEXT I
2420 PRINT PAGE
2430 INPUT "¿A qué STEP desea recorrer la superficie?",S
2440 FOR I1=1000 TO M1*1000 STEP S
2450 X=I1/1000
2460 FOR I2=1000 TO N1*1000 STEP S
2470 Y=I2/1000
2480 FOR I=2 TO M1
2490 IF X<=X(I) THEN 2510
2500 NEXT I
2510 X1=X(I-1)
2520 FOR J=2 TO N1
2530 IF Y<=Y(J) THEN 2550
2540 NEXT J
2550 Y1=Y(J-1)
2560 G1=G2=G3=G4=G=0
2570 FIXED 4
2580 FOR P=1 TO 4
2590 G1=T(P,I-1,J-1)*(Y-Y1)^(P-1)+G1
2600 G2=T(P+4,I-1,J-1)*(X-X1)*(Y-Y1)^(P-1)+G2
2610 G3=T(P+8,I-1,J-1)*(X-X1)^2*(Y-Y1)^(P-1)+G3
2620 G4=T(P+12,I-1,J-1)*(X-X1)^3*(Y-Y1)^(P-1)+G4
2630 NEXT P
2640 G=G1+G2+G3+G4
2650 FOR I=1 TO L1
2660 IF ABS(G-I2(I))<.0090 THEN 2690
2670 NEXT I
2680 GOTO 2730
2690 N=N+1
2700 Cx(N)=X
2710 Cy(N)=Y
2720 Cz(N)=G
2730 NEXT I2
2740 NEXT I1
2750 !
2760 !
2770 ! -----
2780 !
2790 ! SECUENCIA TRAZADO DE ISOLINEAS
2800 !
2810 !

```

```

2820 INPUT "¿Denominador de la escala de representación?",E
2830 Xmax=X(M1)
2840 Xmin=X(1)
2850 Ymax=Y(N1)
2860 Ymin=Y(1)
2870 IF (Xmax-Xmin<.35*E) AND (Ymax-Ymin<.23*E) THEN 2900
2880 PRINT LIN(17),"Elegir nueva escala, en la indicada no cabe el dibujo"
2890 GOTO 2820
2900 PRINT PAGE
2910 PLOTTER IS "HPGL"
2920 PLOTTER IS 13,"GRAPHICS"
2930 PLOTTER 13 IS OFF
2940 LIMIT 13,13+((Xmax-Xmin)*1000+30*E)/E,259.5-((Ymax-Ymin)*1000+30*E)/E,259.5
2950 PEN 2
2960 FRAME
2970 PEN 5
2980 SHOW Xmin-.015*E,Xmax+.015*E,Ymin-.015*E,Ymax+.015*E
2990 FOR I=1 TO N
3000 PLOT Cx(I),Cy(I),1
3010 PENUP
3020 NEXT I
3030 END
3040 !
3050 ! -----

```



Distribución de uranio y torio en el plutón de Trujillo (Cáceres, España)

Por: J. GUIJARRO (*), J. ASTUDILLO (**), A. MORENO (*) y A. GUTIERREZ (*)

RESUMEN

El plutón de Trujillo (Cáceres, España) está constituido por una adamellita porfídica de dos micas y una microadamellita porfídica de dos micas o a veces solamente moscovítica. Geoquímicamente se caracteriza por un carácter peraluminoso y marcadamente alcalino.

El fondo geoquímico de uranio está comprendido entre 7,5 y 18 p.p.m. con un valor medio de 12 p.p.m. El torio, con un fondo geoquímico inferior, se presenta, desde un punto de vista estadístico, en dos poblaciones bien diferenciadas que corresponden a la adamellita y a la microadamellita. Las relaciones Th/U, con un valor medio de 0,7, son bajas, en general, para lo que es habitual en este tipo de materiales.

Se aprecian correlaciones positivas de uranio y torio con los elementos ferromagnesianos y el sodio.

Los fondos más altos, en torio y uranio, corresponden a las adamellitas y de forma fundamental a los contactos de filón, como consecuencia de procesos de removilización por fluidos pneumatolíticos-hidrotermales. La removilización y los fondos relativamente altos, en estos dos elementos, de la adamellita confieren a estos materiales una gran importancia como roca fuente.

ABSTRACT

Trujillo pluton (Cáceres, Spain) has two different petrographic types: a porphyritic two mica adamellite and a porphyritic two mica, or moscovitic, microadamellite. It is a peraluminous and alkaline massif.

The uranium concentrations are ranged between 7.5 and 18 p.p.m., with a mean of 12 p.p.m. Thorium has lower concentrations levels and its values are separating in two statistical populations (adamellite and microadamellite). The Th/U ratio (mean of 0.7) have lower values than other granitic massives.

Th and U exhibits good correlations with ferromagnesian elements and sodium.

Th and U concentrations increases in the adamellite and specially in the tuffstein-veins contact in order to pneumatolitic-hydrothermal fluid remobilizations. This process and high U and Th concentrations give an important character to this pluton like an source of uranium.

INTRODUCCION

El plutón adamelítico de Trujillo se halla situado al SE de la provincia de Cáceres, dentro de la zona Centro Ibérica del macizo Hespérico de España.

Las rocas en las que se intruye dicho plutón están constituidas por una serie pizarroso-grauváquica, azoica y metamorfizada de edad Precámbrico Superior (Alcudiense)-Infracámbrico.

El metamorfismo regional, con biotita y epidota, no sobrepasa la facies de esquistos verdes o de bajo grado según WINKLER (1970). El metamorfismo de contacto, con una aureola relativamente importante, presenta cordierita incipiente, andalucita, biotita, clorita y moscovita; siendo caracterizado como de medio a bajo grado según WINKLER (1970).

PETROLOGIA

El plutón de Trujillo está constituido por una adamellita porfídica de dos micas y una micro-

(*) Departamento de Geología y Geoquímica de la Universidad Autónoma de Madrid.

(**) Empresa Nacional del Uranio (E. N. U. S. A.).

adamellita porfídica, a veces de dos micas y otras moscovítica, según GUIJARRO (1982) (fig. 1).

La adamellita porfídica se caracteriza por la presencia de fenocristales ($>2500 \mu$), inmersos en una matriz cristalina con seriación de tamaño de grano: mesocristales ($500-3500 \mu$) y microcristales ($<500 \mu$).

La composición mineralógica global es: Cuarzo 32 por 100, feldespato potásico (microclina) 27 por 100, plagioclasa (albita) 16 por 100, moscovita 9 por 100, biotita 8 por 100, sericita 4 por 100,

clorita 2 por 100, turmalina 1 por 100 y como indicios: circón, rutilo, anatasa, brookita, apatito, topacio, opacos (ilmenita y magnetita), cordierita, andalucita, rutilo sagenítico y óxidos de hierro.

La microadamellita porfídica, posterior en su consolidación a la adamellita porfídica, se caracteriza por la presencia de fenocristales ($>1000 \mu$), inmersos en una matriz cristalina con seriación de tamaño de grano: mesocristales (200 y 1000μ) y microcristales ($<200 \mu$). Se halla bajo tres facies petrogenéticas bien diferenciadas.

La primera facies es moscovítico-biotítica con indicios de turmalina y presenta la siguiente composición mineralógica total: Cuarzo 39 por 100, plagioclasa (albita) 22 por 100, feldespato potásico (microclina) 11 por 100, moscovita 13 por 100, biotita 2 por 100, sericita 3 por 100, clorita 2 por 100, y como indicios: turmalina, circón, rutilo, anatasa, brookita, topacio, apatito, opacos (ilmenita y magnetita), cordierita, andalucita, casiterita, rutilo sagenítico, pennina, lazulita-escorzalita, zoisita y óxidos de hierro.

La segunda facies es moscovítica y turmalinizada con indicios de biotita; su composición mineralógica global es: cuarzo 41 por 100, feldespato potásico (microclina) 22 por 100, plagioclasa (albita) 19 por 100, moscovita 11 por 100, turmalina 3 por 100, sericita 3 por 100, y como indicios: biotita, circón, rutilo, anatasa, brookita, topacio, apatito, opacos (ilmenita y magnetita), clorita, pennina, lazulita-escorzalita y óxidos de hierro.

La tercera fase es moscovítica y turmalinizada, con la siguiente composición mineralógica total: Cuarzo 40 por 100, feldespato potásico (microclina) 21 por 100, plagioclasa (albita) 19 por 100, moscovita 13 por 100, turmalina 4 por 100, sericita 2 por 100, y como indicios: circón, apatito, opacos (ilmenita y magnetita), lazulita-escorzalita, rutilo sagenítico y óxidos de hierro.

Hay que hacer resaltar que tanto la adamellita porfídica como la microadamellita porfídica tienen paragénesis parecidas y órdenes de cristalización similares, así como los mismos fenómenos de alteración (microclinización de albitas, albitización fisural de microclina, cloritización y moscovitización de biotitas, pinitización de cordierita, damurnitización de andalucita, sericitización de feldespatos y turmalización de biotitas).

DISTRIBUCION DE MUESTRAS

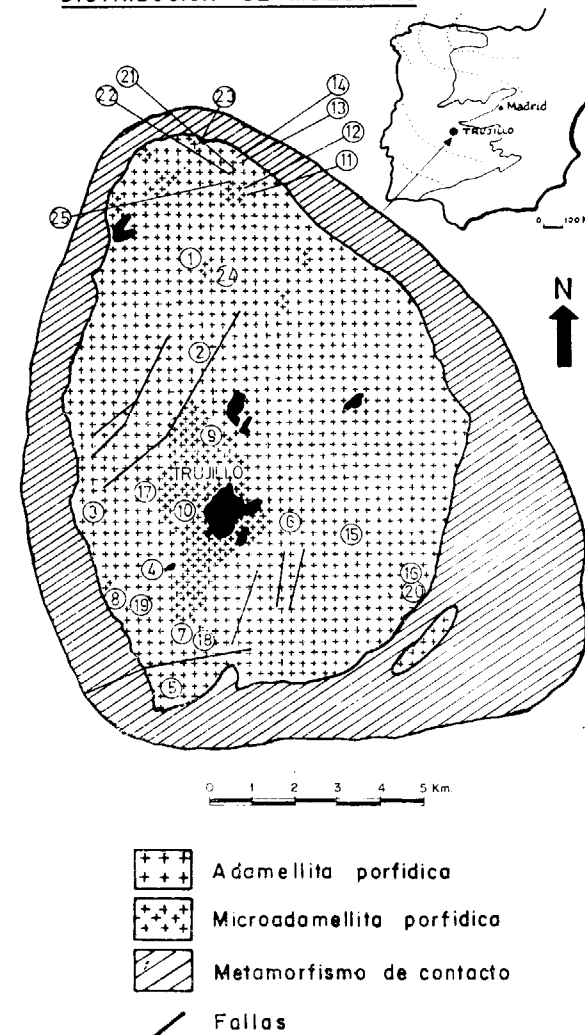


Figura 1.—Geología del plutón de Trujillo y situación de muestras.

Las tres facies petrogenéticas de la microadamellita porfídica se podrían considerar como una única unidad en tres estadios diferentes del proceso de turmalinización de las biotitas, la primera con biotita y turmalinización incipiente, la segunda con indicios de biotita y turmalinización avanzada y la tercera sin biotita, por una total turmalinización de las mismas.

La evolución mineralógica de los componentes fundamentales de la adamellita porfídica a la microadamellita porfídica es la siguiente:

Aumento del cuarzo del 32 por 100 al 39 por 100 (primera facies), 41 por 100 (segunda facies), 40 por 100 (tercera facies).

Aumento de la albita total del 16 por 100 al 22 por 100 (primera facies), 19 por 100 (segunda facies), 19 por 100 (tercera facies).

Aumento de la moscovita del 9 por 100 al 13 por 100 (primera facies), 11 por 100 (segunda facies), 13 por 100 (tercera facies).

Aumento de la turmalina del 1 por 100 al 3 por 100 (segunda facies), 4 por 100 (tercera facies).

Disminución de la microclina del 27 por 100 al 17 por 100 (primera facies), 22 por 100 (segunda facies), 21 por 100 (tercera facies).

Y disminución de la biotita del 8 por 100 al 2 por 100 (primera facies), indicios (segunda facies) y ausencia (tercera facies).

GEOQUIMICA DE ELEMENTOS MAYORES Y MENORES

Según se deduce de los análisis químicos (*), las tres poblaciones en que se agrupan las muestras, es decir, adamellita, microadamellita y contacto adamellita-filón, presentan un carácter marcadamente alcalino con una clara sodificación en el paso de adamellita a microadamellita.

Los contenidos en calcio, no superiores al 0,60 por 100, resultan esencialmente bajos como consecuencia del carácter albitico tan marcado que presentan las plagioclasas.

(*) J. GUIJARRO, A. MORENO, J. ASTUDILLO y A. GUTIERREZ. Petrología y geoquímica del plutón de Trujillo (1984). Estudios Geológicos, 40, 3-14.

No se aprecia ningún cambio sustancial en los contenidos de sodio, potasio y calcio al aumentar la diferenciación geoquímica de estos materiales.

Las muestras de microadamellita, a las que corresponde un mayor contenido silíceo, registran los porcentajes más bajos en magnesio, titanio y hierro total. Las mayores concentraciones de hierro total corresponden al contacto filón-adamellita, debido probablemente a una contaminación por fluidos de estos filones. El aumento de la concentración de volframio en estas mismas muestras apoya esta hipótesis.

Los dos tipos petrológicos, adamellita y microadamellita, son peraluminosos, apareciendo los valores más elevados de aluminio en las muestras de microadamellita.

Las muestras situadas en el contacto filón-adamellita se pueden considerar, según el carácter geoquímico de los elementos mayores, como un subconjunto de la adamellita, con la excepción de presentar mayores concentraciones en hierro total y manganeso.

GEOQUIMICA DE ELEMENTOS TRAZA

Han sido analizados, en cada una de las muestras, los siguientes elementos: litio, rubidio, cesio, bario, estroncio, plomo, cinc, estaño, niobio, plata, cobre, molibdeno, bismuto, volframio, tántalo, flúor y boro. Los elementos niobio, plata, molibdeno y tántalo no se han considerado en el estudio geoquímico por presentarse todos ellos en concentraciones inferiores a las del límite de detección de la técnica analítica empleada.

Cobre, volframio, estaño, cinc, bismuto y plomo presentan las concentraciones más bajas, siendo su variación muy escasa en las diferentes muestras. Solamente en los contactos de filón se observa un enriquecimiento notable de estaño, volframio y cobre.

Rubidio, flúor y boro, por el contrario, son los elementos que presentan las concentraciones más altas en todas las muestras.

Se observa una homogeneidad absoluta en las variaciones de concentración de litio, rubidio, cesio, estroncio, cinc y estaño, así como para el bario, si bien este último varía de forma inversa.

La distribución de bario marca diferencias entre la adamellita y la microadamellita.

Las muestras situadas en los contactos de filón, presentan la mayor concentración en casi todos los elementos; excepto para el bario, que registra valores mínimos.

Comparando la evolución de los elementos mayores, menores y traza se puede colegir que sílice, potasio y calcio, este último en menor grado, varían en estrecha correlación con litio, cesio, estroncio, rubidio y bario. Así, la sílice tiene correlación positiva con litio, cesio y rubidio; mientras que el potasio varía de manera inversa a estos elementos.

En las adamellitas las primeras fases cristalizadas presentan los contenidos más altos en estroncio, bario y potasio y los menores en litio, cesio y rubidio. A medida que la cristalización progresa van aumentando los contenidos de sílice, cesio, rubidio y litio; y los contenidos en potasio, estroncio y bario van disminuyendo, coincidiendo con una albitización de los feldespatos.

DISTRIBUCION DE URANIO Y TORIO

Los análisis de uranio y torio se han realizado por fluorescencia de rayos X y los resultados obtenidos se expresan en la tabla I.

— Estudio estadístico

Con objeto de cuantificar los fondos geoquímicos de uranio y torio en este plutón, se ha procedido al estudio estadístico de los valores encontrados, considerando que la distribución de los elementos sigue una ley próxima a la lognormalidad.

La distribución de frecuencias para el uranio es la siguiente:

Intervalo	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	% de Frecuencia acumulada
<6,5	2	25	100
6,5-8,5	4	23	92
8,5-11,5	6	19	76
11,5-15,4	6	13	52
>15,4	7	7	28

TABLA I

Muestras	U ₃ O ₈ (p.p.m.)	ThO ₂ (p.p.m.)	ThO ₂ /U ₃ O ₈
1	10.9	10.1	0.93
2	18.4	13.9	0.76
3	17.5	14.5	0.83
4	7.7	13.8	1.79
5	15.8	13.0	0.82
6	17.9	7.2	0.40
15	14.3	14.5	1.01
16	16.4	9.2	0.56
17	15.3	15.7	1.02
18	11.1	15.5	1.39
19	15.9	12.9	0.81
13	17.2	19.3	1.12
14	6.3	16.6	2.63
7	10.3	11.0	1.06
8	8.8	4.5	0.51
9	7.6	2.7	0.36
10	5.1	3.8	0.75
11	7.7	7.7	1.00
12	9.0	2.3	0.26
20	14.1	6.9	0.49
21	8.0	2.4	0.30
22	15.1	2.2	0.16
23	11.7	2.5	0.21
24	13.4	2.4	0.18
25	8.9	4.5	0.51

Muestras 1-19: adamellitas
13-14: contacto adamellita-filón
7-25: microadamellitas

De la representación de estos valores en papel probabilístico lognormal (fig. 2) se obtienen los niveles de significación geoquímica siguiente:

$$[\mu - \sigma] = 7,5 \text{ p.p.m.}$$

$$[\mu] = 12 \text{ p.p.m.}$$

$$[\mu + \sigma] = 18 \text{ p.p.m.}$$

Se observa que el ajuste de la recta de dispersión es muy bueno, por lo que es admisible pensar que los procesos geoquímicos que han actuado han sido de una gran homogeneidad, en relación con el comportamiento geoquímico del uranio.

De acuerdo con los valores anteriores, el fondo geoquímico estaría comprendido entre 7,5 y 18 p.p.m., con un valor medio próximo a los 12 p.p.m.

El torio, por su parte, tiene la siguiente distribución de frecuencias:

Intervalo	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	% de Frecuencia acumulada
<6,5	9	25	100
6,5-8,5	3	16	64
8,5-11,5	3	13	52
11,5-15,4	7	10	40
>15,4	3	3	12

ESTUDIO ESTADISTICO

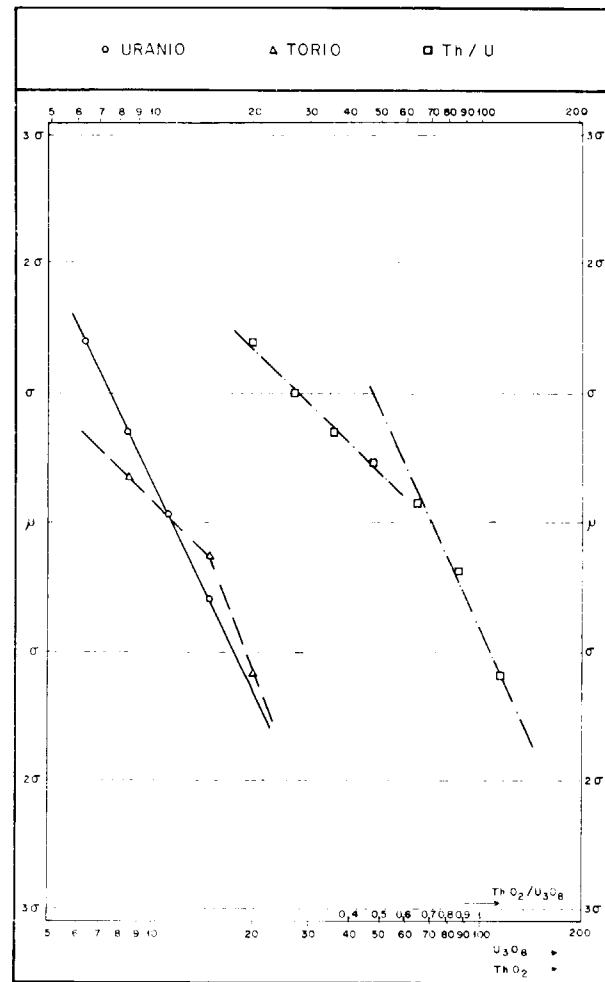


Figura 2.—Estudio Estadístico (Rectas de Henry).

En la representación gráfica de estos valores se observa un comportamiento muy diferente al del uranio. Existen dos poblaciones claramente diferenciadas comprendiendo, aproximadamente, la mitad de las muestras cada una de ellas. La separación se produce en un valor de concentración que se sitúa próximo a los 11 p.p.m. La existencia de estas dos poblaciones indica que los procesos que han tenido lugar han afectado de distinta manera al torio, produciendo fuertes variaciones de la concentración en relación con la actuación de dichos procesos.

No se han establecido niveles de significación, sino que se han separado directamente las poblaciones.

Debido al comportamiento geoquímico de estos elementos, se ha estudiado la relación entre ambos obteniéndose la siguiente distribución de frecuencias:

Intervalo	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	% de Frecuencia acumulada
<0,20	2	25	100
0,20-0,28	2	23	92
0,28-0,36	2	21	84
0,36-0,49	2	19	76
0,49-0,65	3	19	68
0,65-0,86	5	14	56
0,86-1,20	6	9	36
>1,20	3	3	12

La distribución del torio condiciona la existencia de dos poblaciones, una que comprende el 60 por 100 de las muestras y cuyo nivel $\mu - \sigma$ es el límite de separación con la población de contenidos bajos.

Los límites de significación obtenidos son:

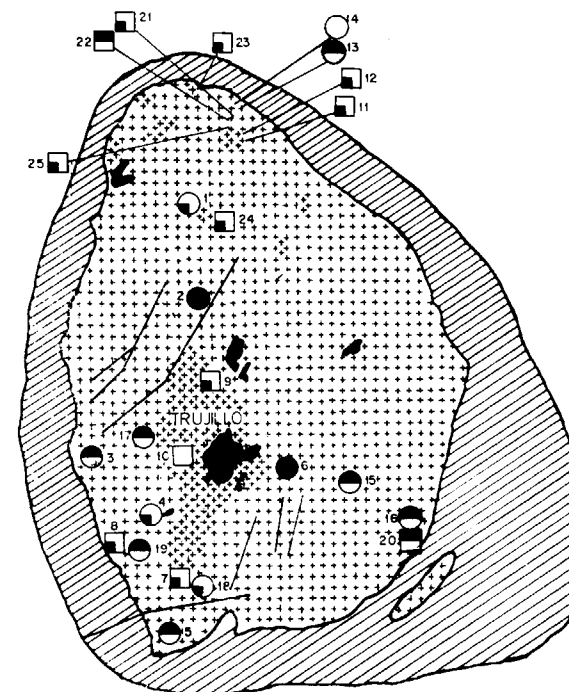
$$\begin{aligned}
 [\mu - \sigma] &= 0,48 \\
 [\mu] &= 0,70 \\
 [\mu + \sigma] &= 1,05 \\
 [\mu + 2\sigma] &= 1,7
 \end{aligned}$$

— Distribución regional

El uranio presenta un comportamiento claramente diferenciado entre las adamellitas y las microadamellitas, presentando concentraciones más altas en las primeras. Dentro de las microadamellitas, las que están próximas al contacto del batolito con las pizarras tienen concentraciones más altas, en algunos casos análogas a las adamellitas (fig. 3).

En la distribución regional del torio se observa también que todas las microadamellitas tienen contenidos inferiores a las adamellitas, si bien algunas de éstas presentan concentraciones bastante bajas. Las concentraciones más elevadas se sitúan en la mitad oeste del batolito; así como en las fisuras de contacto con las adamellitas. La muestra 6, que era una de las más enriquecidas en uranio, tiene sin embargo un contenido muy bajo en torio (fig. 4).

Distribución Estadística : URANIO



0 1 2 3 4 5 Km.

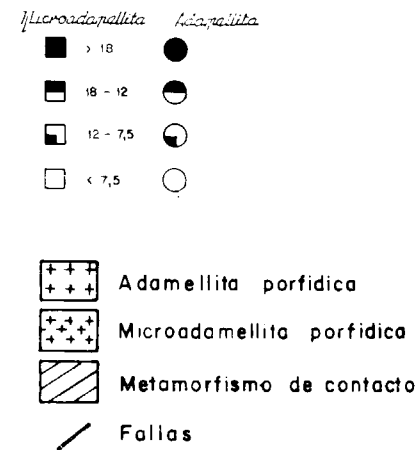
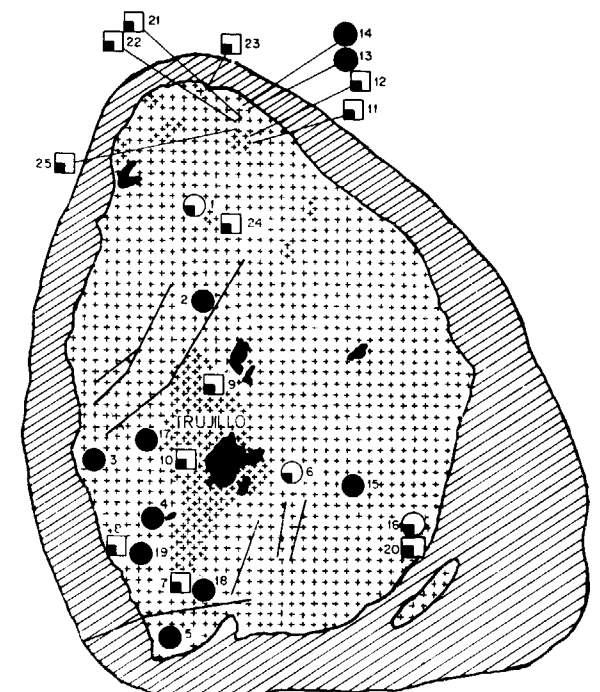


Figura 3.—Distribución estadística de uranio.

Distribución Estadística : TORIO



0 1 2 3 4 5 Km.

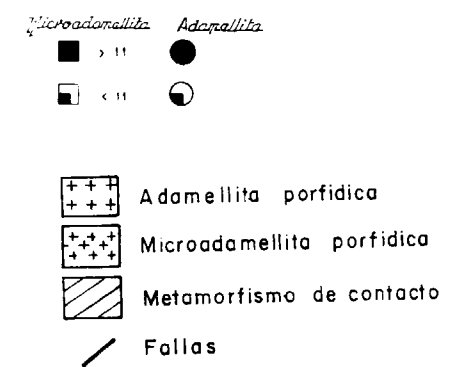


Figura 4.—Distribución estadística de torio.

CORRELACIONES U-Th/RESTO DE ELEMENTOS

La distribución en función de la relación Th/U indica una zonación este-oeste, a lo largo del eje mayor del batolito, situándose los valores más altos en la zona suroeste y noreste, en los contactos filón-adamellita (fig. 5).

Con objeto de establecer la relación entre los contenidos de uranio y torio y el carácter geoquímico de las rocas que forman el plutón, se han elaborado una serie de gráficas en las que se representa a estos dos elementos frente a aque-

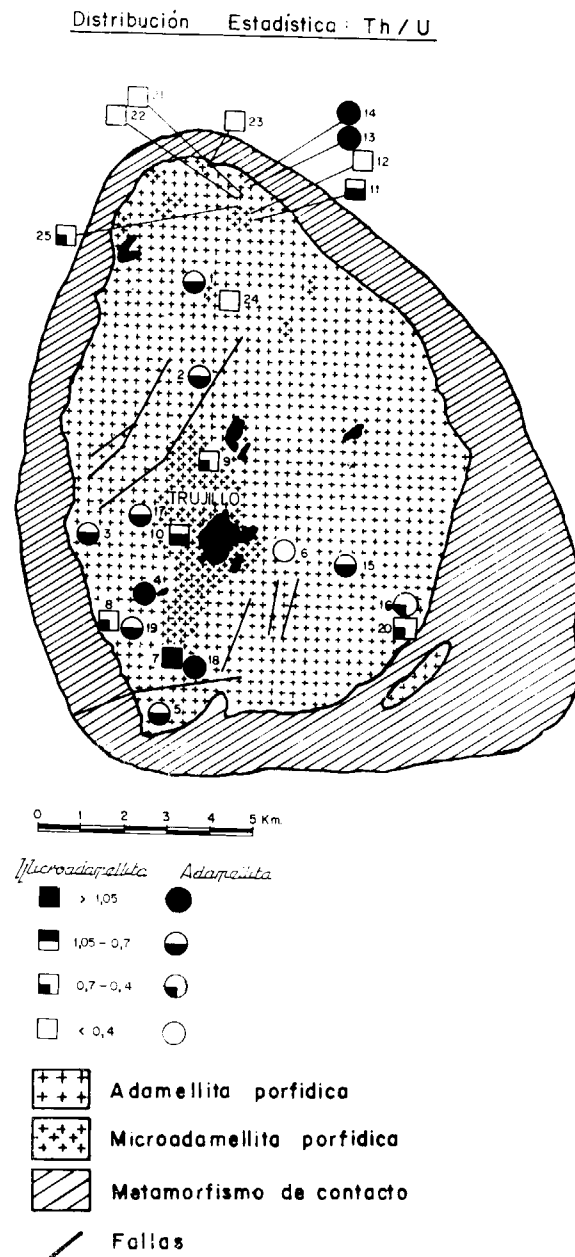


Figura 5.—Relación estadística de Th/U.

los que mejor definen el carácter geoquímico del batolito; estudiándose previamente la relación Th/U.

— Correlación Th/U

Los valores obtenidos son en general bajos para lo que es habitual en esta relación y en este

tipo de materiales. Se aprecia una clara separación entre microadamellita, adamellita y contacto filón-adamellita con una relación creciente:

- (Th/U) microadamellita = 0,1-0,6
- (Th/U) adamellita = 0,7-1,4
- (Th/U) filón-adamellita = 1,1

En esta distribución coincide el fuerte empobrecimiento de torio en las microadamellitas y el enriquecimiento en los contactos filón-adamellita.

El campo de cada tipo petrológico queda claramente definido en esta representación gráfica (fig. 6).

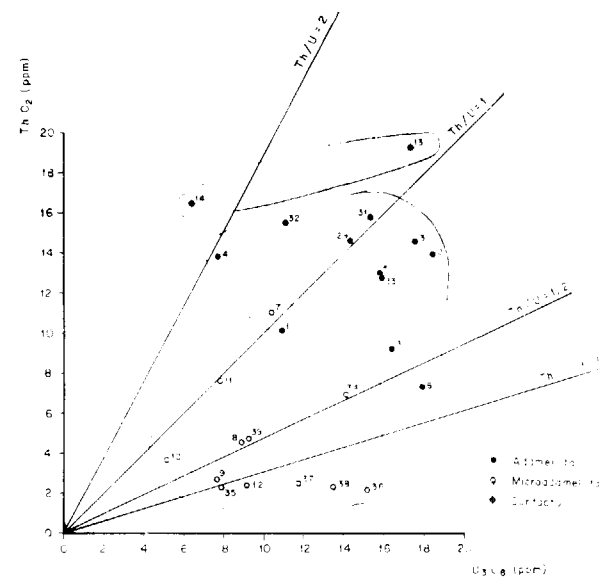


Figura 6.—Correlación de uranio y torio en las muestras estudiadas.

— Correlación U-Th/SiO₂

El uranio presenta una correlación positiva con la sílice en las adamellitas, de forma que las más ricas en sílice son las de mayor contenido en uranio. En las microadamellitas no se puede establecer una variación tan clara de ambos parámetros, pues existen muestras de comportamiento contradictorio (fig. 7).

El torio, de forma contraria, presenta una clara correlación positiva con la sílice en las micro-

adamellitas, no estando clara la relación entre estos parámetros en las adamellitas (fig. 7).

— Correlación U-Th/Ferromagnesianos

Se ha estudiado la relación de uranio y torio con los ferromagnesianos, agrupándose en este término la suma de hierro total, titanio y magnesio (fig. 8).

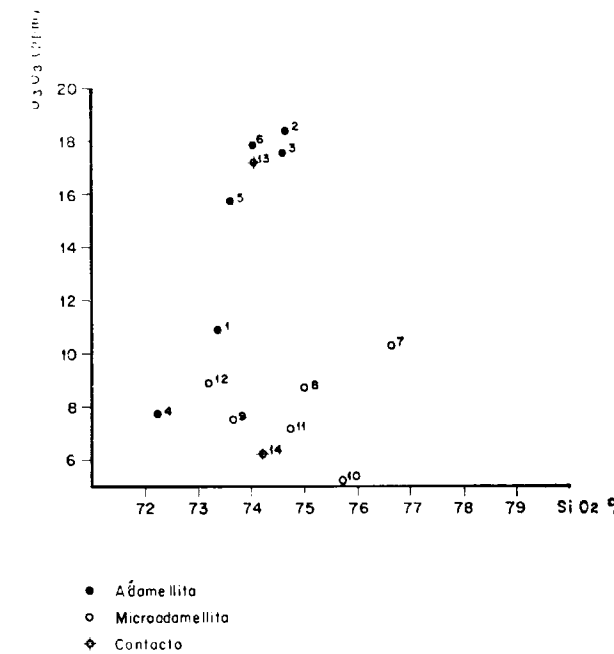
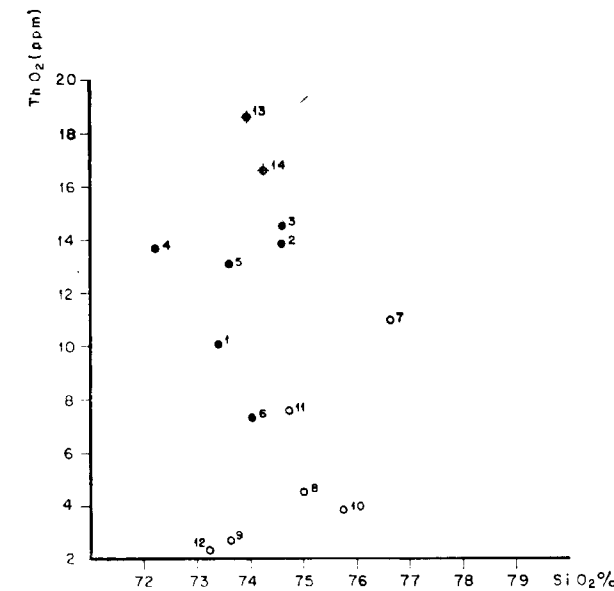


Figura 7.—Correlación de uranio y torio frente a SiO₂ en las muestras estudiadas.

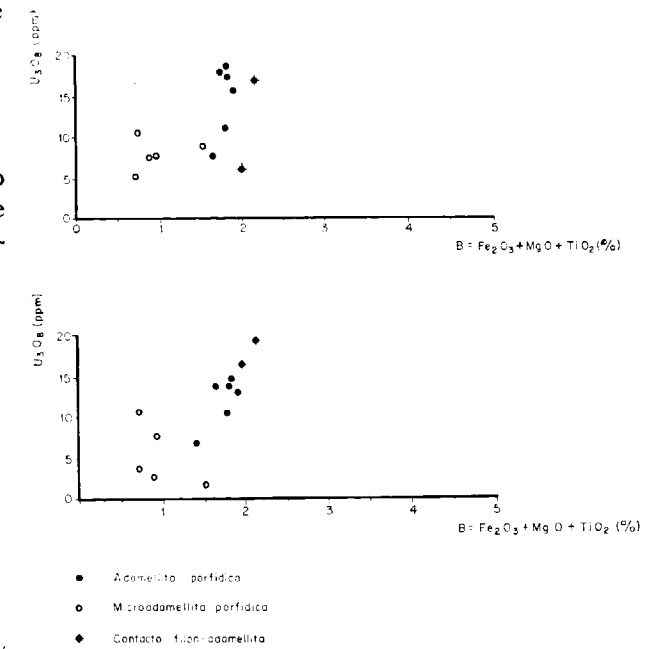


Figura 8.—Correlación de uranio y torio frente a ferromagnesianos en las muestras estudiadas.

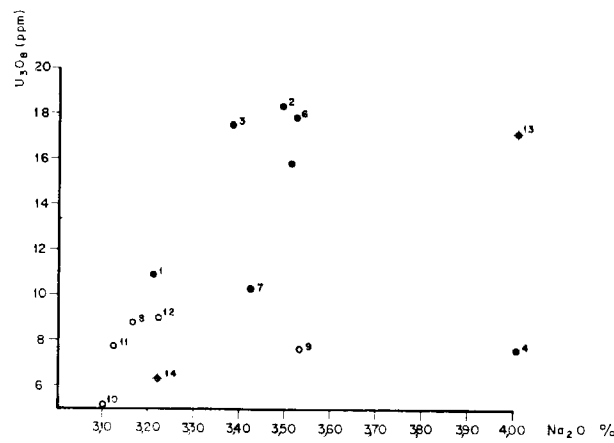
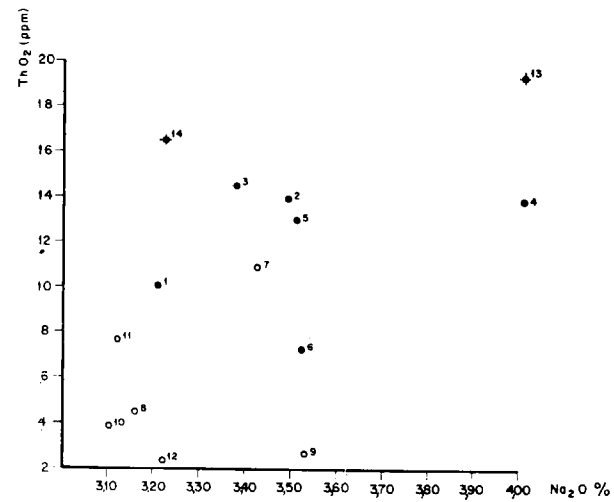
Tanto para el torio como para el uranio se aprecia una correlación positiva con el índice de ferromagnesianos según la secuencia microadamellita, adamellita, contactos de filón-adamellita. Esta correlación es mucho más clara para el torio que para el uranio, a nivel general, si bien dentro de las microadamellitas el torio no varía de manera claramente positiva. El contenido de uranio aumenta con el de los ferromagnesianos en las microadamellitas. En las adamellitas, si bien las concentraciones son superiores, el rango de variación de los contenidos en ferromagnesianos es mucho menor.

— Correlación U-Th/alcalinos

Se han estudiado las variaciones que experimentan uranio y torio con sodio y potasio (figs. 9 y 10).

En el caso del sodio, a pesar de la dispersión de valores, se aprecia una tendencia a incrementarse los contenidos de uranio y torio al hacerlo dicho álcali.

En el potasio el comportamiento es muy claro, manifestándose una correlación negativa de dicho elemento con torio y uranio. Este último presenta



● Adamellita
○ Microadamellita
◆ Contacto

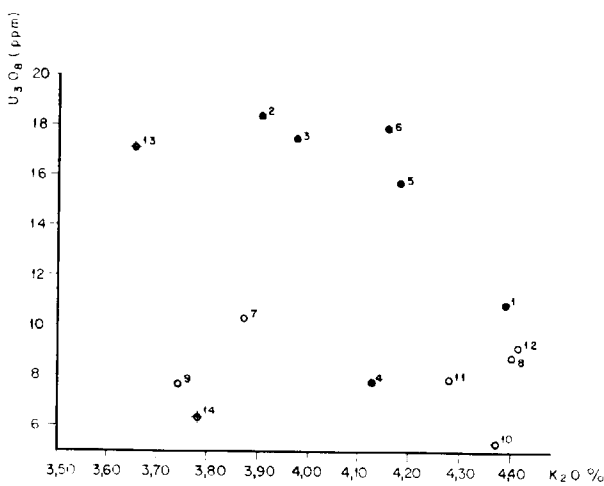
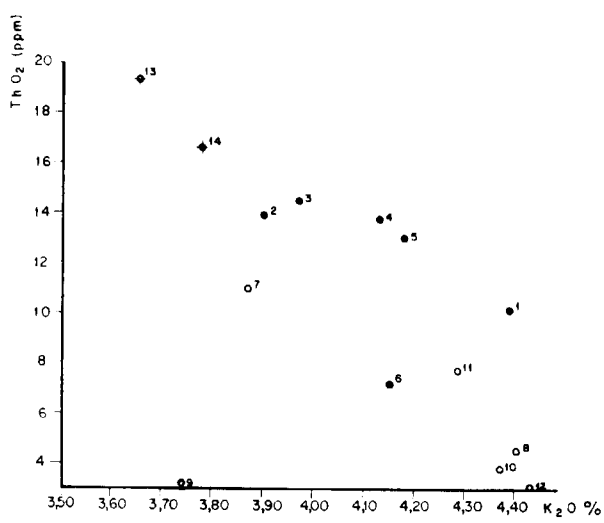
Figura 9.—Correlación de uranio y torio frente a sodio en las muestras estudiadas.

un aumento de la pendiente al pasar de microadamellita a adamellita y a los contactos de filón-adamellita.

En el torio no existe diferencia entre las pendientes de las rectas de regresión.

DISCUSION GENERAL

De acuerdo con los datos anteriores es difícil encuadrar estos materiales dentro de las clasi-



● Adamellita
○ Microadamellita
◆ Contacto

Figura 10.—Correlación de uranio y torio frente a potasio en las muestras estudiadas.

fificaciones habituales de granitos en relación con sus posibilidades uraníferas, tanto de carácter tectónico (ROGER, 1978; CHAPPELL y WHITE, 1974, y HINE, 1978; TAUSON y KOZLOV, 1973) como en las de carácter geoquímico (MATHEW, 1978, y NISHIMORI, 1977, etc.), dado que además el número de muestras es pequeño y no se han realizado análisis de las Tierras Raras.

De acuerdo con la clasificación de ROGER, que simplifica la aparición de uranio en rocas graní-

ticas en dos miembros finales que se asocian con los yacimientos de Rossing (Namibia) y los de Bokan Mountain (Alaska), los materiales aquí estudiados presentan características de uno y otro tipo, por lo que es difícil su ubicación dentro de las clasificaciones habituales.

Pese a ello se quieren resaltar los hechos más interesantes que deberán tenerse en cuenta en todo trabajo de más detalle sobre este batolito en relación con sus posibilidades uraníferas.

En la distribución del torio se observa un fondo geoquímico habitual en las adamellitas y muy bajo en las microadamellitas, de forma que estadísticamente constituyen poblaciones separadas las de uno y otro material.

El uranio, por el contrario, presenta fuertes incrementos en las adamellitas y valores de fondo más bajos en las microadamellitas. En la relación Th/U demuestra un enriquecimiento en las adamellitas.

El mayor contenido en biotita de las fases adamellíticas hace pensar en la asociación y distribución de torio en dicho mineral, fundamentalmente. Para el uranio es más difícil establecer su asociación mineralógica. La variación inversa con relación al potasio, y positiva con el sodio y los elementos hierro, magnesio y titanio, asociaría su distribución con los procesos de sodificación con que concluye la fase adamellítica, siendo dichos procesos los que condicionarían en parte la distribución del uranio, coincidiendo las muestras más albitizadas ricas en sodio y pobres en potasio con los mayores contenidos en uranio.

Parte de este uranio se habría incorporado anteriormente, durante la cristalización de la adamellita, por lo que es probable esperar que gran parte del uranio sea fácilmente lixiviable, lo que confiere a estos granitos un potencial elevado como roca fuente. En los filones intraadamellíticos el contenido de uranio es siempre alto, lo que implica su movilización durante los procesos de reactivación tectónica.

Por tanto, uranio y torio se habrían concentrado en la adamellita, si bien en fases distintas, pero durante el proceso fundamental de consolidación del batolito, produciéndose removilizaciones en zonas de contacto y en filones por fluidos neumatolíticos-hidrotermales, tal y como se desprende del estudio petrogenético.

En las fases finales la concentración de uranio y torio sería muy baja, lo que confiere a la microadamellita un menor interés uranífero, si bien en dicha fase se produce una concentración de elementos volátiles, que pueden estar asociados a mineralizaciones de otros elementos.

El alto contenido de uranio y torio en las adamellitas, así como la movilidad mostrada, en función de su distribución, confiere a estos materiales una gran importancia como roca fuente, tanto en relación con posibles filones, como con las pizarras circundantes, si bien en estas últimas no se han observado filones capaces de concentrar dichos elementos.

La zonación regional observada, coincide fundamentalmente con la propia distribución de las fases adamellíticas y microadamellíticas.

BIBLIOGRAFIA

CONSTALDE, J. L., y HUBBARD, F. M.: *U, Th y K distribution in a differentiated charnockite-granite intrusion and associated rocks from S.W. Sweden*. Mineralog. Magaz., 44, 409-415 (1981).

CHAPPELL, B. W., y WHITE, A. J. R.: *Two contrasting granite types*. Pac. Geol., 8, 173-174 (1974).

GUIJARRO, J.: *Mineralizaciones de W-Sn ligadas a los plutones graníticos de Trujillo y Logrosán (Cáceres, España)*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid (1982).

GUIJARRO, J.; MORENO, A.; ASTUDILLO, J., y GUTIÉRREZ, A.: *Estudio petrológico y geoquímico del plutón de Trujillo (Cáceres, España)*. Estudios Geológicos, 40, 3-14 (1984).

HINE, R.; WILLIAMS, I. S.; CHAPPELL, B. W., y WHITE, A. J. R.: *Contrasts between I and S type granitoids of the Kosciusko batholith*. J. Geol. Soc. Aust., 25, 219-234 (1978).

MATHEWS, G. W.: *A classification of uranium deposits in and related to plutonic igneous rocks*. In: 1977 NURE Geology Uranium Symposium, Introductory Session (1977).

NISHIMORI, R. K.; RAGLAND, P. C.; ROGERS, J. J. W., y GREENBERG, J. K.: *Uranium deposits in granitic rocks*, Energy Res. Div. Admin. Open File Rep. GJBX-13(77). Grand Junction, Colo, 311 pp. (1977).

ROGERS, J. J. W.; RAGLAND, P. C.; NISHIMORI, R. K.; GREENBERG, J. K., y HAUCK, S. A.: *Varieties of granitic uranium deposits and favorable exploration areas in the eastern U. S.* Econ. Geol., 73 1539-1555 (1978b).

SAAVEDRA, J. (et al.): *Estudio del granito de Trujillo (Cáceres)*. II Congreso Iberoamericano de Geología Económica. Buenos Aires (Argentina) (1975).

SIMPSON, P. R.; PLANT, J. A.; WATSON, J. V.; GRAN, P., y FOWLER, M. B.: *The role of metalliferous and mineralised uranium granites in the formation of uranium provinces*. Uranium Explor. Methods. OECD, Nuclear Energy Agency (1982).

TAUSON, L. V., y KOZLOV, V. D.: *Distribution functions*

and ratios of trace element concentrations as estimators of the ore bearing potential of granites. Geochemical Expl. (1972). Institution of mining and metallurgy. Ed.: M. J. Jones (1973).

VAREA, R.: *Geochemical study of the granitoids around el Lobo uranium mine. Badajoz (Spain)*. Uranium Exploration Methods. París (1982).

WINKLER, M. G. F.: *Petrogénesis de rocas metamórficas*. M. Blume Ed. Madrid (1978).

Recibido: Abril de 1984.

Diagramas de estabilidad de zeolitas naturales y sintéticas

Por A. J. AZNAR (*) y A. LA IGLESIA (**)

RESUMEN

Se presenta un método para el cálculo de los campos de estabilidad de zeolitas a partir de sus energías libres standard de formación teóricas. El método se aplica al estudio particular de zeolitas naturales y sintéticas. Los diagramas de estabilidad obtenidos ponen de manifiesto la secuencia de cristalización de una zeolita con distintos cationes de cambio y la influencia de la actividad del medio en la composición final de la zeolita.

SUMMARY

The stability fields for zeolites, both natural and synthetical, are found from standard free energy values of formation. The stability diagrams obtained show the phases in the crystallization process for a zeolite having different cations. The relationship between the ionic activity and the chemical composition of zeolites are also studied.

INTRODUCCION

A partir de las energías libres standard de formación de fases cristalinas y de iones de disolución, se pueden construir diagramas de estabilidad minerales, los cuales sirven para predecir condiciones de formación de fases minerales tanto en la naturaleza como en el laboratorio. GARRELS y CHRIST (1965) y LÓPEZ AGUAYO y col. (1977), aplican estos diagramas de estabilidad al estudio de la génesis de silicatos, sulfatos y carbonatos, consiguiendo explicar condiciones naturales de formación de los mismos, no justificadas hasta entonces. Posiblemente la mayor importancia de los diagramas de estabilidad resida en su aplicación a la síntesis mineral; así, por ejemplo, LA IGLESIA y VAN OOSTERWICH-GASTUCHE (1978), utilizando el diagrama de estabilidad de la caolinita, consiguen la síntesis de este mineral con resultados superiores a los obtenidos hasta entonces.

Debido a la posibilidad de variación de la composición química dentro de una misma fase cristalina zeolítica y a la gran tendencia de estas a formar fases metaestables, la termodinámica de

las zeolitas está poco desarrollada, consecuentemente en la actualidad se desconocen los diagramas de estabilidad de las zeolitas. Esto conlleva el que los métodos de síntesis de laboratorio e industriales continúen siendo empíricos y hayan mejorado muy poco en los últimos años. Recientemente, AZNAR (1983) y LA IGLESIA y AZNAR, han desarrollado un método de cálculo de la energía libre standard de zeolitas a partir de su composición química. El método consigue unos resultados afectados por un error relativo inferior al 0.25 por 100; por lo cual los valores de ΔG°_f calculados son utilizables para la construcción de diagramas de estabilidad de zeolitas.

En este trabajo se presentan los diagramas de estabilidad calculados para las zeolitas naturales: analcita, faujasita, filipsita, clinoptilolita, mordenita, epistilbita y thomsonita, y para las zeolitas sintéticas hidrosoladita, zeolita A, zeolita P y zeolita Y.

METODO DE CALCULO DE CAMPOS DE ESTABILIDAD DE ZEOLITAS

Para el cálculo de los campos de estabilidad de zeolitas se ha partido de una zeolita genérica (Z)

(*) Instituto de Físico-Química Mineral.

(**) Junta de Energía Nuclear.

de fórmula $M_{1/n}(AlO_2)_x(SiO_2)_y \cdot yH_2O$, cuya energía libre standard de formación, obtenida mediante el método propuesto por LA IGLESIA y AZNAR es:

$$\Delta G^{\circ}_f = 1/2 \Delta G^{\circ}_{zeol}(M_{2/n} \cdot Al_2O_3) + x \Delta G^{\circ}_{zeol}(SiO_2) + y \Delta G^{\circ}_{zeol}(H_2O) \quad [1]$$

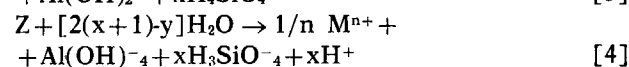
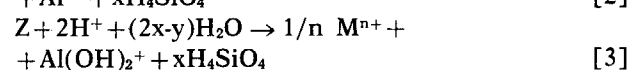
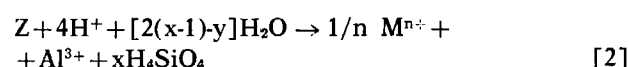
Los valores de ΔG°_{zeol} se presentan en la tabla I.

TABLA I

Valores de ΔG°_{zeol} dados por LA IGLESIA y AZNAR (1985)

ESPECIE	ΔG°_{zeol} (KJ/mol)
SiO ₂	- 855,94
H ₂ O	- 237,17
Na ₂ O · Al ₂ O ₃	-2.273,06
K ₂ O · Al ₂ O ₃	-2.321,04
Li ₂ O · Al ₂ O ₃	-2.320,76
Rb ₂ O · Al ₂ O ₃	-2.340,34
Cs ₂ O · Al ₂ O ₃	-2.329,02
(NH ₄) ₂ O · Al ₂ O ₃	-1.915,28
Ag ₂ O · Al ₂ O ₃	-1.916,64
CaO · Al ₂ O ₃	-2.302,86
SrO · Al ₂ O ₃	-2.309,30
BaO · Al ₂ O ₃	-2.316,86

Los campos de estabilidad de las zeolitas se han planteado a partir de las siguientes ecuaciones:



dado que las especies iónicas implicadas en ellas son las más comunes.

Utilizando los valores de ΔG°_f de las especies iónicas y moleculares recopiladas en la tabla II, se han calculado las energías de reacción y las constantes de equilibrio de las ecuaciones [2], [3] y [4].

Aplicando la ley de acción de masas en forma logarítmica, tendremos (1):

1. En este artículo denominamos a la suma de la actividad del catión M^{n+} y de las especies aluminicas Al^{3+} a la de las especies silíceas como

$$\Delta G^{\circ}_r [\text{ec. 2}] = 1/n \Delta G^{\circ}_f(M^{n+}) - 1/2 \Delta G^{\circ}_{zeol}(M_{2/n}O \cdot Al_2O_3 - 963.7 + 22.24x + 0.02y) \quad (\text{KJ/mol}) \quad [5]$$

Con objeto de simplificar, se engloban los dos primeros términos de la ecuación [5] en una única constante M, con lo que: $\Delta G^{\circ}_r [\text{ec. 2}] = (M - 963.7 + 22.24x + 0.02y)$ (KJ/mol) [6] cuya constante de equilibrio es

$$\log K [\text{ec. 2}] = \frac{963.7 - M - 22.24x - 0.02y}{5.2295} = \log \Sigma (M+Al) + x \log \Sigma (Si) + 4 \text{ pH} \quad [7]$$

de igual manera, para las ecuaciones [3] y [4]:

$$\Delta G^{\circ}_r [\text{ec. 3}] = (M - 899.98 + 22.24x - 0.02y) \quad (\text{KJ/mol}) \quad [8]$$

$$\log K [\text{ec. 3}] = \frac{899.98 - M - 22.24x - 0.02y}{5.2295} = \log (M+Al) + x \log \Sigma (Si) + 2 \text{ pH} \quad [9]$$

$$\Delta G^{\circ}_r [\text{ec. 4}] = (M - 829.85 + 77.55x - 0.02y) \quad (\text{KJ/mol}) \quad [10]$$

$$\log K [\text{ec. 4}] = \frac{829.85 - M - 77.55x - 0.02y}{5.2295} = \log \Sigma (M+Al) + x \log \Sigma (Si) - x \text{ pH} \quad [11]$$

TABLA II

Energías libres standard de formación de diferentes especies

ESPECIE	ΔG°_f (KJ/mol)
Al ³⁺ (aq.)	- 489,40 (*)
Al(OH) ₂ ⁺ (aq.)	- 899,98 (**)
Al(OH) ₄ ⁻ (aq.)	-1.304,15 (***)
H ₄ SiO ₄ (aq.)	-1.308,00 (*)
H ₃ SiO ₄ ⁻ (aq.)	-1.252,69 (*)
H ₂ O (l.)	- 237,15 (*)
Na ⁺ (l.)	- 261,92 (*)
Ag ⁺ (aq.)	- 77,07 (*)
Ba ²⁺ (aq.)	- 560,74 (*)
Ca ²⁺ (aq.)	- 553,54 (*)
K ⁺ (aq.)	- 282,50 (*)
Li ⁺ (aq.)	- 292,63 (*)
Rb ⁺ (aq.)	- 291,71 (*)
Sr ²⁺ (aq.)	- 559,44 (*)
Cs ⁺ (aq.)	- 283,63 (*)
NH ₄ ⁺ (aq.)	- 79,48 (*)

(*) ROBIE et al. (1979).

(**) RAUPACH (1963).

(***) HEM y ROBERSON (1976).

Al representar las ecuaciones [7], [9] y [11] en el sistema de ejes ortonormales pH — log Σ (Si) — log Σ (M+Al), se genera una superficie para cada zeolita concreta, que representa las condiciones del equilibrio zeolita — iones en disolución. Dicha superficie divide el espacio en dos subespacios, de tal manera que para las condiciones determinadas por el subespacio inferior aparecen iones en disolución y para las condiciones del subespacio superior, la fase estable es la zeolita.

El corte entre los planos [7] y [9] se efectúa a un pH constante de 6.09, corresponde al equilibrio



y es independiente de la composición de la zeolita. El corte entre los planos [9] y [11], depende únicamente de la cantidad de SiO₂ presente en la zeolita, y varía entre los límites 6.71 (aluminato del catión de cambio) y 10.58 (silicato del catión de cambio). Por tanto, las zeolitas ricas en aluminio cristalizan a pH próximo a 7 y, por el contrario, las zeolitas ricas en silicio cristalizan a pH próximo a 10.

APLICACION DE LOS DIAGRAMAS DE EQUILIBRIO A LA SINTESIS DE ZEOLITAS

a) Influencia de la composición química del medio en la cristalización de zeolitas

Para estudiar problemas de paragénesis entre zeolitas, se han empleado las ecuaciones [2], [3] y [4] en dos zeolitas genéricas distintas Z y Z' de composición x y x' en sílice, y e y' en agua y M y M' en cationes de cambio respectivamente. Las rectas de intersección del equilibrio entre Z y Z' dependen de la composición de estas mediante las relaciones siguientes:

$$\log \Sigma (Si) = \frac{[(M'-M) + 22.24 (x'-x) + 0.02 (y'-y)]}{5.2295 (x-x')} \quad [13]$$

$$\log \Sigma (Si) - \text{pH} = \frac{[(M'-M) + 77.55 (x'-x) + 0.02 (y'-y)]}{5.2295 (x'-x)} \quad [14]$$

para la ecuación [14]. En el caso particular de una misma zeolita con distintos cationes de cambio

($x=x'$ e $y=y'$), el valor de log Σ (Si) en las ecuaciones [13] y [14] es infinito, y consecuentemente no existe corte entre las distintas superficies, dando lugar a una serie de planos paralelos, cuya separación depende del término M'-M (tabla III), es decir, de los cationes de cambio implicados y no de la zeolita a que pertenezcan. El valor de M'-M establece la escala de solubilidades de una zeolita en función del catión de cambio que posea, siendo la zeolita lítica la que cristaliza a actividades de aluminio más bajas.

TABLA III

Valores de la diferencia log Σ (Na⁺ + Al) — log Σ (M + Al)

ESPECIE CATIONICA	log Σ (Na ⁺ + Al) — log Σ (M + Al)
Li ⁺	1,31
Na ⁺	0,00
Ca ²⁺	-0,01
Sr ²⁺	-0,06
K ⁺	-0,65
Ba ²⁺	-0,66
NH ₄ ⁺	-0,68
Rb ⁺	-0,74
Ag ⁺	-1,27
Cs ⁺	-1,30

Para el caso muy común en el estudio de los equilibrios de una zeolita con pequeñas variaciones de sílice respecto a la fórmula ideal (M=M' e y=y'), las ecuaciones [13] y [14] son independientes de la zeolita, ya que el término función de la composición se anula y la expresión log Σ (Si) se hace igual a -4.25 para la ecuación [13] y a pH-14.8 para la [14]. Esto significa que, para valores superiores a éstos, según disminuye la cantidad de silicio presente en la zeolita, aumentará simultáneamente la actividad del aluminio a la que precipita; para valores inferiores, el efecto será el inverso. Una evidencia experimental de lo anteriormente indicado puede encontrarse en el trabajo de GUTH et al. [9], donde se describe la formación de cristales de zeolita Y, cuya composición química varía uniformemente debido a pequeñas variaciones de la actividad iónica de la disolución.

De acuerdo con las ecuaciones [13] y [14], para una misma zeolita con grados de hidratación dis-

tintos ($M=M'$ e $y=y'$), al aumentar el grado de hidratación, disminuye el valor de la actividad de aluminio al que la zeolita precipita. Esta variación es lo suficientemente pequeña, aproximadamente $4 \cdot 10^{-3}$ unidades de $\log \Sigma (M+Al)$ por molécula de H_2O presente en la zeolita, para que sea prácticamente imposible controlar el grado de hidratación durante la síntesis.

b) Estudio particular de la formación de zeolitas en condiciones naturales y de laboratorio

Las zeolitas estudiadas en este apartado son las naturales: analcita, faujasita, filipsita, clinoptilolita, mordenita, epistilbita y thomsonita, y las sintéticas hidrosodalita, zeolita A, zeolita P y zeolita Y, todas ellas en su forma sódica.

En el cálculo del diagrama de la faujasita se han utilizado los valores de composición dados por BRECK (1974) para esta fase $M_{1/n}(AlO_2)(SiO_2)_2 \cdot 4H_2O$ ($x=2, y=4$). Sustituyendo en la ecuación [1] los datos de la tabla I, puede calcularse para la faujasita sódica un valor de $\Delta G^0_f = -3797,09$ (KJ/mol). Empleando los datos de la tabla II en las ecuaciones [7], [9] y [11], se ha calculado el diagrama del equilibrio faujasita-iones en disolución, que aparece en la figura 1, en la cual se representa también la secuencia de faujasitas con otros cationes de cambio.

El estudio de faujasitas con variaciones de la composición de sílice respecto a la fórmula ideal, se ha efectuado utilizando los límites de composición dados por BRECK [10] para faujasitas sódicas y que corresponden a las fórmulas extremas: $Na [(AlO_2)(SiO_2)_{1.875}] \cdot 4H_2O$ [1] ($x=1.875, y=4$) y $Na [(AlO_2)(SiO_2)_{2.1875}] \cdot 4H_2O$ [2] ($x=2.1875, y=4$).

El diagrama del equilibrio de ambas se representa en la figura 2. La línea ABCDE representa las condiciones para las cuales coexisten todas las variaciones posibles de la faujasita sódica.

De la forma anteriormente señalada, se han estudiado los restantes diagramas de estabilidad para la analcita, filipsita, clinoptilolita, mordenita, epistilbita, thomsonita, hidrosodalita, zeolita A, zeolita P y zeolita Y. Por ser muy similares a los de la faujasita, no se presentan individualmente.

Con vistas a la aplicación práctica de los valores de actividades iónicas que se pueden deducir de

los diagramas de estabilidad de zeolitas, hay que tener siempre presente que en una disolución con alto contenido en aluminio, la actividad de este disminuye por precipitación de hidróxidos amorfos, produciendo en realidad geles silicoaluminicos estables (BOSMANS y FRIPIAT, 1956). En este lecho de geles amorfos se va a producir la cristalización de la zeolita pura o de la mezcla de zeolitas, dependiendo de la concentración residual de aluminio y sílice presentes en la disolución, la cual es bastante inferior a la concentración iónica de partida.

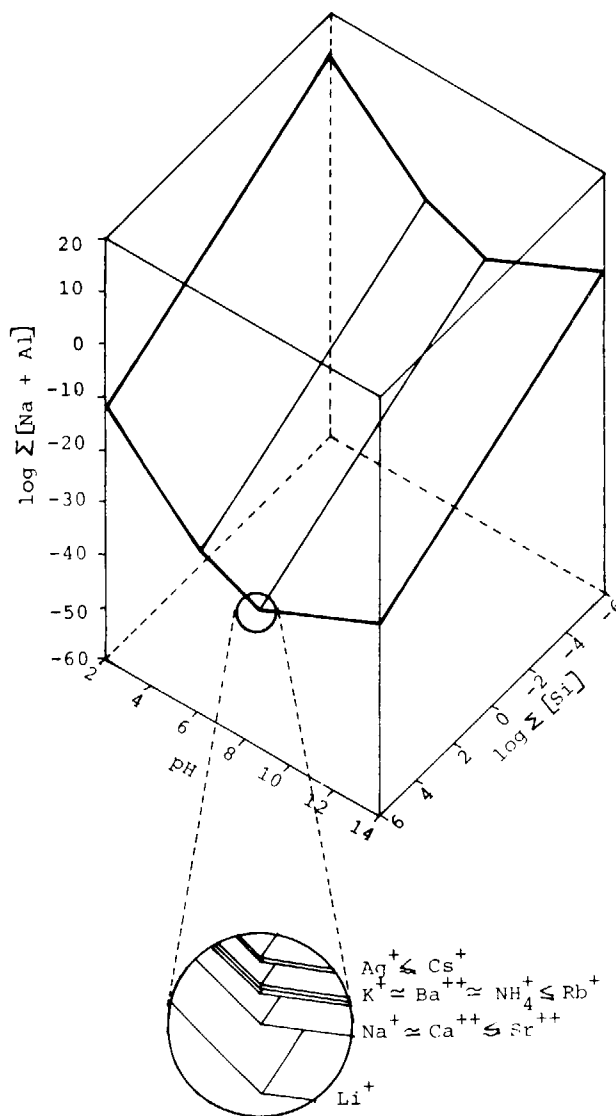


Figura 1a.—Diagrama del equilibrio iones en disolución-faujasita Na.

Figura 1b.—Detalle del diagrama de la faujasita con diversos cationes de cambio.

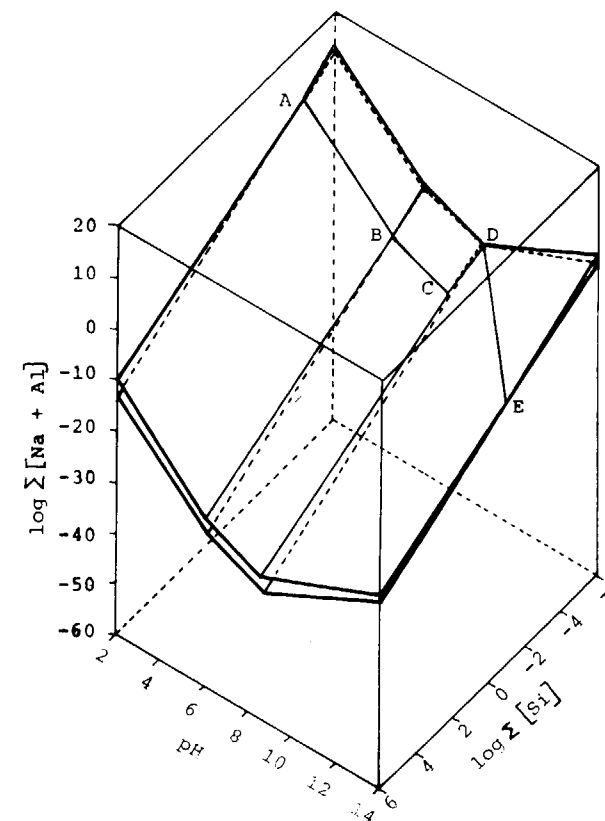


Figura 2.—Diagramas del equilibrio entre fases ricas y pobres en SiO_2 de la faujasita-Na.

La figura 3 es un corte realizado a pH 14 (condiciones normales de síntesis de laboratorio) del diagrama tridimensional de estabilidad de las once estudiadas. En este diagrama se representa el campo comprendido entre los límites 2 y -2 del $\log \Sigma (Si)$; se ha escogido este intervalo por ser el más representativo de las síntesis de laboratorio.

El equilibrio de solubilidad fija el intervalo de $\log (Na+Al)$ entre los límites -5 y -15. Las distintas líneas representan los diversos equilibrios de las fases zeolíticas con los iones en disolución. Como puede verse en la figura 3, existen tantas familias de líneas como zeolitas con distinto contenido en SiO_2 de la zeolita. Las curvas se cortan aproximadamente a un valor de $\log \Sigma (Si)$ de -0.75, esto se debe a que en la ecuación [14] el valor de (M^2-M) es cero y 0.02 ($y-y'$) es despreciable en la expresión. Este valor de -0.75, divide el diagrama en dos zonas. Para valores de $\log \Sigma (Si)$ inferiores a 0.75 precipitarán preferentemente las

zeolitas con alto contenido en sílice, evolucionando posteriormente a zeolitas con menores contenidos en sílice, siempre que la actividad iónica de $\log \Sigma (Na+Al)$ de la disolución lo permita. Por el contrario, para valores mayores de -0.75, está favorecida la precipitación de zeolitas con bajo contenido en sílice, su posterior evolución a fases más ricas en sílice (más estables termodinámicamente) requiere, según el diagrama, valores de $\log \Sigma (Na+Al)$ muy inferiores a los de la zona primera, lo cual imposibilita su transformación a zeolitas con alto contenido en sílice.

Se ha efectuado también el estudio del corte a $\log \Sigma (Si) = -4$ (≈ 10 ppm, actividad normal de la sílice en las aguas continentales) para las mismas familias de zeolitas que en el caso anterior. En la figura 4 se representan los equilibrios de las distintas fases zeolíticas con sus iones en disolución, representando el $\log \Sigma (Na+Al)$ en función del pH del medio. Como puede observarse en la citada figura, hasta pH 8 las líneas que determinan los

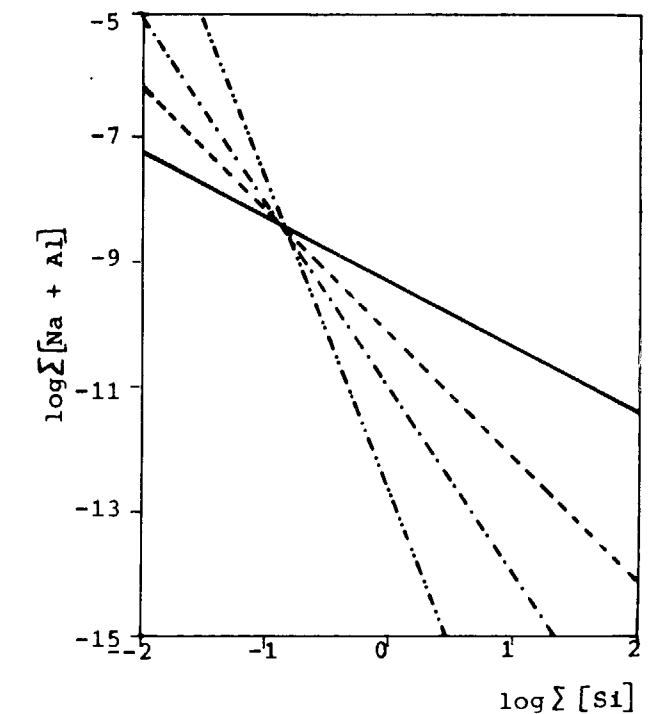


Figura 3.—Diagrama de los equilibrios entre zeolitas sódicas a pH=14.

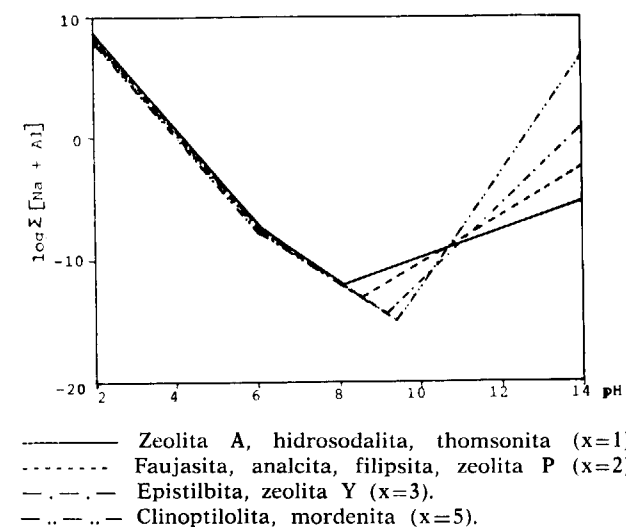


Figura 4.—Diagrama de los equilibrios entre zeolitas sódicas a $\log \Sigma(Si) = -4$.

equilibrios fase cristalina-iones en disolución son paralelas y muy próximas entre sí. Este hecho implica que las condiciones de cristalización de las distintas fases sean muy similares, y por tanto, la obtención de fases puras y de composición química prefijada es prácticamente imposible a estos pH. No obstante, como puede observarse en la figura 4 las zeolitas que primero cristalizarán son las fases pobres en sílice, evolucionando posteriormente hacia las de mayor contenido en él, estas últimas son termodinámicamente más estables.

A partir de pH 8, para $\log \Sigma(Si) = -4$, las líneas que determinan los equilibrios entre las fases cristalinas e iones en disolución dejan de ser paralelas, aumentando más su pendiente según es mayor su contenido en sílice. Esto implica que las distintas líneas de equilibrio se corten a un pH próximo a 11. A partir de este pH el orden de cristalización se invierte, siendo las primeras en hacerlo las de mayor contenido en sílice, evolucionando con el tiempo a fases con menor contenido en él.

CONCLUSIONES

A partir de las energías libres standard de formación, calculadas mediante el método propuesto por AZNAR (1983) y LA IGLESIA y AZNAR (1985), se pueden determinar los campos de estabilidad de zeolitas. Obteniéndose expresiones matemáticas aplicables a todo el rango de composiciones químicas de estas fases cristalinas.

Del estudio de los diagramas de estabilidad puede concluirse que:

1. Para una misma zeolita, a pH constante, la actividad del aluminio necesaria para conseguir la precipitación, disminuye según aumenta la actividad del silicio del medio.
2. Para una misma zeolita, a actividad de silicio constante, la actividad del aluminio necesaria para la precipitación, disminuye según aumenta el pH del medio, hasta un valor de éste comprendido entre 6,71 y 10,58. Por encima del límite superior es necesario un aumento de la actividad del aluminio consecuente con el aumento del pH.
3. La actividad iónica del medio en que cristaliza una zeolita apenas influye en el grado de hidratación de ésta.
4. A pH 14, para $\log \Sigma(Si)$ inferior a -0.75 , cristalizarán en primer lugar las zeolitas con mayores contenidos en sílice. Por el contrario, para valores superiores a -0.75 cristalizarán primero las zeolitas con menor proporción en sílice. Esta barrera de inversión se desplaza hacia valores de $\log \Sigma(Si)$, menores conforme disminuye el pH.
5. Para dos zeolitas iguales, pero con distintos cationes de cambio, el orden teórico de precipitación según disminuye la actividad del aluminio en la disolución, es el siguiente: zeolita lítica, sódica, cálcica, estróncica, potásica, bárica, amónica, rubídica, de cesio y de plata.

BIBLIOGRAFIA

- AZNAR, A.: *Tesis de Licenciatura*. Facultad de C. Químicas, Universidad Complutense de Madrid (1983).
- BOSMANS, H., et FRIPIAT, P.: *Pedologie*, 8, 184 (1958).
- BRECK, D. W.: *Zeolite molecular sieves*. Wiley-Interscience, New York (1974).
- GARRELS, R. M., and CHRIST, C. E.: *Solutions minerals and equilibria*. Harper and Row, New York (1965).
- GUTH, J. L.; CAULLET, PH., et WEY, R.: *Bull. Soc. fr. Minéral. Cristallogr.*, 99, 21 (1976).
- HEM, J. D., and ROBERSON, C. E.: *U. S. Geol. Surv. Water Supply Pap.*, 1827-A (1976).
- LA IGLESIA, A., and AZNAR, A.: *Enviado a Zeolite* (1985).
- LA IGLESIA, A., and OOSTERWYCK-GASTUCHE, M. C. VAN: *Clays and Clay Min.*, 26, 397 (1978).
- LÓPEZ AGUAYO, A.; LA IGLESIA, A.; DOVAL, M., and MENÉNDEZ, F.: *Proc. of 8th Intern. Kaolin Symp. Meet. on Alunite*. Madrid-Roma, sept. 7-16 (1977).
- RAUPACH, M.: *Aust. J. Solid. Res.*, 1, 28 (1963).
- ROBIE, R. A.; HEMINGWAY, B. S., and FISHER, J. R.: *Geol. Surv. Bull.*, 1452, 1456 (1979).

Recibido: Octubre de 1984.

INFORMACION

Mineros destacados del siglo XVIII Rafael Cavanillas y Malo (1778-1853)

Por J. M. LOPEZ DE AZCONA

1. NACIMIENTO

Hijo de Juan Antonio Cavanillas, natural de Saceruela, y de Josefa López de Malo y Andrés, de Campo de Criptana, nace en Almadén (25 de octubre de 1778). Rafael Cavanillas y López de Malo. Fue bautizado en la Parroquia de Nuestra Señora de la Estrella (28 de octubre de 1778). Durante el curso de su vida cambió la ortografía del primer apellido y del segundo, figurando en la mayoría de los documentos oficiales como Rafael Cavanillas y Malo.

2. ESTUDIOS

Dadas sus aficiones mineras dominantes y el contacto continuo de su padre con las minas, se decide pasar a Madrid con el objetivo de cursar en los Reales Estudios de San Isidro los conocimientos básicos para alcanzar la designación de alumno de la Real Academia de Minas de Almadén (R. O. de 17 de junio de 1798), en donde siguió los estudios como miembro único de la promoción de este año y número 18 en la relación general de alumnos. Alcanzó el grado de Cadete de este centro (R. O. de 23 de julio de 1800).

Cuando regresa Diego de Larrañaga y Gárate (1760-1814) de ampliar su formación minerometalúrgica por varios países de Europa central, se fija en Cavanillas como su posible colaborador (junio de 1800), lo considera como discípulo predilecto y lo instruye en geometría subterránea y minería.

3. ACTIVIDAD PROFESIONAL EN ALMADEN

Piensa contraer matrimonio, pero el Real Despacho solicitado es denegado, por no haber alcanzado la categoría

requerida, criterio mantenido hasta la Real Orden de 2 de febrero de 1805. Pronto le conceden el nombramiento de Delineador de aquellas minas (R. O. de 19 de mayo de 1802), categoría mínima para obtener la Real Licencia, y casarse con Rosa Charrillo.

Durante la Guerra de la Independencia (1808-1813) permaneció en las minas, prestando valiosas ayudas a Diego de Larrañaga (1760-1814) y a Federico Carlos de la Garza y Martínez (1757-1832); superó extraordinarias dificultades y procuró mantener la producción de mercurio.

Viudo en primeras nupcias, el Delineante de Almadén de segunda clase contrae sus segundas nupcias en la Parroquia de Nuestra Señora de la Estrella de Almadén (19 de marzo de 1810) con Beatriz Doz (nacida en 1783), viuda del Comisario del Real Establecimiento Juan Castells y Betancourt. De este segundo matrimonio quedaron dos hijos, ambos naturales de Almadén, Rafael Martín (8 de septiembre de 1813) y Manuel Eusebio (5 de marzo de 1823).

Pasa a Linares (12 de agosto de 1815) como Subdirector de las minas. En Almadén es necesaria la presencia activa de este ingeniero para restablecer las labores, y reclamado por Garza lo destinan (R. O. de 5 de marzo de 1816) como Subdirector y Teniente de Superintendente del departamento de Almadenejos. De este período (5 de abril de 1822) es la memoria de 60 páginas, presentada al Soberano Congreso Nacional, sobre las minas de Almadén. En ella defiende la importancia de estas minas y se opone a la propuesta presentada (1822) por Francisco Paula del Villar para «la más acertada resolución de los asuntos de América y otros importantes de España», basada en llegar en Almadén a una producción anual de 50.000 quintales. En la memoria sostiene el ingeniero que en las condiciones de la mina, debe fijarse la producción máxima en 21.000 quintales anuales, «cuya ruina es inevitable,

si la ambición dirige las labores, con olvido del orden y método que debe acompañarlas».

4. ACTIVIDADES EN LA DIRECCION GENERAL DE MINAS

Cuando designan a Fausto de Elhuyar y de Súbice (1755-1833) Director General de Minas (R. O. de 18 de diciembre de 1825), se asesora por Garza sobre posibles colaboradores, y da el nombre de Cavanillas como el más apto para la Secretaría de la Dirección General de Minas, quedando incluido con esta categoría y número 4 en el escalafón recién creado (R. O. Palacio de 18 de septiembre de 1826) y una asignación anual de 24.000 reales.

Con motivo del fallecimiento de Garza (22 de enero de 1832) asciende a Inspector General segundo (R. O. de 3 de febrero de 1832); por el de Elhuyar (6 de enero de 1833) a Inspector General primero (R. O. de 23 de abril de 1833), y por el de Estanislao Peñafiel, a Director General de Minas (R. O. de 4 de septiembre de 1835), cargo que tenía acumulada la Dirección de la Escuela de Ingenieros.

En varias ocasiones elevó escritos a la superioridad (1833-1835), pidiendo el aumento de las plantillas de Ingenieros en la Dirección General de Minas, por ser insuficientes para realizar la labor inspectora de la industria y los estudios geognósticos de las formaciones con interés industrial.

Dispuesto por Fernando VII (1813-1833) la creación del Real Cuerpo Facultativo de Minas (R. O. de 21 de septiembre de 1833), trabajó activamente con Timoteo Alvarez de Veriña y Cadrecha (1779-1834) en su organización. Organizado el Cuerpo de Ingenieros Civiles (R. D. de 30 de abril de 1835) con tres inspecciones: Caminos, Minas y Bosques, queda incorporado el Real Cuerpo Facultativo de Minas, con un Inspector General al frente de la escala. Sufre el Cuerpo otra organización (R. D. de 14 de abril de 1836), quedando constituido con 35 plazas.

5. ACTIVIDADES EN EL REAL CUERPO FACULTATIVO DE MINAS

Desde Madrid mantiene relaciones activas con Almadén, hace la correspondiente campaña política y sale elegido (1834) Procurador a Cortes por la provincia de Ciudad Real, y posteriormente (1839) Diputado.

Fue uno de los puntales para el traslado de la Escuela de Almadén a Madrid. Logrado esto (R. O. de 5 y 23 de abril de 1835) tuvo como ocupaciones fundamentales el acoplamiento en los deficientes locales, formar el cuadro de profesores y preparar el reglamento. Encomienda la organización de los laboratorios (R. O. de 21 de junio de 1835) a Lorenzo Gómez Pardo (1801-1847). Llegada la fecha de inauguración de la función docente (24 de octubre de 1835), no puede celebrarse el acto solemne por no haberse terminado las instalaciones; se espera éste todo preparado para el 7 de enero de 1836, y la superioridad

acepta esta fecha (R. O. de 21 de diciembre de 1835). Propone el Reglamento de Régimen y Gobierno (18 de diciembre de 1835), aprobado sin modificación (R. O. de 20 de enero de 1836). Con su reorganización del Cuerpo de Minas (R. O. de 14 de abril de 1836) quedó establecida la Junta Consultiva de Minas.

Entre sus actuaciones de esta época, destacan las modificaciones introducidas en la estructura y bases para la Dirección y Administración de las Reales Minas de Almadén (R. O. de 10 de octubre de 1835). A los ataques contra la Ley orgánica de Minas (4 de julio de 1825), responde con un documento folleto de 20 páginas (1837). También publicó un interesante folleto de 52 páginas sobre las Minas de Almadén (1838).

Los cambios políticos se acercan, muchos esperan el pronunciamiento (1840), y consecuencia del mismo es el cese de este político y es sustituido por Fernando de Caravantes (1791-1850). Durante la cesantía, trabaja en asuntos particulares, entre otros en el estudio de los lignitos de Mequinenza, por su importancia para la entidad «Empresa de transportes de Zafra a Barcelona por el Ebro y mar, con barcos de vapor de ida y vuelta» (1842).

Nuevos cambios políticos; Caravantes se jubila forzoso (23 de diciembre de 1843) y con la misma fecha fue designado Director General de Minas, Presidente del Tribunal Superior de Minas. Nuevamente, es elegido Diputado a Cortes por Ciudad Real, puesto desempeñado hasta 1846. Fue elegido Senador del Reino (1846) y por sus destacados trabajos agraciado (1846) con el grado de Caballero de la Real Orden de Carlos III y con la Gran Cruz de Isabel la Católica (1849).

Fue de gran importancia la O. M. (28 de julio de 1846) preparada personalmente, por la que se daba cumplimiento a la Instrucción Provisional de Minas (1825) número 70, por la que se ordenaba cómo las Inspecciones de Minas debían reunir y remitir a la Dirección General las colecciones geológicas y mineralógicas de sus respectivos distritos, reiterándole fuesen lo suficientemente representativas para preparar una Carta Geológica del Reino de los productos minerales de sus demarcaciones.

Durante el nuevo período de actuación, logró unas disposiciones criticadas por los Ingenieros de Minas y otras elogiadas; entre las primeras citamos el restablecimiento de un Superintendente de azogues, con independencia del Cuerpo de Minas.

Llevó Cavanillas al ánimo del Ministro de Comercio, Industria y Obras Públicas, Juan Manuel Menéndez y Bravo-Murillo (1803-1873), la importancia de la edición de un mapa geológico nacional con la descripción de sus riquezas minerales. Una labor de este tipo facilitaría la explotación de las riquezas minerales, reduciendo gastos inútiles de cataduras y labores mineras. Facilitaría la ejecución de las obras públicas, tanto desde el punto de vista de la naturaleza del terreno, como de la facilidad para encontrar los materiales de construcción adecuados. Sería de gran ayuda para la agricultura y la selvicultura por su orientación en las plantaciones a realizar y de los abonos a utilizar, y para las regiones áridas, por la posibilidad

de salvar sus necesidades con las aguas subterráneas. Su Majestad la Reina, con esta exposición, apreció en toda su importancia la obra proyectada y ordenó la preparación del correspondiente Real Decreto, quedando creada la Comisión de la Carta Geológica del Reino (12 de julio de 1849).

Prepara la reforma legislativa del Ramo de Minas, pero de acuerdo con los criterios económicos de la época, está aneja la supresión de la Dirección General de Minas. Queda sancionada la Ley (11 de abril de 1849) y su reglamento (R. D. de 31 de julio de 1849), por el artículo 39 de la primera, queda constituida la Escuela de Madrid como centro de formación de los aspirantes al Cuerpo de Ingenieros de Minas, y por el 12 del Reglamento, que también lo es del Cuerpo, queda separada la Dirección de la Escuela.

Cesado en sus puestos, por la reorganización administrativa, es confirmado Cavanillas (R. D. de 9 de agosto de 1849) en la Dirección de la Escuela y en la Vicepresidencia de la Junta Facultativa de Minas.

Preparó el Reglamento de Régimen Interior de la Escuela (R. O. de 21 de mayo de 1851) y la última reunión del claustro en que participó (28 de agosto de 1853) dejó el acta sin firmar.

Entre los trabajos publicados durante este período, figuran varios artículos para el diccionario de Pascual Madoz (1806-1870) en 16 tomos (1845-1850). Un informe sobre el estado de la minería del reino, presentado al Gobierno a fines del año 1845, publicado en los Anales de Minas. Sobre las minas de cobalto del Valle de Gistain, el Pirineo de Aragón (1851) en *Revista Minera*.

La reforma. Modelo que servirá de base a Madrid, en la edición de la Carta Geológica del Reino, en 1849.

Rafael Cavanillas

6. FALLECIMIENTO

Fallece de hepatitis en su domicilio, el de la Junta Facultativa de Minas, sin recibir sacramentos (5 de diciembre de 1853) y sin testar. Dispone Beatriz Doz, viuda del Director de la Escuela, Inspector General primero de Minas, Vocal del Consejo Real de Agricultura, Industria y Comercio, sea amortajado con el uniforme de gala de minas. El lunes siguiente sale de la calle del Florín, número 2 el vistoso entierro a la federica: palafreneros con calzón,

ujieres con uniformes de gala, portando hachones, de la Inspección de Minas, Escuela, Senado, Consejo Real, el clero de la Parroquia de San Sebastián con cruz alzada, landós con destacadas personalidades de la política e ingeniería y buen número de alumnos de la Escuela. Unos asisten de uniforme, otros de levita. Cruza la comitiva la Puerta de Toledo, entra en la Sacramental de San Nicolás y ante el nicho donde se va a depositar el cadáver dispone Rafael Amar de la Torre (18...-1874) la identificación del cuerpo. Procede el Subinspector de Minas a la apertura de la caja de caoba, con guarniciones de plata, y aparece vestido con el magnífico uniforme de gala, de paño azul turquí, bordado con fino canutillo de oro; la banda, venera y placa de Isabel la Católica, en oro y esmaltes, y la cruz de Carlos III en plata y esmaltes. En la mano derecha el sombrero orlado con pluma negra, correspondiente a su rango de Inspector General. Recordaba en todos sus detalles el óleo conservado en la galería de retratos del desaparecido Consejo Superior de Minas y Metalurgia. Identificado por todos los presentes, en aquel frío día invernal, pronunció Amar un panegírico breve, finalizado con la frase: «Hoy baja al sepulcro con los títulos de saber, honradez y patriotismo».

En el expediente de viudedad de Beatriz Doz (legajo 32-exp. 5073) se conserva el título original de Inspector General de Ingenieros de Minas y Vicepresidente de la Junta Superior Facultativa de Minería firmado (15 de abril de 1853) por Isabel II. La pensión concedida a la viuda (O. M. de 30 de junio de 1854), fue de 12.000 reales anuales.

7. BIBLIOGRAFIA

- MAFFEI, Eugenio, y RUA FIGUEROA, Ramón, *Bibliografía Mineral Hispano-Americana*, 2 tomos, Madrid, 1871, 530 y 694 págs.
- LÓPEZ DE AZCONA, Juan Manuel, y MESEGUER Y PARDO, José, *Contribución a la historia de la geología y minería españolas*. Inst. Geol. y Min, Madrid, 1964, 140 págs.
- LÓPEZ DE AZCONA, Juan Manuel, *La enseñanza de la minería en el mundo hispánico*. Madrid, 1979, 200 págs.

La minería Alpujarreña en la primera mitad del siglo XIX

Capítulos 3, 4 y 5

Por G. NUÑEZ ROMERO-BALMAS
Universidad de Granada

3. CONSTITUCION DEL ESTANCO DEL PLOMO

Hacia 1750 escribía el cura de Dalías don ANDRÉS VÍLCHEZ Y ENCISO sobre la sierra de Gádor que era «bien conocida en el reino de Granada; abunda mucho en yerbas de particulares virtudes siendo por eso muy frecuentada de extranjeros y también por hallarse en ella una cueva que llaman del Sabinar, de donde se dice haber sacado muchas piedras preciosas, plata y oro» (64). Nos encontramos, pues, en una etapa casi mítica de la minería alpujarreña con sólo cincuenta años de antelación a su gran florecimiento. Podríamos remontarnos a los fenicios, como hacen la mayoría de los eruditos locales, pero ni tales datos aparecen plenamente confirmados ni cabe pensar en una minería antigua ampliamente desarrollada, por la dureza de las rocas de la sierra y por la consiguiente inexistencia de escoriales antiguos, la falta de rastro de labores de aquellos tiempos.

Los informes documentales más antiguos que se conocen sobre la minería alpujarreña podrían ser los procedentes de una inspección pericial que realizaron en octubre de 1562 JUAN PÉREZ DE MESCUA y HERNANDO DE VELASCO por orden del secretario FRANCISCO DE ERASO (65). Treinta y cinco años después, el Alcalde Mayor de las Alpujarras, JUAN FALCONI, informó nuevamente al Rey sobre las minas de la sierra de Gádor y Dalías (66). En adelante las noticias descriptivas son sumamente escasas hasta la etapa de apogeo, ya en el siglo XIX, salvo algunas, más curiosas que sustanciales, como la que encabeza estas líneas (67).

(64) Véase original manuscrito en la *Geografía histórica de España*, en la Biblioteca de la Real Academia de la Historia, 9-6, 358 cit., por GIL NOVALES, *William MacLure. socialismo utópico en España 1808-1840*. Barcelona. Universidad Autónoma, 1979, pág. 111.

(65) Véase A. G. S., serie «Diversos de Castilla», 8-17, número 1.328, tres cartas de 16 y 21 de octubre.

(66) Véase A. G. S., serie «Constit. Generales», leg. 854.

(67) Existen, no obstante, varios libros de interés con datos cuantitativos sobre las fundiciones reales desde 1748 a 1786, que no han sido objeto de nuestro estudio pero

La historia en profundidad del monopolio y renta del plomo está aún por hacer. Poco sabemos de lo sucedido y de su importancia entre 1646, en que DIEGO FELIPE DE CUADROS asentara con la Corona las minas de Linares, momento en el que se estancó la venta de los plomos, hasta 1748, cuando la Corona reclamó la administración directa del ramo, que había venido siendo renovada decenalmente (68). A lo largo de estos años fue la de Linares la zona más importante, predominio que en adelante va a cambiar de forma gradual, pero acusada, y para todo un siglo a favor de la minería alpujarreña, que tomará el relevo con ventaja.

La importancia del monopolio estatal fue muy considerable a lo largo de la segunda mitad del siglo XVIII y su peso en los ingresos del estado creciente. CANGA ARGÜELLES recoge el producto líquido de la renta en aquellos años, que pasa de cuatrocientos mil reales en 1758 (69) a más de seis millones en 1788 (70) y a casi ventidós millones en 1797 (71); en dichas cifras la proporción corres-

que constituyen un material de primer orden para un trabajo futuro. Véase «Cuentas de las Fábricas de Linares, Canjáyar y Andarax, Baza, Motril, Lorca y Falset y del depósito de Almería. 1748-1780». A. G. S., «Dir. Gral. de Rentas», leg. 2.630; «Plomo. Cuentas por provincias: 1748-1780». A. G. S., leg. 2.620-29, y «Cuentas generales de la renta del plomo y sobre las minas de Canjáyar. 1781-86», en A. G. S., leg. 1.673-75.

(68) GALLARDO Y FERNÁNDEZ, *Origen, progreso y estado de las rentas de la Corona de España, su gobierno y administración*, Madrid. Imp. Real, 1805-08, t. VI, p. 474.

(69) *Ibid.*, p. 469. Da la cifra de 1.074.396 rs. vn. para 1759.

(70) CANGA ARGÜELLES, *Diccionario de Hacienda con aplicación a España*, t. II. Madrid. Calero y Portocarrero, 1834, p. 407.

(71) Esta cantidad debía representar un 3 por 100 de los ingresos generales del Tesoro y un 12 por 100 de las Rentas Provinciales. Véase PLAZA PRIETO, *Estructura económica de España en el siglo XVIII*, Madrid, Cajas de Ahorros, 1975, pp. 537-39.

pondiente a las minas de la Alpujarra hubo de crecer en términos muy superiores que el total, para compensar la crisis linarense y también por su más fácil salida al mar.

Con motivo de la reversión del estanco a la Corona se dispuso en particular de las minas y fundiciones del Reino de Granada; se ordenó que «del modo que en Linares, se hará formal entrega a los administradores nombrados de todos los géneros plomizos que se hallen en las fábricas de Bentarique y Presidio de Andarax, en el Reino de Granada, y en las de Campo Coy, en el Reino de Murcia, como también estas fábricas hecha su tasación» (72). En adelante el auge minero fue considerable hasta alcanzar el apogeo entre 1820 y 1835: de momento y para setenta años el crecimiento, la prosperidad y sus caracteres estarán condicionados por el principio de regalía minera de la Corona sobre las minas y, sobre todo, por la rigurosa permanencia del estanco de géneros plomizos.

En 1751 la minería y metalurgia del plomo en la región tenían aún escasa importancia; dicho año fueron entregadas a las oficinas de la renta del Presidio de Andarax tan sólo ochocientos setenta y ocho quintales de plomo (de ellos ochenta en concepto de impuestos) y aproximadamente la mitad de alcohol de hoja (73); tan sólo treinta mineros recoge allí el catastro, que obtuvieron unos ingresos medios de setecientos cuarenta y cinco reales de vellón. Existía por entonces otra fábrica en la localidad de Bentarique, próxima a la anterior, de cuyo estado carecemos de toda referencia.

En 1790 la explotación minera de la Alpujarra había crecido ya considerablemente y son citadas entonces «en el reino de Granada las (minas) que se disfrutaban de cuenta de la Real Hacienda y de particulares en Baza y su sierra y la de Gor, en Canjáyar las del Presidio de Andarax, las de Motril y sierras nombradas de Lujar» (74).

El auge de la minería alpujarreña aparece inicialmente relacionado con la decadencia imparable de la minería de Linares (75), pese a los esfuerzos modernizadores del siglo XVIII (76). No obstante, el peso linarense continuó siendo considerable por lo menos hasta el final del siglo y sólo en 1788 tenemos constancia de su incapacidad para atender al surtido de las administraciones del

(72) GALLARDO Y FERNÁNDEZ, op. cit., p. 474.

(73) CATASTRO DE ENSENADA. Respuestas Generales «Presidio», en Archivo Real Chancillería. Granada. Núm. 652.

(74) *Instrucción para la administración de géneros plomizos*, en A. H. N. sección de Hacienda. Leg. 8.042, folio 38.

(75) VICENS VIVES & NADAL OLLER, *Historia social y económica de España y América*. Barcelona. Vicens, 1972, vol. IV, p. 143.

(76) MUÑOZ DUEÑAS, «Importancia del factor tecnológico en el crecimiento económico del distrito de Linares. 1850-81». En *Andalucía Contemporánea*. Actas del primer congreso de Historia de Andalucía. Córdoba. Monte de Piedad, 1977, p. 405.

reino (77). A lo largo de esta segunda mitad del siglo XVIII y ante la crisis jiennense se crean nuevas fábricas en el Reino de Granada, en Alcora (Canjáyar), Baza, Motril y Turón, mientras que desaparece la que anteriormente existió en Bentarique; la producción aumentó de forma continua y se llega a alcanzar en 1799 los nueve mil quintales (78) para todo el Reino de Granada. Estos datos, generalmente criticados, en este caso deben ser evaluados como muy por defecto, ya que en el citado año se recibieron en Almería diez mil novecientos cincuenta quintales (79) procedentes sólo de las fábricas de Canjáyar y Presidio; la idea de un rápido crecimiento a lo largo de la segunda mitad del siglo XVIII parece plenamente ratificada pese a que es generalmente admitido el que la minería alpujarreña no comenzara a desenvolverse en modo alguno hasta después de 1820 ó 1825. La impresión que en los contemporáneos produjo la fiebre minera de los años veinte eclipsó completamente la evolución anterior (80), que conviene, por tanto, resaltar; CAVANILLES expresa la idea rotundamente al escribir «a fines del siglo pasado sólo se trabajaban las pocas minas pertenecientes al Estado y alguna que otra de particulares en Galicia y en las Alpujarras, habiéndose paralizado también en sus trabajos a pesar de ser conocida la abundancia de mineral plomizo en la sierra de Gádor» (81). Igualmente pensaba MONASTERIO, acaso más radicalmente, puesto que atribuye a los primeros años del siglo XIX una producción media de mil trescientos quintales para la sierra de Gádor (82).

Mejor informado GALLARDO, utilizando fuentes administrativas de la época, consigna para fines del siglo XVIII una situación mucho más compleja y acorde con las cifras que hemos podido extraer de la contabilidad de la renta. Siete términos municipales de la sierra de Gádor (Almería, Gádor, Almócita, Canjáyar, Padules, Presidio y Berja) tenían minas en distintos estadios de explotación, todas ellas concedidas entre 1771 y 1797, lo que

(77) Entre 1749 y 1778 calcula PONZ que fuera la producción del orden de ciento veinte mil quintales castellanos. Véase *Viaje por España*, Madrid, Aguilar, 1974, p. 1406.

(78) Véase *Censo de la Riqueza territorial e industrial de España, 1779*. Madrid, 1960, p. 31.

(79) Nuestra propia investigación demuestra cumplidamente esta situación. Véase infra.

(80) La evidencia de un importante auge minero antes de la ley de minas de 1825 resulta del hecho de que en 1839, como hemos podido documentar, un 54 por 100 de las minas eran anteriores a dicha ley. Véase CASTELLANO MONTES & NUÑEZ ROMERO-BALMAS, «Aspectos estructurales de la minería del distrito de Berja en 1839», en *Foro de las Ciencias y las Letras*, 1982, núm. 3.

(81) CAVANILLES, «Memoria sobre el estado de la minería del reino en fin del año de 1845», en *Anales de Minas*, t. V, 1846, p. 404.

(82) MONASTERIO, J., «Si conviene mantener la protección a los diferentes ramos de la industria», en *Conferencias Librecambistas en el Ateneo de Madrid*. Madrid, 1862.

representaba al menos un conjunto superior a las veinte minas (83).

La gestión de la renta experimentó en el siglo XVIII continuas correcciones (84) en busca del aumento de la producción y de más eficaz salida para sus productos; paulatinamente el carácter de monopolio fiscal, con su sistema de estanco, su burocracia y su resguardo, irá dejando paso a una concepción más moderna como empresa casi capitalista, aunque monopolística (impone precios fijos y sobreelevados), volcada sobre los mercados libres del exterior, en donde la demanda y los precios crecen considerablemente al compás de la industrialización. En 1788 se monta el monopolio y el surtido de los almacenes de Almería sobre la producción del Reino de Granada (85) en respuesta al decaimiento de Linares.

En 1804 se intentó reformar la administración de las fábricas y reales establecimientos de Linares, correspondiendo a 1807 la formación de un nuevo reglamento para la minería alpujarreña, con el que también se quiso reformar plenamente el funcionamiento de aquellos establecimientos mineros y metalúrgicos (86); se quiso aumentar la producción y rebajar los costes, pero la pervivencia del monopolio, que ahora se disfrazó bajo la forma de derecho de primer comprador o rescate del mineral por parte del Estado impidió que se lograra plenamente (87); sólo un cambio completo de filosofía económico-política podría lograrlo. La pervivencia rígida de la regalía minera, que limitaba y condicionaba las explotaciones (88), la falta de adecuada definición de los derechos

(83) GALLARDO y FERNÁNDEZ, op. cit., pp. 23 y ss. Por su parte, Tomás GONZÁLEZ descubre en Simancas un volumen creciente de documentos y autorizaciones relativos a la actividad en esta zona. *Registro y relación general de minas de la Corona de Castilla*. Madrid. Burgos, 1832.

(84) Desde 1748 la organización formal y reglamentaria de la renta se va perfilando. La Colección de Ordenes Generales de Rentas del A. H. N. recoge sumariamente este proceso. Así, en 1755-III-12 se separan las rentas del tabaco de las de la pólvora y agregadas (libro 8.020, folios 29-34); en cambio en 1768-II-18, se reúnen con la tesorería de las rentas provinciales las Generales, Lanás, Plomo y Pólvora (libro 8.025, fol. 69 A); en 1773 se vuelve a insistir en la unificación de estas administraciones (libro 8.028, fols. 439-442) y en 1786-XI-2 se establece generalizar la intervención de las rentas provinciales a las del azogue, pólvora y plomo, naipes y azufre (libro 8.037, folios 579-582). En otro orden de cosas, en 1779-IX-24 se exime del servicio personal y de cargas concejiles y vecinales a los estanqueros de pólvora, plomo y agregadas (libro 8.031, fols. 375-376). Véase MATILLA TASCÓN, *Catálogo de la colección de órdenes generales de Rentas del Archivo Histórico Nacional*.

(85) Para desarrollar este punto vid. Infra epígrafe 5.

(86) GALLARDO y FERNÁNDEZ, op. cit., t. VI, p. 470.

(87) CAVANILLES, op. cit., p. 404. Más adelante trataremos con mayor atención el reglamento de 1807.

(88) ELIUYAR, F. de, «Memoria sobre la formación de una Ley Orgánica para el gobierno de la minería de España», en *Anales de Minas*, 1838, p. 45.

de propiedad, produjo mientras tanto un sistema de beneficio rapiñoso y de corto alcance. No obstante, el progreso es irrefutable y en 1807 se alcanza la cifra máxima de envíos a los almacenes de Almería con cincuenta y cinco mil quintales castellanos (2.530 toneladas métricas) y una media para todo el quinquenio en torno a los treinta y siete mil quintales (1.702 Tm.) anuales.

Muy variados eran los inconvenientes que producía el sistema administrativo; la existencia del monopolio imponía trabas y costes suplementarios (89) que no se producirían en el sistema de mercado, en este caso la fiscalidad podría sustituir ventajosamente al monopolio y a la gestión directa, liberaría capitales públicos importantes y permitiría una reducción considerable de los gastos de explotación por medio de un sistema único de recaudación.

Uno de los aspectos más significativos cuando se produzca este cambio y los precios se liberen —con sus consecuencias sobre el volumen de metal y mineral vendidos— será la implantación de un arancel de salida sobre los plomos y alcoholes, anteriormente inexistente (90), además de los conocidos derechos mineros específicos, el canon de superficie y el 5 por 100 sobre el mineral beneficiado.

Dificultades económicas y administrativas de otro orden que también imponía el sistema fueron las complicadas tarifas y más gravosas cautelas necesarias por la existencia de compradores privilegiados en función de los varios usos del plomo, exigida por la lógica misma del sistema mercantilista (91). Se da incluso la paradoja de que los citados compradores contribuyeran a frustrar el mismo monopolio al ser en muchos casos fuentes de abastecimiento del contrabando.

Así y todo, la minería y metalurgia del plomo ocupaban un segundo lugar en cuanto a volumen dentro de la minería española a fines del siglo XVIII y el tercero en valor, en 1796, puesto desde luego muy inferior al que

(89) ENCISO RECIO indica que los principales problemas de las manufacturas reales fueron los excesivos costes, el excesivo burocratismo y la falta de capitales. *Los establecimientos industriales españoles en el siglo XVIII. La mantelería de la Coruña*. Madrid. Rialp, 1963, pp. 40 y ss. En el caso del estanco del plomo es significativo el que sus empleados tuvieran una media de sueldo casi tres veces superior a la del resto de los empleados de la administración de tributos. Véase PLAZA PRIETO, op. cit., pp. 702-703.

(90) NADAL FARRERAS, J., *Comercio Exterior con Gran Bretaña, 1777-1914*. Madrid. Instituto de Estudios Fiscales, 1978, p. 76. Consigna que la exportación de plomo en 1802 era absolutamente libre de gravámenes, mientras que la de barrilla en la misma zona pagaba un derecho de 13 rs. por quintal. Posteriormente se incluyó el plomo en la partida 13.ª del arancel, cargándolo con derechos de exportación de un 10,6 por 100 *ad valorem*, apenas inferiores a los del alcohol de hoja sin elaborar.

(91) Las tarifas de la renta en 1794 aparecen en el apéndice núm. III. Los compradores privilegiados eran alfareros, pescadores, fábricas de tabaco y fabricantes de tipos de imprenta. GALLARDO, op. cit., t. VI, pp. 470-471.

sus amplias posibilidades habrían de permitirle (92) y al que muy pronto alcanzó, en la tercera década del siglo XIX, tras la liberación de la explotación y la más adecuada definición de los derechos de propiedad sobre las minas.

La hipótesis del continuo crecimiento de la explotación a lo largo de la segunda mitad del siglo XVIII y la primera del XIX concuerda perfectamente con el final del sistema administrativo por cuenta del Estado. El auge minero, las iniciativas particulares que se enfrentaban a las rigideces administrativas —propias de quienes se interesaban más por conseguir productos líquidos para un Tesoro en apuros permanentes— y la insolvencia de la Hacienda desde la guerra obligaron a revisar el sistema. El decreto de 3 de noviembre de 1817 sancionó con la abolición la imposibilidad práctica de restablecer las condiciones de funcionamiento de la etapa anterior, amén de que los abusos y la presión sobre los mineros perduraron (93).

El desestanco no resolvió, ni siquiera trató de los problemas específicamente mineros; más aún, el Crédito Público, que en adelante monopolizó las ventas al extranjero, mantuvo un sistema muy parecido al anterior, que funcionaba igualmente mal y mantuvo en permanente incertidumbre a los explotadores. Así las cosas, por Orden de 25 de octubre de 1820, ratificada por la Ley de 22 de junio de 1821, se reconoció la libertad de explotación a nacionales y extranjeros; la presión de los explotadores puso a la defensiva al Gobierno, que se vio en la necesidad de demostrar «con pruebas que a costa de la nación se habían levantado y construido las cinco fábricas del Presidio, Canjáyar, Baza, Turón y Motril» (94).

Los ánimos de los mineros habían alcanzado tiempo atrás un considerable estado de excitación y en 1820 estaban decididos a asignar las minas y repartírselas, e incluso a proponer el reparto de las propiedades públicas. La revolución produjo la espontánea e inmediata supresión de la administración monopolística del ramo y dio comienzo a la fiebre minera que nos ocupa. La legislación de minas de 1825 vino a confirmar y a ordenar, de acuerdo con los viejos principios de la minería hispana, lo que ya era un fenómeno irreversible.

Podemos afirmar que fue un episodio estrictamente alpujarreño. A principios del siglo se explotaba el plomo en varios puntos de la península, algunos aún mucho

(92) Datos estadísticos recogidos por HOPPENSACK, citados por MOREAU DE JONNES, *Statistique de l'Espagne*. París, 1834, p. 139. Véase también ALVAREZ DE LINERA, «Sierra de Gádor», en *Revista Minera*, 1857, p. 107.

(93) MÁRQUEZ, op. cit., pp. 436-437.

(94) IRAZÁBAL, *Ensayo sobre el sistema de Hacienda que podría adoptarse en España y el modo de unificar y extinguir la deuda pública*. Madrid, imprenta Berges, 1836, p. 26. Véase también TEMES & BORJA y TARRIUS & ARANAL, *Exposición de la Junta Nacional del Crédito Público a las Cortes ordinarias de 1822 y 1823 acerca de la violenta inteligencia que han dado los mineros de la provincia de Granada a la Orden de las mismas de 25 de octubre de 1820 y a la Ley de 22 de Junio de 1821, relativa a minas*. Madrid. Imprenta Ramos, 1822.

más importantes que el nuestro; en particular destacaban las minas de Linares, propiedad de la Corona, y las de Falset y las del valle de Gistau (95); no obstante, en 1820 la situación iba a cambiar radicalmente a impulsos casi exclusivamente de la minería del Reino de Granada; «puede decirse que la explotación no se extendió más que a las minas de las Alpujarras, que habían puesto en movimiento a una provincia entera, y atraído a aquel punto grandes capitales nacionales y extranjeros que se empleaban ya en la explotación, ya en la fundición, por la esperanza de un lucro cierto y excesivo» (96). Razones naturales, técnicas y humanas van a permitir un rápido florecimiento de la actividad minera en el sureste, que se incorporará rápidamente a los circuitos comerciales de Europa en proceso de rauda industrialización. Mientras, otros distritos, el de Linares especialmente, entrarán en una prolongada decadencia que resaltará más todavía la originalidad del fenómeno que estamos estudiando.

4. APOGEO Y LIMITES DEL ESTANCO

En la ciudad de Almería, junto al puerto, fueron establecidos a fines del siglo XVIII los Almacenes Principales de la renta del plomo, encargados de dar salida a los productos de las minas y fábricas reales del Alto Andarax y, durante algún tiempo, de Baza. La concepción inicial responde a las necesidades de la Hacienda y de la gestión regional del estanco, atiende al surtido de las dependencias de la provincia y al abastecimiento de las plazas y administraciones de la costa mediterránea. Aún en 1805 se consideraba como privilegio y necesitaba concesión real específica cualquier exportación que se hiciera de los artículos estancados (97).

Naturalmente que una empresa así organizada había de adolecer de muy graves defectos funcionales que lastraron su propio desarrollo y pesaron reciamente sobre la vida de la comarca «Por el poco interés que ofreció en un principio la explotación de las minas de Gádor, el Gobierno se redujo a nombrar un administrador, a quien los mineros eran obligados a vender el alcohol fundido por la cualidad de estanco del género, y puso las de Lújar, que casi no se explotaban a cargo del administrador de Rentas Reales de Motril; pero creciendo el rendimiento de las primeras fabricó plomo el Gobierno por su cuenta.

Llegaron a hacerse tan productivas que el Gobierno no pudiendo o no sabiendo dar salida a los metales, mandó parar las minas en 1799 y continuó haciendo la fundición en las fábricas del Presidio y de Canjáyar hasta consumir

(95) *Colección de Decretos y Ordenes Generales expedidos por las Cortes desde el I-III al 30-VI de 1822*. Madrid, 1822. Imprenta Nacional, pp. 6-9.

(96) ANÓNIMO, «Minas, II», op. cit., p. 37.

(97) Se conserva un libro de 1805-07 de la contaduría de la renta dedicado a las «Sacas de plomo por los agraciados por Real Concesión», en *Archivo Histórico Provincial de Almería*, núm. H-2.923.

sus existencias de alcohol que pasaban de tres millones de arrobas» (98).

El estanco fiscal era pues un sistema que había alcanzado sus límites antes del siglo XIX y que ya entonces impedía todo desarrollo moderno, en función de una demanda industrial, creciente y elástica, y no de abastecimiento tradicional y muy reglamentado de una economía preindustrial. No obstante, la coyuntura internacional proporcionó al estanco una etapa de gran prosperidad en la primera década del siglo XIX (99). Entre 1800 y 1806 los precios del plomo en Inglaterra llegaron a duplicarse; alcanzan entonces los máximos precios de todo el siglo y, pese a la coyuntura bélica, la salida de plomos alpujarreños creció en gran proporción ya que el alza de precios permitía superar con creces las barreras rígidamente impuestas por los precios fijados por la renta; las condiciones físicas y humanas de la comarca pudieron, gracias a la coyuntura, ampliar en notable escala las labores y el sistema del estanco, incapaz de aprovechar activamente la situación, pudo obtener grandes beneficios sin más que dar salida a cantidades crecientes de metal, que alcanzan un máximo en torno a las doscientas mil arrobas en 1807.

En el citado año la filosofía del Gobierno sobre la renta del plomo en Almería cambió al fin decididamente. Hasta entonces había mantenido su idea de utilizar las minas de la Alpujarra para abastecer de forma circunstancial la demanda interior, mientras que las minas de Linares, propiedad de la Corona y explotadas directamente por ella, «desgraciadamente podían ser beneficio-

Linares (101) y se impuso la necesidad de proceder igualmente en el caso alpujarreño, cuya reforma hubo de esperar a 1807 (102) en que el Gobierno «conociendo su error trató de fomentar la explotación de estas minas, y al efecto formó un reglamento particular enviando un director facultativo. Los acontecimientos del año ocho frustraron el proyecto hasta que restablecidas las cosas en el de catorce se permitió la explotación de las minas, siendo nombrado director de ellas don Timoteo Alvarez de Veriña» (103). El citado reglamento procede de un informe que realizó en junio de 1807 Francisco Angulo y que en 31 de julio remitió a la Junta de Comercio, Moneda y Minas; inmediatamente se dispuso la aplicación de lo relativo a denuncias, concesiones y labores, preparación, transporte, entrega y recibo de los alcoholes y se reservó al Estado el monopolio de adquirir y fundir el mineral a precios prefijados (104). El nuevo reglamento favoreció la expansión minera, pero la pervivencia del estanco y el derecho de rescate sobre el mineral seguían siendo una barrera insuperable para la total adecuación a las exigencias del mercado (105); además, abusos de todo tipo (106) y las limitaciones temporales al uso y disfrute de las minas (107) dificultaron la acción de los mineros y provocaron ya en un principio el sistema rapiñoso e incoherente de que adoleció la minería birgitana durante buena parte de su historia.

La documentación de la contaduría de la renta en Almería nos ofrece series cuantitativas muy precisas de las cantidades recibidas en los almacenes principales desde las distintas fábricas. Los totales anuales recibidos durante la etapa de apogeo del monopolio en los Almacenes Principales son los siguientes.

CUADRO 4.1

Artículos de la renta del plomo recibidos en los almacenes principales de Almería (en miles de arrobas)

	1799	1803	1804	1805	1806	1807	1808
Plomo	43,8	100,5	200,8	76,6	198,9	218,9	99,8
Municiones	—	—	19,9	—	—	14,4	2,6
Alcohol	—	—	—	81,6	26	—	—

sas (...) porque aun cuando había plomo en las Alpujarras no podía explotarse (a causa del estanco) y por eso esas minas de Linares vivían a expensas del monopolio perjudicando al resto de la nación» (100).

En los primeros años del siglo nada destacable había ocurrido, si bien la favorable coyuntura debió primar la idea de estimular el desarrollo de la industria minera dejando una mayor libertad a las iniciativas privadas. Así, en 1804 se reorganizó la minería y fundiciones de

(98) ANÓNIMO, «Minas, II», op. cit. CAVANILLAS expresa rotundamente la misma idea.

(99). Véase gráfico 4.1.

(100) ALDAMA, J., «Discurso ante el Congreso de los Diputados el 12-IV-1858 sobre el proyecto de Ley de enagenación de las minas reservadas al Estado», en *Revista Minera*, t. IX, p. 346.

(101). Reglamento de 24-X-1804, citado por GALLARDO FERNÁNDEZ, op. cit., t. VI, p. 470.

(102) Real Instrucción de 1-VII-1807.

(103) ANÓNIMO, «Minas, II», op. cit., p. 37.

(104) PASTOR Y RODRÍGUEZ, J. y R., *Historia de los impuestos mineros en España, desde la Ley de Juan I hasta las vigentes*. Madrid. Imprenta Tello, 1878, pp. 78-79. CAVANILLAS, op. cit., abunda en la misma idea, p. 404.

(105) ANÓNIMO, «Minas, I», op. cit., p. 53.

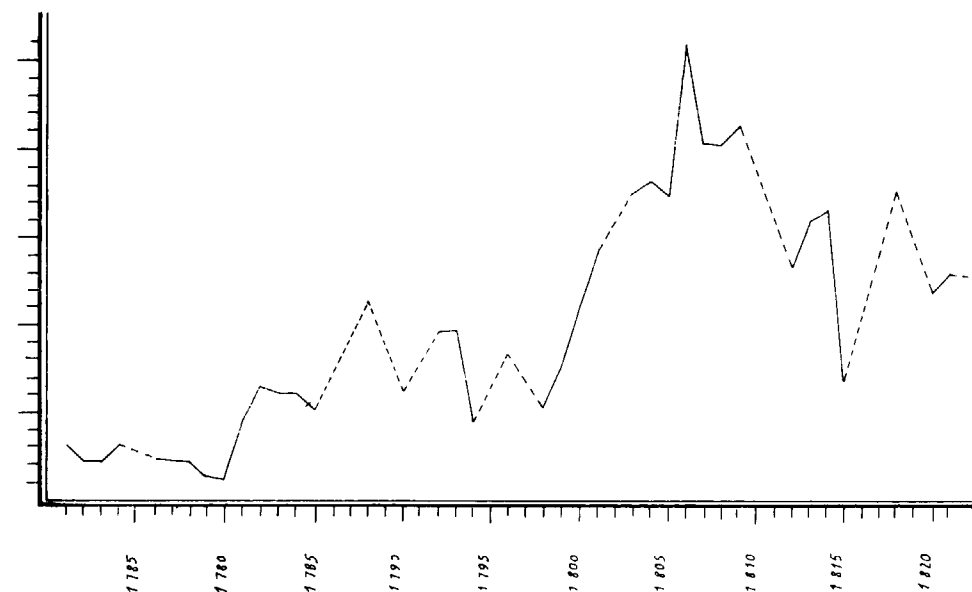
(106) Ibid., cap. II, dice «la avaricia insaciable de los empleados le opuso trabas sin cuenta; y el minero, que se vio vejado y oprimido abandonó un campo de tantas esperanzas».

(107) ELHUYAR, op. cit., p. 45, escribe que «si se permite a los particulares su laboría como en las Alpujarras de Granada por tiempo limitado y exigiéndoseles entreguen los frutos a precios bajos, este sistema sólo podrá acomodarse a los que den con facilidad y mucha abundancia, y despreciando a los de menor calidad».

GRAFICO 4.1

Evolución de los precios del plomo en el mercado de Londres (en libras esterlinas por tonelada)

Fuente: GONZÁLEZ LLANA.



Se ve claramente la importante progresión de los envíos hasta 1807 y un rápido declive desde 1808. En 1805 hay que resaltar también un brusco frenazo relacionado con las visitudes y acciones navales esporádicas durante la tercera coalición. En la etapa de desarrollo máximo se alcanza un tope de 2.700 Tm. de plomo y municiones recibidas en el puerto, con una media anual en torno a las mil quinientas toneladas y a los tres millones trescientos mil reales.

La evolución anual parece reflejar muy directamente la situación de los precios en los mercados extranjeros (108) y la crisis a partir de 1808 visible en la evolución de las remesas de las fábricas se hará aún más evidente durante los años siguientes, en que las exportaciones van a disminuir en proporciones aún mayores.

Los años que median entre 1809 y 1814 constituyen una etapa diferenciada. Aunque la guerra no entró en este rincón de la península hasta mayo de 1810, la actividad de la renta comenzó su declive en 1808, pero es en 1810 cuando la paralización de la administración —que no debió colaborar con los franceses en modo alguno— y

(108) Véase gráfico número 4.1.

las partidas de guerrilleros en las Alpujarras determinaron la desarticulación del sistema, la paralización acaso de las fábricas o, por lo menos, el desvío de la producción por otras rutas que el puerto de Almería.

La producción minera debió quedar prácticamente paralizada ya en 1808, pues sabemos que era norma común el que la administración de la renta paralizara las compras a los mineros en cuanto se acumulaban los excedentes sin vender.

La invasión francesa supuso el comienzo de una difícil etapa para todo el país y, como no podía ser menos, para Almería y para las dependencias oficiales allí establecidas. La lejanía no consiguió mantener apartado al invasor, y tanto su presencia como las repercusiones que trajo se pueden rastrear fácilmente.

La ruptura de hostilidades supuso un cambio radical de alianzas con importantes repercusiones en la distribución de las exportaciones. A partir de mayo puede comprobarse la retirada de los barcos franceses y la progresiva y reiterada aparición de los ingleses. En la contabilidad de la renta esto tendrá unas repercusiones inesperadas; hasta mayo, el comercio local había orga-

CUADRO 4.2

Artículos de la renta del plomo vendidos en Almería para su extracción al extranjero (en miles de arrobas)

	1808	1809	1810	1811	1812	1813	1814	1815	1816
Plomo y municiones	52,3	57,7	9	32,1	—	—	—	—	1,6
Alcohol	—	—	—	5,2	8	23,5	48	—	0,1

CUADRO 4.3

Artículos de la renta del plomo recibidos en los almacenes principales de Almería (en miles de arrobas)

	1809	1810	1811	1812	1813	1814
Municiones	8	8,5	1	2	4,4	3,5
Plomo	11,6	—	92,6	26	53,5	—

nizado compras y envíos (109) y había cargado además con los gastos de conducción y embarque. En 1809 y 1810 se elevan las cantidades consignadas para estos gastos por cuenta de la Hacienda como consecuencia del aumento de las compras directas por los capitanes de los barcos que recalaban en Almería (110), a quienes se les había de depositar a bordo la mercancía. Sea por la necesidad de obtener los recursos líquidos máximos, sea para pre-

venir un avance francés, el caso es que se procura liquidar las existencias, que debían ser muy reducidas cuando se produjo efectivamente la ocupación de la ciudad. Al mismo tiempo, la producción o al menos los envíos, disminuyen drásticamente y sufren una transformación en la proporción de los distintos artículos; ahora las balas y municiones serán remitidas en cantidades crecientes, aunque no suficientes como para compensar el importantísimo descenso de los envíos totales de plomo y de alcohol. También vemos aparecer gastos consignados por fletes a cargo de la Hacienda debidos a las sucesivas remesas de artículos de la renta a plazas Españolas del litoral como Tarragona, Cartagena y Cádiz.

Cabe preguntarse por la colaboración que pudiera haber encontrado el invasor entre el personal de la renta, autoridades y empleados. La respuesta parece radical y unánimemente negativa. Si comparamos las remesas y las ventas en la etapa de ocupación vemos que la conclusión resulta claramente favorable a nuestra interpretación.

CUADRO 4.4

Actividad de la renta según las coyunturas bélicas

Etapas	Número meses	Dominio	Envíos en arrobas	Arrobas mes	Ventas
1. Marzo de 1810 a marzo de 1811	12	francés	8,500	567	
2. Marzo de 1811 a agosto de 1811	5	español	94,000	19,000	37,700
3. Septiembre de 1811 a agosto de 1812	12	francés	6,200	517	
4. Septiembre de 1812 a abril de 1813	8	español	79,100	9,900	168,020

(109) Determinados comerciantes locales aparecen especializados en gestionar compras y pagos con destino a Marsella. Destacan Nicolás Vasallo, que llega a mover 310.000 rs. en tan sólo cinco meses, y José Medina y Lafita, que negocia 35.000 rs. en una sola operación. José Spottorno mantiene el tráfico con Cartagena y con Palermo y mueve 230.000 rs. En 1809 son otros los comerciantes que dirigen el tráfico; destacan Miguel Orlans, comisionado de Jacomo Pedimonte, de Gibraltar (mueve 270.000 rs.), McConnell, Gormann y Cía. (que mueve 176.000 rs.) y Ramón Sendra (42.000 rs.). También aparecen en estos libros pagos de la casa Gribegne y Cía. de Málaga, José Cabezas Ebrero, el gibraltareño Sebastián Luger y los malteses Camilliera y Ayas, establecidos respectivamente en Cartagena y Lorca.

(110) Los gastos de manipulación y embarque vienen a ser de 1/2 real por quintal (0,5 por 100 sobre el precio del plomo). Este gasto se descomponía: 51 por 100, pesaje, carga y embarque; 14 por 100, conducción en carreteras; 34 por 100, barcaje desde la playa a bordo. Esta última fracción (1/3 del total) hubiera podido suprimirse con la construcción de un muelle. La productividad de cargadores y pesadores era bajísima, equivalente a la de una persona que pesara, llenara y cargara en carretas veinte o veinticinco seras por día de trabajo (=511 Kg. por jornal).

Durante la presencia francesa se interrumpen los envíos. Conviene destacar que el descenso de la facturación es más acusado para la fábrica de Alcora (Canjáyar) que para la del Presidio, y que los envíos se realizaron aprovechando las retiradas francesas, cuando quedaba libre todo el valle del Andarax. La recuperación se hizo con tal rapidez en ambas ocasiones tras la liberación que podemos afirmar que el sistema no sufrió desmantelamiento, ni en lo humano, ni en lo material ni en lo administrativo.

En otro orden de cosas, el destino de las exportaciones y las banderas en que se hicieron los envíos muestra idéntica evolución. Sólo entre 1808 y 1811 contamos con datos suficientes, de donde se deduce el cuadro siguiente.

Hasta mayo de 1808 la alianza con Francia o la prepotencia comercial de aquella nación hicieron predominar su bandera y excluir a la inglesa; pero en adelante se verá sustituida por ésta y tomarán los envíos rumbos ajenos al imperio napoleónico. Las vicisitudes de la guerra, con la ocupación, por dos veces, de Almería, conseguirán en adelante paralizar temporalmente la exportación, pero no restablecer el tráfico con Marsella.

A partir de 1811 el rasgo más saliente es el auge de los envíos de alcohol, como ya hemos dicho, que van a sustituir a los de plomo. La información, como apuntamos páginas más arriba, es ahora insuficiente.

CUADRO 4.5

Exportación de artículos de la renta del plomo a cargo de comerciantes particulares (envíos y cantidades remitidas)

Destino	1808		1809		1810		1811	
	Núm.	@	Núm.	@	Núm.	@	Núm.	@
No indican	2	3,8						
Marsella	5	20,3*						
Génova	1	0,5						
Cartagena	2	13,2						
Palermo			3	8,4			2	8,8
N. de Africa			2	0,8**				
Lisboa			3	4,4	1	0,6	2	1,6
Malta			8	39,1			7	15,6
Gibraltar			6	7,2	5	7,8	2	6,0
Boston					1	0,6	1	3,2
Baleares							3	1,7
Oporto							1	0,8

Las cantidades aparecen consignadas por millares de arrobas.

NOTAS:

(*) De éstas, 520 arrobas en bandera española.

(**) Tan sólo exportan munición.

1808. Aún en 28 de mayo se hace un envío de 4.800 arrobas para Marsella.

1810. Los envíos terminan a mediados de abril.

1811. Comienzan a exportar alcohol. Los envíos se hacen en junio y julio.

Tiene también interés una ojeada sobre las banderas bajo las cuales se efectuaba el comercio de plomo almeriense a lo largo de los años de que nos ocupamos.

De nuevo en este caso el cambio de alianzas, como había sucedido con el destino de los artículos, determinó el cambio de las flotas que los transportaban. La flota francesa, de mayor tonelaje medio por embarcación (111), se ocupa de modo exclusivo y casi excluyente del tráfico con Marsella. La ocupación de la flota española aumentó en 1809, ahora en competencia con la inglesa/gibraltareña (112), acaso muy relacionada con la flota española mediterránea, como se puede deducir de que barcos con bandera gibraltareña tengan patronos con nombres españoles.

Se trata, no obstante, de barcos muy pequeños (113), de remesas por consiguiente reducidas y la simple cuestión

(111) Cargan más de 4.000 arrobas por embarcación, frente a las 1.200 de los españoles.

(112) Es también de destacar que aumenta paralelamente la capacidad de carga, que sube a las 4.000 arrobas por embarcación en 1809. Son medias que no volverán a repetirse y que asemejan, por esta vez, la flota mercante española a la francesa. La inglesa en cambio mantendrá una media de tonelaje en torno a las 3.000 arrobas.

(113) Los franceses usan tan sólo «buques» y «polacras»; los españoles «faluchos», «laudes», «polacras», «místicos» y «bergantines»; los ingleses «bergantines», «místicos», «polacras», «jabegas», «jabeques» y «faluchos». La mayoría de los envíos se cuentan entre las 35 y las 50 Tm.

del tonelaje medio tiene importancia muy relativa. En cambio la flexibilidad con que ingleses —con sus bases de Malta y Gibraltar— y españoles siguen las vicisitudes de la contienda para entrar en los puertos poco después de su abandono por las tropas francesas y de la efectiva reactivación de las actividades de la renta, merece aquí ser puesta de relieve (114).

Se deduce claramente de todo ello que los franceses no pudieron o no supieron hacer funcionar al sistema de la renta; el sistema de producción y transporte quedó fuera de servicio cada vez que avanzaron; indudablemente almerienses y alpujarreños les negaron su colaboración y muy posiblemente ni siquiera pretendieron conseguirlo por la fuerza y en breve plazo. La primera hipótesis es verosímil; la segunda parece casi segura y la refuerza el hecho de que las partidas de plomo enviadas con guías del Presidio en agosto de 1811 no fueron entregadas hasta febrero del año siguiente, habiendo conservado mientras

(114) Por ejemplo, en marzo y abril de 1811 se reanudan los envíos de plomo y municiones desde Canjáyar y Presidio. En 6 y 8 de junio comienzan a cargarse los primeros barcos ingleses y españoles empujados acaso por el avance hasta Baza del ejército del centro (III°). En agosto de 1812 se retiran los franceses definitivamente de Almería y en octubre cargan ya ocho mil arrobas en barcos ingleses, el mismo mes en que se reanudan los envíos desde el Presidio.

tanto los arrieros las guías en buenas condiciones, que fueron anotadas como de costumbre (115).

Si cabe pensar que en 1810 no quedaran existencias importantes en los almacenes, es evidente que en septiembre de 1811, cuando regresan los franceses, quedaba un remanente importante de plomo, que no fue objeto de requista, compra o pillaje. La única exacción de que tenemos noticia es en dinero contante, el 16 de marzo de 1810 y de tan sólo cuarenta y siete mil reales (116). Si escribimos «sólo» es porque según las cuentas que hemos reconstruido, el saldo de caudales en la fecha citada debía ser de noventa y cuatro mil quinientos ocho reales. En todo caso las mayores cantidades extraídas de esta oficina fueron entregadas a la Real Hacienda, incluso en 1810 (117); precisamente será un pago a la tesorería de Granada de veintiocho mil ciento cincuenta y seis reales, asentado el 18 de agosto, el que dejó a esta oficina sin liquidez y dio origen a la etapa de dificultades.

Conviene poner de relieve, para terminar este capítulo,

la recepción en junio y julio de 1811 de dieciséis mil doscientas cuarenta y una arrobas desde Adra. Nada más sabemos de ello, ni se vuelve a repetir; las vicisitudes de la guerra, que acaso obligaran a dar salida a los productos por el río Grande de Adra, o la necesidad de surtirse de las fábricas de Turón de modo coyuntural (118), pudieran explicar esta particularidad.

Tras la guerra, asistimos a una dificultosa y accidentada recuperación que sólo en 1818 conseguirá recuperar la media de envíos de antes de la guerra. Ni siquiera las remesas de municiones, que han sufrido menos la crisis, mantienen ahora cifras comparables a las de preguerra, excepto en 1817. Constituye una incógnita la razón por la cual no se producen envíos de plomo en 1819 y 1820 (119) pero la cifra de 1821, no muy superior a la de 1818, nos indica que, aún en el caso de haberse perdido los libros correspondientes a los años citados no debió producirse un crecimiento significativo del aparato productivo en aquellos años en los que precisamente se estableció el desestanco.

CUADRO 4.6
Artículos de la renta del plomo recibidos en los almacenes principales de Almería (en miles de arrobas)

	1815	1816	1817	1818	1819	1820	1821
Municiones	6,6	8,6	21	—	3,7	14	0,7
Plomo	75	38	26	152	—	—	179
Alcohol	—	—	—	—	—	—	39

(115) En el A. H. P. A., libro H-2.937, existe una anotación en la *Data* que dice así: «Se han pagado a Juan Escós y compañeros trabajadores por sus jornales devengados en pesar y embarcar plomo en los buques ingleses surtos en el puerto, 120 rs. vn. que importan 15 jornales...» La actitud antifrancesa de las autoridades parece evidente.

(116) Llama también la atención el notable cambio de letra con que se asienta este pago hecho a las autoridades militares francesas. Una letra que sólo aquí aparece, manifiestamente más ruda que la de los habituales escribientes.

(117) En 1808 se pagaron o remitieron por cuenta de la Tesorería 300.000 rs.; en 1809 se remitieron a Granada 1.039.000 rs. En 1810-II-2 lo fueron otros 220.000 al general Blake. Los franceses hubieran encontrado menos de 35.000 rs. en caja de no haberse producido entre tanto dos pagos, el más importante por McDonnell, Gorman y Cía. el 18 del mismo mes; a lo largo de 1811 y 1812 la renta del plomo de Almería colaboró al esfuerzo de guerra con 344.000 y 126.000 respectivamente, aparte de los envíos de balas y géneros a distintas plazas de la costa mediterránea.

5. LA CRISIS DEL ESTANCO Y LA SUPRESION DEL MONOPOLIO

A partir de 1808 y hasta 1816 disponemos de documentación contable suficiente en cantidad y calidad como para intentar reconstruir las cifras más importantes de cada ejercicio (120) según se recoge en los cuadros del apéndice número IV. Su validez analítica requiere algún matiz; el *Haber* sufre un error en menos estimable en torno al 15 por 100, lo que nos indica que el «Remanente» en

(118) En las *Datas* correspondientes a 1816 de la Contaduría de las rentas aparecen nóminas de estas fábricas por un monto semejante a las del Presidio. Véase A. H. P. A., libro H-2.838.

(119) Es posible que la serie esté incompleta. Parece evidente en el caso del alcohol. La falta de continuidad formal entre los distintos libros y la anarquía que preside su confección antes de 1821 nos deja en la incertidumbre.

(120) Usaremos para ello las cuentas de «Cargo y Data de Caudales» de la Contaduría de la Renta, en A. H. P. A., libros H-3.146, 2.937 y 2.938. Además, el libro H-2.936 contiene cifras ya recogidas en el H-2.937. Con estos datos hemos reconstruido las cuentas de «Pérdidas y Ganancias» que aparecen en el apéndice número IV.

el *Debe* ha de incrementarse en la misma cantidad real. Este último, en cambio, está falto de una rúbrica en la que se consignen los costes de los productos (121), por lo cual el «Déficit» en el *Haber* tiene que ser severamente corregido al alza.

La reconstrucción de la cuenta de resultados incluye nueve partidas en el *Debe* y tan sólo tres en el *Haber*, en las cuales hemos resumido los conceptos más importantes por su proporción en la cuenta general, por su clara individualidad y por la posibilidad de obtener de ellas puntos interesantes para nuestro análisis.

Las rúbricas del *Haber* no merecen más comentarios sino que la de «Otros» es categoría residual, muchas veces inexistente y siempre de muy escasa relevancia.

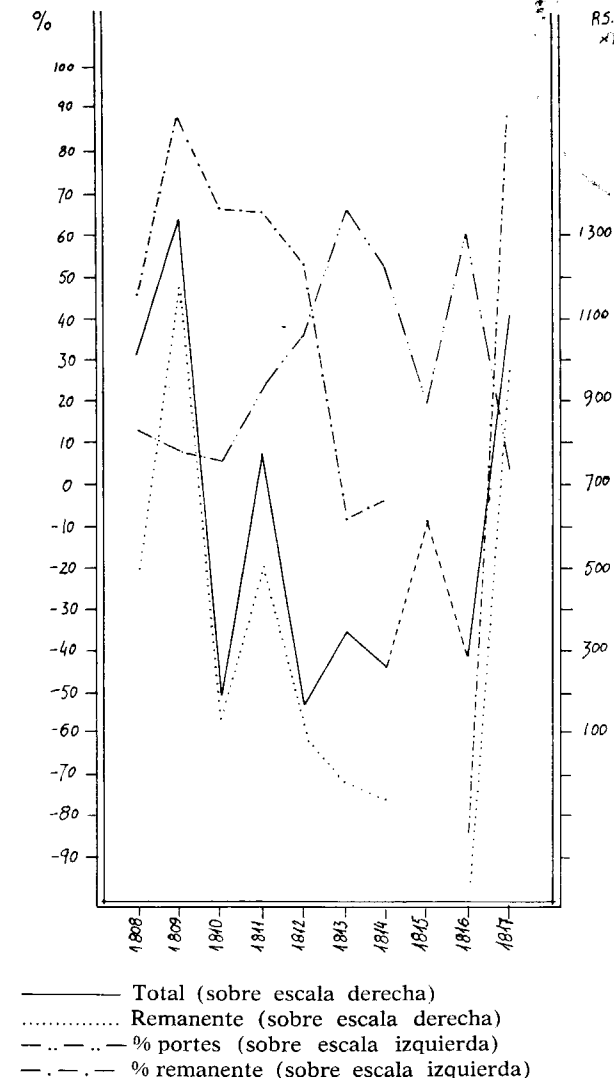
Las partidas del *Debe*, en cambio, sí que necesitan algunas precisiones antes de adentrarnos en su análisis. Las dos primeras reflejan los costes que la renta pagaba por la administración de las fábricas. Inicialmente, hacia 1808, se consignaban cantidades fijas para cada fábrica en las que debían incluirse todos los gastos. A partir de 1810 aparecen nóminas de personal detalladas y pagadas mensualmente —con algunas carencias—; entonces se empiezan a anotar cantidades no muy importantes para «reparaciones», que son las que aparecen en la segunda partida. En ningún caso encontramos asignaciones para compra de mineral ni otros gastos de las fábricas (122). Tiene gran importancia el capítulo de «portes» en un doble sentido, analítico y numérico; el segundo, porque en etapas de normalidad llega a suponer entre el 15 y el 20 por 100 del total; el primero, porque esta rúbrica ha demostrado ser buen exponente de las intenciones «empresariales» de los directivos de la renta o de quienes regían los almacenes de Almería; una elevación en el porcentaje de gastos de portes en un año determinado nos anuncia un incremento del abastecimiento, aún en el caso en que el volumen de ventas hubiera disminuido: un descenso de las cantidades pagadas por este concepto y, por tanto, del abastecimiento, nos indica que la actividad decae con precisión mucho mayor otra vez que la misma cifra de ventas, tan reducida al fin y al cabo que los efectos aleatorios ajenos a la cuestión, los posibles remanentes o existencias de artículos, alcanzan una desmesurada influencia. Las restantes partidas tienen una significación relativa muy pequeña, aún cuando pudieran en algunos casos resultar significativas individualmente consideradas.

Si analizamos las series temporales de las más importantes variables podemos penetrar en la evolución de la renta en aquellos años capitales que contemplaron su

(121) No se consignan pagos por mineral, metal, combustible o manipulación industrial. Como hiciera frente la Corona a estos gastos nos es desconocido, pero su peso es considerable, y aunque no aparece en estas cuentas, afectaba gravemente a la rentabilidad del monopolio. No lo podemos calcular exactamente y por ello no lo tomaremos en cuenta.

(122) Es curioso que ni siquiera en las cuentas de la fábrica del Presidio en 1822 (libro H-2.942) aparecen pagos en concepto de mineral o de leña.

GRAFICO 5.1
Evolución de las principales variables de la cuenta de resultados de la renta del plomo. 1808-1817



apogeo, su crisis económica y su posterior disolución administrativa. Comenzaremos por mostrar la evolución de la cifra total de negocio (123). Podemos suponer que en 1808 la cifra total alcanzara cotas elevadas, según se deduce del continuo incremento en años anteriores de las cantidades recibidas de las fábricas; recordemos incluso (124) que el citado año, ha visto ya disminuir de modo acusado las cantidades de géneros remesados. Resulta

(123) Con los datos que aparecen en el apéndice número IV y los números índices correspondientes hemos elaborado el gráfico número 5.1, al que en adelante se referirá toda la exposición sobre estos puntos.

(124) Vid. supra gráfico número 3.

extraño comprobar que en 1809 aumenta el volumen de negocio pese al pronunciado declive en la recepción de géneros, para comenzar a continuación un acusado descenso que, en líneas generales, no se detendrá ya hasta 1812; entonces se alcanzan cifras cercanas a la sexta parte de las de 1809. Las necesidades de la Hacienda y las vicisitudes de la guerra pueden explicarlo cumplidamente.

Como queda dicho, en 1809 aumenta un 30 por 100 el volumen de negocio, pero aún en mayor proporción lo hace el remanente, que prácticamente duplica las cantidades del año anterior. Esto se logra por medio de una drástica reducción de los gastos en «fábricas» y en «portes»; es evidente que la actividad productiva decrece e igualmente sucede con los envíos. Las ventas acrecentadas se producen a modo de liquidación de existencias acumuladas, cuyos costos habían sido soportados por anteriores ejercicios, que por tanto arrojan ahora sustanciosos beneficios líquidos. Para estimular ahora las ventas, desde septiembre de 1808, habían rebajado el precio del metal de veinticinco a veintidós reales la arroba (12 por 100 de descuento), mientras que balas y municiones se mantienen al viejo nivel de treinta reales.

Desde 1810 las vicisitudes de la guerra van a caracterizar la evolución de la renta; disminuye radicalmente la cifra de negocio y, naturalmente, la de beneficios, que a pesar de todo, sigue lo bastante alta como para sugerirnos que la actividad productiva regular continúa parada y que prosigue la liquidación de existencias.

Terminado, o al menos muy reducido, el proceso liquidador en 1810 asistimos a una importante reactivación en 1811 —retirada francesa de Almería— (125) seguida de un nuevo descenso en 1812 que sin duda refleja la evolución de las acciones finales de la guerra en la región, abandonada definitivamente por las tropas francesas en el verano de 1812. De estas últimas vicisitudes sólo cabe resaltar que el incremento verificado en 1811 se produce con un descenso de los remanentes para la Hacienda en términos proporcionales y con un incremento de los portes; esto refleja inequívocamente la voluntad de reactivar el funcionamiento de las fábricas y del eje del Andarax, con la pretensión de retornar a una cierta normalidad.

A partir de 1812 la situación va a cambiar radicalmente y, sobre todo, la política empresarial seguida hasta el momento. El afán de dar salida a las existencias y de

CUADRO 5.1

	Recibidas	Vendidas	Saldo
1808	102,426	41,518	58,908
1809	19,600	59,835	-40,235
1810	8,533	9,000	-467
1811	94,482	37,700	56,785
1812	28,272	8,000	20,272
1813	58,021	16,600	41,421

(125) Resulta muy interesante comparar las cantidades recibidas y las efectivamente vendidas en los almacenes al final de cada año.

obtener el máximo de recursos líquidos se verá ahora sustituido por la necesidad de reactivar la producción y el eje de arrieros y trajinantes que enlazaba las fábricas con el puerto. El porcentaje de beneficios sobre el total va a disminuir considerablemente y no cambiará de sentido hasta 1816. Esta intención era ya visible, como apuntábamos más arriba, en 1811, pero se consolida y acentúa en 1813, ya partidos los franceses. Fue entonces cuando se alcanzó el máximo porcentual de los costes de «portes», que continuarán por encima de la media hasta 1816.

Pero el problema que se plantea en esta etapa es que el remanente, en términos absolutos, mantendrá una línea decreciente que, hasta 1816, empujará a los gobernantes a aceptar la idea del desestanco.

Finalmente, la evolución de las curvas entre 1816 y 1817 nos muestra la crisis final y un nuevo cambio de política. Los porcentajes de portes descienden al nivel más bajo de toda la serie; la cifra de negocio de nuevo se incrementa notablemente, esta vez sin necesidad de recurrir a descensos de los precios prefijados y la proporción de remanente sobre el volumen de negocio alcanza de nuevo la máxima proporción que ya lograra en las circunstancias excepcionales de 1809. Asistimos pues a un nuevo desmantelamiento de la renta considerada tanto como empresa individualizada como en su figura de institución fiscal del Antiguo Régimen, que esta vez va a ser definitivo.

Si los portes constituyen uno de los gastos más importantes por su volumen y significación, no debemos olvidar el coste de las fábricas, que en una situación normal representa un tercio del volumen total de negocio. Naturalmente que en años excepcionales se pudo reducir su incidencia por los socorridos expedientes de paralizar la actividad de las fábricas o dejar sin pagar las nóminas. Pero con la política de reorganización promovida desde 1812, sea porque las fábricas volvieran a funcionar con regularidad creciente, sea porque se impusiera una mayor seriedad en el pago de las nóminas (126), el caso es que los gastos de las fábricas volverán gradualmente a situarse por encima del 30 por 100, excepto en 1817.

Parece claramente establecido que tras la guerra el sistema fiscal no pudo recuperarse. La voluntad de obtener crecientes ingresos líquidos para una Hacienda agobiada era contraria al correcto funcionamiento y desarrollo empresarial de la renta del plomo. Más aún, la gestión pública de la empresa fue poco eficaz y la fijación de precios sobrevalorados (127) y rígidos impidió que el

(126) Seriedad que siempre fue mayor en el caso de la nómina de empleados de la renta en las oficinas principales de Almería, manipuladores directos de los fondos.

(127) En 1981-XII-18 el precio del plomo en el mercado de Londres fue de 370 libras esterlinas por Tm. En 1817 el precio fijado por la renta era de 2.174 rs. vn. Si comparamos los precios en función del monto del jornal en los dos momentos indicados, resulta que la tonelada de plomo salía en 1817 por 272 jornales, mientras que hoy sale a 69 —sin considerar el aumento de la capacidad adquisitiva del salario medio en la actualidad—, es decir, nominalmente una cuarta parte.

alza de los beneficios se produjera por un crecimiento del mercado y un descenso de los costes de producción a través de la introducción de economías de escala, tal como se apuntó cuando se produjo el desestanco.

Además, el sistema vigente hasta 1820 mantuvo una pugna permanente entre la autoridad de los funcionarios, los intereses del Estado y los de los particulares empeñados en ampliar sin límites las explotaciones y deseosos de beneficiarse en exclusiva de los frutos de las minas. El restablecimiento del sistema con la restauración borbónica no pudo menos de agudizar las tensiones, especialmente cuando la situación de la Hacienda hizo imposible inmovilizar de nuevo los capitales considerables que hubiera requerido la reorganización de la renta. Las crecientes dificultades financieras se hacen patentes al saber que los mineros «después de haber hecho los sacrificios indispensables para poner (las minas) en labor, entregaron alcoholes hasta el importe de trescientos mil reales cuya no se les satisfizo hasta el año veinte, la mitad en letras que fueron protestadas y la otra en valores de diferentes clases que el ejército francés había dejado en Granada en 1812» (128).

El desestanco era pues doblemente necesario para la Hacienda y para la minería alpujarreña; MARTÍN DE GARAY reconoció, ya en 1817, que la administración y las reformas exigidas por las fábricas de tabaco, sales, plomo, azogue y otros no era ni mucho menos cosa sencilla, y convino en que acaso sería conveniente encomendarlas a la iniciativa particular, pero aún creía necesario aplazarlo porque «esta novedad requiera meditación y reunión de noticias que no se tienen» (129); no obstante, la gravedad de la situación era tal que por Decreto de 13-XI del mismo año fue establecida la abolición del estanco. En adelante la venta, tráfico y exportación del plomo serían libres, pero no así los mineros, que continuaban obligados por el derecho de rescate, ahora atribuido al Crédito Público, nuevo titular de las fábricas alpujarreñas. La formal aprobación del desestanco fue en realidad el simple abandono por parte del Estado de la tarea de distribución y venta de artículos estancados; la parte más sustancial de los ingresos con pocos gastos además, procedía de las ventas de metal a los mercados exteriores libres, ahora muy a la baja (130). Los abusos y

El razonamiento anterior no debe resultar muy lejano de la realidad histórica. En 1823 la arroba de plomo había bajado ya a 20 rs. (un 20 por 100) y ello a pesar de la enorme rigidez de la demanda a precios tan elevados y la parvedad del mercado. En 1830 se vendía ya por debajo de la mitad del antiguo precio, a 10 rs. Véase PÉREZ DOMINGO, *Memoria sobre las minas de la península, sobre la riqueza que han producido y la riqueza de que es susceptible este ramo*. Madrid, Alvarez, 1831, pp. 31-32.

(128) MÁRQUEZ, J. M., «Memoria sobre la minería de España», en *La Alhambra*, t. II, 1839, pp. 436-37.

(129) GARAY, M. DE, «Memoria presentada a S. M. en 1817», en CANGA ARGÜELLES, *Diccionario de Hacienda con aplicación a España*, t. II, p. 230. Madrid, Burgos, 1834.

(130) MARTÍN DE GARAY estimó en 1817 el valor de la venta de metal para la exportación en tan sólo 5 millones de rs., cifra que LÓPEZ BALLESTEROS considera excesiva.

la insuficiencia del sistema pervivieron; «sujeta a odiosos reglamentos y en un estado verdaderamente lamentable se hallaba la explotación de las minas de este país cuando sobrevinieron los acontecimientos políticos de 1820, Ordenanzas que ponían innumerables trabas al interés individual, habían llegado a ser intolerables en ciertos pueblos» (131).

La presión de los alpujarreños, contenida penosamente por la decrepita máquina estatal, encontró al fin en 1820 un resquicio por donde acabar totalmente con el sistema. La Orden de 25 de octubre de 1820 estableció ya las primeras libertades efectivas que fueron ratificadas por la Ley de 22 de junio del siguiente año (132), sancionada en 22 de febrero del 22. Entonces se estableció el derecho de todo español o extranjero para beneficiar minas e inmediatamente los mineros de la Alpujarra dieron comienzo a la fiebre minera contenida hasta entonces; «creyeron, no sin fundamento, que era llegado el caso de disponer de sus alcoholes como de una propiedad cuyo derecho se sancionó; y que ya libres de estafas podían dar ensanche a la explotación» (133); convinieron al efecto con la Intendencia de Granada el pago del 20 por 100 de los productos líquidos de sus minas y así pudieron prosperar notablemente durante el trienio.

Pero las autoridades de Madrid mantuvieron siempre una actitud opuesta a estos cambios (134). Razones de todo tipo (presiones de los antiguos empleados de la renta, apetencias de estatalizar del todo la explotación, razones

Véase «Memoria Ministerial sobre el estado de la Real Hacienda de España en los años 1822-24», en CANGA ARGÜELLES, *Dicc...*, op. cit., t. II, p. 729. El cambio de concepción económica se ve claramente en la Real Orden de 29-V-1817 que aclara errores de la anterior. Se lee allí que «surtidas que sean todas las necesidades del Real Servicio y los ramos y objetos de industria del reino, el crédito público extraerá o venderá a los extranjeros los plomos sobrantes en el modo y forma que mejor le parezca, procurando promover este ramo del comercio, que bien dirigido promete grandes utilidades», en BALMASEDA, F. M. DE, *Decretos del Rey don Fernando VII osese colección de Reales Resoluciones de los años 1814 a 1817*. Apéndice. Madrid, Impr. Real, 1819, p. 354. Véase también el tomo IV, pp. 569-71.

(131) ANÓNIMO, «Minas, II», op. cit., p. 52.

(132) *Colección de Decretos y Ordenes generales expedidas por las Cortes desde I-III a 30-VI-1822*, t. IX, Madrid, Impr. Nacional, 1822, pp. 6-9. La nueva ley estableció que en adelante los explotadores de minas estarían sujetos tan sólo al pago del derecho de patente como todas las demás industrias. En cambio dispuso el cese de todos los privilegios concedidos a los establecimientos mineros y metalúrgicos. PASTOR, op. cit., p. 82.

(133) ANÓNIMO, «Minas, II», op. cit.

(134) La versión oficial al respecto queda recogida en el texto siguiente: «La Ley que sobre libre explotación de minas hicieron las Cortes de 1820 y 1821 fue mal interpretada por los particulares; pues no fue la mente del legislador despojar al Crédito Público de las que le pertenecían, ya por condiciones anteriores, ya por ser de las que por leyes vigentes estaban incorporadas al Estado.

Las más codiciadas por los especuladores fueron las de

técnicas) pretendieron mantener las minas alpujarreñas bajo la administración directa del Estado; «restablecido el Gobierno absoluto volvió él mismo a temer el estanco y mucho más su administración (135) a vista de la insistencia con que lo pretendían sus antiguos empleados: pero no obstante el interés que ofreciera aparentemente tal determinación, el Decreto de 4 de julio de 1825 hizo entender que el Gobierno entendió al fin que las fortunas de los particulares forman la riqueza del Estado. Desde entonces quedó sancionada la libertad de la minería» (136).

Tras una larga etapa de crecimiento lento, caracterizada por la pugna entre la abundancia de recursos y la capacidad económica de los lugareños, por un lado, y las rigideces y abusos del sistema administrativo por el otro, fue en el trienio liberal cuando comenzó a florecer libre de trabas y se caracterizó la región en adelante como uno de los grandes centros mineros del mundo occidental. LÓPEZ BALLESTEROS se hizo cargo de la nueva situación

Andarax y sus distritos y fundiciones, por ser esas minas plomizas las más ricas de toda la Europa.

A pesar de que se sostuvo con empeño el principio de que las minas pertenecen al Estado, se citaron las leyes, las ordenanzas y los convenios particulares, y se hizo presente con pruebas que a costa de la nación se habían levantado y construido haciendo este grandes sacrificios, las cinco fábricas del Presidio, Canjáyar, Baza, Turón y Motril, sólo se logró contener el progreso del mal, pero no extinguirlo completamente.

Reunió la Junta todos los documentos necesarios para probar sus asertos y manifestó a las Cortes que la conservación del derecho de posesión al Crédito Público era de imperiosa necesidad, ya por la naturaleza del criadero —terreno en que se encontraba el mineral plomizo en esas minas—, y ya por la posición topográfica de ella y sus fundiciones. Por la naturaleza del terreno-criadero; porque si no fuesen explotadas científicamente y usando de las debidas precauciones, aquellas montañas minerales se hundirían y se quedarían infructíferas, con peligro inmediato de los operarios empleados en ellas.

Por su posición topográfica, a orillas de mar, que facilitaba el proveer de plomo cómoda y económicamente a las plazas fuertes de las provincias marítimas y a las de sus límites, y venderlos para la exportación.

Al contrario, opinó que las de Linares deberían entregarse al libre laboreo de los particulares (...).

Trocando también los frenos, por decirlo así, cuando el gobierno de la última época posterior al año 1823 que las minas de Andarax fueran explotadas libremente por particulares, reservando las de Linares para ser trabajadas por cuenta del Estado.» IRAZABAL, Ensayo..., op. cit., p. 26.

(135) Son significativas a estos efectos las Reales Ordenes de 2-VI-1823 y 8-VII-1823; en la primera se derogan todos los decretos del gobierno revolucionario sobre estanco y alteración de precios del tabaco y la sal; la segunda devuelve las rentas estancadas a la situación anterior al 7-III-1820. *Decretos, ordenanzas y reglamentos expedidos por la Regencia del Reino desde su instalación.* Madrid. Brusi, 1823, pp. 36 y 68. La inquietud y exasperación de los mineros alpujarreños debió alcanzar con estos antecedentes cotas elevadas.

(136) ANÓNIMO, op. cit.

creada en su Memoria de 1825 al Rey, cuando le dijo: «durante la revolución se introdujo el libre beneficio de las minas y el de las plomizas se extendió tan extraordinariamente que las sierras de Granada se convirtieron en una colonia de mineros» (137); su descripción de las reacciones subsiguientes es, por otra parte, la más precisa que se conserva; sigue diciendo que «terminada aquella volvieron las cosas al estado que tenían. Por Orden de 31 de agosto de 1824 se dispuso lo mismo con estas minas; pero fueron tantas las reclamaciones de los propietarios de ellas y de los fabricantes y operarios, de las autoridades de aquellas provincias, de algunos ayuntamientos, particulares, del gobernador del Consejo Real, del superintendente de policía y de la junta de fomento representando los perjuicios y males que acarrearía la determinación hasta instarla de peligrosa a la tranquilidad pública, que V. M. juzgó oportuno que se suspendiese».

Aquí y allá a lo largo de las páginas que anteceden hemos procurado apuntar las posibles razones que motivaran en su momento el abandono del sistema administrativo en este ramo. Vamos ahora a sintetizarlas brevemente.

Son ante todo razones político-coyunturales las que invocaron el desestanco. La agitación de los mineros de la zona según recoge LÓPEZ BALLESTEROS y la demanda creciente de metal, que la rigidez del monopolio no permitía atender, son las causas últimas. El auge y la relativa libertad de las explotaciones era ya sensible en 1819, cuando la feria de Almería llegó a alcanzar gran éxito comercial «porque las famosas minas de Berja proporcionaron riquezas y se buscaba, de los comerciantes, no sólo ganado, muñecos, quincalla y sombreros, sino alhajas, abanicos de lujo y objetos de moda» (138). La euforia estaba ya en la atmósfera y claro es que contribuyó a precipitar los acontecimientos.

Razones estructurales y administrativas, que habían conducido previamente al ánimo de los gobernantes la idea del desestanco, son la raíz de los problemas y necesidades de cambio.

El estanco era caro y poco eficaz. Además, eran necesarios gastos muy elevados para pagar el mineral y su manipulación, para atender al transporte e inmovilizar considerables capitales hasta que se consiguiera darles salida. Las vicisitudes del capital circulante, típicas de las economías preindustriales, desempeñan un importante papel en la crisis final según el modelo que describe CIPOLLA: «Si se perfila una recesión, el empresario bloquea las compras de materias primas, disminuye o detiene la producción, y se limita a vender lo que puede de sus reservas de productos terminados.» Casi parece que el autor escribiera con la mente puesta en los sucesos de Almería ante el avance francés y las necesidades bélicas. Y sigue «el ciclo económico de la Europa preindustrial parece haber estado determinado y caracterizado sobre todo por las fluctuaciones en el volumen de capital circulante. La

(137) LÓPEZ BALLESTEROS, en CANGA ARGÜELLES, op. cit., p. 729.

(138) OCHOTORENA, F., *Almería, siglo XIX*. Almería. Imprenta Cajal, 1976, t. I, p. 100.

alta incidencia relativa de este capital típicamente "volátil" sobre el total del capital existente representaba un elemento de inestabilidad de la economía» (139). La subsiguiente crisis fiscal y financiera del Estado impidió la normalización y la reconstitución de la importante masa de capital imprescindible para el funcionamiento de la renta.

Por otro lado, el arcaísmo tecnológico fue evidente. Tan sólo usaron hornos castellanos y reverberos, tan escasamente eficaces que sus escorias y horruras pudieron ser ventajosamente beneficiados ya en 1832 (140). Por otra parte la pequeñez de las labores dificultó su beneficio industrial, puesto que una fábrica exige un abastecimiento regular y en gran escala para poder uniformar la marcha de sus hornos.

Además de las cifras totales, reducidas y oscilantes, de las exportaciones, la misma evolución de los envíos desde las fábricas pudiera ser de interés para explicar los costes elevados y la falta de modernidad de estas empresas públicas del Antiguo Régimen. Muy posiblemente el carácter aperiódico que muestran, la irregularidad en los envíos de las varias fábricas, procede de la escala de producción extremadamente corta, fruto a la vez de los altos precios y del retraso de la resolución industrial en Francia y en España; ambos fenómenos contribuyen a mantener unos mercados reducidos, caracterizados por una demanda poco fluida y espasmódica.

La distribución a lo largo del tiempo de las remesas de artículos estancados a los almacenes de Almería apa-

(139) CIPOLLA, *Historia económica de la Europa preindustrial*. Madrid. Revista de Occidente, 1979, p. 122. DÍAZ LOBÓN confirma la misma situación para la economía granadina en «Notas acerca de la economía granadina a principios del siglo XIX», en *Andalucía Contemporánea*. Actas del primer congreso de historia de Andalucía. Siglos XIX-XX, t. I, p. 60.

En Almería, la falta de liquidez era ya problema mucho antes de la guerra. En una carta de 27-XII-1803 se lee «Veo por la de V. S. de 23 del corriente que no existen en esa depositaria caudales para pagar los portes del plomo y en este sentido prevengo a los administradores de las fábricas que los paguen sin dejar de fomentar su conducción (...).», en A. H. P. A., libro H-2.922.

(140) LE PLAY. «Itinéraire d'un voyage en Espagne», en *Annales de mines*, IIIe série, t. V, París, 1834, p. 233.

recen representados en el gráfico número IV. En él podemos observar una inclinación al alza y también a una mayor concentración de los envíos en menos meses entre 1805 y 1807, aunque destacan claramente las oleadas sucesivas que comprenden alzas enmarcadas por etapas de hasta un par de meses en las cuales el proceso se inicia y termina. En los citados años se observa también un elevado número de meses en los que no se reciben envíos de ninguna clase o cuantía, especialmente entre abril y agosto de 1806, carencia que no puede ser atribuida a la guerra. Desde 1809 las remesas se reducen notablemente y su carácter espasmódico se acusa aún más.

Todos aquellos factores hicieron que el balance general de la renta, único dato que probablemente interesaba a los dirigentes de la Hacienda, marchara en continuo declive. Si en 1797 había rentado a la Corona quince millones de reales (141), en 1817 en cambio se aspiraba sólo a lograr cinco. No es pues de extrañar que MARTÍN DE GARAY fuera partidario del desestanco y que tres años después CANGA ARGÜELLES propusiera tajantemente: «Fábricas Nacionales. Que se enajenen o arrienden a particulares industriales y activos» (142).

Alterada de hecho la situación por iniciativa de los mineros alpujarreños, incluso la monarquía restaurada hubo de reconocerlo legalmente, así que fue sancionado y ordenado en 1825. A partir de entonces el plomo alpujarreño pudo incorporarse al número creciente de mercancías que desde fines del XVIII y al compás de la industrialización se fue ampliando dentro del comercio mundial (143). La elasticidad de su demanda se flexibilizó rápidamente al descender considerablemente los precios y mineros y propietarios de boliches consiguieron riquezas hasta entonces insospechadas, que, en el caso de estos últimos, alcanzó beneficios en torno al 400 por 100 hacia 1825 (144).

(141) CANGA ARGÜELLES, Dic..., op. cit., p. 407.

(142) Ibid. «Memoria sobre los presupuestos de gastos de los valores de las contribuciones y rentas públicas de la nación española y de los medios para cubrir el déficit. 1820», en Ibid., p. 292.

La continua baja de los precios del plomo debió pesar también de modo considerable.

(143) MILWARD & SAUL, *El desarrollo económico de la Europa continental*. Madrid. Tecnos, 1979, p. 29.

(144) EZOUERRA DEL BAYO, «Datos sobre la estadística minera en 1839», en *Anales de Minas*, t. II, 1841, p. 315.

Noticias

EL I. V. A. Y SU REPERCUSION SOBRE MINERIA Y METALURGIA

Por don Luis Fernando Alemany y Sánchez de León, Club Español de la Minería

El pasado 22 de marzo se celebró el almuerzo mensual del Club Español de la Minería. El tema fue «EL I. V. A. Y SU REPERCUSION SOBRE MINERIA Y METALURGIA» y el conferenciante don Luis Fernando Alemany Sánchez de León, Subdirector General de Impuestos Indirectos, del Ministerio de Economía y Hacienda. Junto a él estaba don Enrique Dupuy de Lome, Presidente del Club Español de la Minería; don Ginés Moncada Aragonés y don Rafael Hidalgo Herrera, Vicepresidentes primero y segundo, respectivamente, del Club; don José Luis Quílez, Subdirector General de Abastecimientos Minerales; don Pedro Fontanilla Soriano, Subdirector General de Investigación y Explotaciones Mineras, y don Antonio Quesada García, Subdirector General de Ordenación Minera.

A los postres, el señor Dupuy de Lome, como Presidente del Club inició el acto con la presentación del señor Alemany haciendo hincapié en los temores de los mineros ante la nueva fiscalidad que se aproxima, señalando «que nos va a hacer más daño que bien».

INTERVENCION DE DON LUIS FERNANDO ALEMANY Y SANCHEZ DE LEON

El señor Alemany comenzó su intervención agradeciendo haber sido invitado por el Club Español de la Minería y, sobre todo, las amables palabras de presentación de su Presidente.

Seguidamente, el Subdirector General de Impuestos Indirectos señaló que el I. V. A. es casi una paradoja, porque no es lo que parece, pues no grava a los empresarios y profesionales, sino al consumidor final del producto. Los empresarios y profesionales son simplemente recaudadores del impuesto que lo harán resbalar para que recaiga en el consumidor final.

También, continuó, se ha dicho que es un impuesto complejo y no, es sencillo, ya que va a absorber a 23 tributos, I. T. E., lujo, impuestos especiales de bebidas refrescantes, etc. Es, dijo, un impuesto realmente sencillo y de mecánica simple, pues los mineros se tendrán que

limitar cuando se implante el I. V. A., a repercutir a sus clientes el 12 por 100 de la cifra total que figura en la contraprestación y al fin de cada período impositivo tendrán que ingresar en Hacienda, no la cifra que han repercutido a los clientes, sino el conjunto de las cuotas de impuestos que han soportado en las facturas de costes. Es decir, señaló, que con el último día del período impositivo, unirán las facturas que repercuten a los clientes. Es el Minuendo. El Sustraendo será el conjunto de las facturas de compra de bienes o servicios. A continuación, sumarán el I. V. A. de esas facturas e ingresarán la diferencia entre el I. V. A. repercutido a los clientes y el I. V. A. de los costos.

Tengan presente, continuó el señor Alemany, que si se efectúan exportaciones, no sólo estarán ustedes exentos del impuesto, sino que podrán deducir sus «inputs» (compras de bienes y servicios).

Si por ejemplo, la exportación es menor que el imput, la Administración abonará rápidamente la diferencia.

¿POR QUE SE INTRODUCE EL I. V. A.?

Se preguntó el señor Alemany, por los defectos de la actual tributación, ya que el I. T. E. es muy anticuado e imperfecto, pues grava los procesos productivos con mayor intensidad cuantas más sean las fases del proceso de producción. En cambio, el I. V. A. es un impuesto neutral, ya que la carga es la misma en todos los pasos del producto.

Otro defecto del I. T. E., continuó, es la total opacidad en las operaciones de tráfico exterior. Así, la desgravación fiscal a la exportación desaparecerá con el I. V. A. Creemos, dijo, que globalmente, los empresarios españoles no tendrán problemas con su implantación, pues tienen suficiente capacidad para afrontarlo con éxito, ya que saben con la suficiente antelación que las primas a la exportación van a desaparecer.

Naturalmente, prosiguió el señor Alemany, se podría ayudar al sector minero con una reducción de los costes que soporta el empresario con la Seguridad Social, pero esto, continuó, no se va a producir, por lo menos, durante el primer año de su implantación.

El primer proyecto I. V. A. de 11 de noviembre ya se ha visto superado por otro que se va a ver ahora en el

Parlamento y me temo, que no va a entrar el sector minero en la base del 6 por 100 y si, para algunos productos metalúrgicos, por ejemplo, el automóvil, en el 33 por 100.

Otros defectos del I. T. E. es su escasa generalidad, pues lo soportan escasas empresas, 700.000 a 2.000.000.

El Ministerio de Economía y Hacienda está recibiendo sugerencias de todos los sectores para elaborar un I. V. A. más perfecto que ayude mejor a las empresas españolas.

Creemos, dijo el señor Alemany, que el I. V. A. es más perfecto que los 23 tributos que va a eliminar y, desde luego, hay que ponerlo en marcha aunque no entrásemos en la C. E. E. La Comunidad exige como requisito insoslayable su entrada en vigor antes de nuestra incorporación. De hecho, señaló, los países de la Comunidad Económica Europea son una minoría entre los que han implantado el Impuesto sobre el Valor Añadido, ya que funciona en más de treinta países, desde Marruecos, Chile y Nicaragua, hasta Austria y Suecia entre los más desarrollados.

EL I. V. A. FAVORECE LA INVERSION

El Ministerio de Economía y Hacienda ha hecho un estudio de su implantación y en él se pone de manifiesto que los efectos inflacionistas van a ser moderados, pues no pasarán del 2 por 100 del Índice de Precios al Consumo.

Teóricamente, continuó el señor Alemany, no se tendrían que alterar los precios, pero como habrá más carga tributaria en ciertos sectores, estos trasladarán a los precios el incremento de la carga fiscal. Otros sectores, señaló, deberían rebajar sus precios por tener ahora menor carga fiscal, pero sabemos por experiencia, dijo, que no lo harán. Todo esto significará una alteración estimada de un 2 por 100 como máximo del I. P. C.

Únicamente en cuatro países se han producido efectos inflacionistas relevantes y, en estos cuatro, se ha debido a un excesivo afán recaudatorio de sus administraciones.

Otro de los problemas que podría plantearse en relación con el Impuesto del Valor Añadido son los efectos sobre el tráfico exterior, pero el sector minero no se va a perjudicar mucho, pues es muy competitivo.

PREOCUPACIONES DEL SECTOR

FALSAS DIFICULTADES ALEGADAS

— Los que señalan que las empresas mineras son de un alto valor añadido y como consecuencia soportarían una carga más que proporcional.

Esto, continuó el señor Alemany, no es cierto, pues el I. V. A. no es un auténtico impuesto sobre el valor añadido, ya que es un impuesto sobre el consumo que repercutirá sobre los clientes, mientras que el empresario recuperará sus compras de bienes y servicios reembolsando así sus inversiones y el resto lo ingresará en la Delegación de Hacienda correspondiente.

— Se dice que el sector tiene elevada influencia en la

mano de obra empleada. Pero, el I. V. A. no grava la mano de obra.

— Se alega que el sector minero usa más cantidad de energía que otros sectores industriales. Pero como el I. V. A. invertido en energía es deducible, no influye sobre los costes de producción de las empresas mineras.

— Por último, se dice que en el convenio internacional el I. V. A. lo grava mucho. No es cierto, pues podrán ustedes recuperar muy rápidamente sus inversiones antes de liquidar a Hacienda.

DIFICULTADES REALES

— Desaparecerán los ajustes fiscales en fronteras.

— Desaparecerán las ayudas a la exportación.

— Desaparecerán los tributos aduaneros en relación con la C. E. E. Lo que, sin duda, supondrá una ventaja para las producciones españolas de productos minerales.

— Es otra desventaja para la patronal minera los excesivos costes de la Seguridad Social, pero precisamente el I. V. A. contribuirá en el futuro, no inmediatamente, a disminuir la incidencia relativa de la Seguridad Social en las empresas.

Del mismo modo, continuó el señor Alemany, disminuirá el coste de la energía gracias a la desaparición del canon energético. Será absorbido por el I. V. A. y se abonará por el Estado.

Existente también una ventaja en el régimen transitorio, ustedes saben, señaló el señor Alemany, que el Estado va a compensar a los empresarios por las cargas que se van a suprimir en relación con los stocks que tengan en su poder en la fecha en que entre el vigor el I. V. A.

La cantidad global a devolver por el Estado será, en principio, de un 6 por 100 hasta el límite de artículos en el 31 de diciembre de 1985, para exportar en 1986, el Estado pagará la diferencia entre este 6 por 100 y la cifra fijada para la exportación.

En relación con esto, los bienes adquiridos en 1985 que han soportado el I. T. E., el Estado devolverá un 6 por 100 del valor de adquisición de estos bienes.

Si se tratase de bienes importados, la devolución también tendrá lógicamente este límite del 6 por 100.

CONCLUSIONES

Creemos, dijo el señor Alemany, que con la implantación del I. V. A. España tendrá una favorable situación competitiva exceptuando algún sector metalúrgico que habrá que mejorar.

El I. V. A. que irá, probablemente, al próximo Consejo de Ministros, luego pasará a las Cortes para su aprobación y creemos que mediante trámite de urgencia se resolverá antes de las vacaciones parlamentarias de verano.

Mientras tanto, el Ministerio de Economía y Hacienda ya ha elaborado un primer borrador del Reglamento sobre el Impuesto del Valor Añadido que irá actualizándose, poniéndolo al día y perfeccionándolo.

Una vez que el Proyecto de Ley sea aprobado se dará una gran difusión del mismo y se pedirá ayuda y colaboración a los sectores empresariales, Cámaras de Comercio, expertos fiscales, etc., para que una vez conocido el reglamento, puedan manifestar sus opiniones y se mejore así de forma tal que distorsione lo mínimo posible el funcionamiento de las empresas.

Queremos evitar, dijo el señor Alemany, el posible efecto inflacionista derivado de su implantación.

Este impuesto, finalizó su intervención el Subdirector General de Impuestos Indirectos, es más sencillo de lo que parece. Conocemos la experiencia de los demás países que cuentan con él y la vamos a aplicar. Estoy convencido, dijo, que el 1 de enero de 1986 todos los empresarios conocerán perfectamente el nuevo impuesto y el Estado, por su parte, pondrá en marcha medidas económicas para evitar efectos no deseados.

MIL MILLONES DE CREDITO OFICIAL PARA INVESTIGACION MINERA

El Banco de Crédito Industrial (BCI) ha dispuesto una línea especial de crédito mediante el sistema «venture-capital» para financiar proyectos de investigación minera. Se ha dotado con un total de 1.000 millones de pesetas que se destinará a financiar hasta el 90 por 100 de la inversión total en el proyecto. Una de las grandes novedades de estos créditos orientados al fomento de proyectos de investigación minera estriba en que, en el caso de resultar fallidos, será el propio BCI el que absorberá el riesgo de la operación.

Las necesidades del sector minero para las inversiones en proyectos de investigación han sido estimadas por los expertos en una cifra que oscila entre los 50.000 y 60.000 millones de pesetas. Esta nueva línea de crédito va dirigida a pequeñas empresas o grupos de investigadores, que una vez realizada la investigación y la evaluación del proyecto pueden vender el mismo.

LA ENTRADA EN LA CEE SERA BENEFICIOSA PARA LA MINERIA, EN ESPECIAL DE CARBON

La integración de España en la CEE será beneficiosa para el sector minero, especialmente para el carbón, ya que la Comunidad es deficitaria tanto en carbón térmico como en hulla coquizable. Sin embargo, la minería asturiana pasa por una grave crisis financiera.

En un documento del Gobierno autónomo de Asturias que analiza extensamente las repercusiones socioeconómicas de la integración en la CEE se subraya que la minería no sufrirá efectos negativos, ya que se acepta la política de contratos-programa. Sin embargo, el sector minero español, particularmente el asturiano, tendrá que adaptarse a la CEE disminuyendo los déficit de las explotaciones no rentables, modernizando y racionalizando las explotaciones y actualizando el ordenamiento del mercado interno.

En este sentido, unas 30 empresas mineras de carbón de Asturias, con una plantilla de unas 1.500 personas,

podrían iniciar la tramitación de expedientes de regulación de empleo ante la crítica situación de las cuatro centrales térmicas asturianas. Según la Cámara Oficial Minera de Asturias, esta situación se debe a la reducción de horario de funcionamiento de estas centrales térmicas, sugerido por la Administración Central.

Con la entrada en la CEE la situación podría mejorar, ya que la Comunidad depende del suministro externo en un 24 por 100 del consumo de carbón térmico y del 33 por 100 de la hulla coquizable. En la CEE existe, asimismo, una política de subvenciones por parte de los países miembros a sus carbones, recogidos en disposiciones de la CECA, que se han venido prorrogando con el objetivo de asegurar el abastecimiento a largo plazo a la Comunidad en las mejores condiciones económicas.

LAS MINAS DE HIERRO, EN VIAS DE DESAPARICION

Las minas de hierro desaparecen paulatinamente de los países miembros de las Comunidades Europeas, según un estudio del diputado del Parlamento Europeo, Ernest Muhlen. Los diez países miembros de la CEE importan actualmente el 80 por 100 de sus necesidades en minerales de hierro y la tendencia a aumentar esta dependencia exterior es calificada por Muhlen como «económicamente irreversible».

APROBADO EL NUEVO REGLAMENTO DE SEGURIDAD MINERA

El Consejo de Ministros del 2 de abril de 1985 aprobó el nuevo reglamento de seguridad minera. Esta norma legal incluye las disposiciones sobre medidas de salvamento, clasificación de las labores subterráneas y sus condiciones en cuanto a acceso, extracción, circulación y transportes, y trabajo de explotaciones, así como ventilación, desagüe y condiciones ambientales.

Las labores bajo tierra serán clasificadas respecto al grisú u otros gases combustibles, al riesgo de incendio y su propagación y a polvos inflamables.

Las exportaciones mineras subterráneas tendrán dos salidas independientes a la superficie sin que sea preciso que se encuentren en una misma concesión.

Se exige también la autorización oficial a los maquinistas de extracción y un certificado médico sobre las condiciones psicofísicas de estos trabajadores.

Por otra parte, el Ministerio de Industria elaborará un plan para *coordinar y fomentar todas las actividades investigadoras en el sector de la minería*, según acordó el último Consejo de Ministros.

El citado plan, con una vigencia de cinco años y efectos retroactivos desde el 1 de enero de 1985, integrará los proyectos de investigación que se desarrollen por el Estado o las empresas privadas que cuenten con participación de capital público.

La financiación de los proyectos se hará por las transferencias de la Dirección General de Minas del INI, las participaciones públicas y privadas y los reintegros que se deriven cuando los proyectos obtengan beneficios.

EL CARBON EN LA ENERGIA ESPAÑOLA

El consumo de energía primaria en España durante 1984 fue de 108,23 millones de toneladas equivalentes de carbón, con incremento del 2,2 por 100 sobre 1983. Ese consumo supone un gasto de energía final de 70,73 millones de tec, con aumento del 1,3 por 100 sobre 1983. El carbón continúa siendo, después del petróleo, la principal fuente energética de nuestro país, y tras la caída de la década de los setenta se ha estabilizado en la actualidad alrededor del 25 por 100 del abastecimiento energético.

PRODUCCION DE CARBON (1.000 Tm)

	1984	Previsión PEN 1986
Hulla	9.907	17.200
Antracita	5.570	
Lignito negro	6.918	6.200
Lignito pardo	17.405	16.300
	39.800	39.700

CONSUMO DE ENERGIA PRIMARIA EN ESPAÑA (Millones de tec)

	1980		1981		1982		1983		1984	
	Mtec	(%)	Mtec	(%)	Mtec	(%)	Mtec	(%)	Mtec	(%)
Carbón	19,99	18,8	23,19	22,4	26,52	25,5	27,32	25,8	26,87	24,8
Petróleo	71,42	67,1	66,10	63,9	62,34	59,9	61,18	57,8	57,03	52,7
Gas natural	2,81	2,6	3,11	3,0	3,39	3,3	3,50	3,3	3,39	3,1
Hidráulica	10,65	10,0	7,85	7,6	8,89	8,5	10,24	9,7	12,68	11,7
Nuclear	1,59	1,5	3,24	3,1	2,94	2,8	3,64	3,4	8,26	7,7
Total	106,46	100,0	103,49	100,0	104,08	100,0	105,88	100,0	108,23	100,0

EL MUNDO, AMENAZADO DE UN NUEVO «SHOCK» ENERGETICO

España y, en general, la mayoría de los países miembros de la OCDE, deben afrontar con astucia un posible vuelco de la situación energética mundial y los riesgos de una reaparición de un nuevo «shock» del petróleo.

En estos términos no demasiado optimistas coincidieron varios expertos energéticos mundiales que asistieron en Madrid al acto de presentación del XIII Congreso de la Conferencia Mundial de la Energía, que se celebrará en Cannes (Francia) el próximo año 1986.

Este pronóstico fue confirmado por el director ejecutivo de la Agencia Internacional de la Energía, Wallace Hopkins, al subrayar que a largo plazo —cinco o diez años— el consumo de petróleo crecerá lentamente —gracias a la cooperación internacional en las medidas tomadas— en los países de la OCDE, pero más rápidamente en los países en vías de desarrollo. Dado que la producción y las reservas fuera del área de la OPEP permanecerán a bajos niveles o se reducirán, se incrementará la demanda para el crudo procedente de los países de la OPEP, especialmente del Golfo.

Según Hopkins, el crecimiento económico y la industrialización en los países en vías de desarrollo significarán que su consumo de energía pasará de un 20 por 100 en 1982 sobre el total del consumo mundial a más de un 26 por 100 en el año 2000.

La demanda de crudo importado en estos países se situará en ocho millones de barriles diarios, frente a cuatro millones de barriles en 1982.

Hopkins subrayó la necesidad de que en los próximos años continúen las inversiones destinadas a reducir la

dependencia del petróleo, tal como se ha venido haciendo desde el inicio de la crisis energética.

Este tema, al igual que el de la demanda de energía eléctrica, la penetración del carbón, el futuro de las nuevas tecnologías, la oferta y demanda del gas natural y la energía nuclear, se tratarán, según Hopkins, en el XIII Congreso de la Conferencia Mundial de la Energía.

Esta conferencia, que se reunió por primera vez en 1924 en Londres y que celebra sus congresos con carácter trianual, se desarrollará en Cannes (Francia) bajo el lema «Energía: necesidades y expectativas».

Al acto de la presentación del congreso, que tuvo lugar en el Ministerio de Industria y Energía, asistieron la directora general de la Energía, Carmen Mestre; el secretario técnico del Instituto Nacional de Hidrocarburos, Ramón Leonato; el presidente de EDF, Marcel Botieux, que es presidente a su vez del comité organizador del congreso, y el presidente de Unesa, Juan Alegre Marcet.

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA (IGME)

División de Geotecnia

JORNADAS SOBRE VOLADURAS CONTROLADAS EN ZONAS URBANAS

25 de junio de 1985
Auditorium de la Fundación Gómez-Pardo
c/ Alenza, 1 (Metro Ríos Rosas)
M A D R I D

PRESENTACION

La utilización de la roca como elemento de soporte de edificios y estructuras de todo tipo, es cada día más frecuente. Ello es posible gracias a la fiabilidad de las técnicas de voladura disponibles. Igualmente, la remodelación de zonas urbanas utiliza con frecuencia técnicas de demolición con voladuras controladas.

El objeto de esta Jornada Técnica es difundir las técnicas de Diseño y Control de Voladuras en Zonas Urbanas, tanto para Excavación como para Demoliciones, con objeto de facilitar una aplicación mayor y más segura de las mismas.

PROGRAMA

25 de junio de 1985

MAÑANA

- 10,00 Apertura.
Ilmo. Sr. D. J. E. Azcárate Martín.
Director General del IGME.
- 10,10 Presentación de la Jornada.
D. Emilio Hidalgo Bayo.
Moderador, IGME.
- 10,20 Diseño de Voladuras para Demolición y Excavación en Zonas Urbanas.
D. Esteban Langa Fuentes.
Río Blast, S. A.
- 11,00 Coloquio.
- 11,10 Criterios de Daños para Demolición y Excavación.
D. Javier Castanedo Navarro.
Equipo de Asistencia Técnica, S. A.
- 11,50 Coloquio.
- 12,00 Pausa. Café en la Sala de Profesores de la E. T. S. de Ingenieros de Minas.
- 12,15 Instrumentación y Control.
D. Miguel Abad Fernández, IGME.
- 12,50 Coloquio.
- 13,00 Organización de Voladuras Controladas.
D. Eduardo Fernández Agudo.
Voladuras Controladas, S. A.
- 13,50 Coloquio.

TARDE

- 16,15 Pase de Películas. Coloquio.
- 18,15 Visita a los Laboratorios de Instrumentación del IGME.

COLABORAN:

- EQUIPO DE ASISTENCIA TECNICA, S. A.
- RIO BLAST, S. A.
- VOLADURAS CONTROLADAS, S. A.

SECRETARIA

Lucas Vadillo. IGME
Teléfono: 441 65 00 - Ext. 209

XIX CURSO DE GEOLOGIA PRACTICA DE TERUEL 1985

Organizado por el Instituto de Estudios Turolenses, con la colaboración del Colegio Universitario de Teruel y los Departamentos de Geomorfología y Geotectónica y de Geografía General de la Universidad de Zaragoza, se celebrará en Teruel entre los días 8 al 20 de julio de 1985, bajo el patrocinio de la Excm. Diputación Provincial un Curso de Geología Práctica.

Podrán asistir al Curso los graduados y alumnos de Universidades y Escuelas Técnicas Superiores, quedando limitado el número de plazas a cincuenta.

El objetivo principal de este Curso es completar de forma eminentemente práctica la formación geológica de los participantes, ofreciendo una visión general de la Cordillera Ibérica mediante excursiones, dirigidas por investigadores y profesionales especializados, y conferencias complementarias.

El Curso edita un libro-guía en el que se incluyen todos los itinerarios, investigaciones actualizadas y textos de las conferencias, lo que permite un mejor seguimiento del Programa, que se desarrollará del modo siguiente:

Día 8.—5 tarde: Recepción de participantes y entrega de documentación en el Colegio Universitario.

Conferencia del Dr. J. L. SIMON GOMEZ sobre: «Principales rasgos de la evolución de la Cadena Ibérica centro-oriental».

Día 9.—Excursión: La Tectónica del Precámbrico y Cámbrico Inferior del valle del Jalón. Dr. R. CAPOTE DEL VILLAR.

Día 10.—Excursión a los yacimientos de hierro de Sierra Menera. Dra. C. FERNANDEZ NIETO y Dr. M. GUTIERREZ ELORZA.

Día 11.—Excursión al Ordovícico - Devónico de la Unidad de Herrera. Dr. P. CARLS, Dr. E. LIÑAN GUIJARRO y Dr. E. VILLAS PEDRUELO.

Día 12.—Excursión a la Sierra de Albarracín. Dr. O. RIBA ARDERIU.

Día 13.—Excursión a la región de Tragacete-Moscárdón. Dr. A. MELENDEZ HEVIA, Dr. F. MELENDEZ HEVIA, J. M. PORTERO GARCIA y Dr. J. RAMIREZ DEL POZO.

Día 14.—Descanso.

Día 15.—Excursión a la región de Utrillas. Dr. G. PARDO TIRAPU, Dr. J. VILLENÁ MORALES y A. PEREZ GARCIA.

Día 16.—Excursión a las Fosas del Jiloca y de Teruel-Alfambra. J. M. PORTERO GARCIA y A. OLIVE DAVO.

Día 17.—Excursión: Rocas ígneas de Villed. Dr. V. SANCHEZ CELA. Caolines de Riodeva. Dr. F. LOPEZ AGUAYO.

Día 18.—Excursión: Geología y paleontología de los alrededores de Teruel. R. ADROVER, Dr. M. GUTIERREZ ELORZA y Dr. J. L. PEÑA MONNE.

Día 19.—Excursión: Karst de Pozondón y Villar del Cobo. Periglaciario del Macizo del Tremedal. Dr. M. GUTIERREZ ELORZA y Dr. J. L. PEÑA MONNE.

Cena de Clausura.

Día 20.—Clausura. Conferencia del Dr. J. AGUEDA VILLAR sobre «Incidencia ambiental de la minería del carbón».

Recepción a los participantes en el Excmo. Ayuntamiento de Teruel.

Notas bibliográficas

GEOLOGIA GENERAL

841566. **Bibliografía geológica de la Argentina (1980-1981).** CAMACHO, H. H.; PARADA, A., y RIMSKI-KORSAKOV, A. *Publi. CIRGEO* (1984), núm. 1, 219 pp., esp., bibl. IGME.
* Geología, Bibliografía, Argentina.

841616. **Mineros destacados del siglo XIX. Lorenzo Gómez Pardo y Enseña (1801-1847).** LOPEZ DE AZCONA, J. M. *Bol. Geol. Min.* (1984), vol. 95, núm. 3, 277-298 2 ref., esp., bibl. IGME.

* Bibliografía personal, Yacimentología, Enseñanza, España.

841624. **Programa de acción de la Comunidad Económica Europea en materia de medio ambiente.** ANONIMO. *Inf. ambiental* (1984), núm. 1, 36-44, esp., bibl. IGME.

* CEE, Cooperación internacional, Programa, Protección medio ambiente.

841652. **Memoria 1982.** CSIC. *Mem. CSIC* (1983), 240 pp., esp., bibl. IGME.

* Informe actividad, Informe anual, Sociedad científica, Consejo Superior Investigaciones Científicas, España.

841666. **Libro Jubilar J. M. Ríos. Tomo 3.** IGME. *IGME* (1983), 289 pp., ref. disem., esp., bibl. IGME.

* Geología, España.

841688. **Lyell en España.** ALASTRUE, E. *Libro Jubilar J. M. Ríos, Tomo 3, IGME* (1983), 259-269, 15 ref., esp., bibl. IGME.

* Geología, Bibliografía personal, España.

GEOLOGIA REGIONAL

841667. **La Zona Asturoccidental-Leonesa en Aragón y el Macizo del Ebro como prolongación del Macizo Cantábrico.** CARLS, P.

Libro Jubilar J. M. Ríos, Tomo 3, IGME (1983), 11-32, 51 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Cámbrico, Ordovícico, Silúrico, Devónico, Carbonífero, Anticlinal, Tectónica, Magmatismo, Paleogeografía, Síntesis bibliográfica, Aragón, Macizo Ibérico.

841669. **Contribución a la geología del Paleozoico del Valle de Tena, Alto Gállego, Provincia Huesca.** RIOS, L. M.; LANAJA, J. M., y FERNANDEZ, C.

Libro Jubilar J. M. Ríos, Tomo 3, IGME (1983), 45-59, 48 ref., esp., bibl. IGME.

* Silúrico, Devónico, Namuriense, Westfaliense, Estefaniense, Pérmico, Buntsandstein, Orogenia hercínica, Pliegue, Tectónica superpuesta, Microtectónica, Orogenia alpina, Falla, Cabalgamiento, Fauna, Provincia Huesca, Pirineos españoles.

ESTRATIGRAFIA

841570. **New Stromatolites from the Upper Precambrian Açungui Group Eastern Paraná, Brazil, and their Potential Stratigraphic Use.** FAIRCHILD, T. R.

Bol. IG. Univ. Sao Paulo, inst. geocienc., Brasil (1982), vol. 13, 43-50, 27 ref., ing., res. port., bibl. IGME.

* Stromatolito, Biostroma, Dolomía, Nivel guía, Antecambriano, Antecambriano sup., Grupo Açungui, Paraná.

841575. **Reavaliação dos Dados Palinológicos no Neopaleozoico Brasileira.** LIMA, M. R. y DHARANI SUNDARAM. *Bol. IG. Univ. Sao Paulo, inst. geocienc., Brasil* (1982), vol. 13, 81-99, 107 ref., port., res. ing., bibl. IGME.

* Síntesis bibliográfica, Bioestratigrafía, Palinología, Primario, Primario sup., Cuenca Paraná, Cuenca Amazonas, Brasil.

841674. **Estromatolitos y facies asociadas en la Formación Santo Domingo, Cámbrico inferior de la Sierra de Córdoba.** GARCIA-HERNANDEZ, M., y LIÑAN, E.

Libro Jubilar J. M. Ríos, Tomo 3, IGME (1983), 125-132, 12 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Cámbrico inf., Litofacies, Estromatolitos, Roca carbonatada, Grainstone, Wackestone, Packstone, Boundstone, Estructura sedimentaria, Silixita, Nivel guía, Sedimentación intertidal, Medio agua poco profunda, Mapa geológico, Provincia Córdoba, Hercínico Sur.

CUATERNARIO

841621. **Cesaraugusta I (Campana 1975-1976)**. BELTRAN, M.; SANCHEZ NUVALA, J. J.; AGUAROD, M. C., y MONTALAC, A.

Excav. arqueol. Esp. (1980), núm. 108, 300 ref., esp., bibl. IGME.

* Sedimento, Actual, Corte geológico, Cerámica, Utensilio, Arqueología, Provincia Zaragoza.

841622. **Estratigrafía en la «Casa de las Columnas»**. ABAD CASAL, L.

Excav. arqueol. Esp. (1982), núm. 121, 133-202, 7 ref., esp., bibl. IGME.

* Estratigrafía, Actual, Arqueología, Itálica, Santiponce, Provincia Sevilla.

841623. **Corte estratigráfico de la Casa de la Venus**. PELLICER, M.; HURTADO, V., y LA BANDERA, M. L.

Excav. arqueol. Esp. (1982), núm. 121, 11-28, esp., bibl. IGME.

* Estratigrafía, Actual, Corte geológico, Arqueológico, Itálica, Santiponce, Provincia Sevilla.

GEOLOGIA MARINA

841664. **Deterioro de la costa oeste de Africa que comprende de Cabo Espartel a Cabo Verde con inclusión de Dakar, e islas Azores, Madra, Selvagens, Canovas y Cabo Verde**. INSTITUTO HIDROGRAFICO DE LA MARINA.

Derrotero (1984), núm. 4, 391 pp., 4 ref., esp., bibl. IGME.

* Morfología costa, Precipitación atmosférica, Temperatura, Viento, Velocidad, Corriente marina, Atlántico Noroeste.

GEOLOGIA DEL INGENIERO

841561. **Establecimiento de criterios geológicos para prevención de daños por avenidas. Aplicación a las inundaciones del valle del Nervión (País Vasco) en agosto de 1983**. LOPEZ-PRADO, J.; MARTIN SERRANO, A., y PINEDA, A.

IGME, 86 pp., esp., bibl. IGME.

* Catástrofe natural, Histórico, Caudal río, Divisoria de aguas, Deslizamiento terreno, Previsión, Provincias Vasca.

841568. **Deteccao de Zonas de Fugas d'Agua em Reservatorios, Utilizando Tecnicas Geofisicas. Potencial Esponaneo**. ELLERT, N., y SANCHES, W.

Bol. IG. Univ. Sao Paulo, inst. geocienc., dep. geol. econ. geofis. apl. Brasil (1982), vol. 3, 15-24, 8 ref., port., res. ing., bibl. IGME.

* Presa, Lago artificial, Percolación, Infiltración, Permeabilidad, Ensayo laboratorio, Piezometría, Levantamiento eléctrico, Polarización espontánea, Trazador radiactivo, Presa de Saracuruna, Río de Janeiro.

841618. **Gases tóxicos producidos por voladuras**. CAMPA, V.

Cant. explot. (1984), núm. 206, 16-25, esp., bibl. IGME.

* Explosión, Ventilación mina, Gas, Toxicidad, Previsión, Tecnología.

PALEONTOLOGIA. GENERALIDADES

841571. **Preparação de Cutículas de Plantas Paleozóicas**. FITTIPALDI, F. C., y RÖSLER, O.

Bol. IG., Univ. Sao Paulo, inst. geocienc., Brasil (1982), vol. 13, 51-56, 26 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Recogida, Cutículas, Preparación muestras, Fósil, Flora, Microscopía, Microscopio electrónico, Método MEB, Síntesis bibliografía, Pérmico inf, Cuenca Paraná, Brasil.

841574. **Relações Existentes entre a Cor e a Potencialidade Palinológica do Sedimento**. ARAI, M.

Bol. IG., Petróbás, Rio de Janeiro, Brasil, vol. 13, 75-80, 9 ref., port., res. ing., bibl. IGME.

* Palinología, Análisis polínico, Preparación muestras, Metodología, Color, Oxidación.

PALEONTOLOGIA DE LOS VERTEBRADOS

841619. **De las extinciones de Dinosaurios a Némesis**. MARTIN ESCORZA, C.

El Geólogo (1984), núm. 7, 6-8, esp., bibl. IGME.

* Dinosaurio, Extinción, Geología extraterrestre, Meteorito, Cretácico, Terciario.

PALEONTOLOGIA DE LOS INVERTEBRADOS

841668. **Nuevos datos bioestratigráficos sobre el Oxfordiense Superior en Moscardón, Teruel**. MELENDEZ, G.; OLORIZ, F., y SAEZ, A.

Libro Jubilar J. M. Ríos, Tomo 3, IGME (1983), 33-44, 51 ref., esp., bibl. IGME.

* Ammonoidea, Coelenterata, Gastropoda, Bivalvia, Bioestratigrafía, Oxfordiense, Taxón colonial, Serpulidae, Polychaeta, Provincia Teruel, Macizo Ibérico.

841675. **El final del régimen arrecifal Devónico en la Cadena Cantábrica**. FRANKENFELD, H.; KULLMANN, J., y SCHONENBERG, R.

Libro Jubilar J. M. Ríos, Tomo 3, IGME (1983), 133-136, 4 ref., esp., bibl. IGME.

* Extinción, Fauna coralífera, Constructor de arrecifes, Tectónica de fractura, Fresniense, Montes Cantábricos, Región Cantábrica.

841677. **Nota paleoecológica sobre V. Gerundensis, Gastropoda, Paleoceno**. CALZADA, S.

Libro Jubilar J. M. Ríos, Tomo 3, IGME (1983), 147-150, 4 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Gastropoda, Remoción fósil, Paleoecología, Tanatoce-nosi, Paleoceno, Provincia Barcelona.

841678. **Nuevos clístidos del Ordovícico de los Montes de Toledo**. MELENDEZ, B., y CHAUVEL, J.

Libro Jubilar J. M. Ríos, Tomo 3, IGME (1983), 151-155, 9 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Cystoidea, Calyx, Batallería, Revisión, Ordovícico medio, Taxón nuevo, Montes de Toledo, Hercínico Centro, Provincia Toledo.

PALEOBOTANICA

841572. **Sobre a Presença do Genero Rubidgea no Eogordusana de Cerquillo, Subgrupo Itararé de Sao Paulo**. MILLAN, J. H., y DOLIANITI, E.

Bol. IG., Univ. federal Rio de Janeiro, secc. paleontol., Brasil (1982), vol. 13, 56-65, 19 ref., port., res. ing., bibl. IGME.

* Glossopteridales, Hoja, Biometría, Carbonífero, Sao Paulo.

841573. **Nova forma do Complexo Vertebraria nos Argilitos Carbonosos da Formação Rio Bonito, Santa Catarina, Brasil**. MUSSA, D.

Bol. IG., D. N. P. M. Rio de Janeiro, Brasil (1982), vol. 13, 66-74, 12 ref., port., res. ing., bibl. IGME.

* Gymnosperma, Pteridosperma, Schophaucalia, Madera fósil, Histología, Pérmico, Formación Río Benito, Santa Catarina.

841576. **Estudio Palinológico de la Formación Piedra Pintada, Jurásico Inferior de la Cuenca Neuquina, Argentina**. ARGUIJO, M.; VOLKHEIMER, W., y ROSENFELD, V.

Bol. IG., Mus. arq. B. Rivadavia, Buenos Aires (1982), vol. 13, 100-107, 23 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Polimorfa, Polen, Espora, Miospora, Asociación, Jurásico inf, Cuenca Neuquen, Andes Argentinos.

841676. **La biometría foliar en la determinación de paleoclimas Terciarios**. ALVAREZ RAMIS, C.

Libro Jubilar J. M. Ríos, IGME (1983), 137-146, 28 ref., bibl. IGME.

* Biometría, Hoja, Flora, Terciario, Paleoclima, Provincia Tarragona, Pirineos españoles.

TECTONICA

841565. **Compresión y distensión en la Cadena Ibérica Oriental**. SIMON, J. L.

Teruel: Inst. Estud. Turolenses (1984), 269 pp., esp., bibl. IGME.

* Tesis, Geología regional, Orogenia Hercínica, Orogenia Alpina, Falla, Fosa tectónica, Horst, Tectónica superpuesta, Compresión tectónica, Deformación, Flexura, Microtectónica, Elemento estructural, Microestructura, Pliegue, Estructura sedimentaria, Estilolito, Fracturación, Neotectónica, Sismotectónica, Provincia Castellón, Provincia Valencia, Provincia Teruel, Macizo Ibérico.

841609. **The Esla Nappe and its implications for the paleogeography of the Givetian-Frasnian Portilla Limestone Formation in the Cantabrian Mountains (NW Spain)**. VAN DER BAAN, D.; REIVERS, T. J. A., y VAN DER SLUYS, G.

Bol. Geol. Min. (1984), vol. 95, núm. 3, 203-213, 20 ref., ing., res. esp., bibl. IGME.

* Manto, Alóctono, Síntesis bibliográfica, Paleogeografía, Cronoestratigrafía, Givetiense, Frasnense, Formación Portilla, Provincia León.

841610. **The Peñolas structure in the Peña Corada unit, Cantabrian Mountains (Spain)**. REIJERS, T. J. A.

Bol. Geol. Min. (1984), vol. 95, núm. 3, 214-224, 10 ref., ing., res. esp., bibl. IGME.

* Pliegue, Sinclinal, Deformación, Falla, Compresión tectónica, Microtectónica, Orogenia hercínica, Epirogenesis, Paleogeografía, Peña Corada, Provincia León.

841679. **Las rocas cataclásticas de la base del manto del Esla (Cordillera Cantábrica, León)**. ARBOLEYA, M. L.

Libro Jubilar J. M. Ríos, Tomo 3, IGME (1983), 157-163, 12 ref., esp., bibl. IGME.

* Falla, Cabalgamiento, Manto, Deformación, Caliza, Cataclasita, Milonita, Génesis, Región Cantábrica, Provincia León.

841681. **Estudio geométrico de pliegues cónicos y su aplicación a la terminación occidental del sinclinal de Guadalmez**. MARTINEZ RIUS, A.

Libro Jubilar J. M. Ríos, Tomo 3, IGME (1983), 177-192, 15 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Pliegue, Pliegue cilíndrico, Sinclinal, Eje pliegue, Geometría, Falla, Falla inversa, Ordovícico, Silúrico, Devónico, Mapa estructural, Provincia Badajoz.

841682. **Dos ejemplos de hundimientos gravitacionales en los alrededores de Caldas de Bohí (Pirineos Lleidanos).** SOETERS, R., y RENGERS, N.

Libro Jubilar J. M. Ríos, Tomo 3, IGME (1983), 193-202, 9 ref., esp., bibl. IGME.

* Hundimiento, Movimiento vertical, Corrimiento gravedad, Falla, Falla inversa, Cámbrico, Ordovícico, Provincia Lérida, Pirineos españoles.

HIDROGEOLOGIA

841424. **Consideraciones sobre la «nueva-veja» política hidráulica del Ministerio de Obras Públicas.** LLAMAS, M. *I Congreso Español de Geología. Segovia (1984), Colegio Oficial Geólogos (Madrid), vol. 4, 203-213, 10 ref., esp., bibl. IGME.*

* Gestión recurso agua, Política de Estado, Programa, Planificación, Estudio crítico, Año 1982, España.

841425. **Nuevas consideraciones sobre la estadística española de usos de agua.** LLAMAS, M. R., y COLETO, I. *I Congreso Español de Geología. Segovia (1984), Colegio Oficial Geólogos (Madrid), vol. 4, 215-224, 20 ref., esp., bibl. IGME.*

* Agua, Utilización sustancia, Inventario, Política de Estado, Estudio crítico, 1975-1980, España.

841426. **Un programa para el cálculo del precio del metro cúbico de agua subterránea utilizando una calculadora TI-59.** MARTINEZ ALFARO, P. E.

I Congreso Español de Geología. Segovia (1984), Colegio Oficial Geólogos (Madrid), vol. 4, 225-237, 2 ref., esp., bibl. IGME.

* Programa ordenador, Precio, Agua subterránea, Captación.

841427. **Hidrogeología del borde septentrional de la Sierra de Alta Coloma, Prov. Jaén.** MEDINA MARTIN, J. M., y CASTILLO MARTIN, A.

I Congreso Español de Geología. Segovia (1984), Colegio Oficial Geólogos (Madrid), vol. 4, 239-248, 4 ref., esp., bibl. IGME.

* Acuífero, Caliza, Dolomía, Jurásico, Reserva agua, Balance agua, Calidad agua, Sierra de Alta Coloma, Zona Bética, Zona Subbética, Provincia Jaén.

841428. **Investigación geofísica del acuífero cuaternario de Gortiz, Vizcaya.** MORALES JUBERIAS, T.; CASTAÑOS TERREROS, F.; CRUZ-SANJULIAN, J., y RAMON LLUCH, R.

I Congreso Español de Geología. Segovia (1984), Colegio Oficial Geólogos (Madrid), vol. 4, 249-260, 6 ref., bibl. IGME.

* Acuífero libre, Arena, Cuaternario, Levantamiento eléctrico, Sondeo eléctrico, Modelo, Gortiz, Provincia Vizcaya.

841429. **Estudio de los acuíferos en rocas ígneas y metamórficas mediante sondeos y calicatas eléctricas. Aplicación al Valle de la Granjuela, Córdoba.**

I Congreso Español de Geología. Segovia (1984), Colegio Oficial Geólogos (Madrid), vol. 4, 261-275, 5 ref., esp., bibl. IGME.

* Levantamiento eléctrico, Sondeo eléctrico, Manto agua, Roca ígnea, Roca metamórfica, Resistividad eléctrica, Alteración, Fractura, Devónico, Carbonífero, Provincia Córdoba.

841430. **Abastecimiento compartido por aguas superficiales y subterráneas. Aplicación al caso de Ciudad Real.** OLIVARES TALENS, J. F.; CARRERAS SUAREZ, F., y RUIZ CELAA, C.

I Congreso Español de Geología. Segovia (1984), Colegio Oficial Geólogos (Madrid), vol. 4, 277-286, 3 ref., esp., bibl. IGME.

* Gestión recurso agua, Recurso agua, Aprovisionamiento agua, Agua superficie, Agua subterránea, Miguelturra, Provincia Ciudad Real.

841431. **Características hidroquímicas del acuífero aluvial del polje de Zafarraya.** OLLERO ROBLES, E., y GARCIA GARCIA, J. L.

I Congreso Español de Geología. Segovia (1984), Colegio Oficial Geólogos (Madrid), vol. 4, 287-294, esp., res. fr., bibl. IGME.

* Hidroquímica, Nitrato, Sulfato, Ion, Transmisividad, Acuífero, Aluvión, Mapa hidroquímico, Karts, Polje, Zafarraya, Provincia Granada.

841432. **Incidencia de las aportaciones del Arroyo de la Madre en el balance hídrico del Polje de Zaragoza.** OLLERO ROBLES, E., y GARCIA GARCIA, J. L.

I Congreso Español de Geología. Segovia (1984), Colegio Oficial Geólogos (Madrid), vol. 4, 295-305, esp., res. fr., bibl. IGME.

* Acuífero, Aluvión, Balance agua, Almacenamiento, Recurso agua, Transmisividad, Mapa hidroquímico, Agua de superficie, Karst, Polje, Zafarraya, Provincia Granada.

841433. **Morfología del sustrato y geometría del acuífero aluvial del Polje de Zafarraya, Granada.** OLLERO ROBLES, E., y GARCIA GARCIA, J. L.

I Congreso Español de Geología. Segovia (1984), Colegio Oficial Geólogos (Madrid), vol. 4, 307-315, esp., res. fr., bibl. IGME.

* Levantamiento eléctrico, Acuífero, Aluvión, Neógeno, Beach-rock, Resistividad eléctrica, Mapa geofísico, Karst, Polje, Zafarraya, Provincia Granada.

841434. **Aguas minerales na zona Centro-Ibérica-Sector de Portugal: Metodología, tipología.** FERREIRA, M. P.; CARVALHO, J. M., y MENDONÇA, J. L.

I Congreso Español de Geología. Segovia (1984), Colegio Oficial Geólogos (Madrid), vol. 4, 317-330, 9 ref., esp., bibl. IGME.

* Agua mineral, Control tectónico, Surgencia, Inventario, Hidroquímica, Zona Centro-Ibérica, Portugal.

841435. **Evolución pluviométrica en el Observatorio de Huelva: Período 1903-1982.** ROMERO SANCHEZ, S., y SAINZ SILVAN, A.

I Congreso Español de Geología. Segovia (1984), Colegio Oficial Geólogos (Madrid), vol. 4, 331-344, esp., bibl. IGME.

* Histórico, Precipitación atmosférica, Agua lluvia, Método estadístico, Programa ordenador, Microordenador, Hidrogeología, Provincia Huelva.

841436. **Utilización de aguas subterráneas en el Terciario detrítico del área de Madrid.** SAENZ RIDRUEJO, C.; ARENILLAS PARRA, M.; OCTAVIO DE TOLEDO, F., y LOPEZ-CAMACHO, B.

I Congreso Español de Geología. Segovia (1984), Colegio Oficial Geólogos (Madrid), vol. 4, 345-352, esp., bibl. IGME.

* Reserva agua, Acuífero, Roca clástica, Terciario, Cuenca Tajo, Provincias de Madrid, Toledo y Guadalajara.

841437. **Consideraciones sobre el aprovechamiento del Buntsandstein Medio como acuífero para abastecimiento urbano en el área de la Sierra del Espadán, Valencia.** SANCHIS MOLL, E.; DELGADO MOYA, S., y MOREL, I.

I Congreso Español de Geología. Segovia (1984), Colegio Oficial Geólogos (Madrid), vol. 4, 353-364, 9 ref., esp., bibl. IGME.

* Acuífero, Arenisca, Buntsandstein, Pozo agua, Bombeo, Captación, Transmisividad, Hidroquímica, Nitrato, Ión, Provincia Valencia.

841438. **Recursos y Reservas hídricas subterráneas en la unidad litostratigráfica carbonatada del Cretácico de la Submeseta terciaria de Segovia.** SANZ BLANCO, C.

I Congreso Español de Geología. Segovia (1984), Colegio Oficial Geólogos (Madrid), vol. 4, 365-381, 20 ref., esp., bibl. IGME.

* Acuífero, Roca carbonatada, Cretácico, Recurso agua, Balance agua, Cuenca del Duero, Provincia Segovia.

841440. **El ciclo hidrológico en la vertiente norte de Cantabria.** SASTRE, A.; VILLARROYA, F.; REBOLLO, L., y TERMINO, J.

I Congreso Español de Geología. Segovia (1984), Colegio Oficial Geólogos (Madrid), vol. 4, 399-413, 4 ref., bibl. IGME.

* Ciclo agua, Reserva hidrográfica, Cuenca, Balance agua, Provincia Santander.

841441. **Problemática de las aguas salobres en el Campo Arañuelo. Provincias de Toledo y Cáceres.** VICENTE LA PUENTE, R., y SASTRE MERLIN, A.

I Congreso Español de Geología. Segovia (1984), Colegio Oficial Geólogos (Madrid), vol. 4, 415-425, 10 ref., esp., bibl. IGME.

* Agua salobre, Fuente, Pozo agua, Medio continental, Agua subterránea, Hidrodinámica, Disolución, Carga ión, Macizo filtrante, Retención, Cuenca Tajo, Provincias Toledo y Cáceres.

841442. **El modelo Combi de gestión de los recursos totales de una cuenca.** VIRGOS, L., y MARTINEZ ALFARO, P. E.

I Congreso Español de Geología. Segovia (1984), Colegio Oficial Geólogos (Madrid), vol. 4, 427-434, 9 ref., esp., bibl. IGME.

* Modelo matemático, Modelo COMBI, Gestión recurso agua, Acuífero, Bombeo, Simulación, Método diferencia finita.

841443. **Simulación del flujo subterráneo del sistema**

acuífero del estuario del Guadalquivir en un perfil vertical. YAGÜE, A., y LLAMAS, M. R.

I Congreso Español de Geología. Segovia (1984), Colegio Oficial Geólogos (Madrid), vol. 4, 435-451, 28 ref., esp., bibl. IGME.

* Acuífero, Roca clástica, Plioceno, Cuaternario, Recarga manto, Caudal, Modelo, Hidrodinámica, Simulación, Estuario, Cuenca Guadalquivir, Provincia Sevilla.

841444. **Simulación del flujo subterráneo en el macizo kárstico de la Sierra de Guara, Huesca, y contribución mediante criterios geoestadísticos.**

I Congreso Español de Geología. Segovia (1984), Colegio Oficial Geólogos (Madrid), vol. 4, 453-469, 7 ref., esp., bibl. IGME.

* Modelo, Hidrodinámica, Simulación, Acuífero, Karst, Hidrología superficie, Hidrograma, Régimen permanente, Régimen transitorio, Régimen laminar, Método diferencia finita, Provincia Huesca.

841495. **Las aguas subterráneas de Madrid y la política hidráulica española.** LLAMAS, M. R.

Estudios territoriales (1983), vol. 10, 113-130, 48 ref., esp., bibl. IGME.

* Agua subterránea, Legislación, Manto agua, Roca clástica, Política de Estado, Estudio crítico, Provincia Madrid, España.

841505. **Sobre el régimen de los ríos del Pirineo Navarro.** FLORISTAN, A.

Monogr. Inst. Estud Pirenaicos (1983), núm. 110, 67-75, esp., bibl. IGME.

* Hidrología de superficie, Río, Hidrometría, Caudal río, Pirineos españoles, Navarra.

MINERALOGIA. NO SILICATOS

841567. **Síntese de Criptomelana.** HIPOLITO, R.; GIOVANNOLI, R.; VALARELLI, J. V., y SONOKI, N. T.

Bol. IG., Univ. Sao Paulo, inst. geocienc, dep. mineral. petrol. Brasil (1982), vol. 13, 1-13, 15 ref., port., res. ing., bibl. IGME.

* Criptomelana, Oxido, Síntesis, Reducción química, Grado cristalización, Temperatura, Análisis químico.

PETROLOGIA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

841562. **Las piedras de la catedral de Oviedo y su deterioración.** ESBERT, R. M., y MARCOS, R. M.

Col. of. Aparejadores de Asturias, Oviedo (1983), 147 pp., 37 ref., esp., bibl. IGME.

* Material construcción, Piedra tallada, Dolomía, Caliza,

Caliza bioclástica, Composición mineralógica, Textura, Propiedad física, Porosidad, Alteración meteórica, Alteración química, Análisis cuantitativo, Asturias.

841680. **Subsidencia diferencial urgoniana en el sector occidental central de la región Vasco-Cantábrica.** GARCIA MONDEJAR, J.

Libro Jubilar J. M. Ríos, Tomo 3, IGME (1983), 167-175, 26 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Aptense, Albense, Urgoniano, Megaciclo sedimentario, Mapa isopacas, Subsistencia, Control tectónico, Provincia Santander, Región Cantábrica.

841686. **La durabilidad de los materiales calcáreos como piedra ornamental.** ESBERT, R. M.; ORDAZ, J., y SUAREZ DEL RIO, L. M.

Libro Jubilar J. M. Ríos, Tomo 3, IGME (1983), 245-251, 17 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Piedra tallada, Caliza, Material construcción, Alteración química, Alteración meteórica, Acción biógena, Conservación.

841689. **Factores geológicos condicionantes del abastecimiento de áridos de cantera para la construcción en el área de Madrid.** ARENILLAS, M.

Libro Jubilar J. M. Ríos, Tomo 3, Madrid (1983), 271-282, 69 ref., esp., bibl. IGME.

* Material construcción, Roca clásica, Roca ígnea, Roca metamórfica, Cantera, Primario, Secundario, Terciario, Mapa litológico, Provincias Madrid, Avila, Segovia.

841690. **Los inicios de la petrología en España (1875-1985).** ORDAZ, J.

Libro Jubilar J. M. Ríos, Tomo 3, IGME (1983), 283-289, esp., res. ing., bibl. IGME.

* Petrología, Histórico, España.

PETROLOGIA DE ROCAS IGNEAS Y METAMORFICAS

841564. **Análisis de parámetros petrográficos mediante proceso digital de imágenes.** BEL-LAN BALLESTER, A.

Universidad de Oviedo, dep. petrol. (1984), 136 pp., 65 ref., bibl. IGME.

* Tesis, Análisis imagen, Proceso digital imágenes, Algoritmo, Textura, Junta grano, Dimensión grano, Programa ordenador, Histograma, Microscopio, Método MEB, Instrumentación, Cuarzita, Anortosita.

841614. **Zonación mineralógica en el contacto de un cuerpo intrusivo básico (Trías de la Dorsal Bética).** RUIZ CRUZ, M. D., y BARCELO, G.

Bol. Geol. Min. (1984), vol 95, núm. 3, 255-267, 38 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Dolerita, Ofita, Análisis químico, Análisis modal, Norma petrográfica, Composición mineralógica, Intrusión, Trías, Roca encajante, Arenisca, Metamorfismo contacto, Metasomatismo, Aureola metamórfica, Provincia Málaga.

841661. **Evolución del metamorfismo alpino en el Complejo Nevado-Filábride de la Sierra de Baza, Cordilleras Béticas, España.** GOMEZ PUGNAIRE, M.ª T.

Tecniterrae (1981), núm. 41, 130 pp. 223 ref., esp., bibl. IGME.

* Tesis doctoral, Metamorfismo, Orogenia alpina, Polimetamorfismo, Facies metamórfica, Asociación mineral, Roca metamórfica, Norma petrográfica, Análisis químico, Tectónica superpuesta, Mapa geológico, Cordillera Bética, Zona Bética, Sierra Nevada, Sierra de los Filabres, Sierra de Baza.

841684. **Estudio del complejo volcano-sedimentario del Devónico y de la estructura de la terminación oriental del sinclinal de Almadén (Ciudad Real).** VERGES, J.

Libro Jubilar J. M. Ríos, Tomo 3, IGME (1983), 215-229, 16 ref., esp., bibl. IGME.

* Roca volcánica, Composición toleítica, Roca clásica, Volcano-sedimentario, Pliegue, Sinclinal, Geometría, Paleocorriente, Estratificación cruzada, Devónico, Fauna, Laguna estratigráfica, Mercurio sustancia, Cinabrio, Provincia Ciudad Real.

YACIMENTOLOGIA DE METALES

841558. **Exploración minera, reservas y calidades.** STAM, J. C.

Simposio sobre los problemas de las piritas. Club Español de la Minería. Madrid (1983), 1.1-1.68, 17 ref., esp., bibl. IGME.

* Piritas sustancia, Cobre sustancia, Plomo sustancia, Cinc sustancia, Devónico sup., Carbonífero, Carbonífero inf., Volcano sedimentario, Yacimiento estratiforme, Stockwerk, Reserva, Producción, Prospección minera, Histórico, Metodología, Inventario, Faja pirítica, Provincia Huelva, Provincia Sevilla.

841612. **Mineralización filoniana de Tungsteno en rocas graníticas del sector S de las Cordilleras Costeras Catalanas.** MELGAREJO, J. C., y AYORA, C.

Bol. Geol. Min. (1984), vol. 95, núm. 3, 235-245, 10 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Tungsteno sustancia, Scheelita, Wolframita, Filón, Roca encajante, Granodiorita, Diorita, Tonalita, Análisis mayores, Paragénesis, Cadena Costera Catalana.

841615. **Mineralizaciones de celestina en olistostroma de la depresión del Guadalquivir (NE de Jaén, España).** GALDEANO, C. S. DE; ORTEGA, M.; RODRIGUEZ, J., y VELLILLA, N.

Bol. Geol. Min. (1984), vol. 95, núm. 3, 268-276, 25 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Estroncio sustancia, Celestina, Composición mineralógica, Yacimiento sedimentario, Caliza, Dolomía, Diagénesis, Metasomatismo, Keuper, Jurásico inf., Provincia Jaén.

841656. **Hallazgo de bauxita en el Paleozoico de Guadalajara. ¿Indicio mineralógico o yacimiento potencial?** QUESA GARCIA, A.

Tecniterrae (1981), núm. 39, 6-15, esp., bibl. IGME.

* Índice mineral, Bauxita, Gibsita, Testigo, Sondeo, Análisis químico, Ordovícico, Silúrico, Discordancia, Bauxitización, Paleogeografía, Provincia Guadalajara.

841657. **Estudio del yacimiento de Scheelita de La Parrilla. Cáceres-Badajoz.** GUMIEL, P., y PINEDA, A.

Tecniterrae (1981), núm. 39, 16-38, 12 ref., esp., res. ing., alem., bibl. IGME.

* Scheelita, Tungsteno sustancia, Arsenopirita, Stockwerk, Roca metasedimentaria, Alteración roca encajante, Metamorfismo térmico, Paragénesis, Control tectónico, Microtectónico, Geometría, Campo filoniano, Distribución espacial, Ordovícico, Provincia Cáceres, Provincia Badajoz.

841671. **Estudios sobre la estructura de menas de mercurio: IV Chovar, Castellón.** CALVO, F. A.; GUILLEMAN, J. M., y GOMEZ DE SALAZAR, J. M.

Libro Jubilar J. M. Ríos, Tomo 3, IGME (1983), 97-113, 28 ref., esp., bibl. IGME.

* Cinabrio, Mercurio sustancia, Microestructura, Porosidad, Dato MEB, Dato RX, Microscopía mineral, Yacimiento epitermal, Yacimiento impregnación, Génesis yacimiento, Provincia Castellón.

841672. **Yacimientos uraníferos en el Oeste americano. Lisbon Valley, Utah y Grants Mineral Belt, New Mexico.** FERNANDEZ AMIGOT, J. A., y RIOS MITCHELL, J. M.

Libro Jubilar J. M. Ríos, Tomo 3, IGME (1983), 115-119, 4 ref., esp., bibl. IGME.

* Uranita, Coffinita, Uranio sustancia, Anticlinal, Falla, Trías, Jurásico, Nuevo Méjico.

841683. **Algunas observaciones estructurales de utilidad para el minero en el campo filoniano de Linares.** RIOS, S.

Libro Jubilar J. M. Ríos, Tomo 3, IGME (1983), 203-214, 4 ref., esp., bibl. IGME.

* Filón, Plomo sustancia, Falla, Fosa tectónica, Horst, Control tectónico, Orogenia hercínica, Orogenia alpina, Prospección minera, Provincia Jaén.

PETROLEO

841687. **Cálculo teórico de la caída de presión en los yacimientos petrolíferos y sus aplicaciones.** QUINTERO, I., y MANSILLA, H.

Libro Jubilar J. M. Ríos, Tomo 3, IGME (1983), 253-258, 6 ref., esp., bibl. IGME.

* Petróleo, Desarrollo pozo, Presión, Ecuación matemática.

SUELOS

841601. **Suelos forestales de El Rebollar (Salamanca): y III. Nuevas aportaciones.** GALLARDO LANCHO, J. F.; GONZALEZ HERNANDEZ, M. I. M., y PEREZ, C.

Anu. Cent. Edafol. Biol. Apl. CSIC (Salamanca) (1983), vol. 9, 223-232, 19 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Suelo pardo forestal, Hierro, Migración, Densidad, Humedad suelo, Materia orgánica, Provincia Salamanca.

841602. **Propiedades físicas y régimen hídrico de suelos forestales de las zonas NO de la región Castellano-Leonesa.** CUADRADO SANCHEZ, S.; INGELMO SANCHEZ, F., y HERNANDEZ POMBERO, J.

Anu. Cent. Edafol. Biol. Apl. CSIC (Salamanca) (1983), vol. 9, 233-260, 7 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Suelo, Cambisol, Acrisol, Suelo pardo forestal, Suelo mediterráneo, Régimen hidrológico suelo, Porosidad, Humedad suelo, Textura, Clima, Balance agua suelo, Provincia Zamora.

841603. **Condiciones de fertilidad de los suelos de la zona fronteriza con Portugal entre Trabazos y Fuentes de Oñoro.** FORTEZA, J.; GARCIA RODRIGUEZ, A.; LORENZO MARTIN, L. F., y NAJAC, N.

Anu. Cent. Edafol. Biol. Apl. CSIC (Salamanca) (1983), vol. 9, 261-275, 9 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Suelo, Suelo pardo, Perfil suelo, Estructura suelo, Fertilización, Materia orgánica, Elemento nutritivo, Granulometría, Histograma, Provincia Zamora, Provincia Salamanca.

841604. **Mejora de suelos marginales semiáridos: Recuperación de erial a pasto. I. Respuesta a la fertilización y evolución del suelo.** MARTIN POLO, J. L., y PRAT PEREZ, L.

Anu. Cent. Edafol. Biol. Apl. CSIC (Salamanca) (1983), vol. 9, 227-289, 10 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Fertilización, Suelo, Fósforo, Calcio, Potasio, pH, Provincia Salamanca.

841605. **Mejora de suelos marginales semiáridos. Recuperación de erial a pasto. II. Fertilización y composición mineral de la hierba.** MARTIN POLO, J. L.; GARCIA CIUDAD, A., y GARCIA CRIADO, B.

Anu. Cent. Edafol. Biol. Apl. CSIC (Salamanca) (1983), vol. 9, 291-305, 24 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Fertilización, Fósforo, Potasio, Calcio, Vegetación, Elemento nutritivo, Provincia Salamanca.

841607. **Mineralogía de arcillas de suelos forestales del Centro-Oeste de España. IV. Zona NO de la región Castellano-Leonesa.** VICENTE HERNANDEZ, M. A., y SANCHEZ CAMAZANO, M.

Anu. Cent. Edafol. Biol. Apl. CSIC (Salamanca) (1983), vol. 9, 333-345, 7 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Mineralogía arcilla, Suelo, Suelo pardo, Suelo mediterráneo, Suelo bruto, Luvisol, Cambisol, Acrisol, Arenosol, Gley, Illita, Pedogénesis, Roca madre suelo, Capacidad carga catión, Silicificación, Precipitación química, Dato RX, Dato ATD, Cuenca del Duero, Castilla La Vieja, León.

841608. **Adsorción de Molinato (S-etil, N, N-hexametilnimitiocarbamato) por suelos.** SANCHEZ CAMAZANO, M.; SANCHEZ MARTIN, M. J., y JIMENEZ PLAZA, S.

Anu. Cent. Edafol. Biol. Apl. CSIC (Salamanca) (1983), vol. 9, 347-359, 8 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Adsorción, Suelo, Pesticida, Oxidación, Materia orgánica, Montmorillonita, Regresión estadística, Molinato.

841670. **Descripción e interpretación de las texturas y microtexturas de Calches recientes del Campo de Tarragona y Penedés, Catalunya.** JULIA, R., y CALVET, F.

Libro Jubilar J. M. Rios, Tomo 3, IGME (1983), 61-96, 43 ref., esp., bibl. IGME.

* Corteza calcárea, Caliche, Suelo, Corteza de alteración, Perfil suelo, Estructura suelo, Micromorfología suelo, Textura pisolítica, Pisolito, Provincia Tarragona.

GEOQUIMICA

841569. **Variação de Radioatividade nas Aguas de Fontes da Estancia de Aguas da Prata.** SZIKSZAY, M., y SAMPA, M. H. O.

Bol. IG., Univ. Sao Paulo, inst. geocienc. Brasil (1982), vol. 13, 25-42, 9 ref., port., res. ing., bibl. IGME.

* Radioactividad, Fuente, Análisis componente principal, Variación estacionaria, Dilución, Agua lluvia, Radón, Aguas de Prata, Sao Paulo, Brasil.

841606. **Datos analíticos sobre cuatro patrones geoquímicos de Salamanca (Granito. s.l.) y técnicas utilizadas.** GARCIA SANCHEZ, A., y SAAVEDRA ALONSO, J.

Anu. Cent. Edafol. Biol. Apl. CSIC (Salamanca) (1983), vol. 9, 321-331, 7 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Standard químico, Método análisis mayores, Método análisis menores, Método análisis elemento traza, Espectrometría fluorescente, Fluorescencia RX, Granito, Fósforo, Sílice, Boro, Flúor, Litio, Cesio, Provincia Salamanca.

841613. **Análisis factorial de dos campañas de prospección hidrogeoquímica en el Burgo de Osma (Soria).** POLVORINOS DEL RIO, A. J.

Bol. Geol. Min. (1984), vol. 95, núm. 3, 246-254, 4 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Hidroquímica, Agua dulce, Análisis menores, Análisis componente principal, Análisis factorial, Burgo de Osma, Provincia Soria.

841660. **Aplicación del análisis químico e interpretación geoquímica de las aguas de la zona occidental de Morón de Almazán, Soria.** Hoja Geológica núm. 407. ALVAREZ HERRERO, M. C.; PEDRO HERRERA, F.; GALLEGU ANDREU, R., y DIEGO FERNANDEZ, P.

Tecniterrae (1981), núm. 39, 57-76, 7 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Geoquímica, Agua superficie, Análisis químico, Anión, Cation, Informe químico, Salinidad, Distribución estadística, Provincia Soria.

GEOFISICA

841563. **Tratado de Geofísica Aplicada.** CANTOS FIGUEROA, J.

E. T. S. Ing. Minas. Madrid (1978), 520 pp., 71 ref., esp., bibl. IGME.

* Tratado, Geofísica, Método gravimétrico, Método magnético, Método sísmico, Método eléctrico, Diagrafía.

FISICA DEL GLOBO

841659. **Polarización azimutal anisotrópica en el Océano Atlántico.** CANAS, J. A.

Tecniterrae (1981), núm. 39, 50-55, 12 ref., esp., bibl. IGME.

* Propagación onda, Onda Rayleigh, Velocidad, Anisotropía, Tiempo recorrido, Sísmica refracción, Manto superior, Océano Atlántico.

ENERGIA

841617. **El Plan Energético Nacional.** GALLEGU MALAGA, M.

Bol. Geol. Min. (1984), vol. 95, núm. 3, 284-286, esp., bibl. IGME.

* Energía, Planificación, Legislación, Política Estado, PEN, España.

841620. **La energía del Mar, energía maremotriz. 1.ª parte.** JARABO FRIEDRICH, F.; FERNANDEZ GONZALEZ, J., y MARTIN MIRANDA, J. F.

Energ. altern. (1983), núm. 16, 61-68, 8 ref., esp., bibl. IGME.

* Energía maremotriz, Marea, Inventario, Mundo, Estudio caso, Central eléctrica, Atlántico noroeste, América del Norte.

841653. **El sector nuclear en las Comunidades. El sector nuclear español ante la CEE.** ALVAREZ MIRANDA, A.

Tecniterrae (1980), vol. 7, núm. 38, 8-24, esp., bibl. IGME.

* Energía nuclear, CEE, Programa, España, Política de Estado, Cooperación internacional, Legislación.

841654. **El carbón ante las Comunidades y el carbón español ante la CEE.** VALLE MENENDEZ, A. del.

Tecniterrae (1980), vol. 7, núm. 38, 25-54, esp., bibl. IGME.

* Carbón, CEE, Energía, Mercado, España, Política de Estado. Cooperación internacional.

841655. **Otros recursos energéticos en las Comunidades. Las restantes energías españolas ante la CEE.** QUILEZ, J. L.

Tecniterrae (1980), vol. 7, núm. 38, 56-70, esp., bibl. IGME.

* Energía, CEE, Legislación, Economía de energía, España, Programa, Política de Estado.

MAPAS

841625. **Provincia de La Coruña.** IGME.

Mapa geocientífico medio nat., escala 1:100.000 (1984), esp., bibl. IGME.

* Mapa litológico, Mapa geotécnico, Granito, Granodiorita, Gabro, Anfibolita, Ultrabasita, Cuarzita, Gneis, Terraza, Coluvión, Material ornamental, Material construcción, Lignito, Cobre sustancia, Estaño sustancia, Tungsteno sustancia, Mecánica suelo, Propiedad geotécnica, Geotecnia, Provincia La Coruña.

841626. **Outes.** BARRERA, J. L.; BELLIDO, F.; CASQUET, C., y NAVIDAD, M.

MAGNA, IGME (1981), núm. 93, 62 ref., esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Infracámbrico, Cámbrico, Ordovícico, Cuaternario, Gneis, Intrusión, Roca ígnea, Anfibolita, Granito, Aluvión, Coluvión, Metamorfismo, Paragénesis, Orogenia hercínica, Tectónica superpuesta, Pliegue, Esquistosidad, Lineación, Provincia La Coruña.

841627. **Santiago de Compostela.** PABLO MACIA, J. G., y MARTINEZ CATALAN, J. R.

MAGNA, IGME (1981), núm. 94, 60 ref., esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Antecámbrico, Cámbrico, Silúrico, Terciario, Cuaternario, Roca metamórfica, Granito, Orogenia hercínica, Tectónica superpuesta, Provincia La Coruña, Macizo galaico.

841628. **Pontevedra.** ABRIL, H.; ABRIL, J., y PLIEGO, D. V.

MAGNA, IGME (1981), núm. 125, 66 ref., esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Infracámbrico, Cámbrico, Ordovícico, Silúrico, Cuaternario, Micaesquisto, Cuarzita, Arenisca, Anfibolita, Gneis, Gneis ojoso, Roca ígnea, Composición calcoalcalina, Composición alcalina, Análisis mayores, Metamorfismo regional, Metamorfismo

de contacto, Paragénesis, Orogenia caledoniana, Discordancia erosiva, Orogenia hercínica, Tectónica superpuesta, Provincia Pontevedra.

841629. **Puenteáreas.** RIVERA NAVARRO, S., y RUBIO NAVAS, J.

MAGNA, IGME (1981), núm. 224, 75 ref., resp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Antecámbrico, Ordovícico, Orogenia hercínica, Tectónica superpuesta, Metamorfismo regional, Metamorfismo de contacto, Granito, Granodiorita, Provincia Pontevedra, Provincia Orense, Macizo galaico.

841630. **Torroella de Montgú.** PALLI, L.; GALLEGU, I. C.; GARCIA DE DOMINGO, A., y LOPEZ OLMEDO, F.

MAGNA, IGME (1983), núm. 296, 86 ref., esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Ordovícico, Silúrico, Devónico, Keuper, Albiense, Cenomanense, Santonienense, Terciario, Cuaternario, Glacis, Terraza, Duna, Roca ígnea, Roca volcánica, Orogenia hercínica, Orogenia alpina, Deformación, Paleogeografía, Provincia Gerona.

841631. **Santa Coloma de Farners.** BARNOLAS, A.; GARCIA VELEZ, A.; MUELAS, A.; SOUBRIER, J., y PALLI, L.

MAGNA, IGME (1983), núm. 333, 73 ref., esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Cámbrico, Ordovícico, Terciario, Cuaternario, Cono aluvión, Terraza, Orogenia hercínica, Neotectónica, Falla, Roca ígnea, Roca volcánica, Dique, Análisis mayores, Metamorfismo, Fluorita sustancia, Yacimiento hidrotermal, Provincia Gerona.

841632. **Palafrugell.** SOUBRIER, J.; GARCIA VELEZ, A., y MUELAS, A.

MAGNA, IGME (1983), núm. 335, 76 ref., esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Ordovícico, Devónico, Paleógeno, Cuaternario, Orogenia hercínica, Orogenia alpina, Fosa tectónica, Paleogeografía, Granodiorita, Granito, Leucogranito, Dique, Metamorfismo regional, Facies esquisto verde, Provincia Gerona.

841633. **Ateca.** OLMO, P. del; ARAGONES, E., y PORTERO, J. M.

MAGNA, IGME (1983), núm. 437, 102 ref., esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Cámbrico, Ordovícico, Secundario, Mioceno, Plioceno, Cuaternario, Corte geológico, Pizarra, Arenisca, Cuarzita, Riolita, Roca carbonatada, Conglomerado, Aulocógeno, Orogenia hercínica, Orogenia alpina, Esquistosidad, Geomorfología, Paleogeografía, Provincia Zaragoza.

841634. **Paniza.** OLIVE DAVO, A.; OLMO, P. del., y PORTERO, J. M.

MAGNA, IGME (1983), núm. 438, 105 ref., esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Cámbrico, Ordovícico, Silúrico, Trías, Jurásico, Paleógeno, Neógeno, Cuaternario, Orogenia alpina, Geología histórica, Provincia Zaragoza, Macizo Ibérico.

841635. **Used. PORTERO, J. M.**
MAGNA, IGME (1983), núm. 464, 102 ref., esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Cámbrico, Ordovícico, Secundario, Terciario, Cuaternario, Corte geológico, Pizarra, Cuarzita, Arenisca, Riolita, Roca carbonatada, Fauna, Graben, Orogenia hercínica, Orogenia alpina, Esquistosidad, Geomorfología, Paleogeografía, Provincia Guadalajara, Provincia Zaragoza, Macizo Ibérico.

841636. **Daroca. HERNANDEZ, A., y OLIVE, A.**
MAGNA, IGME (1983), núm. 465, 102 ref., esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Cámbrico, Ordovícico, Silúrico, Pérmico, Secundario, Terciario, Cuaternario, Corte geológico, Pizarra, Arenisca, Cuarzita, Roca carbonatada, Fauna, Fosa tectónica, Aulacógeno, Orogenia hercínica, Orogenia alpina, Esquistosidad, Geomorfología, Paleogeografía, Provincia Teruel, Provincia Zaragoza, Macizo Ibérico.

841637. **Odón. PORTERO, J. M.**
MAGNA, IGME (1983), núm. 490, 102 ref., esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Ordovícico, Silúrico, Pérmico, Secundario, Terciario, Cuaternario, Corte geológico, Cuarzita, Arenisca, Roca carbonatada, Conglomerado, Arena, Fauna, Aulacógeno, Orogenia hercínica, Orogenia alpina, Geomorfología, Paleogeografía, Provincia Guadalajara, Provincia Zaragoza, Provincia Teruel, Macizo Ibérico.

841638. **Calamocha. HERNANDEZ, A.; OLIVE, A.; PARDO, G.; VILLENA, J., y MOISSENET, E.**
MAGNA, IGME (1983), núm. 491, 94 ref., esp., bibl. IGME.

* Memoria explicativa, Mapa geológico, Cámbrico, Ordovícico, Triás, Jurásico, Cretácico, Neógeno, Cuaternario, Tectónica zócalo, Tectónica alpina, Provincia Teruel, Provincia Zaragoza, Macizo Ibérico.

ECONOMIA MINERA

841557. **Simposio sobre los problemas de las piritas.**
Club Español de la Minería. Madrid (1983), 315 pp., 17 ref., esp., bibl. IGME.

* Reunión, Piritas sustancia, Prospección minera, Reserva, Metalurgia, Mineralurgia, España.

841559. **La pirita como mena de ácido sulfúrico.** DIAZ NOGUEIRA, E.

Simposio sobre los problemas de las piritas. Club Español de la Minería. Madrid (1983), 2.1-2.104, esp., bibl. IGME.

* Piritas sustancia, Acido mineral, Acido sulfúrico, Industria, Tecnología, Mercado, Producción, Reserva, Perspectiva, Utilización sustancia, España.

841560. **La pirita como mena de metales básicos.** MORALES, J. R.

Simposio sobre los problemas de las piritas. Club Español de la Minería. Madrid (1983), 3.1-3.56, esp., bibl. IGME.

* Piritas sustancia, Cobre sustancia, Plomo sustancia, Cinc sustancia, Plata sustancia, Reservas, Calcopirita, Galena, Esfalerita, Mineralurgia, Flotación, Metalurgia, Tecnología, Provincia Huelva, Provincia Sevilla.

841611. **Estudio de flotación de la Casiterita y Tantalita del leucogranito de la mina Penouta (Orense).** ALVAREZ RODRIGUEZ, R.

Bol. Geol. Min. (1984), vol. 95, núm. 3, 225-234, 15 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Granito, Leucogranito, Análisis cuantitativo, Estaño sustancia, Tántalo sustancia, Casiterita, Tantalita, Mineralurgia, Granulometría, Flotación, Penouta, Provincia Orense.

841665. **Libro del Centenario.** PEÑARROYA.
Peñarroya, España (1983), 757 pp., 360 ref., esp., bibl. IGME.

* Histórico, 1881-1981, Informe actividad, Peñarroya, España.

Boletín Geológico y Minero

Revista bimestral de geología económica
 Industrias extractivas y de su beneficio

Instituto Geológico y Minero de España
 Ríos Rosas, 23 - 28003-Madrid. España

BOLETIN DE SUSCRIPCION

Suscripción anual (6 números)
 ESPAÑA e IBEROAMERICA 1.650 ptas.
 DEMAS PAISES 1.800 ptas.

Nombre, Organismo o Empresa

Profesión

Dirección Teléfono

Ciudad (provincia) D. P.

País FIRMA

Fecha

FORMA DE PAGO

Contra reembolso.

Talón nominativo.

BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO

ACUSE DE RECIBO

HEMOS RECIBIDO
 WE HAVE RECEIVED
 NOUS AVONS RECU

NOS FALTA
 WE ARE IN WANT OF
 IL NOUS MANQUE

FECHA FIRMA
 DATE SIGNATURE

NOMBRE
 NAME
 NOM

DIRECCION
 ADDRESS
 ADRESSE

ROGAMOS DEVUELVAN ESTE ACUSE DE RECIBO. NECESARIO PARA NUESTRO CONTROL, Y DIRIGIDO EXCLUSIVAMENTE A AQUELLOS CENTROS QUE RECIBEN ESTA PUBLICACION CON CARACTER GRATUITO EN REGIMEN DE INTERCAMBIO.



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA
Ríos Rosas, 23 - 28003 - Madrid