

Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

# boletín geológico y minero

VOLUMEN 103

Noviembre - Diciembre 1992

NUMERO 6



Volumen 103  
Número 6  
Noviembre - Diciembre 1992

# boletín geológico y minero

revista bimestral de geología, minería y ciencias conexas fundada en 1874 - 5.ª serie

## Sumario

<b>Geología</b>	J. J. MARTINEZ DIAZ y J. L. HERNANDEZ ENRILE: Fracturación y control tectosedimentario neógeno en el borde sureste de la Cuenca de Lorca ... ..	3
	A. ARILLO y C. S. BREMOND: Nota sobre la presencia de un Tricóptero y un Odonato en el Mioceno Superior de la depresión ceretana ... ..	16
<b>Minería</b>	F. FERNANDEZ ALONSO, F. GONZALO CORRAL, J. M. FERNANDEZ RUIZ, J. S. MORCILLO OLIVA y F. SAN MIGUEL TIL: Posibilidades y limitaciones de los métodos geoeléctricos en la exploración de formaciones caoliníferas albienses (SE de la provincia de Guadalajara).	21
<b>Aguas subterráneas</b>	A. NAVARRO ALVARGONZALEZ: Miniprogramas (III). Programas simples para modelado de acuíferos ... ..	33
<b>Geoquímica</b>	J. A. SANTOS GARCIA: Geoquímica de carbonatos continentales en la cuenca del Júcar (provincia de Albacete) ... ..	51
<b>Ingeniería geoambiental</b>	F. J. AYALA CARCEDO: La Ingeniería Geológica, Tecnología de la Tierra.	66
<b>Estudio de minerales y rocas</b>	R. BENITO GARCIA y A. VERGARA PARDEIRO: Mineralogía de sulfosales y sulfuros en los filones de Ateca, Cordillera Ibérica ... ..	78
<b>Información</b>	E. ARAGONES VALLS: Luis Mariano Vidal y la Comisión del Mapa Geológico de España (1873-1900) ... ..	86
	Noticias y Notas bibliográficas ... ..	106
	Indice de Materias ... ..	117
	Indice de Autores ... ..	121

### DIRECCION, REDACCION Y PUBLICACION

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

### ADMINISTRACION, DISTRIBUCION Y SUSCRIPCION

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

**INSTITUTO TECNOLÓGICO  
GEOMINERO DE ESPAÑA**

**CENTRO DE PUBLICACIONES  
MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO**

El Instituto Tecnológico Geominero 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 Tecnológico Geominero de España.  
Queda hecho el depósito que marca la Ley.

#### EXPLICACION DE PORTADA

Excavaciones abandonadas en las minas de wolframio de Barruecopardo (Salamanca)

(Foto: Félix Bellido Mulas)

Depósito legal: M. 3.279 - 1958

ISSN 0366 - 0176

NIPO 241 - 92 - 004 - 1

Imprenta Ideal, S. A. - Chile, 27 - Teléf. 359 57 55 - 28016-MADRID

## Fracturación y control tectosedimentario neógeno en el borde sureste de la Cuenca de Lorca.

Por J. J. MARTINEZ DIAZ (\*) y J. L. HERNANDEZ ENRILE (\*)

### RESUMEN

En este trabajo se estudia el control tectosedimentario ejercido por la fracturación neógena en la sedimentación en el borde suroriental de la Cuenca de Lorca. El control más importante está impuesto por la actividad del Corredor Tectónico de la Falla de Alhama de Murcia. Este corredor controló la formación del borde sur de la citada cuenca a través de movimientos de carácter normal que activaron el inicio del depósito mioceno. Durante el Tortoniano y el Messiniense la cinemática sinistral e inversa del corredor controla la formación del anticlinal que estructura la Sierra de La Tercia y provoca reactivaciones de procesos erosivos en áreas emergidas.

*Palabras clave:* Control tectosedimentario, Cuenca de Lorca, Falla de Alhama de Murcia.

### ABSTRACT

In this work we study the tectosedimentary control exercised by the neogene fracturation in the southeast border of the Lorca Basin. The more important control is imposed by the Alhama de Murcia Fault activity. The creation of the southeast border of that basin is conditioned by extensional activity of this fault. During tortonian and messinian times inverse and sinistral kinematics of the Alhama de Murcia Fault have controlled the elevation of La Tercia Range and the erosion of emerged areas.

*Key words:* Tectosedimentary control, Lorca Basin, Alhama de Murcia Fault.

### 1. INTRODUCCION

La Cuenca de Lorca es una depresión rellena por depósitos miocenos y pliocuaternarios, que se sitúa en el tercio oriental de la Cordillera Bética al norte de la ciudad de Lorca. Está limitada al NO y al SE por dos zonas de cizallamiento de carácter cortical como son la Falla Norbética (contacto Zonas Internas-Zonas externas) y la Falla de Alhama de Murcia, respectivamente (fig. 1). Es por ello que el estudio de este último accidente tectónico, y más en general, el del conjunto de la fracturación que lo acompaña aporta una valiosa información a la hora de entender la configuración geométrica y la evolución tectosedimentaria de la Cuenca de Lorca.

(\*) Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. 28040 Madrid.

El área tratada en este trabajo incluye la totalidad de la Sierra de La Tercia, que está formada por una estructura anticlinal resultante de una tectónica compresiva coetánea con la actividad del corredor tectónico de la Falla de Alhama de Murcia (FAM). Gran parte de los depósitos neógenos deformados por este anticlinal formaron parte inicialmente de la Cuenca de Lorca (MONTENAT, 1973; 1977). Asimismo, en este estudio se incluye el tramo de la FAM comprendido entre las ciudades de Lorca y Totana (fig. 1).

El hecho de que la citada antiforra ejerce un control sobre la configuración de la Cuenca de Lorca y, por otra parte, el comportamiento polifásico que se ha venido identificando en la Falla de Alhama de Murcia (BOUSQUET et al., 1976; ARMIJO, 1977; GAUYAU et al., 1977; RUTTER et al., 1986; SOMOZA, 1989), implican que en este trabajo se preste especial atención a

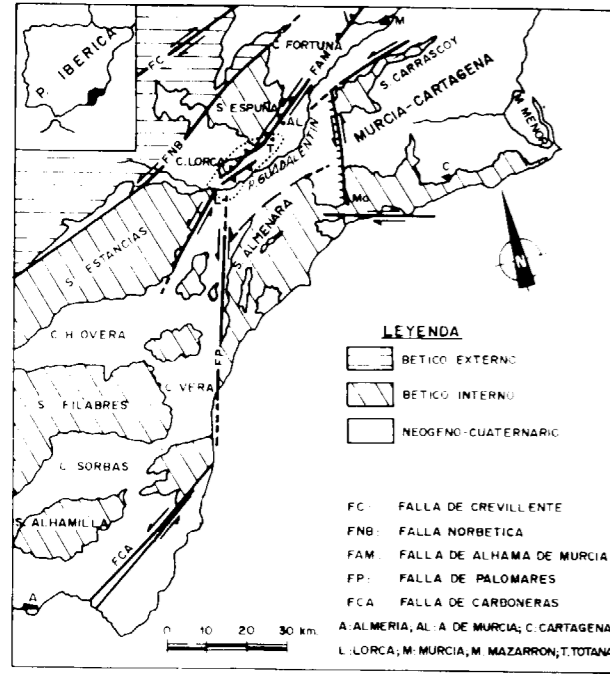


Figura 1.—Esquema geológico del sureste de la Cordillera Bética en el que se representan los principales accidentes tectónicos de la zona. (De MARTINEZ DIAZ y HERNANDEZ ENRILE, 1992).

estos hechos de carácter tectónico y estructural a fin de esclarecer la génesis y evolución de la Cuenca de Lorca.

Por todo ello, el objetivo de este estudio reside en describir e interpretar los distintos sistemas de fracturación que se distinguen y esclarecer el control que esta fracturación ha ejercido sobre la naturaleza y disposición de los depósitos miocenos en el borde SE de la Cuenca de Lorca. Para ello, se ha realizado una cartografía geológica del conjunto de la zona estudiada (fig. 2). Asimismo, se ha realizado un estudio de las sucesiones estratigráficas más significativas que se observan al norte y al sur de la FAM. De este estudio, se obtienen datos acerca de la evolución tectosedimentaria así como dataciones de las deformaciones que los afectan. A fin de analizar estas deformaciones, se ha realizado un estudio estadístico de la fracturación meso y macroscópica de todo el área, atendiendo a los criterios cinemáticos micro y mesoscópicos que nos indi-

can la cinemática de las fallas más significativas (pliegues de arreste, estrías, planos de cizalla asociados y secundarios, etc.).

## 2. DEPOSITOS NEOGENOS

Debido a la estrecha relación que presentan los distintos depósitos neógenos aflorantes en la zona de estudio con la actividad del corredor tectónico Lorca-Totana, hemos considerado necesaria su división en Unidades Tectosedimentarias (GARRIDO-MEGIAS, 1973; MEGIAS, 1982). A este respecto y para este trabajo, debemos señalar que cuando describimos las unidades tectosedimentarias nos referimos a unidades sedimentarias limitadas a techo y a muro por discordancias interpretadas como el resultado de episodios o eventos tectónicos concretos acaecidos en este sector.

Para la descripción de estas unidades tectosedimentarias hemos distinguido dos áreas en las que los depósitos se presentan con significativas diferencias, no sólo en cuanto a sus características litoestratigráficas sino también en lo que se refiere a su posición relativa con respecto al corredor tectónico de la FAM. En primer lugar se describen los depósitos neógenos que se sitúan en el «Area Norte», es decir, el área que comprende el tercio meridional de la Cuenca de Lorca y el núcleo principal de la Sierra de La Tercia. El «Area Sur», que se describe posteriormente, ocupa el corredor tectónico Lorca-Totana de la FAM, incluyendo el borde noroeste de la Depresión del Guadalentín (fig. 3).

### 2.1. Depósitos neógenos del Area Norte

Los depósitos neógenos en este área se disponen en discordancia sobre un sustrato de Bético Interno constituido, fundamentalmente, por las unidades paleozoicas y triásicas de los Complejos Alpujárride y Maláguide (LANGENBERG, 1974; EGÉLER et al., 1976).

Basándonos en observaciones propias así como en las dataciones realizadas anteriormente por otros autores (MONTENAT, 1973; IGME, 1974; ARMIJO, 1977), hemos distinguido las siguientes Unidades Tectosedimentarias.

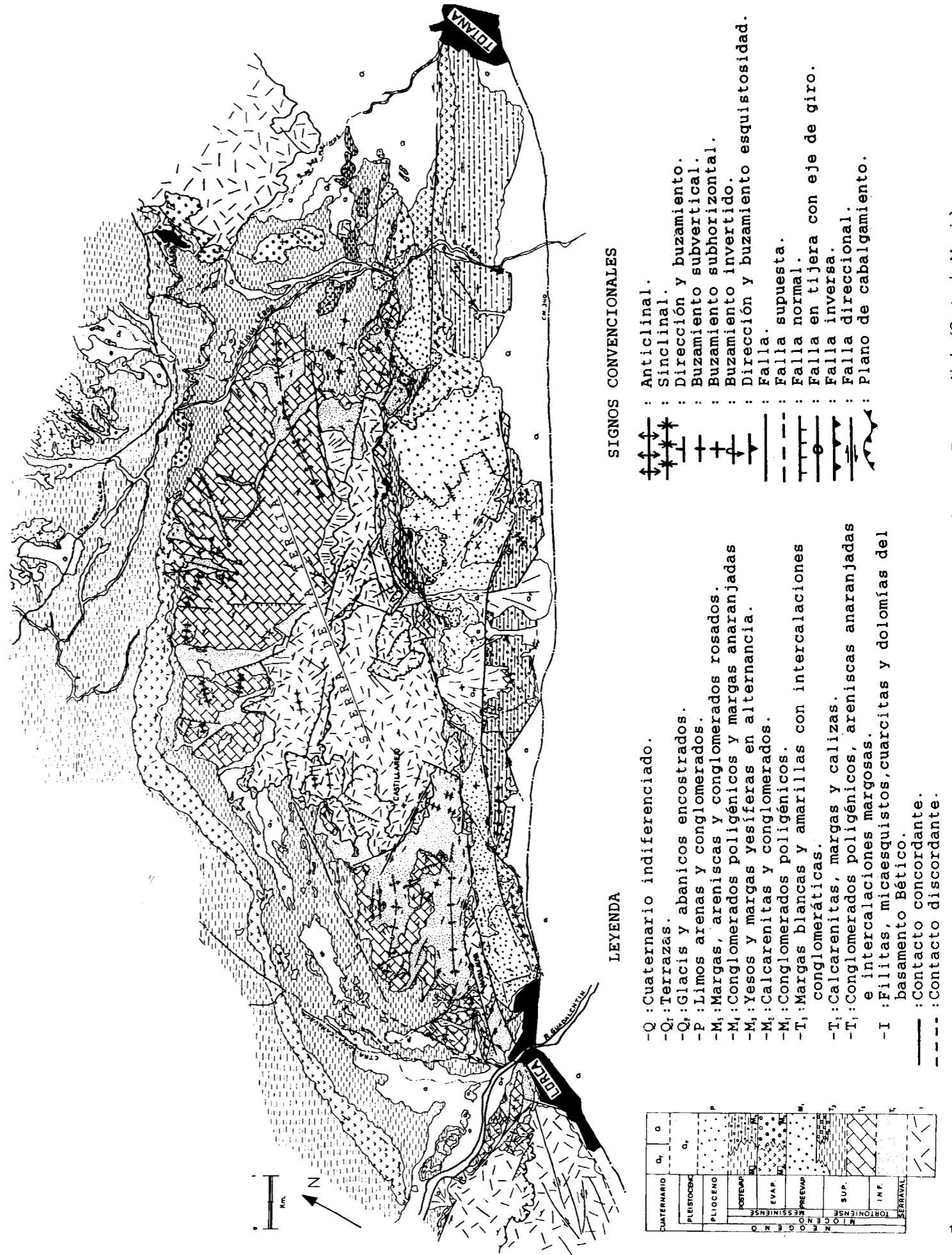


Figura 2.—Cartografía geológica del área comprendida entre las poblaciones de Lorca, Totana y Aledo (Oeste de Murcia).

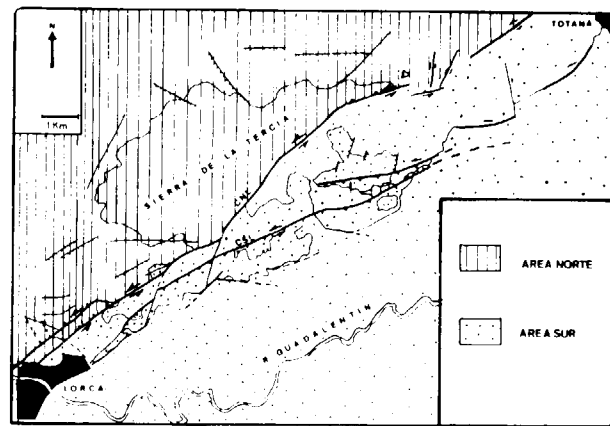


Figura 3.—Esquema geológico de la zona estudiada en la que se señalan las dos áreas de depósito distinguidas: Área Norte y Área Sur. CNL: Corredor Norte de Lorca. CSL: Corredor Sur de Lorca.

### 2.1.1. Unidad Conglomerática Serravaliense Superior-Tortonense Inferior

Está constituida por alternancias de conglomerados y areniscas de color anaranjado o rojizo que presentan importantes intercalaciones de margas con niveles de yesos azulados (fig. 4). La potencia media de esta unidad es de 110 m. y el mecanismo de depósito fundamental corresponde a abanicos aluviales con influencias litorales (MONTENAT, 1973; MONTENAT et al., 1990) generados por la erosión de tres áreas madre. Dos de ellas se corresponden con las actuales Sierras de Las Estancias y de Espuña. La tercera y más importante se situaba al sureste en el área que ahora ocupa la Depresión del Guadalentín. En otras cuencas más orientales se han descrito materiales procedentes de la erosión de áreas fuente, ahora desaparecidas, que estaban situadas a lo largo de la Depresión del Guadalentín (MONTENAT, 1977; ESTEVEZ et al., 1986).

Finalmente cabe añadir que esta unidad, depositada previamente a la transgresión del Tortonense Superior (MONTENAT, 1977), es correlacionable con unidades definidas en áreas adyacentes como los conglomerados de La Cresta del Gallo o incluso con parte de la Formación Relojero (MONTENAT, 1973, 1977).

### 2.1.2. Unidad Calcarenítica Tortonense Superior Bajo

Los materiales que forman esta unidad se disponen sobre los conglomerados y areniscas ya descritos en discordancia a causa de un ligero pero general basculamiento hacia el norte del sustrato. Está compuesta por calcarenitas y calizas masivas con algunos tramos intercalados de margas amarillas (fig. 4). Presenta una potencia variable que oscila entre 20 y 185 m. Esta unidad es correlacionable con parte de la Formación Atalaya y con las Margas de Fortuna (MONTENAT, 1973). Se trata de un depósito de plataforma somera claramente delimitado al sur por el corredor tectónico de la FAM. Durante su depósito, la actividad de esta falla genera discordancias progresivas a pequeña escala que desaparecen hacia el interior de la Cuenca de Lorca.

### 2.1.3. Unidad Margoyesífera Tortonense Superior Alto-Messiniense

Los materiales que la componen se disponen en discordancia sobre los depósitos carbonatados antes descritos, así como sobre parte del Bético Interno. Su depósito está claramente controlado por fallas normales de longitudes hectométricas a kilométricas (fig. 2). Es una unidad constituida por margas blancas y amarillas de carácter turbidítico correlacionables con las Margas de Fortuna. Sobre ellas se disponen margas grises y yesos que pasan hacia techo de laminados a masivos, para concluir la serie con margas rosadas y niveles arenosos. De muro a techo de la unidad se observa una progresiva evolución desde una máxima marinidad de las margas turbidíticas hasta areniscas claramente continentales. La potencia de esta unidad es muy variable al estar claramente controlada por la fracturación, si bien la media se sitúa en unos 300 m.

### 2.1.4. Unidad Detrítica Plioceno-Cuaternario

Se observan hasta 100 m. de margas y arenas coronadas por paquetes poco potentes de conglomerados poligénicos más o menos cementados. Aparecen a los pies de los principales relieves (Sierras de Las Estancias, La Tercia y Espuña) y se disponen hacia el centro de la

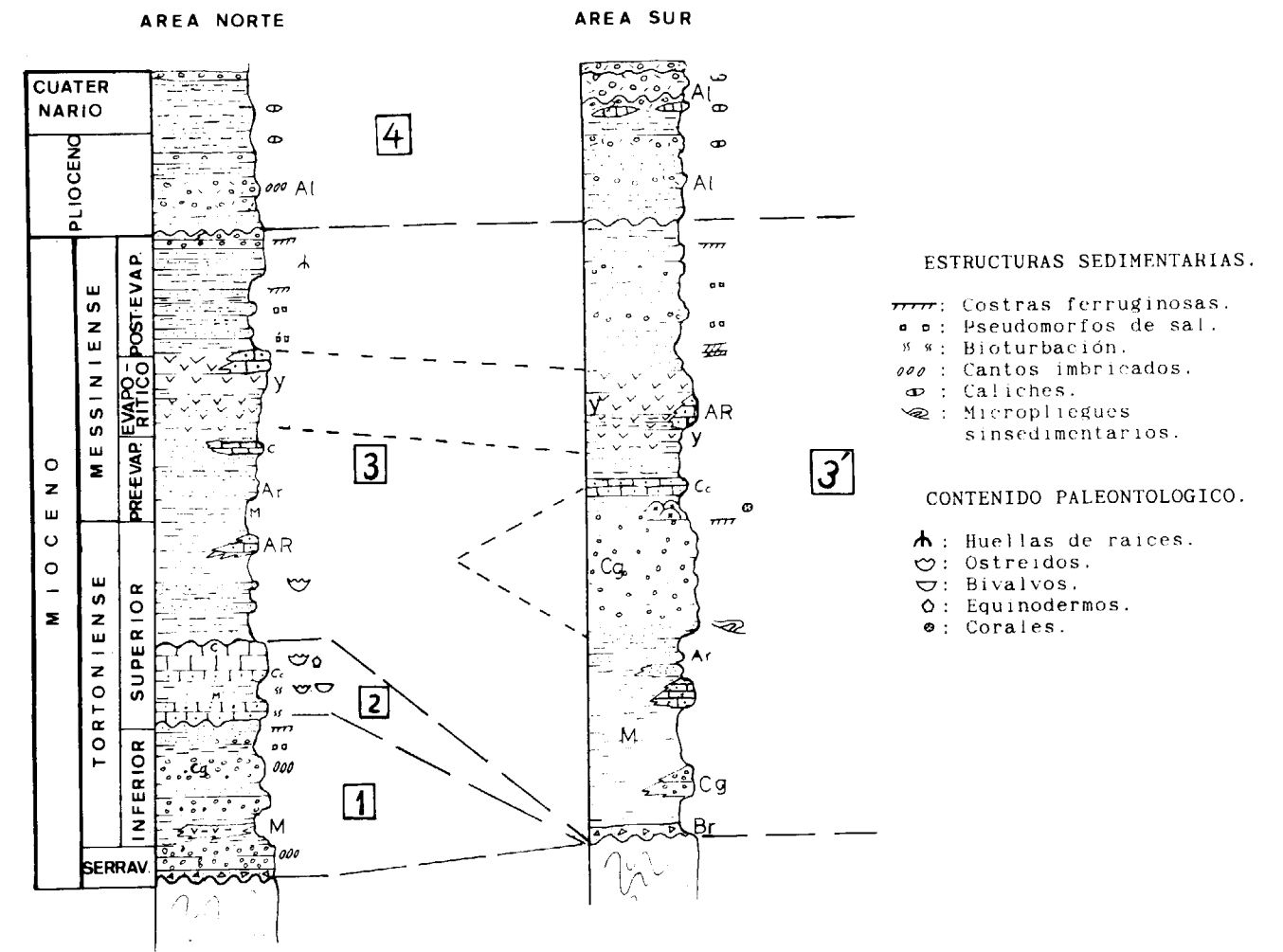


Figura 4.—Columnas estratigráficas representativas de los depósitos neógenos que aparecen en el Área Norte y en el Área Sur de depósito. Unidades Tectosedimentarias: 1: Unidad Conglomerática Serravaliense Superior-Tortonense Inferior. 2: U. Calcarenítica Tortonense Superior Bajo. 3: U. Margoyesífera Tortonense Superior Alto-Messiniense. 3': U. Conglomerático-yesífera Tortonense Superior Alto-Messiniense. 4: U. Detrítica Plioceno-Cuaternario. (—): correlación lateral de las unidades principales. (— — —): correlación lateral de tramos de litologías características. Litologías: (y): yesos masivos y laminados, (Al): depósitos aluviales, (Ar): depósitos arrecifales, (Cc): calcarenitas, (C): calizas, (M): margas, (Ar): areniscas, (Cg): conglomerados, (Br): brechas, (I): pizarras, esquistos y cuarcitas.

Cuenca de Lorca en disconformidad sobre el Messiniense, como se deduce de la brusca variación de facies y de los distintos sistemas de fracturación que afectan a uno y otro depósito.

### 2.2. Depósitos neógenos del Área Sur

En el interior del corredor tectónico Lorca-Totana se aprecia una clara influencia de la actividad

tectónica del mismo en las facies y distribución de las distintas unidades sedimentarias. La primera gran variación con respecto al «Área Norte» es la ausencia del Tortonense Inferior y parte del Superior. Este hecho es apreciable directamente en la cartografía (fig. 2) y está corroborado por datos obtenidos, tanto a partir de sondeos realizados en el Valle del Guadalentín (IGME, 1975), como por las características que presenta la Cuenca de Hinojar, situada al sur

de la Depresión del Guadalentín. En consecuencia, únicamente hemos distinguido en este área dos Unidades Tectosedimentarias principales si bien, en el interior de cada una de ellas es palpable la actividad sinsedimentaria de los accidentes tectónicos principales que condicionan la distribución, tanto horizontal como vertical, de distintos tramos detríticos.

### 2.2.1. Unidad Conglomerático-Yesífera Tortonense Superior-Messiniense

El contenido sedimentario de esta unidad es bastante complejo ya que se inicia en su base con potentes paquetes de margas turbidíticas amarillas, análogas a las descritas en el «Area Norte». El depósito de las margas se ve intercalado por dos potentes tramos de conglomerados masivos (fig. 4), uno de ellos con una estructuración caótica y con cantos procedentes de la erosión tanto de carbonatos tortonienses como de materiales metamórficos del Bético Interno. Hacia el techo de la unidad aparecen alternancias de margas y yesos que van evolucionando hacia yesos masivos y, finalmente, la unidad se cierra con una alternancia de margas, conglomerados y areniscas que a menudo presentan estructuras sedimentarias propias de depósitos de «fore-shore».

En el transcurso del depósito de esta Unidad Tectosedimentaria se aprecia el paso de una sedimentación de tipo turbidítico (MONTENAT, 1977) hacia una sedimentación evaporítica y detrítica continental en un continuo proceso de somerización. Dentro de este proceso se incluyen dos episodios de interacción entre la sedimentación y la actividad tectónica de la FAM representados por los dos tramos conglomeráticos que aparecen a mitad de la unidad. La difícil identificación litoestratigráfica de algunos de los materiales metamórficos, que aparecen como cantos de esos paquetes conglomeráticos ha llevado a considerar una procedencia sureste, desde bloques de basamento elevados en el interior de la actual Depresión del Guadalentín, para tales materiales (ARMIJO, 1977; MONTENAT et al., 1990).

### 2.2.2. Unidad Detrítica Plioceno-Pleistoceno

Está compuesta por un espesor variable (máximo

observado 30 m.) de limos y arenas rosadas que alternan con niveles conglomeráticos. Es un depósito continental y posiblemente responde a la superposición de abanicos aluviales en sus partes distales. El área de depósito proximal casi ha desaparecido al norte de la FAM a causa de la actividad tectónica de ésta. Estos materiales se disponen en discordancia sobre sedimentos messinienses, tortonienses y sobre el Basamento Bético. Las semejanzas que presentan estos depósitos con los descritos en la Cuenca de Sorbas (OTT D'ESTOU, 1980) y al pie de las sierras circundantes (GRN, 1977; SOMOZA, 1989), parecen indicar una edad Plioceno Superior-Pleistoceno Inferior para esta unidad, si bien no existen dataciones que permitan asegurarlo.

## 3. FRACTURACION EN EL SURESTE DE LA CUENCA DE LORCA

La falla de Alhama de Murcia en el tramo comprendido entre las poblaciones de Lorca y Totana se desdobra en dos zonas de fracturación mayor con direcciones comprendidas entre N 55 E y N 65 E configurando los denominados Corredor Norte de Lorca y Corredor Sur de Lorca (fig. 3). Uno de los caracteres más significativos, que ha condicionado en gran medida la evolución tectosedimentaria del borde sureste de la Cuenca de Lorca, es el distinto sentido de buzamiento que presentan las fallas principales de ambos corredores. El Corredor Norte de Lorca presenta un buzamiento que oscila entre 70 y 90 grados hacia el NO. En áreas adyacentes, a través de la interpretación de datos sísmicos, se identifica una disminución en profundidad de este buzamiento hacia el NO (MARTINEZ SOLARES et al., 1986). La falla principal N 65 E que configura el Corredor Sur de Lorca presenta un buzamiento que oscila entre 60 y 90 grados hacia el SE.

La estructura de los corredores citados así como la deformación que afecta a los depósitos neógenos situados tanto en el «Area Norte» como en el «Area Sur» de depósito, antes descritas, están en gran medida condicionadas por la fracturación menor. Esta fracturación está en unos casos subordinada a la cinemática del corredor de la FAM, y en otros casos está condicionada por los campos de esfuerzos regionales. Esto nos ha llevado a realizar un estudio estadístico

y cinemático del conjunto de la fracturación que aparece en la zona de estudio con el fin de esclarecer el control que ésta ha ejercido en la sedimentación neógena.

### 3.1. Sistemas de fracturación

En conjunto se han medido 407 fracturas, con dimensiones de decamétricas a kilométricas, que afectan a materiales neógenos. Las medidas han sido analizadas y representadas en las figuras 5 y 6 de forma separada para la zona del corredor Lorca-Totana («Area Sur» de depósito) y para la zona de la Sierra de La Tercia («Area Norte» de depósito). Asimismo, se ha representado separadamente la fracturación en función del tipo de movimiento identificado en ellas a través de criterios cinemáticos.

#### 3.1.1. Sistemas de fracturación en el Area Sur

El conjunto de la fracturación estudiada en este área está ubicada en el interior del corredor Lorca-Totana de la FAM. Este corredor constituye la divisoria entre las dos zonas de sedimentación analizadas anteriormente, de manera que su cinemática ha debido controlar las diferencias de depósito descritas.

En este área se han identificado cinco sistemas de fracturación (fig. 5):

- *Sistema N 10-20 E*: Esta constituido por fracturas con longitudes menores a 2 Km. que presentan movimientos de carácter tanto sinistral como normal y en ocasiones presentan carácter polifásico. Están distribuidas a lo largo de todo el sector y son correlacionables con sistemas ya identificados en la Cordillera Bética en estudios de carácter regional (SANZ DE GALDEANO, 1983). La actividad de estos accidentes se remonta al menos hasta el Messiniense y es evidente su actuación postpliocena (fig. 2).
- *Sistema N 50-70 E*: A este sistema pertenecen las fallas principales de los Corredores Norte y Sur de Lorca. En general presentan longitudes kilométricas y su movimiento es polifásico, alternándose deslizamientos sinistral e inversos. Las fracturas de este sistema afectan prácticamente a todos los materiales, de Tortonenses a Cuaternarios, y es probable que los planos principales hayan presentado movimientos pretortonenses (MARTINEZ DIAZ y HERNANDEZ ENRILE, 1992). Fallas de este sistema controlan la formación de discordancias progresivas a pe-

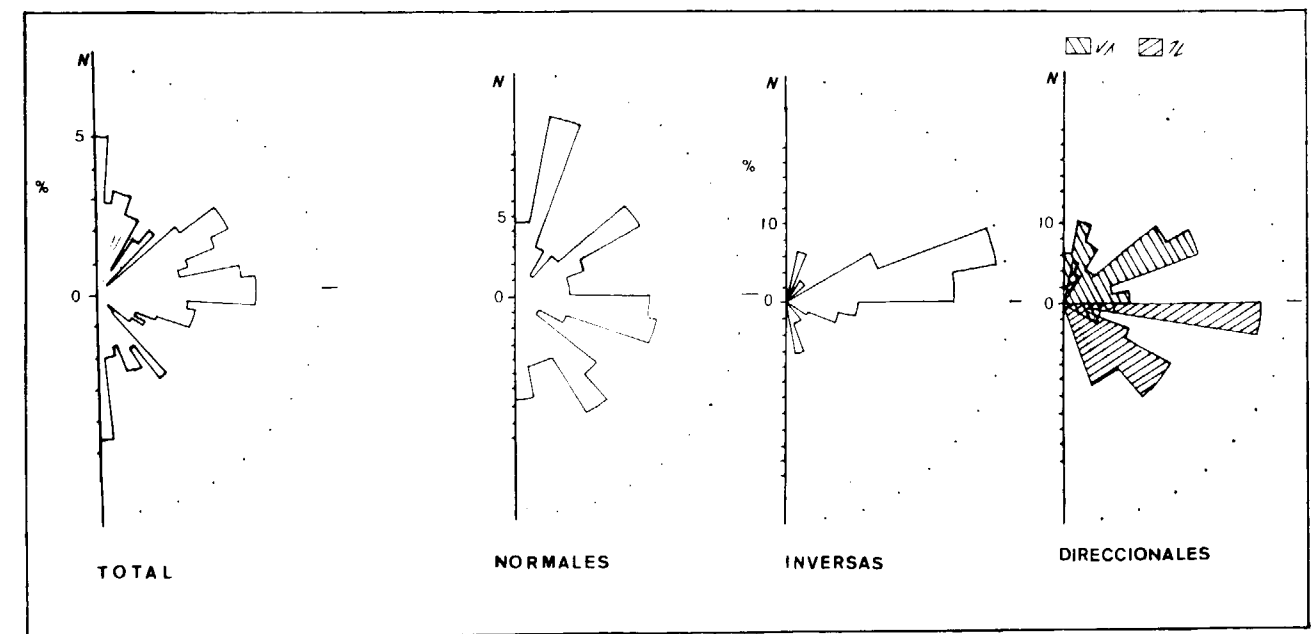


Figura 5.—Diagramas estadísticos direccionales de la fracturación medida en el Area Sur. Explicación en el texto.

queña escala en régimen compresivo. Asimismo, se han identificado movimientos normales intratortonienses de estas fallas (fig. 7). Es un sistema correlacionable con el sistema N 70 E descrito para el conjunto de la cordillera (SANZ DE GALDEANO, 1983), así como en sectores adyacentes de la FAM (OLIVEROS, 1987).

— *Sistema N 80-110 E*: Este es un sistema bastante significativo ya que no ha sido descrito como tal en estudios de carácter regional y presenta una gran importancia en la estructuración del corredor aquí tratado (fig. 2). Está constituido por fracturas en ocasiones kilométricas, que presentan criterios cinemáticos que marcan movimientos de muy diversa índole. Al SO de Castellarejo se observan varias fracturas pertenecientes a este sistema que aparecen fosilizadas por el Tortonense.

— *Sistema N 140-155*: Las fracturas que forman este sistema son de escasa longitud (máximo 1 Km.) y presentan movimientos de carácter normal y dextral, siendo los primeros estadísticamente predominantes. Es equiparable al sistema N 150-160 E descrito con carácter regional (SANZ DE GALDEANO, 1983) y sería el sistema conjugado del N 10-20 E descrito anteriormente. Estos dos sistemas se generaron bajo un campo de esfuerzos compresivos con un máximo acortamiento NNO-SSE durante el Mioceno Medio (BOUSQUET et al., 1979).

— *Sistema N 175-185 E*: Está constituido por fracturas de escasa longitud (raramente hectométricas) con una cinemática predominantemente extensional. Son frecuentes los diaclasados con esta dirección. Afectan a materiales de Tortonense hasta Cuaternarios.

En la figura 5 se representa asimismo la orientación de la fracturación medida en el «Area Sur», en función de su cinemática. Como puede apreciarse, la fracturación normal se distribuye de modo bastante uniforme en todas direcciones aunque con unas frecuencias máximas coincidentes con las direcciones de los sistemas anteriormente descritos. Esto significa que muchas fracturas pertenecientes a sistemas de direcciones y de edades dispares presentan movimientos normales. Para explicar esto, se requieren varia-

ciones en la dirección principal de compresión de manera que la orientación de la dirección de extensión ( $\sigma_3$ ), perpendicular a  $\sigma_1$ , abarque un arco de direcciones bastante grande. A este respecto se aprecia que los sistemas N 50-70 E y N 80-110 E son los que presentan menos rejuegos distensivos, lo cual es de esperar si la dirección de acortamiento ( $\sigma_1$ ), durante gran parte del Neógeno, ha presentado una dirección bastante norteada (MONTENAT et al., 1985; SANZ DE GALDEANO, 1990).

Por otra parte las fallas inversas se disponen de forma bastante significativa entre las direcciones N 65-90 E marcando una dirección de compresión situada entre NO-SE y N-S. En cuanto a las fallas direccionales, tanto las dextrales como las sinestrales se distribuyen según orientaciones congruentes con los sistemas descritos. Los campos de movimientos dextrales y sinestrales se solapan en una dirección cercana a E-O.

### 3.1.2. Sistemas de fracturación en el Area Norte

El «Area Norte» está constituida en gran parte por la estructura anticlinal que conforma la Sierra de la Tercia. La gran mayoría de la fracturación afecta a las calcarenitas y conglomerados tortonienses. Como se aprecia en la figura 6, la fracturación en esta zona presenta algunas diferencias con respecto a la descrita en el «Area Sur». Solamente destacan del resto los siguientes sistemas:

— *Sistema N 170-190 E*: Está constituido por fracturas de escasa longitud que en muchos casos están fosilizadas por las margas del Tortonense Superior Alto. El movimiento predominante que presentan es de carácter normal y son característicos los movimientos en tijera que presentan en la zona norte de la sierra (fig. 2). Es un sistema equiparable al N 175-185 E descrito en el «Area Sur» lo cual podría indicarnos que su origen está en una dirección de compresión regional N-S.

— *Sistema N 80-90 E*: Está constituido por fracturas que presentan movimientos polifásicos complejos con saltos sinestrales, inversos y normales. Es significativa la presencia de fallas de este sistema afectando a rocas del basamento de Bético Interno con un movi-

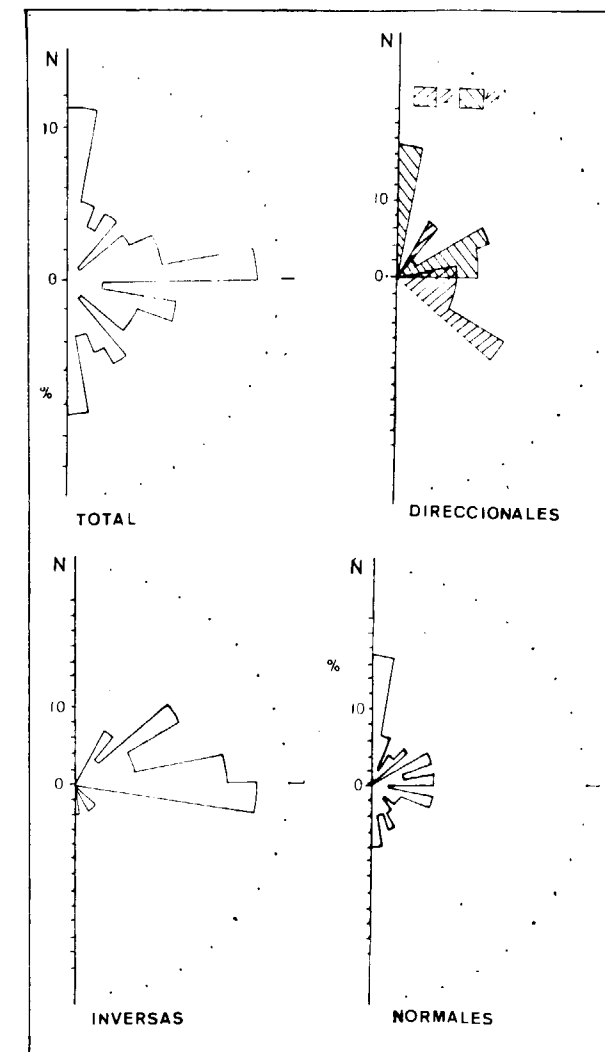


Figura 6.—Diagramas estadísticos direccionales de la fracturación medida en el Area Norte. Explicación en el texto.

miento de carácter normal posterior a la estructuración alpina y previo a la mayor parte del depósito tortoniense. Estas fallas pueden relacionarse con eventos tectónicos distensivos responsables de la formación de la Cuenca de Lorca.

Los dos sistemas definidos son los únicos que sobresalen de forma significativa, sin embargo, se vislumbran direcciones de fracturación equiparables a algunos de los sistemas ya definidos para el «Area Sur» (figs. 5 y 6).

En cuanto a la distribución de la fracturación en función del tipo de movimiento (fig. 6) es significativa la orientación de las fallas inversas según dos direcciones predominantes N 80-90 E y N 40-60 E que son compatibles con direcciones de acortamiento N-S y NO-SE, respectivamente. En la distribución de las fallas normales es también característico un máximo de dirección N-S, mientras que el resto presenta una distribución bastante irregular de carácter radial. En la figura 8 se representan varias fallas que afectan a los conglomerados y calcarenitas tortonienses de la Sierra de La Tercia en las que se puede apreciar que fallas con direcciones muy diversas (fig. 2) presentan movimientos de carácter normal que parecen ser coetáneos, y en tal caso, coinciden en el tiempo con un campo de esfuerzos compresivos (MONTENAT et al., 1990). La explicación de este hecho puede estar en la existencia de concentraciones locales de esfuerzos, en la vertical asociados a movimientos de falla inversa (SANFORD, 1959; HANCOCK, 1985). En el labio de falla levantado por la actividad inversa del Corredor Norte de Lorca, que coincide con

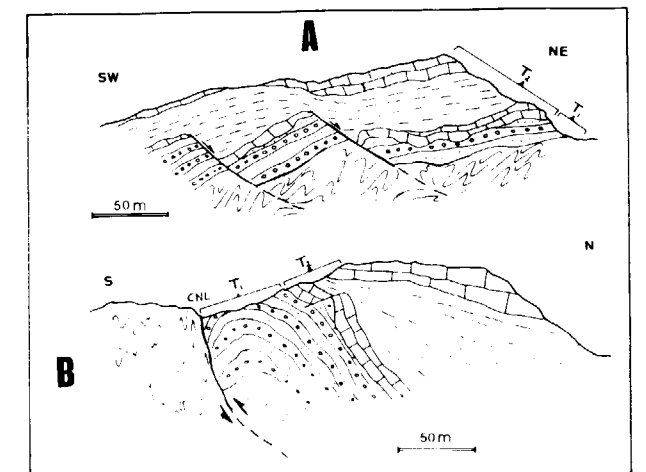


Figura 7.—Cortes geológicos esquemáticos de los conglomerados del Serravaliense Sup.-Tortonense Inferior ( $T_1$ ) y de las calcarenitas del Tortonense Superior ( $T_2$ ). En el corte A se aprecia la actividad sinsedimentaria distensiva de fallas del sistema N 50-70 E. En el corte B se aprecia igualmente una actividad sinsedimentaria inversa del Corredor Norte de Lorca CNL que provoca una pequeña discordancia progresiva. Cortes realizados un kilómetro al norte de Lorca, junto a la traza principal de la Falla de Alhama de Murcia (fig. 2).

el área de la Sierra de La Tercia, estos campos de esfuerzos extensionales locales provocan reactivaciones de fallas de diversas edades y direcciones.

La distribución de las fallas direccionales es bastante compleja y difícil de interpretar, a causa de las numerosas reactivaciones experimentadas por fallas de distinta orientación, con movimientos tanto dextrales como sinestrales, desde tiempos miocenos hasta la actualidad.

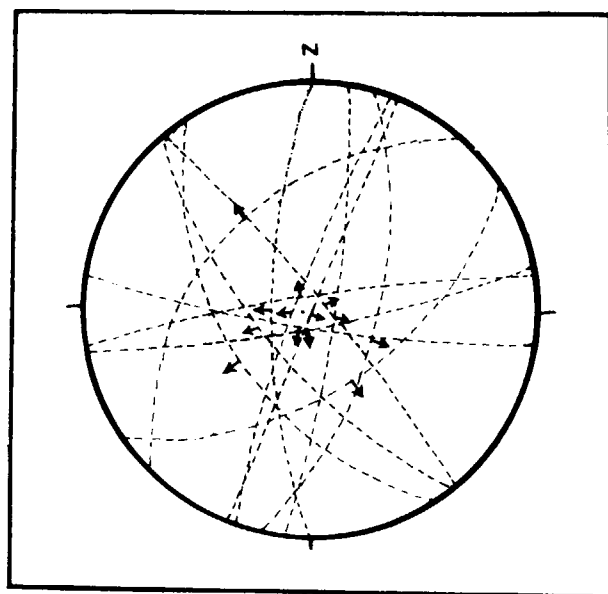


Figura 8.—Proyección estereográfica de fracturación normal que afecta a los conglomerados y calcarenitas tortonienses de la Sierra de La Tercia. Las flechas marcan el vector de deslizamiento obtenido a partir de estrías y fibras de calcita contenidas en los planos de falla.

#### 4. IMPLICACIONES TECTOSEDIMENTARIAS

Tanto la presencia o ausencia de las distintas Unidades Tectosedimentarias anteriormente descritas, como la posición relativa de los más importantes tramos detríticos y la cinemática de la fracturación, aportan una valiosa información a la hora de situar las distintas áreas emergidas y los movimientos en la vertical que éstas han sufrido durante el Neógeno. A partir del análisis de estos datos, obtenemos las siguientes conclusiones de carácter tectosedimentario.

A) Durante el Serravaliense Superior y parte del Tortoniense se produce un hundimiento de bloque situado al NO del corredor tectónico de la Falla de Alhama de Murcia. Este hundimiento da lugar a la formación del borde SE de la Cuenca de Lorca y a la vez genera un «área madre» situada al SE del citado corredor, en el área ahora ocupada por la Depresión del Guadalentín. Este área madre genera la mayor parte de los depósitos del Serravaliense Superior y del Tortoniense Inferior que se depositan en el área ahora ocupada por la Sierra de La Tercia (fig. 9). Este hundimiento está relacionado con un movimiento de carácter normal del Corredor Norte de Lorca de la Falla de Alhama de Murcia y que puede incluirse en un contexto extensional de carácter regional asociado a fenómenos de colapso neógenos en la Cordillera Bética (PLATT et al., 1989; DOBLAS et al., 1989). Las fallas N 80-110 E normales que afectan al basamento ya deformado y están fosilizadas por el Mioceno parecen apoyar un evento claramente extensional para la génesis de la Cuenca de Lorca. Esta génesis hasta ahora había sido considerada en un contexto compresivo a través de un mecanismo «Pull Apart» producido por una actividad sinistral de la Falla Norbética y la Falla de Alhama de Murcia (MONTENAT et al., 1987). En este contexto el pliegue que estructura la Sierra de La Tercia era considerado como «en echelon».

B) La discordancia situada en la base del Tortoniense Superior (fig. 9b) aparece solamente en el área de influencia de la Falla de Alhama de Murcia. Esta discordancia la interpretamos como resultado de un basculamiento hacia el NO del bloque situado al norte de la falla, asociado a un movimiento inverso de la misma.

C) Durante el depósito del Tortoniense Superior, se reconoce una actividad sinsedimentaria de las fallas del sistema N 50-70 E, tanto de carácter compresiva como distensiva (fig. 8). La actividad inversa, con cierta componente sinistral, del Corredor Norte

de Lorca provoca discordancias progresivas a pequeña escala (fig. 8). Asimismo, fallas menores de ese mismo sistema y de otros más próximos a la dirección N-S controlan el depósito de las margas del Tortoniense Superior y del Messiniense (figs. 2 y 8). Esta actividad distensiva se considera subordinada a un campo de esfuerzos compresivos que provoca la elevación del «Área Norte» a causa del movimiento inverso del Corredor Norte de Lorca de la FAM (fig. 9c).

D) Aproximadamente en el límite Tortoniense Superior-Messiniense la elevación relativa del «Área Norte» respecto del «Área Sur», origina un escarpe cuya erosión provoca los potentes tramos conglomeráticos intercalados en la Unidad Conglomerático-Yesífera depositada en el «Área Sur» (figs. 4 y 9c). Es probable que la reactivación como falla inversa, para este tiempo, de otras fallas del sistema N 50-70 E en el área del Guadalentín elevaran bloques de basamento situados al SE del corredor Lorca-Totana que provocaran depósitos anómalos con esa procedencia (MONTENAT et al., 1990).

E) Durante el depósito del Messiniense Preevaporítico (fig. 4) se manifiestan movimientos en la vertical a lo largo del Corredor Sur de Lorca que condicionarán cambios laterales y/o ausencias de los depósitos del Messiniense Evaporítico y Postevaporítico. Se manifiesta de esta manera el control ejercido en este momento por la fracturación del sistema N 50-70 E. En efecto, el Corredor Norte de Lorca (fig. 3) fue el límite septentrional de la sedimentación hasta el inicio de la sedimentación del Messiniense Evaporítico. A

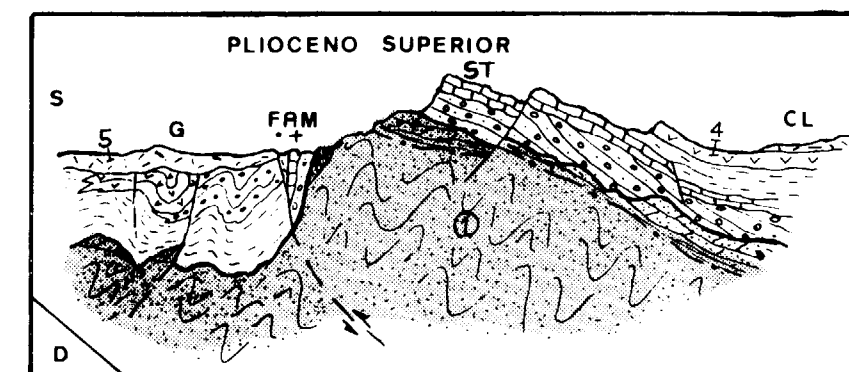
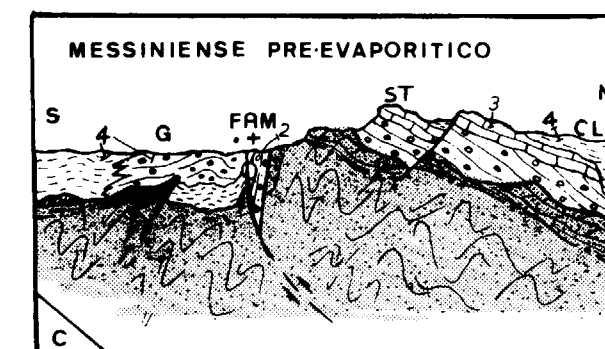
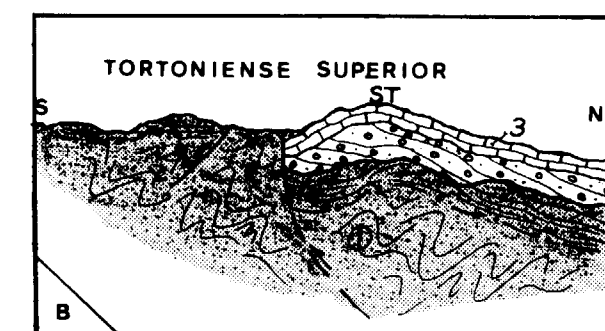
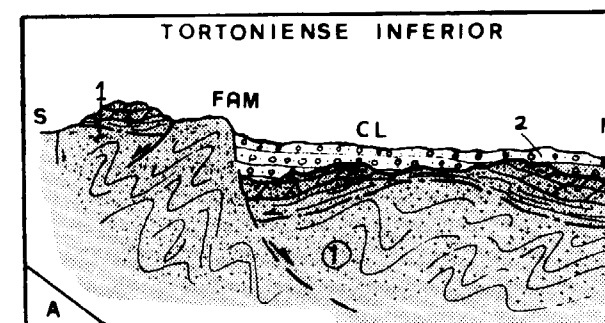


Figura 9.—Cortes geológicos esquemáticos mostrando la evolución tectosedimentaria reconocida en la zona de estudio. FAM: Falla de Alhama de Murcia. ST: Sierra de La Tercia. CL: Cuenca de Lorca. G: Depresión del Guadalentín. (+): Movimiento transcurrente sinistral. 1: Bético Interno. 2: Conglomerados Serravaliense Sup.-Tortoniense Inf. 3: Calcarenitas del Tortoniense Sup. 4: Margas, yesos y conglomerados del Tortoniense Sup.-Messiniense. 5: Limos, arenas y conglomerados pliocenos.



partir del Messiniense Evaporítico es el Corredor Sur de Lorca el que constituye el límite norte de la sedimentación Messiniense. Desde la terminación oriental del Corredor Sur de Lorca hacia el este, el depósito estuvo controlado en todo momento por el Corredor Norte de Lorca (fig. 2).

- F) Durante el Messiniense Evaporítico se manifiesta la presencia de un área emergida en el extremo oriental de la Sierra de La Tercia. Los aportes de este área (fundamentalmente calcareníticos), junto con los procedentes de la erosión del área emergida de Sierra Espuña, imposibilitaron el depósito salino en esta zona (fig. 2). Esto implica que el anticlinal que estructura la Sierra de La Tercia ya se había formado y en su tercio oriental era ya área fuente de materiales detríticos. La formación de este anticlinal está claramente asociada al movimiento de carácter inverso del Corredor Norte de Lorca (fig. 9).
- G) Desde el Messiniense Postevaporítico hasta el Cuaternario, el bloque situado al NO de la Falla de Alhama de Murcia sufre una progresiva elevación. Este proceso hace que la Cuenca de Lorca quede «colgada» con respecto a la Depresión Pliocuaternal del Guadalentín que comienza a estructurarse. Durante el Plioceno y el Cuaternario la disposición y características de los distintos depósitos señalan una actividad alternante de la Falla de Alhama de Murcia que se refleja en períodos intermitentes de elevación de la Sierra de La Tercia con respecto a la Depresión de Guadalentín (MARTINEZ DIAZ y HERNANDEZ ENRILE, 1992). En áreas más orientales de la Depresión del Guadalentín y en el valle del Segura han sido descritos hundimientos relativos semejantes (MONTENAT, 1977; ESTEVEZ et al., 1986; SOMOZA, 1990).

#### AGRADECIMIENTOS

Este estudio se ha llevado a cabo gracias a la financiación de la Dirección General de Investigación Científica y Técnica (D.G.I.C.Y.T.), proyecto PB 87-0544.

#### REFERENCIAS

- ARMIJO, R. (1977): *La zona des failles Lorca-Totana (Cordilleres Bétiques, Espagne). Etude tectonique et neotectonique*. Thèse 3e cycle. Paris VII. 229 pp.
- BOUSQUET, J. C., y PHILLIP, H. (1976): *Observations microtectoniques sur la compression nord-sud quaternaire des Cordilleres Bétiques Orientales (Espagne Meridionale-Arc de Gibraltar)*. Bull. Soc. Geol. France, 18, 711-724.
- BOUSQUET, J. C. (1979): *Quaternary strike-slip faults in Southeastern Spain*. Tectonophysics 52, 227-286.
- DOBLAS, M., y OYARZUN, R. (1989): *Neogene extensional collapse in the western Mediterranean (Betic-Rif Alpine orogenic belt): Implications for the genesis of the Gibraltar Arc and magmatic activity*. Geology 17, 430-433.
- EGELER, C. G., y FONTBOTE, J. M. (1976): *Aperçu géologique sur les parties centrales et orientales des Cordilleres Bétiques*. Bull. Soc. Geol. France, 7, 571-582.
- ESTEVEZ, A.; PINA, J. A., y LOPEZ GARRIDO, A. C. (1986): *Aportación al conocimiento neotectónico y sismotécnico del Sudeste, provincias de Alicante y Murcia*. Jornadas del fenómeno sísmico y su aplicación a la ordenación del territorio. Comunicación 15. Murcia.
- GARRIDO MEGIAS, A. (1973): *Estudio geológico y relación entre tectónica y sedimentación del Secundario y Terciario de la vertiente meridional pirenaica en su zona central (provincias de Huesca y Lérida)*. Tesis Univ. de Granada, 395 pp.
- GAUYAU, F.; BAYER, R.; BOUSQUET, J. C.; LACHAUD, J. C.; LESQUER, A., y MONTENAT, C. (1977): *Le prolongement de l'accident d'Alhama de Murcia entre Murcia y Alicante (Espagne Meridionales)*. Bull. Soc. Geol. de France, 19, 623-629.
- (GRN), GROUPE DE RECHERCHE NEOTECTONIQUE (1977): *L'histoire tectonique récente (Tortonien à Quaternaire) de l'Arc de Gibraltar et des bordures de la mer d'Alboran, 3. Les resultats de l'analyse structurale en Espagne*. Bull. Soc. Geol. de France, 7.
- HANCOCK, P. (1985): *Brittle microtectonics: principles and practice*. Jour. Struct. Geol. 7, 3/4, 347-357.
- I.G.M.E. (1974): *Mapa geológico de España*. E: 1:50.000. Hoja de Lorca, 25-38.
- I.G.M.E. (1975): *Estudio hidrogeológico de la cuenca baja del Segura*. Informe Técnico núm. 5. Valle del Guadalentín.
- LANGENBERG, C. W. (1972): *Polyphase deformation in the eastern Sierra de Los Filabres, north of Lubrin, SE Spain*. G.U.A. Papers Geol., 1, núm. 2, 81 pp.
- MARTINEZ DIAZ, J. J., y HERNANDEZ ENRILE, J. L. (1992): *Geometría y cinemática de la zona de cizallamiento Lorca-Totana (Falla de Alhama de Murcia) (1992)*. III Congreso Geológico de España y VII Congreso Latinoamericano de Geología Salamanca 1992. Simposios, Tomo 2: 420-430.

- MARTINEZ SOLARES, J. M., y HERRAIZ, M. (1986): *Sismicidad y estudios sísmicos de la región de Murcia*. Jornadas de Estudio del fenómeno sísmico y su incidencia en la ordenación del territorio. Murcia. Comunicación, 9.
- MEGIAS, A. G. (1982): *Introducción al análisis tectosedimentario, aplicación al estudio dinámico de cuencas*. Actas V Congreso Latinoamericano de Geología, 1, 385-402.
- MONTENAT, C. (1973): *Les formations néogènes et quaternaires du levant espagnol*. Thèse Sciences, Orsay, p. 1170.
- MONTENAT, C. (1977): *Les bassins néogènes du levant d'Alicante et de Murcia (Cordilleres Bétiques Orientales, Espagne)*. Stratigraphie, paleogéographie et évolution dynamique. Doc. Lab. Geol. Fac. Sc. Lyon, 69, 345 pp.
- MONTENAT, C.; OTT D'ESTEVOU, P., y MASSE, P. (1985): *Les bassins neogènes des Cordilleres Bétiques Orientales, genese et evolution dans un couloir de décrochement crustal*. Rés. Comm. Séance Spéc. Soc. Geol. France. Paris. 2 pp.
- MONTENAT, C.; OTT D'ESTEVOU, P., y MASSE, P. (1987): *Tectonic-sedimentary characters of the Betic Neogene Basins evolving in a crustal transcurrent shear zone (SE Spain)*. Bull. Centre rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine, 11 pp., 1-22.
- MONTENAT, C.; OTT D'ESTEVOU, P., y DELORT, T. (1990): *Le bassin de Lorca*. Doc. et trav. IGAL, 12-13 pp., 261-280.
- OLIVEROS, M. A. (1987): *Estudio tectónico-cinemático de la fracturación reciente en el borde oriental y suoriental*

de la Sierra de Las Estancias (Murcia y Almería). Tesis de Licenciatura, Universidad Complutense de Madrid, 108 pp.

OTT D'ESTEVOU, P. (1980): *Evolution dynamique du bassin neogene de Sorbas (Cordilleres Bétiques Orientales)*. Docum. et trav. IGAL. Paris, núm. 1, 264 pp.

PLATT, J. P., y VISSERS, R. L. (1989): *Extensional collapse of thickened continental lithosphere: A working hypothesis for the Alboran sea and Gibraltar Arc*. Geology, 17, 540-543.

RUTTER, E. H.; MADDOCK, R. H.; HALL, S. H., y WHITE, S. M. (1986): *Comparative microstructures of natural and experimentally produced clay-bearing fault gouges*. Pageoph., 124, núm. 1/2.

SANFORD, A. R. (1959): *Analytical and experimental study simple geologic structures*. Bull. Soc. Am. 70, 19-52.

SANZ DE GALDEANO, C. (1983): *Los accidentes y fracturas principales de las Cordilleras Béticas*. Estudios Geol., 59, 157-165.

SANZ DE GALDEANO, C. (1990): *Geologic evolution of the Betic Cordilleras in the Western Mediterranean, Miocene to Present*. Tectonophysics, 172, 107-109.

SOMOZA, L. (1990): *Estudio del Cuaternario litoral entre el Cabo de Palos y Guardamar del Segura (Murcia-Alicante)*. Las variaciones del nivel del mar en relación con el contexto geodinámico. Tesis doctoral, Universidad Complutense.

Original recibido: Junio de 1992.

Original aceptado: Octubre de 1992.

GEOLOGIA

# Nota sobre la presencia de un Tricóptero y un Odonato en el Mioceno Superior de la depresión ceretana.

Por A. ARILLO (\*) y C. S. BREMOND (\*)

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza el estudio de un Tricóptero y un Odonato fósiles del Mioceno Superior de la cubeta ceretana (Lleida, España). Los ejemplares pertenecen a los géneros *Phryganea* (Trichoptera) y *Lestes* (Odonata).

**Palabras clave:** Tricóptero, Odonato, Paleontología, Mioceno, Cerdanya, España.

ABSTRACT

In this paper a Trichoptera and an Odonata from Upper Miocene Cerdanya Basin (Spain, Lleida) are studied. They belong to genus *Phryganea* (Trichoptera) and *Lestes* (Odonata).

**Key words:** Trichoptera, Odonata, Palaeontology, Miocene, Cerdanya, Spain.

INTRODUCCION

La cubeta ceretana se encuentra enclavada en los Pirineos Orientales (lám. I, fig. 1) y constituye una llanura alargada, cruzada en su parte norte por el río Segre, con una altitud media de 1.100 m. Se encuentra rodeada de un cinturón montañoso con alturas que sobrepasan los 2.900 m.

Durante el Neógeno esta zona estuvo ocupada por un lago que se originó debido a movimientos tectónicos producidos por la falla de desgarre de la Tet, que tuvieron como consecuencia el embalse del río Segre.

A finales del Terciario este lago sufrió la culminación de un proceso de colmatación.

Los afloramientos Miocenos de la cubeta ceretana, Vallesiese-Turoliese (según la datación propuesta por ALVAREZ RAMIS & GOLPE-POSSE, 1981) han proporcionado una gran cantidad de restos atribuibles a insectos; estos restos apa-

recen localizados en un estrato constituido por diatomitas y calizas de tipo mudston (ANADON et al., 1989) (lám. I, fig. 2).

La entomofauna fósil de la Cerdaña ha sido muy escasamente estudiada. VILLALTA & CRUSAFONT (1945) señalan por vez primera la existencia de insectos en estos afloramientos. CARAZO & VILORIA (1946) vuelven a coleccionar insectos fósiles en la zona, pero no llegan a clasificarlos. Más tarde, VILLALTA (1957) describe una cecidía sobre una hoja de *Fagus pristina* Saporta. Finalmente, VILLALTA (1962) describe dos especies de Coleópteros.

PALEONTOLOGIA

Orden: Trichoptera

Familia: Phryganeidae Leach, 1815

Género: *Phryganea*

*Phryganea* sp.

Descripción

Del material estudiado hemos seleccionado un resto (MGBV10302), consistente en un ala anterior incompleta, ya que debido al proceso de fosilización se ha perdido la parte basal.

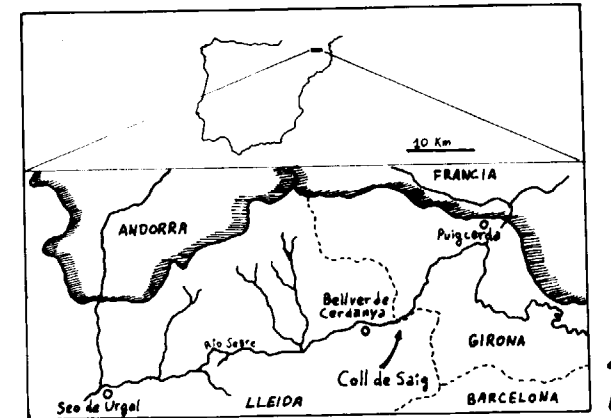


Figura 1.—Situación geográfica de la zona estudiada.

La longitud del resto alar es de 21 mm. y la anchura máxima 9,5 mm. El resto conserva trazas de la pigmentación original del ala (lám. II, fig. 1), así como restos de pilosidad en el margen costal. Una característica importante del ejemplar es la fusión del tramo basal de las ramas de la medial (M1+2) y (M3+4).

El resto de las venas tiene la siguiente disposición:

La vena Subcostal (Sc) en su tramo final conecta con la Costal. Esta conexión se aprecia con dificultad como todo el tramo anterior de la (Sc) y tampoco se aprecia fácilmente la vénula transversa que conecta la vena Costal con la Subcostal poco antes de la unión de éstas.

El primer sector de la Radial (R1) es indiviso y su conexión con el resto de los sectores de la radial es muy basal (no se aprecia en el ala).

Los demás sectores de la Radial están conectados entre sí dos a dos. El primer par que se bifurca es el (R2+3) y ninguno de los sectores está a su vez ramificado. De la vena (R3) surge una vena transversa (ir) que conecta con la (R4). La bifurcación de los sectores cuarto y quinto de la Radial es posterior y además a la altura de esta bifurcación surge el contacto de la (R3) con la (R4) a través de la vena (ir).

También a la misma altura de este contacto aparece una nueva vena transversa (que se aprecia

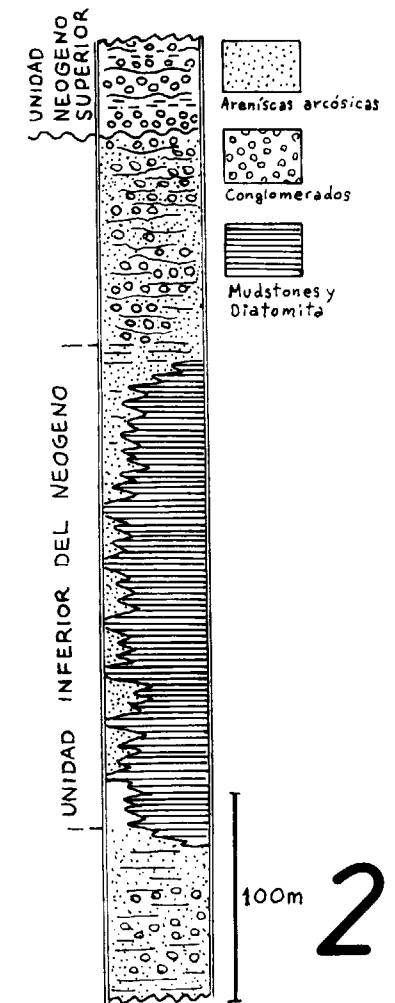


Figura 2.—Columna estratigráfica.

con mucha dificultad), que conecta la (R5) con el primer sector de la Medial (M1).

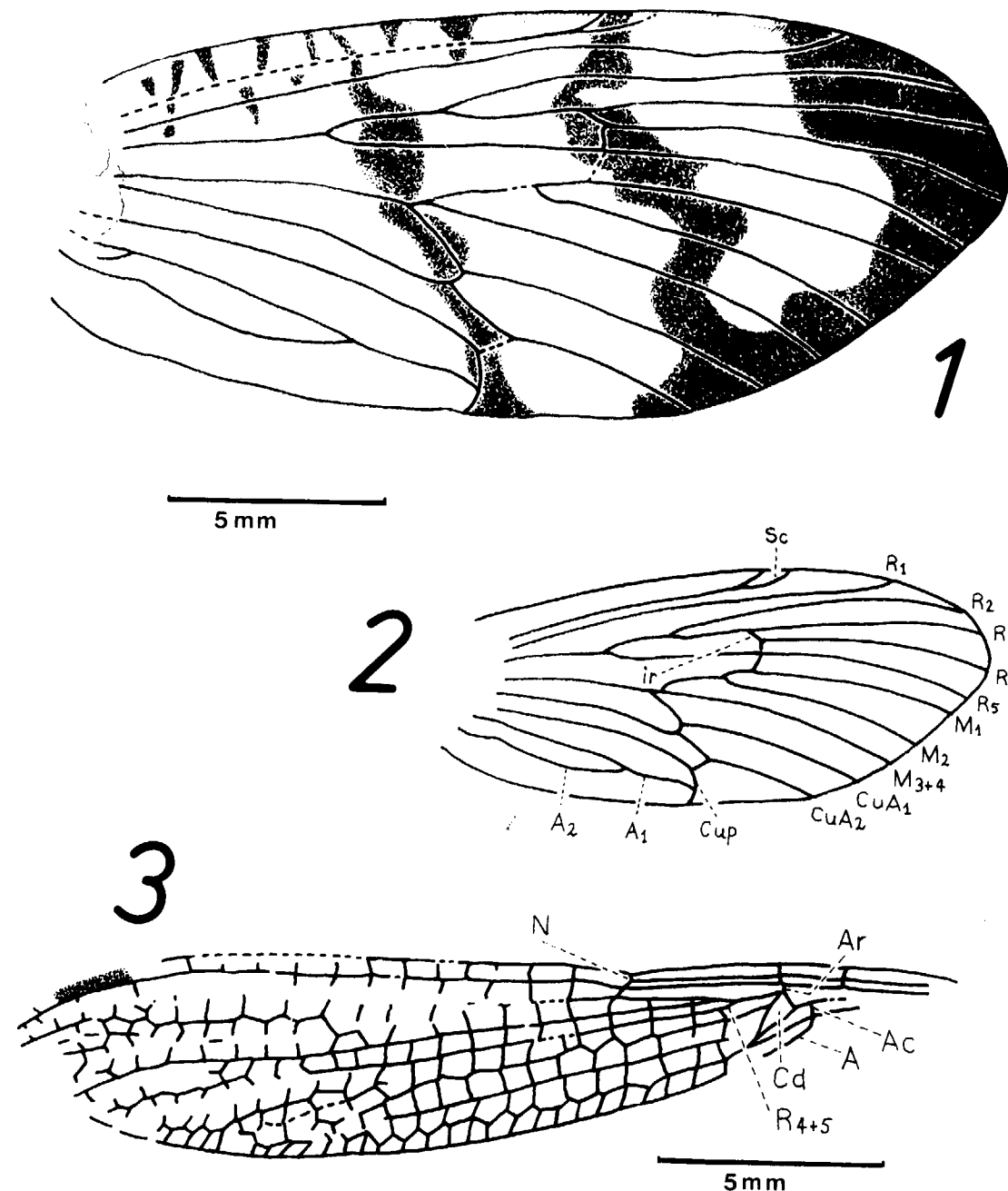
El sector basal de la vena Medial forma una celda con el sector anterior de la Cubital (CuA).

De esta celda parte una rama que en seguida se bifurca dando por lado los dos primeros sectores de la Medial (M1+2) y por el otro lado la (M3+4), que es indivisa, como ocurre en los machos de esta familia.

El sector anterior de la vena Cubital (CuA) delimita esta celda por su parte posterior. El ápice de la celda está formado por una vena muy obli-

(\*) Departamento de Biología Animal I (Entomología). Facultad de Biología. Universidad Complutense. 28040 Madrid.

## LAMINA II

Figura 1.—Ala de *Phryganea* sp. MGBV10302.Figura 2.—Ala de *Phryganea* sp. MGBV10302 (esquema de la venación).Figura 3.—Ala de *Lestes* sp. MGBV9859.

cua que conecta la Medial con el sector anterior de la Cubital. Este a su vez se encuentra bifurcado en dos ramas: (CuA1) y (CuA2).

El sector posterior de la Cubital (CuP) se curva en su tramo final conectando con la primera vena Anal (A1). La conexión entre la (CuA) y la (CuP) es muy tenue.

Por su parte, las anales primera y segunda forman la típica conexión en «Y».

El resto de la venación anal está peor conservada y se aprecia con dificultad.

## Discusión

La división genérica de la familia Phryganeidae se basa en muchos casos en caracteres de la genitalia, por lo que resulta difícil la adscripción del ejemplar con absoluta seguridad, aunque las características del ejemplar lo sitúan en *Phryganea* o a algún género similar, como *Oligotricha* Rambur, 1842.

En cualquier caso, la fusión en su tramo basal de los sectores (M1+2) y (M3+4) de la vena Medial separa al ejemplar de las especies conocidas de ambos géneros, si bien en *Phryganea* se observa una tendencia a la aproximación de ambos tramos basales, razón por la cual hemos decidido situar el ejemplar provisionalmente en este género.

VILLALTA & CRUSAFONT (1945) estudiaron por primera vez el ejemplar, siendo clasificado como un Lepidóptero Geometridae?

Esta es la primera cita de un Tricóptero en el Terciario ibérico.

El ejemplar estudiado procede del yacimiento de Coll de Saig y pertenece a la colección Villalta, encontrándose depositado en el Museo de Geología de Barcelona (sección de Paleontología).

Orden: Odonata  
Familia: Lestidae Sélys, 1840  
Género: *Lestes* Leach, 1815  
*Lestes* sp.

## Descripción

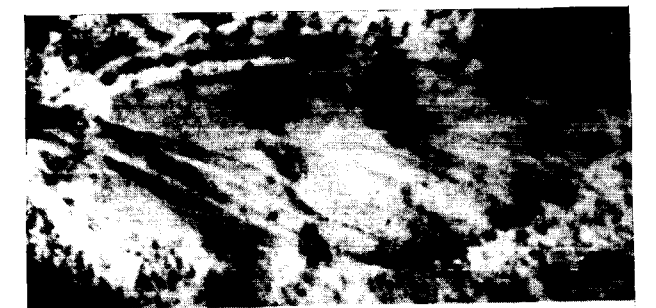
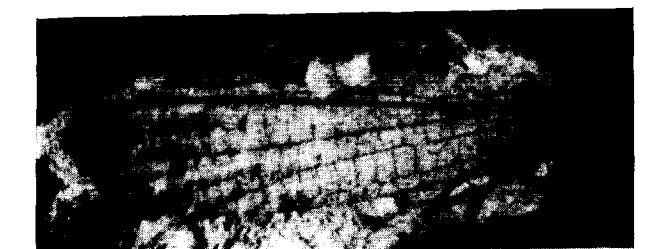
Del material correspondiente a esta especie he-

mos elegido dos restos alares, uno completo y el otro fragmentario.

El ejemplar MGBV9859 es el mejor conservado. La combinación de estigma alargado, cuadrilátero triangular y la disposición de las venas nodales lo sitúan claramente dentro del género *Lestes*.

El otro ejemplar MGBV10304 es mucho más fragmentario, pero la presencia de un estigma alargado nos hace pensar que tal vez ambos pertenezcan a la misma especie.

## LAMINA III

Fot. 1.—Ala de *Phryganea* sp. MGBV10302. Coll. de Saig, 4 ×.Fot. 2.—Ala de *Lestes* sp. MGBV9859. Coll. de Saig, 4 ×.

## Discusión

Se trata de la primera cita de la familia y del género dentro del Terciario Ibérico. Con ésta son dos las familias de Zygópteros conocidas dentro de este período, ya que GIL COLLADO (1926) describe de Ribesalbes (Castellón) *Platyo-*

cua que conecta la Medial con el sector anterior de la Cubital. Este a su vez se encuentra bifurcado en dos ramas: (CuA1) y (CuA2).

El sector posterior de la Cubital (CuP) se curva en su tramo final conectando con la primera vena Anal (A1). La conexión entre la (CuA) y la (CuP) es muy tenue.

Por su parte, las anales primera y segunda forman la típica conexión en «Y».

El resto de la venación anal está peor conservada y se aprecia con dificultad.

#### Discusión

La división genérica de la familia Phryganeidae se basa en muchos casos en caracteres de la genitalia, por lo que resulta difícil la adscripción del ejemplar con absoluta seguridad, aunque las características del ejemplar lo sitúan en *Phryganea* o a algún género similar, como *Oligotricha* Rambur, 1842.

En cualquier caso, la fusión en su tramo basal de los sectores (M1+2) y (M3+4) de la vena Medial separa al ejemplar de las especies conocidas de ambos géneros, si bien en *Phryganea* se observa una tendencia a la aproximación de ambos tramos basales, razón por la cual hemos decidido situar el ejemplar provisionalmente en este género.

VILLALTA & CRUSAFONT (1945) estudiaron por primera vez el ejemplar, siendo clasificado como un Lepidóptero Geometridae?

Esta es la primera cita de un Tricóptero en el Terciario ibérico.

El ejemplar estudiado procede del yacimiento de Coll de Saig y pertenece a la colección Villalta, encontrándose depositado en el Museo de Geología de Barcelona (sección de Paleontología).

Orden: Odonata

Familia: Lestidae Sélys, 1840

Género: *Lestes* Leach, 1815

*Lestes* sp.

#### Descripción

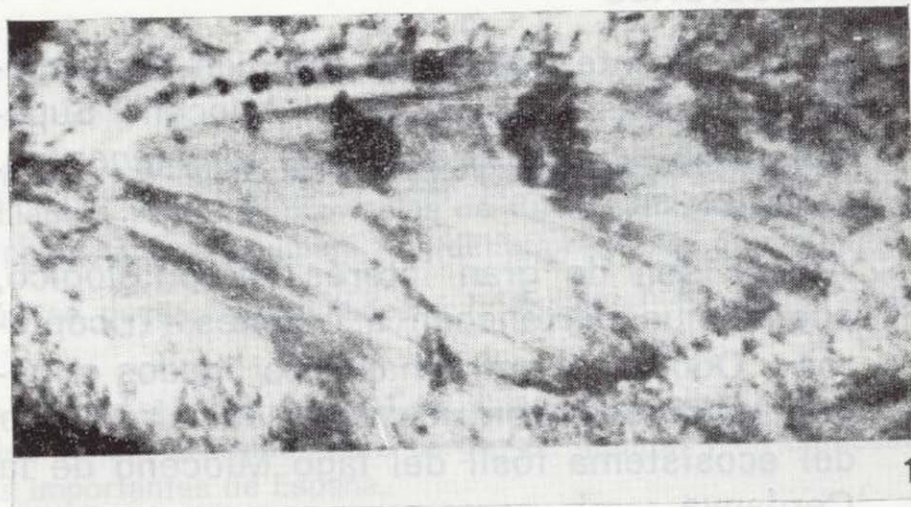
Del material correspondiente a esta especie he-

mos elegido dos restos alares, uno completo y el otro fragmentario.

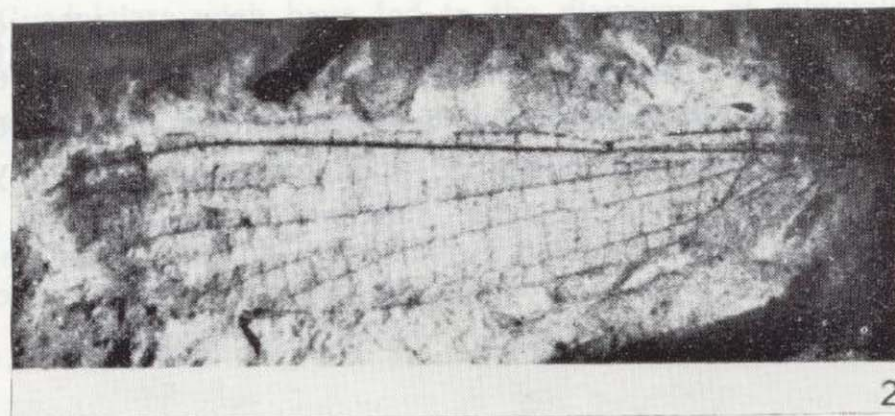
El ejemplar MGBV9859 es el mejor conservado. La combinación de estigma alargado, cuadrilátero triangular y la disposición de las venas nodales lo sitúan claramente dentro del género *Lestes*.

El otro ejemplar MGBV10304 es mucho más fragmentario, pero la presencia de un estigma alargado nos hace pensar que tal vez ambos pertenezcan a la misma especie.

#### LAMINA III



Fot. 1.—Ala de *Phryganea* sp. MGBV10302. Coll. de Saig, 4 x.



Fot. 2.—Ala de *Lestes* sp. MGBV9859. Coll. de Saig, 4 x.

#### Discusión

Se trata de la primera cita de la familia y del género dentro del Terciario Ibérico. Con ésta son dos las familias de Zygópteros conocidas dentro de este período, ya que GIL COLLADO (1926) describe de Ribesalbes (Castellón) *Platyo-*

*nemis cincuneguii*, perteneciente a la familia Platyctenemididae. Posteriormente VIGON (1980) cita la misma especie del mismo yacimiento y además cita un Zygóptero indeterminado.

El ejemplar MGBV9859 fue clasificado por VILLALTA & CRUSAFONT (1945) como Neuróptero. Ambos proceden de Coll de Saig y pertenecen a la colección Villalta, encontrándose depositados en el Museo de Geología de Barcelona (sección de Paleontología).

#### CONCLUSIONES

- En el presente trabajo se estudian dos especies de insectos fósiles del Mioceno Superior de la depresión ceretana: *Phryganea* sp. y *Lestes* sp.
- Ambos son de gran interés paleontológico, puesto que pertenecen a órdenes (Tricópteros y Odonatos) estrechamente ligados a medios acuáticos, contribuyendo así al estudio del ecosistema fósil del lago Mioceno de la Cerdanya.

#### AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al Dr. Julio Gómez-Alba y D. Jaume Gallemí, conservadores del Museo de Geología de Barcelona, las facilidades ofrecidas Al Dr. Glenn B. Wiggins, a D. Eduardo Barrón y

a D. Arturo Compte su ayuda y consejos. Así mismo queremos también agradecer al Dr. Víctor Monserrat la lectura crítica del manuscrito.

#### REFERENCIAS

- ALVAREZ RAMIS, C. & GOLPE-POSSE, J. M. (1981): *Sobre la Paleobiología de la cuenca de Cerdanya (depresiones pirenaicas)*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.), 79: 31-44.
- ANADON, P.; CABRERA, L.; JULIA, R.; ROCA, E. & ROSELL, L. (1989): *Lacustrine oil-shale basins in tertiary grabens from NE Spain (Western European Rift System)*. Palaeontogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol., 70: 7-28.
- CABRERA, L.; ROCA, E. & SANTANACH, P. (1989): *Basin formation at the end of a strike-slip fault: the Cerdanya Basin (Eastern Pyrenees)*. J. Geol. Soc. London, 145: 261-268.
- CARAZO, F. & VILORIA, J. (1946): *Noticias sobre los yacimientos fosilíferos de las margas miocenas del valle de la Cerdaña*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., 44: 575-578.
- GIL COLLADO, J. (1926): *Nota sobre algunos insectos fósiles de Ribesalbes (Castellón)*. Bol. Int. Geol. Miner. España, 6, (3.ª serie): 89-107.
- VIGON, M. (1980): *Nuevas aportaciones al estudio paleoecológico del yacimiento mioceno de Ribesalbes*. Tesis de Licenciatura. Fac. Ciencias Biológicas, Madrid, 69 pp.
- VILLALTA, J. F. (1957): *Dos zoocecidias fósiles del Mioceno de Cerdaña (prov. de Lérida)*. Cursos y Conferencias. Inst. «Lucas Mallada», 4: 63-64.
- VILLALTA, J. F. (1962): *Dos coleópteros fósiles procedentes de la depresión de Cerdanya (Lérida)*. Estudios Geológicos, 18: 105-109.
- VILLALTA, J. F. & CRUSAFONT, M. (1945): *La flora miocénica de la depresión de Bellver*. Illerda, 3: 339-353.
- Original recibido: Enero de 1992.  
Original aceptado: Junio de 1992.

## Posibilidades y limitaciones de los métodos geoelectrónicos en la exploración de formaciones caoliníferas albienses (S.E. de la provincia de Guadalajara).

Por F. FDEZ. ALONSO (\*); F. GONZALO CORRAL (\*\*); J. M. FDEZ. RUIZ (\*); J. S. MORCILLO OLIVA (\*), y F. SAN MIGUEL TIL (\*\*)

#### RESUMEN

Se realiza en este trabajo una revisión de los resultados obtenidos en la aplicación de las Técnicas de Exploración Geofísica Eléctrica a la prospección de formaciones caoliníferas albienses entre las provincias de Cuenca y Guadalajara que han conducido al descubrimiento de una mineralización en un punto situado a unos 5 Km. del afloramiento más próximo.

La región estudiada se caracteriza por albergar importantes depósitos de caolín asociados a la Facies Utrillas, que están siendo objeto de explotaciones intensivas.

Estos caolines, debido a sus características mineralógicas y físico-químicas (alto grado de blancura, homogeneidad, baja abrasividad, etc.) son muy apreciados en los sectores industriales siendo utilizados para cargas en general y en estucado de papel y constituyen uno de los metalotectos caoliníferos más importantes de España.

*Palabras clave:* Geofísica, Caolín, Investigación, Facies Utrillas, Guadalajara.

#### ABSTRACT

In this work, a revision is made of the results obtained in the application of Electrical Geophysical Exploration methods to kaoliniferous Albian formations located between Cuenca and Guadalajara which have led to the discovery of mineralization in one point located 5 Km. from the nearest outcropping.

The region which has been studied, characteristically holds important kaolin deposits associated with the «Utrillas Facies» which are the object of intense exploitations.

These kaolines are highly appreciated in the industrial sectors due to their mineralogical, physical, and chemical properties (high degree of whiteness, homogeneity, low abrasiveness, etc.) being used for filler in general and in the manufacturing of paper. They constitute one of the most important kaoliniferous metalotects of Spain.

*Key words:* Geophysics, Kaolin, Investigation, «Utrillas Facies», Guadalajara.

### 1. SINTESIS GEOLOGICO-MINERA

#### 1.1. Introducción

La zona en estudio comprende un área situada al norte de la provincia de Cuenca y al sur de la de Guadalajara, en la denominada Serranía de Cuenca, caracterizada por ser una región eleva-

da por encima de los 1.000 m. y con una densidad de población muy baja.

Geológicamente se ubica en la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica, y los materiales aflorantes van desde el Triásico hasta el Cretácico Superior. Las estructuras presentes tienen una directriz general NO-SE (fig. 1).

#### 1.2. Estratigrafía

Los sedimentos triásicos, representados en fa-

(\*) Geoexploraciones, S. A., Antonio Acuña, 4, Madrid.  
(\*\*) SAMCA, Paseo de la Independencia, 21 - 3.º, Zaragoza.

cies germánica, se apoyan discordantemente sobre el Paleozoico, aflorando materiales del Muschelkalk y Keuper.

El Muschelkalk está formado por tres unidades menores con una potencia total de 50-60 m.:

- M<sub>1</sub>. Unidad inferior dolomítica.
- M<sub>2</sub>. Unidad media margosa con intercalaciones dolomíticas.
- M<sub>3</sub>. Unidad superior, dolomítica con algunos tramos margosos.

El Keuper viene representado por arcillas versicolores, abigarradas, predominantemente rojas, y evaporitas (yesos). Su potencia es difícil de calcular debido a que aparece replegado y laminado por causas tectónicas.

El tramo superior del Keuper (Rethiense) y la base del Lías (Jurásico Inferior) presentan los siguientes términos:

- Fm. Dolomías tableadas de Imón, compuesta por dolomías grises y beige con niveles de dolomías vacuolares y potencia total de unos 20 m.
- Fm. Carniolas de Cortes de Tajuña, con potencia de unos 100 m., formada por dolomías vacuolares oquerosas, muy recristalizadas y de aspecto masivo.

Por encima y ya claramente dentro del Lías, aparecen las formaciones:

- Fm. Calizas y Dolomías tableadas de Cuevas Labradas (Sinemuriense Superior-Carixiense), con una potencia de hasta 200 m., compuesta de niveles dolomíticos que pasan gradualmente a calizas microcristalinas grises.
- Fm. Margas del Cerro del Pez (Pliensbachense), con una potencia de 6-8 m. constituida por margas grises y verdes con intercalaciones de calizas bioclásticas.
- Fm. Caliza bioclástica de Barahona (Pliensbachense), compuesta por 15-20 m. de calizas lumaquéllicas de aspecto noduloso.
- Fm. Margas y Calizas de Turmiel (Toarciense), potencia total entre 20 y 30 m., constituida por una alternancia de margas y calizas nodulosas de color gris azulado a gris pardo.

El final del Toarciense y todo el Dogger están representados por la Fm. Carbonatada de Chelva, con una potencia de unos 50 m. y compuesta por calizas micríticas (mudstones a wackstones) y packstones.

El Cretácico Inferior comienza generalmente por la facies Weald (Barremiense-Aptiense), de carácter erosivo y discordante sobre el Jurásico, constituida por areniscas, arcillas de colores abigarrados y calizas, y una potencia total inferior a 30 m. Por encima se encuentra la Fm. Arenas de Utrillas (Albiense-Cenomaniense Inferior), formada por arcillas y arenas blanco-amarillentas, a veces caoliníferas en lentejones de potencia métrica y ocasionalmente con cantos de grava silícea. Los niveles caolinizados, pueden ser explotados como mena de caolín, como es el caso de Poveda de la Sierra y Peñalén. La potencia total de esta Formación oscila de 20 a 120 m. y comprende varias secuencias sedimentarias interpretadas algunas por un modelo fluvial, mientras que otras pueden estar relacionadas con medios transicionales de deltas de dominio marreal (CAPOTE et al., 1982).

El Cretácico Superior comienza por el Cenomaniense, constituido por:

- Fm. Margas de Chera: margas verdes, a veces muy glauconíticas, con contenido variable en arenas silíceas.
- Fm. Dolomías de Alatoz: dolomías estratificadas, a techo masivas.
- Fm. Dolomías de Villa de Vés: con una potencia de 25-30 m. constituida por dolomías bioturbadas, con fósiles y bioclastos.
- Fm. Margas de Casa Medina: con potencias inferiores a 20 m., está representada por calizas y dolomías nodulosas.

El Turoniense, con potencias superiores a los 70 m., se encuentra representado por la Fm. Dolomías de la Ciudad Encantada, de aspecto masivo y carácter arrecifal, fácil de reconocer por su resalte morfológico característico.

El Coniaciense, con 70-85 m. de potencia, lo forman calizas y dolomías, que dan un segundo resalte morfológico importante.

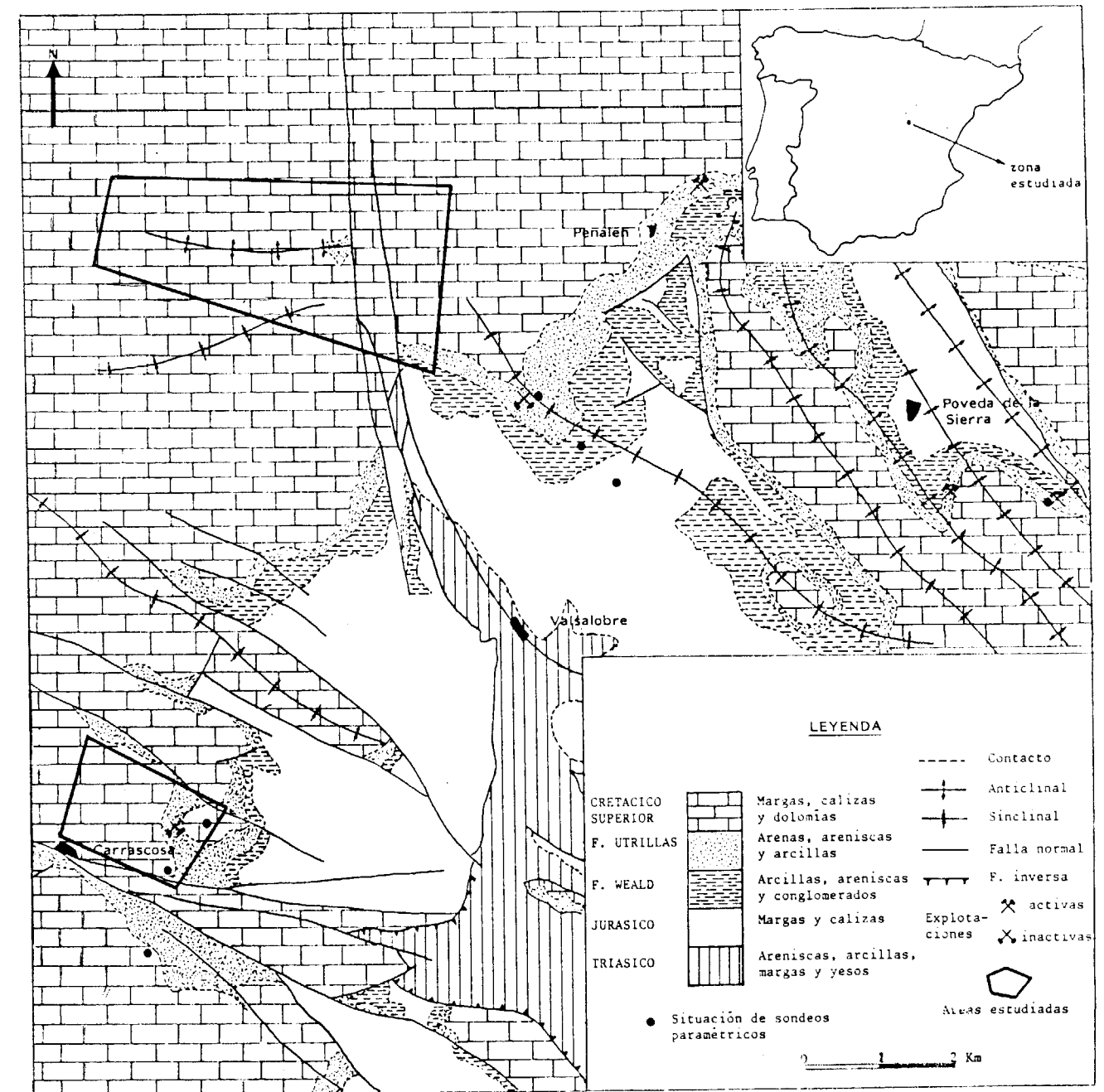


Figura 1.—Síntesis geológica de la zona estudiada (tomada de las hojas del MAGNA 514 y 539 del ITGE).

### 1.3. Tectónica

El modelo tectónico se ajusta al propuesto por ALVARO et al. (1978), constituyendo un aulacógeno que posteriormente, en las fases Alpinas (CAPOTE et al., 1982), sería comprimido y deformado hasta alcanzar su estado actual.

Durante el Triásico Inferior y Medio, el aulacógeno es un «graben» de geometría controlada por fracturas tardihercínicas. El Trías Superior corresponde a un tránsito de subsidencia por «rifting» a subsidencia térmica, manteniéndose así hasta finales del Jurásico.

En el Cretácico Inferior comienza otro período de «rifting» relacionado con la apertura del Golfo de Vizcaya, y en el Cretácico Superior de nuevo se instaure un período de subsidencia térmica.

El Paleógeno y Mioceno Inferior se caracterizan por ser una etapa compresiva, con una deformación polifásica, y estilo tectónico de zócalo y cobertera, dando lugar a macropliegues, cabalgamientos y microestructuras que corresponden a una compresión en tres fases de dirección NO-SE, NE-SO y ENE-OSO a NO-SE.

A partir del Mioceno Medio comenzó una etapa distensiva, con reactivación de fallas preexistentes y formación de nuevas estructuras.

1.4. Geología económica

La explotación intensiva del caolín de la Fm. Arenas de Utrillas se remonta a 1964, cuando se fundó la sociedad CAOBAR, si bien con anterioridad ya existían pequeñas explotaciones. Posteriormente otras empresas realizarían también labores mineras de magnitud considerable, como las de Peñalén iniciadas por CAOSIL, que en etapas sucesivas pasarán a titularidad de E.C.C. y recientemente a ECESA. Las explotaciones más importantes en la actualidad son: mina M.<sup>a</sup> José (CAOBAR) y mina Nuria (ECESA), ambas en Poveda de la Sierra.

Estos yacimientos presentan lentejones de hasta 60 m. de potencia de arena caolinífera, de la cual se obtiene un 15 % de caolinita y el resto son arenas silíceas, ascendiendo las reservas de mineral todo-uno a varios millones de Tm.

En la actualidad las sociedades ECESA y CAOBAR producen, cada una, sobre 60.000 Tm/año de caolín lavado, destinado a diferentes usos; así CAOBAR destina a cerámica el 33 %; a fabricación de papel, 24 %; a fibra de vidrio, 22 %; a pigmento en pinturas, 9 %, y a otros usos, como cargas en el caucho, cosméticos y plásticos, 12 %. ECESA emplea su caolín en estucado de papel, carga de papel y cerámica.

Las arenas son utilizadas en filtración, chorreo, vidrio, construcción, etc.

2. OBJETIVO DE LA INVESTIGACION

Se pretende localizar, mediante estudios geofísicos,

la presencia bajo el Cenomaniense carbonatado del metalotecto caolinífero albiense, determinar la profundidad de su techo, evaluar su espesor y, eventualmente, delimitar las áreas con elevada probabilidad de encontrar depósitos de caolín.

3. METODOLOGIA APLICADA Y TRABAJOS REALIZADOS

La disposición estratigráfica y la naturaleza litológica de las diferentes unidades que conforman la pila sedimentaria de la región, hace que sea el Método Eléctrico, en la modalidad de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), el medio más adecuado para acometer la resolución de la problemática minera planteada.

Con este fin se iniciaron los trabajos efectuando varios SEV paramétricos de sondeos mecánicos previos, tanto en Peñalén como en Poveda de la Sierra, destinados a evaluar el campo de variación de la resistividad eléctrica de las distintas unidades litológicas relacionadas con el mineral para, con los valores obtenidos, establecer la columna litorresistiva de la región; y se continuaron con sendas campañas de SEV en los términos de Peñalén y Carrascosa, hasta un total de 79, para acometer la investigación propiamente dicha.

En la figura 2 se reproduce la gráfica de resistivi-

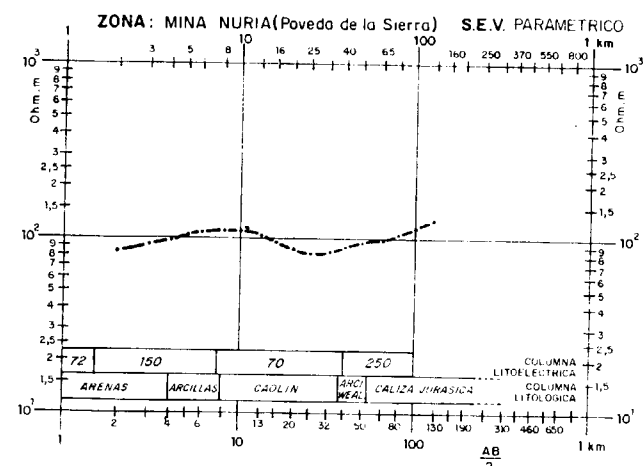


Figura 2.—Gráfica de S.E.V., interpretación y columna litológica.

dad aparente del sondeo paramétrico efectuado en Poveda, junto con la interpretación geoelectrica y la columna litoestratigráfica levantada en su emplazamiento.

4. INTERPRETACION GEOLOGICO-MINERA DE LOS DATOS GEOELECTRICOS

4.1. Columna litorresistiva

Los campos de variación de las resistividades reales de las diferentes unidades litológicas de la pila sedimentaria y su correlación mutua (fig. 3), ponen de manifiesto el predominio de materiales con valores superiores a 150 ohm.m., donde se sitúa tanto el Cenomaniense (180 a 1.500 ohm.m.) como el Jurásico (150-600 ohm.m.). Por su lado los materiales de la facies Weald son muy conductores, oscilando entre 15 y 70 ohm.m., y, finalmente, las arenas de facies Utrillas —metalotecto caolinífero— oscilan entre 58 y 1.900 ohm.m. correspondiendo a caolín los tramos más bajos de la serie y a arenas secas los más altos. Las arenas saturadas tienen una resistividad intermedia.

Estos resultados confirman que existe suficiente contraste entre la resistividad del caolín, por un lado, y calizas tanto cenomanienses como jurásicas por el otro, siempre más resistivas, y lo mismo sucede entre caolín y materiales wealdienses que son más conductores. Dentro del Albiense, caolín y arenas secas representan las

resistividades extremas de una serie continua, enlazadas por arenas saturadas.

La separación electrorresistiva entre caolín y arenas saturadas es difícil de precisar de la misma manera que lo es señalar los límites de la mineralización que en realidad representa la posición extrema de una alteración progresiva y gradual de los feldspatos contenidos en las arenas. Por otro lado, la ubicación en la columna litoeléctrica del caolín, que coincide con similar posición en la columna litoestratigráfica del horizonte portador, es un factor limitante para detectar directamente la mineralización con métodos geoelectricos que operan con resistividades aparentes para las que el contraste se desvanece un tanto en relación con el obtenido a partir de los valores reales de dicho parámetro.

Otro factor que limita la resolución del método es la previsible presencia de intercalaciones litológicas de distinta resistividad dentro de una unidad estratigráfica definida, por ejemplo niveles de arcillas o margas en arenas albienses, en cuyo caso la resistividad de dicha unidad será intermedia entre la de las litologías mezcladas.

En la presente campaña, en función de los valores paramétricos obtenidos, se atribuye a caolín la franja de resistividades del paquete albiense comprendida entre 70 y 200 ohm.m.

4.2. Zona de Peñalén

Aflora el Cretácico Superior carbonatado repre-

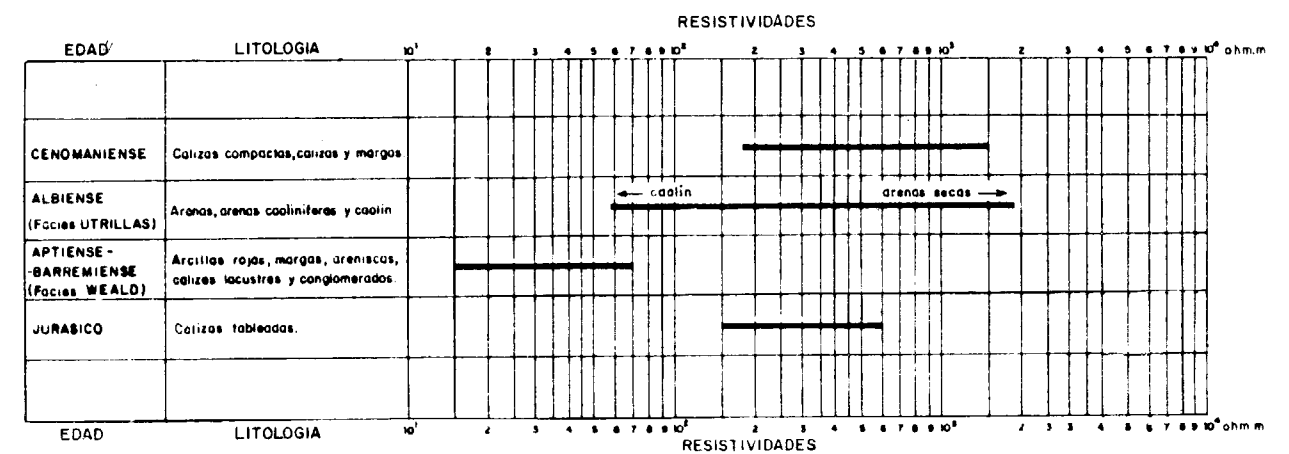


Figura 3.—Columna litorresistiva.

sentado por el Cenomaniense en la mayor parte de la zona, y por el Turoniense en el sector más occidental.

En total se han realizado 61 SEV de los cuales seis tienen como objetivo la resistividad de arenas albienses, sedimentos detríticos wealdienses y calizas jurásicas, y los 55 restantes la investigación propiamente dicha. Estos últimos se han agrupado en ocho perfiles, dos de dirección E-O (P-1 y P-2) y los seis restantes dirigidos N-S (fig. 4).

#### 4.2.1. Secciones geoelectricas

La interpretación de los sondeos eléctricos ha permitido conocer resistividades reales y espesores de las diferentes capas del subsuelo y, con ambos parámetros, se ha trazado para cada perfil de SEV, la correspondiente sección geoelectrica, de las cuales se incluyen en la figura 5 las de los perfiles P-3, P-5 y P-8.

Todas las secciones detectan la presencia de tres unidades litoeléctricas con las siguientes características:

#### — Unidad resistiva superior

Comprende materiales cuya resistividad oscila entre 150 y más de 2.000 ohm.m dispuestos, como máximo, en tres capas subhorizontales o buzando suavemente tanto al norte como al sur en los perfiles que siguen dicha dirección.

Este paquete corresponde al conjunto Cenomaniense-Turoniense carbonatado y en él las capas con mayor resistividad (valores superiores a 500 ohm.m.) están formadas por calizas, mientras que margocalizas y calizas margosas, que constituyen las otras dos capas, tienen resistividades medias del orden de 350 y 250 ohm.m., respectivamente.

#### — Unidad conductora intermedia

Bajo los sedimentos carbonatados resistivos de la unidad anterior aparecen, en el sector oriental de la zona, materiales con valores inferiores a 100 ohm.m., que hacia el oeste aumentan de resistividad superando puntualmente los 200 ohm.m.

Dicha formación corresponde al Albiense en facies Utrillas y constituye el horizonte caolinífero en toda esta región de la Serranía de Cuenca. En el muro de la unidad, los sedimentos wealdienses son difíciles de delimitar debido, en gran medida, a su irregular presencia en la pila estratigráfica, por lo que sólo localmente se representan diferenciados en las secciones geoelectricas.

Las bajas resistividades del sector oriental están producidas, al menos parcialmente, por niveles arcillosos intercalados en arenas, mientras que en el sector occidental, deben corresponder, en buena parte, a caolín, sobre todo bajo los SEV más próximos al eje anticlinal detectado, donde las resistividades son inferiores generalmente a 200 ohm.m.

#### — Unidad resistiva inferior

Sólo aparece en algunos SEV con valores superiores siempre a 200 ohm.m., pudiendo alcanzar hasta 700 ohm.m.

Esta unidad equivale litológicamente al Jurásico carbonatado y constituye el substrato del paquete investigado con sondeos eléctricos.

\* \* \*

La interpretación geológico-minera precedente se encuentra confirmada tanto por los sondeos mecánicos realizados por la Junta de Energía Nuclear en 1974, como por los sondeos PEÑ núm. 1 y núm. 2 efectuados a partir de esta investigación. La equivalencia litológica de las unidades litoeléctricas se establece a partir de la columna litorresistiva de la figura 3.

Desde el punto de vista tectónico se ha detectado la presencia de cambios laterales de resistividad, motivados por fallas, que, dispuestos en planta, delimitan una fosa tectónica de dirección N-S, rellena principalmente por materiales conductores (12 a 85 ohm.m.) de naturaleza margosa. Otros SEV se ubican sobre aparatos kársticos.

#### 4.2.2. Isópacas del Cenomaniense

Con los datos suministrados por los SEV, complementados con las columnas de sondeos mecánicos, se han trazado las isópacas de la unidad

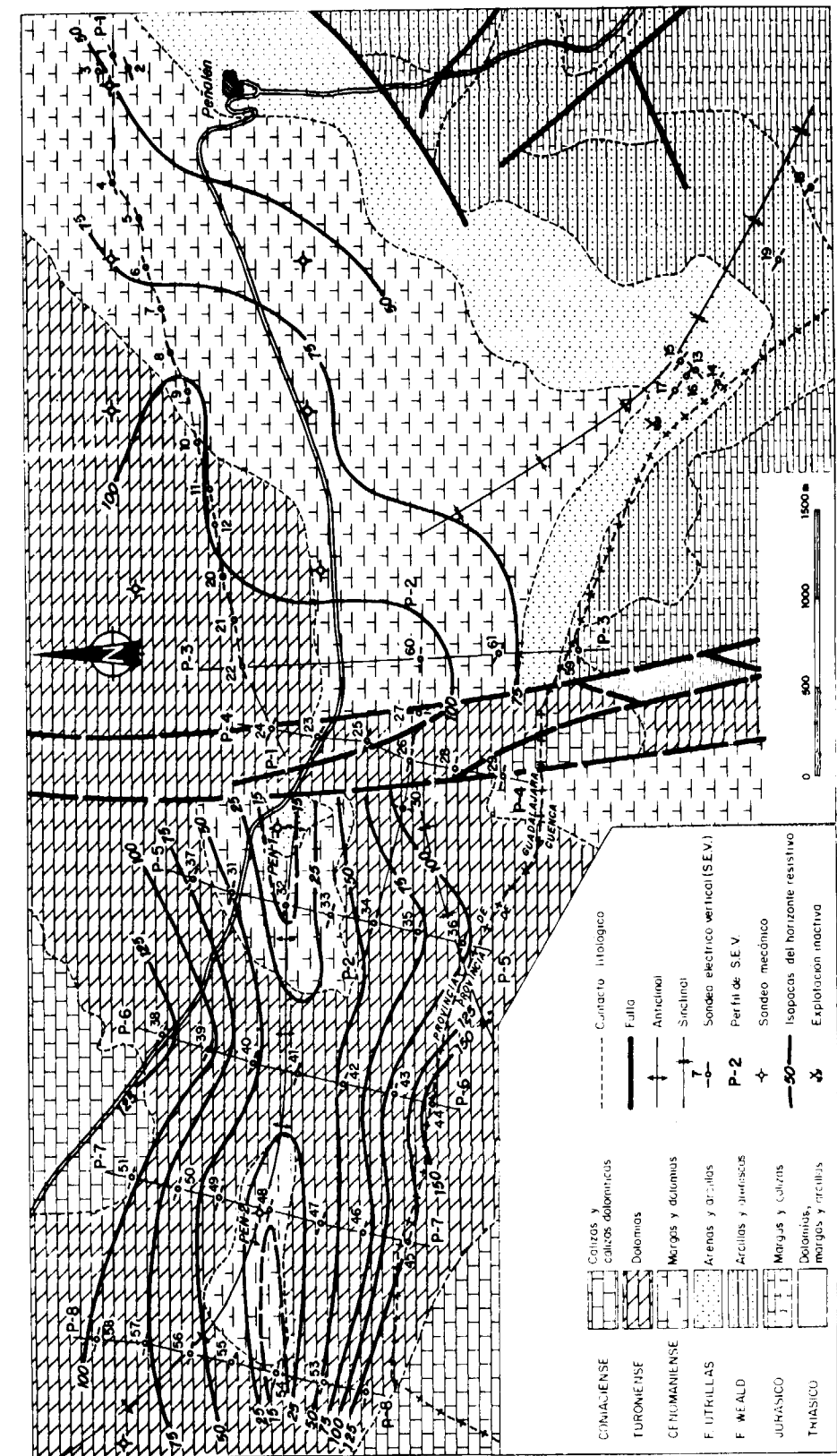


Figura 4.—Peñalén. Area investigada: Geología, situación de SEV e isopacas del horizonte resistivo.



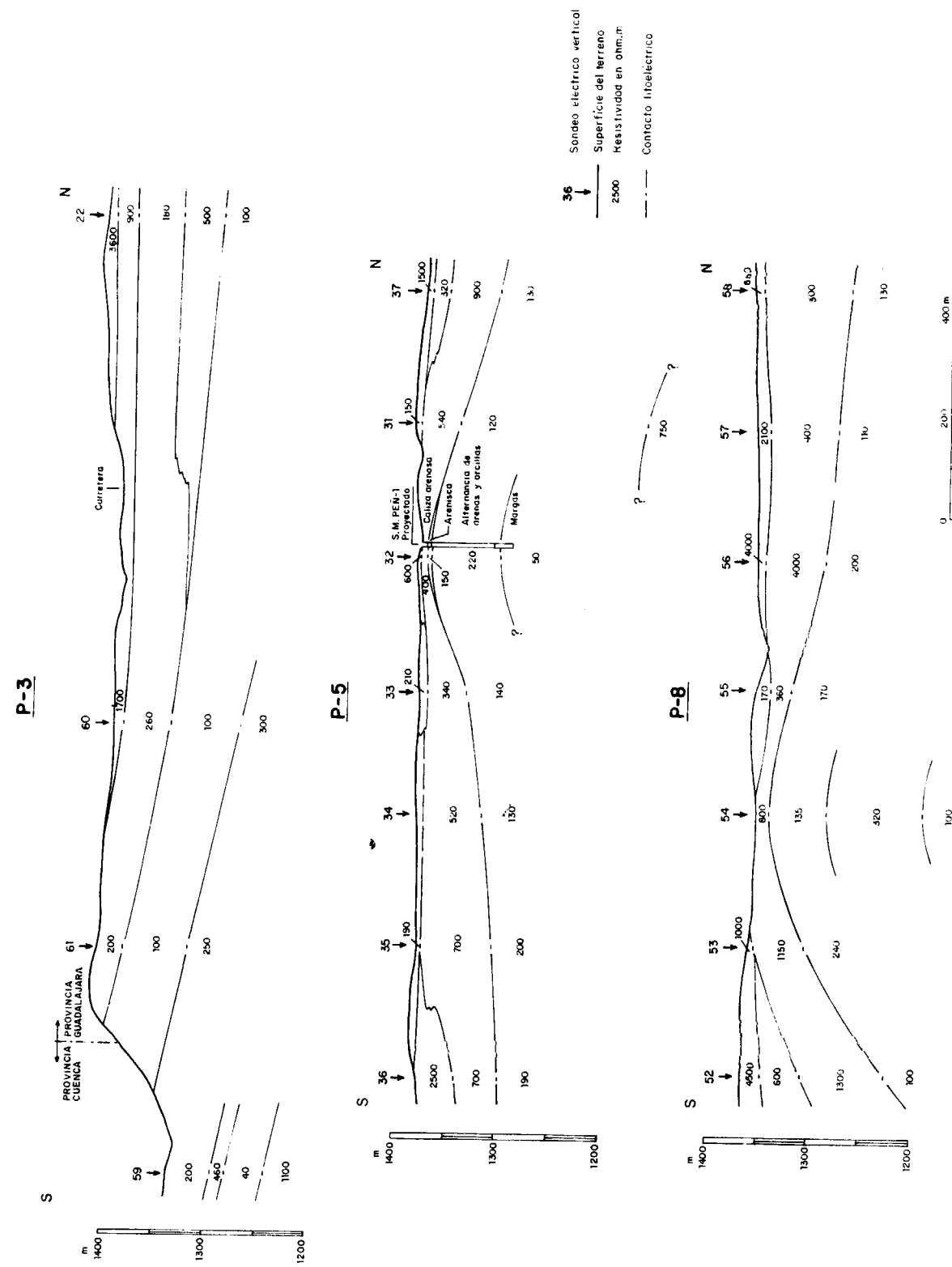


Figura 5.—«Peñalén». Secciones geoelectricas.

resistiva superior (fig. 4), que ponen de relieve estilos diferentes de dicha unidad a uno y otro lado de la fosa tectónica.

En el sector oriental el espesor del paquete carbonatado crece uniformemente hacia el NO, llegando a superar los 100 m. dentro del área explorada. En el sector occidental las isópacas oscilan entre 15 y 150 m. y definen un anticlinal cuyo eje, de dirección casi EO, se encuentra suavemente ondulado. Esta disposición estructural encuentra confirmación en la cartografía geológica (fig. 1).

Las isópacas indican la proximidad a la superficie del metalotecto caolinífero delimitando, junto con los valores de su resistividad, las áreas de preferente localización de sondeos mecánicos.

4.3. Zona de Carrascosa

En Carrascosa afloran los mismos materiales litoestratigráficos que en Peñalén y se han efectuado 17 SEV agrupados en cuatro perfiles (fig. 6).

4.3.1. Secciones geoelectricas

Siguiendo el mismo proceso que en Peñalén se han elaborado las secciones geoelectricas correspondientes a cada perfil, que, como allí, constan de tres unidades litoeléctricas con las siguientes características (fig. 7):

— Unidad resistiva superior

Comprende dos o tres capas que buzcan suavemente hacia el oeste, con resistividades que oscilan entre 100 y 300 ohm.m. aun cuando localmente estos valores son rebasados tanto por arriba como por abajo.

Litológicamente corresponden a calizas margosas del Cenomaniense.

— Unidad conductora intermedia

Incluye dos electro-estratos, no siempre diferenciables. El superior tiene resistividades del orden de 100 ohm.m. y el inferior, cuando aparece, raramente supera los 50 ohm.m.

Litológicamente la capa superior corresponde a arenas albienses en facies Utrillas y representa el metalotecto caolinífero. La capa inferior es de naturaleza margosa y por su resistividad debe corresponder a sedimentos wealdenses.

Es de destacar el reducido espesor de la formación de arenas de Utrillas, que incide negativamente en la presencia de cuerpos mineralizados. Su resistividad, sin embargo, es del mismo orden de magnitud que la del caolín, aunque posiblemente se encuentre influida por niveles arcillosos intercalados en las arenas.

— Unidad resistiva inferior

Se detecta en varios SEV con valores superiores, en general, a 200 ohm.m. buzando, como toda la pila sedimentaria, suavemente al oeste.

Litológicamente corresponde a calizas jurásicas cuyo techo aumenta de profundidad de norte a sur de la zona explorada.

\* \* \*

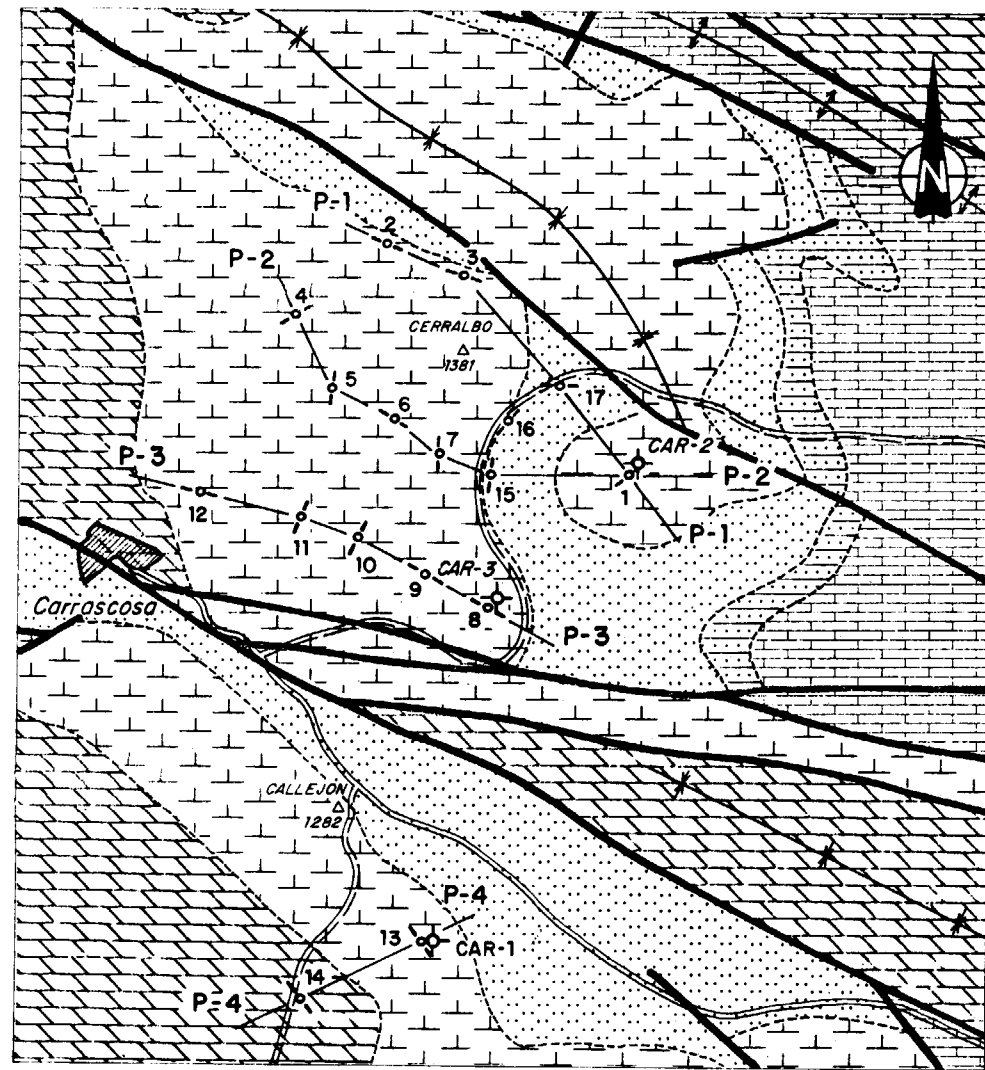
Los sondeos mecánicos CAR-1, 2 y 3, incluidos en las secciones geoelectricas, confirman la interpretación litoestratigráfica precedente (fig. 7).

5. RESULTADOS PRACTICOS DE LA INVESTIGACION

En el estudio realizado se han puesto de manifiesto los siguientes extremos de interés práctico:

5.1. El caolín tiene una resistividad intermedia entre la que presentan las rocas carbonatadas y las arenas estériles por un lado (ambas más resistivas), y las margas y arcillas por el otro (más conductoras).

5.2. En las campañas efectuadas, tanto en Peñalén como en Carrascosa, se han detectado tres unidades litoeléctricas principales que, a su vez, pueden incluir dos o tres formaciones electrorresistivas.



0 500 1000m

- TURONIENSE Dolomías
- CENOMANIENSE Margas y dolomías
- F. UTRILLAS Arenas y arcillas
- F. WEALD Arcillas y areniscas
- JURASICO Margas y calizas

- Contacto litológico
- Falta
- ↕ Anticlinal
- ↘ Sinclinal
- Sondeo eléctrico vertical (S.E.V.)
- P-3 Perfil de S.E.V.
- CAR-3 Sondeo mecánico

Figura 6.—«Carrascosa». Area investigada: Geología y situación de S.E.V. y sondeos mecánicos.

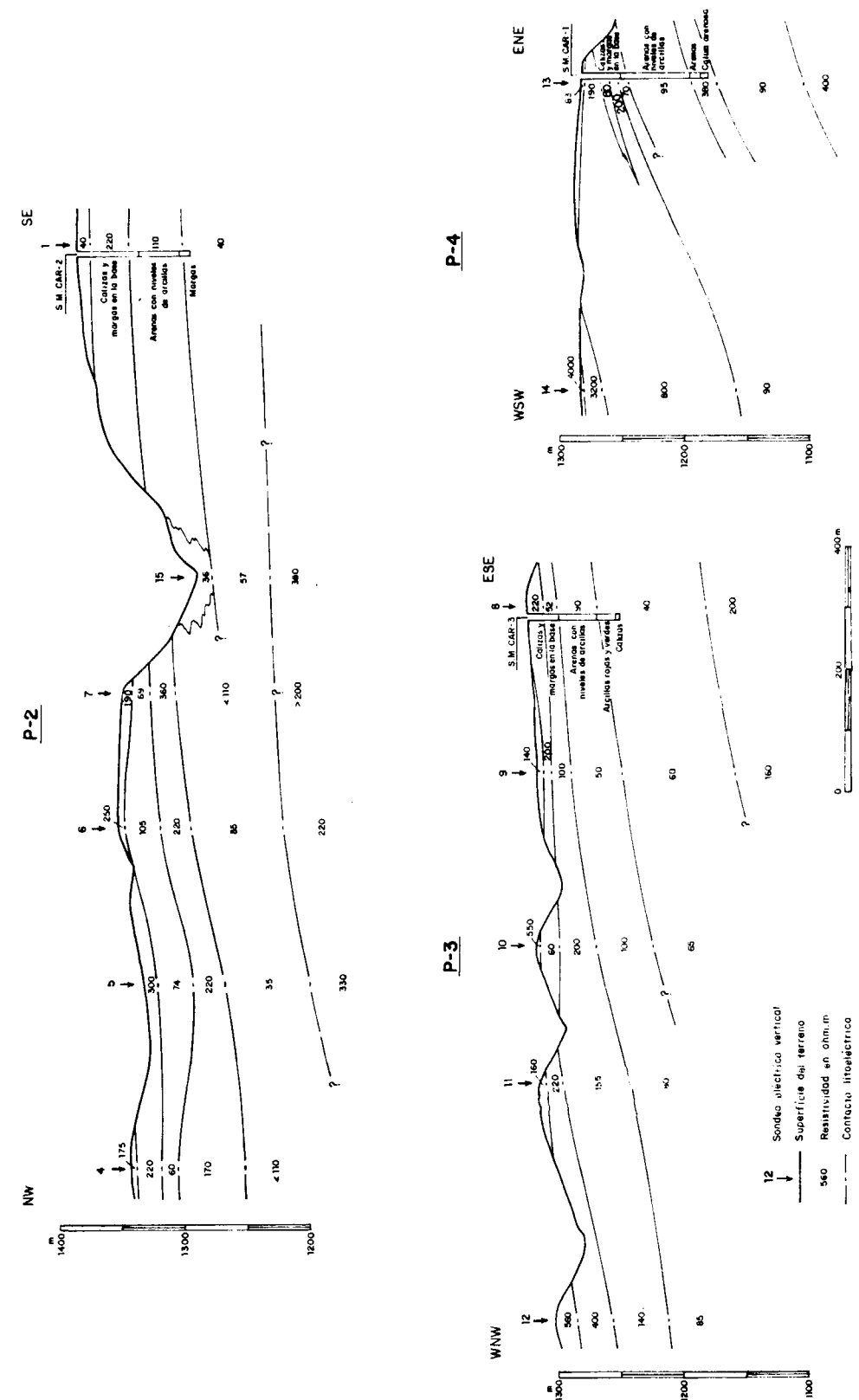


Figura 7.—«Carrascosa». Secciones geoeléctricas.

La unidad superior corresponde litológicamente al conjunto Cenomaniense-Turonense carbonatado; la intermedia se encuentra integrada por arenas albienses en facies Utrillas en el techo y sedimentos arcillosos wealdienses en la base y, finalmente, la unidad inferior comprende sedimentos carbonatados jurásicos.

5.3. El área de Peñalén se encuentra dividida en dos sectores por una fosa tectónica de dirección N-S, claramente señalada por los sondeos eléctricos y reconocida cartográficamente en el levantamiento geológico. En el sector occidental, el metalotecto albiense presenta resistividades atribuibles a caolín, que pueden agruparse en bandas de dirección aproximada E-O, paralelas al eje de la estructura anticlinal definida en esta zona. En el sector oriental, las resistividades son del mismo orden, e incluso menores que el caolín, debido, en buena parte, a la presencia de niveles arcillosos intercalados en las arenas, extremo confirmado por los sondeos mecánicos.

5.4. En el área de Carrascosa, el Albiense presenta resistividad semejante a la obtenida para el caolín en la columna litorresistiva. No obstante, el reducido espesor del metalotecto de esta zona es un factor restrictivo para la presencia de depósitos caoliníferos.

5.5. En Peñalén se han trazado las isópacas de la unidad resistiva carbonatada (Turonense+Cenomaniense) que ponen de manifiesto las áreas donde el horizonte caolinífero se encuentra más próximo a la superficie, lo que junto con valores de su resistividad, definen objetivos prioritarios para investigar con sondeos mecánicos.

5.6. Los sondeos mecánicos de Carrascosa han

sido negativos confirmando con ello cuanto queda expuesto en relación con esta zona.

5.7. En Peñalén el sondeo PEÑ-1, cuyo emplazamiento de fijó por razones estrictamente geológicas, atravesó materiales albienses de resistividad superior a 200 ohm.m. que no se encuentran mineralizados. Por el contrario, el sondeo PEÑ-2, ubicado a partir de los resultados de esta investigación, cortó 40 m. de caolín en un punto situado a unos 5 Km. del afloramiento más próximo. La importancia económica de la mineralización y la calidad mineralógica del caolín descubierto se investigan actualmente.

5.8. Los resultados de la presente exploración confirman que el Método Eléctrico, en la modalidad de Sondeos Eléctricos Verticales, es una metodología geofísica útil para, conjuntamente con la geología, ayudar en la resolución de la problemática minera que presentan las formaciones caoliníferas albienses en las provincias de Cuenca y Guadalajara.

#### REFERENCIAS

ALVARADO, M.; CAPOTE, R., y VEGAS, R (1978): *Un modelo de evolución geotectónica para la Cadena Celtibérica*. En: Libro Homenaje al profesor José Sabarís. Acta Geológica. Hisp., núm. 14, pp. 174-177.

CAPOTE, R.; DIAZ, M.; GABALDON, V.; GOMEZ, J. J.; SANCHEZ DE LA TORRE, L.; RUIZ, P.; ROSELL, J.; SOPEÑA, A., y YEBENES, A. (1982): *Evolución sedimentológica y tectónica del Ciclo Alpino en el tercio noroccidental de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica*. 2 vols. ITGE. Temas geológico-mineros, 240 pp.

IGME (1981): *Mapa Geológico de España*. Escala 1:50.000. Hoja núm. 514. Taravilla, 59 pp.

ITGE (1989): *Mapa Geológico de España*. Escala 1:50.000. Peralejos de las Truchas, 68 pp.

Original recibido: Julio 1992.

Original aceptado: Octubre 1992.

## MINIPROGRAMAS (III)

### Programas simples para modelado de acuíferos.

Por. A. NAVARRO ALVARGONZALEZ

#### RESUMEN

Se ofrece un programa simplificado, en BASIC, para la modelización de acuíferos con el método de diferencias finitas. Es un programa para acuífero monocapa anisótropo en horizontal, con mallas poligonales irregulares, que admite recarga/extracción variable en el intervalo, cálculo de surgencias y de infiltraciones, cotas mínimas de bombeo y dos procesos diferentes: cálculo de piezometrías o (con piezometrías predeterminadas) cálculo de residuales. También da balances de masa para cada elemento y período y para el conjunto del modelo.

*Palabras clave:* Acuífero, Modelo matemático, Diferencias finitas, Monocapa malla irregular, Infiltración, Surgencia, Cota mínima de bombeo.

#### ABSTRACT

A simple program in Basic for aquifer modeling using finite difference methodology is described. Detailed explanations are given for the computer code. The model deals with single layer aquifer, leakage, rising water, variable input/output, limitation of pumping levels, and irregular polygonal network. Two different ways are possible: calculate piezometric levels or with pre-determined levels, estimate residuals. Mass balances are computed for single cells as well as for the whole model.

*Key words:* Aquifer, Mathematical model, Finite differences, Single layer, Irregular polygonal network, Leakage, Rising water, Variable input/output, Pumping levels.

#### DIFERENCIAS FINITAS (MALLA IRREGULAR)

##### 1. Preámbulo

Sin abandonar la noción de modelos simples, en los que se sabe qué hace realmente el programa, un grado más sobre el rudimentario método antes explicado demanda ya un grado de complejidad hidrogeológica más difícil de manejar. Suele haber una relación de tipo potencial o exponencial entre el incremento de pretensiones hidrogeológicas, y el incremento asociado de complicación de programa y de requerimientos de información de campo, y el hidrogeólogo debe ser consciente de ello.

Como ejemplo de lo anterior, vamos a explicar

(\*) Instituto Tecnológico Geominero de España.

a continuación otro mini-programa, pero que envuelve, en varios sentidos, un salto cuántico respecto al de malla regular.

##### 2. Matemáticas

Con una malla de tipo cuadrado, si se trabaja con un modelo que no utilice muchas mallas, es difícil a veces adaptarse a los bordes del contorno físico real. Más fácil adaptación se consigue usando un modelo de mallado irregular, poligonal.

La primera ampliación del programa simple de diferencias finitas con malla cuadrada puede estribar en su modificación para que pueda operarse con mallas de diferentes formas poligonales irregulares: triángulos, cuadriláteros, pentá-

gonos, etc. Esta modificación, aparentemente pequeña, implica una reordenación considerable de los datos de entrada, con diferentes tratamientos posibles. Un método de acceso podría ser el dar las coordenadas de cada nudo, lo que simplificaría el archivo de datos de entrada, dejando que el programa calculase los necesarios datos. Por otro lado, esto complicaría el programa. Otra posibilidad, que es la que se va a utilizar aquí, es dar como datos en el archivo de entrada las longitudes de los lados, las distancias nodales y una matriz de ubicación de nudos (elementos) y lados. Aunque ello alarga dicho archivo de datos, son archivos que se hacen de una vez, y se evita que a cada pasada del programa haya que hacer todos los cálculos de distancias y relaciones.

Una segunda innovación que se introduce también es que en los nudos de piezometría predeterminada, esta piezometría pueda variar en cada período.

Una tercera mejora del programa consiste en introducir la condición de manantial, es decir, de un cierto caudal de surgencia dependiente de unos parámetros y de los niveles piezométricos variables con el tiempo. La misma condición puede también utilizarse como condición de río, es decir, como infiltración («leakance») de una cantidad de agua hacia el acuífero, en función de parámetros y de la piezometría del acuífero relativamente al nivel de infiltración.

Una cuarta variante, que contribuye bastante a flexibilizar el programa se refiere a la introducción de datos variables de recarga/extracción.

Una quinta variante consiste en utilizar el programa haciendo que las piezometrías sigan evoluciones preestablecidas, y obtener los errores residuales en estos casos, operación que ayuda en muchas ocasiones a una mejor calibración.

Por último, un refinamiento extra: Se establece una distinción entre la cota mínima de bombeo y el fondo impermeable del acuífero. Es decir, si el fondo del acuífero está a -67 metros, se admite que antes que el nivel descienda a -67 metros ya no se puede bombear, y se define una cota, por ejemplo, -47 metros o -50 metros, por debajo de la cual ya no se puede bombear, teniendo en cuenta físicamente el cono de depresión que produce el propio bombeo.

#### a) Malla poligonal irregular

Vamos a explicar la introducción de una malla poligonal irregular. Un elemento de esta malla se representa en la figura 1, en la que se ha seleccionado un elemento pentagonal. El mallado no se puede hacer arbitrariamente. Cuando se comenzó a utilizar el método se pensó que los nudos podían corresponder a perforaciones en las que hubiese ensayos de bombeo, de manera que los valores asignados al nivel, a la transmisividad y al almacenamiento fuesen de verdad los del acuífero. Con esta idea se llenaba la superficie del acuífero de nudos (pozos), y el área asignada a cada uno de ellos (el polígono) se obtenía con una distribución tipo Thyesen, similar a como se asigna la pluviometría entre estaciones pluviométricas.

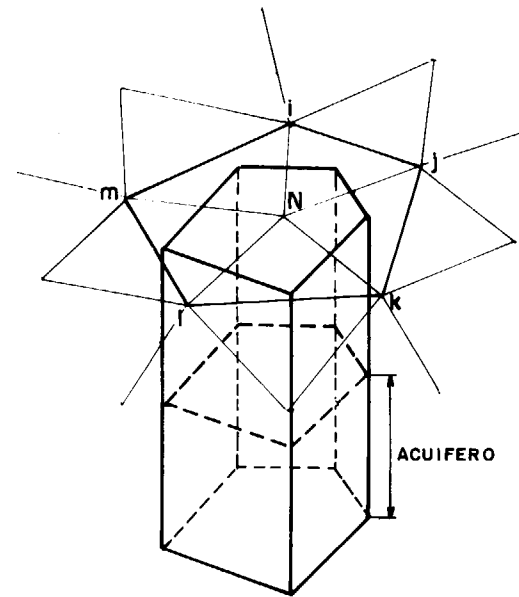


Figura 1.—Elemento base.

La metodología para ello es la siguiente. Se unen los nudos con segmentos (ramas) de tal forma que se consiga una distribución triangular, es decir, que cada nudo sea vértice de triángulo. Después se trazan las mediatrices de estos segmentos (ramas). Estas mediatrices son los LADOS de los POLIGONOS finales. En estos polígonos finales, resulta lo siguiente: a) El segmento (rama) que une dos nudos vecinos es perpen-

dicular al lado que corta. De tal forma, el flujo subterráneo entre ambos nudos puede expresarse mediante la fórmula de gradiente\*permeabilidad\*sección. b) Las distancias de cada nudo al lado común son iguales, de manera que si al lado hay que asignarle valores ponderados nodales basta asignarle la semisuma de tales valores.

Para los flujos subterráneos, en vez de la fórmula usada cuando la malla era cuadrada:

$$\text{Flujos} = \text{Suma}_{i=j, k, \dots} [h(i) - h(N)] * [T(i) + T(N)] / 2 \quad [1]$$

al ser la malla poligonal irregular, los términos «longitud de lado» y «distancia nodal» no se destruyen entre sí, pues son diferentes, y hay que tenerlos en cuenta:

$$\text{Flujos} = \text{Suma}_{i=j, k, \dots} [h(i) - h(N)] * [\text{Long. lado entre } (i-N)] * [T(i) + T(N)] / [2 * \text{Distancia } i-N] \quad [2]$$

La primitiva idea de que los nudos fueran perforaciones o pozos rara vez se consigue, y los valores nodales han de ser atribuidos por interpolaciones o por cualquier criterio, en lugar de una medida física real. En esta situación, resulta a veces más conveniente a la hora de estructurar el modelo, y en especial cuando hay grandes variaciones de transmisividad de un punto a otro, asignar directamente un valor de transmisividad al lado común a dos nudos, en lugar de a éstos. Entonces, en la fórmula [2], la transmisividad asignada al lado sería  $T(iN)$ , en vez de la semisuma de los nudos. El programa que se está describiendo admite esta modalidad, de forma que en los archivos de entrada puede ponerse la  $T$  de los nudos o bien directamente la  $T$  de los lados de los polígonos.

El hecho de tener que asignar valores a cada lado complica los datos en el sentido de que hay que decir al modelo qué lados tiene el polígono del nudo en cuestión, sus longitudes, cuáles son los nudos vecinos a través de esos lados y las distancias entre nudos. Esto se hace estableciendo un cierto «orden» para los lados del polígono, y respetando ese orden cuando se le dice los nudos vecinos, las distancias nodales, las longitudes de los lados, y, en su caso, las transmisividades asignadas a cada nudo. También, al

dimensionar el programa, hay que aclarar el número máximo de lados existentes por polígono.

#### b) Nudos de borde de piezometría predeterminada variable

La segunda variante mencionada consiste en introducir nudos de borde de piezometría predeterminada, pero variable según períodos. La introducción como dato es sencilla. El programa lee, además de las piezometrías iniciales para los nudos de piezometría libre, también las piezometrías predeterminadas cada período para los nudos de piezometría fija. Y al comienzo de cada período, al inicializar las piezometrías recoge por un lado las libres y por otro asigna las fijas a sus nuevos valores.

#### c) Condición de río (infiltración) o de manantial (surgencia)

La tercera variante se refiere a la condición llamada «de manantial» o «de río». Las dos se tratan de formas similares, y vamos a explicar en primer lugar la de manantial, o mejor expresado, la de «surgencia» (rising water).

Físicamente, cuando el nivel de un acuífero freático sobrepasa la superficie del suelo se produce un afloramiento de agua. Hay muchos ejemplos de acuíferos que en ciertas épocas del año alimentan a ríos de esa manera. El programa trata ese fenómeno del simple modo siguiente: Sea  $H_t$  la cota de la superficie del terreno, y  $H(i, t)$  la cota piezométrica del acuífero en el polígono (nudo) «i» en el instante «t». Si  $H(i, t) > H_t$ , hay un cierto volumen de agua  $Q_r(i, t)$  que abandona el acuífero. Este volumen de agua se hace proporcional a la diferencia  $H(i, t) - H_t$  y proporcional también a ciertos parámetros fijos preestablecidos para cada polígono (nudo). Por ejemplo,

$$Q_r(i, t) = P_1 * [H(i, t) - H_t]^{P_2} \quad [3]$$

Generalmente se toma  $P_2 = 1$ , y

$$P_1 = (\text{Área poligonal}) * (\text{Transmisividad vertical}) / (\text{espesor de capa, en su caso}) \quad [4]$$

es decir, en resumen,  $P_1 = \text{Número}(i)$ , un número para cada polígono (nudo) «i». Si se conoce MUY

BIEN el comportamiento del acuífero, en el punto correspondiente al polígono (nudo) «i» puede establecerse a lo largo de sucesivos períodos de tiempo una relación entre caudales aflorantes  $Q_r$  y piezometría del acuífero  $H(i, t)$ . Poniendo esta relación en ejes coordenados,  $H(i, t) - Q_r$ , resulta posible ajustar una recta

$$Q_r(i, t) = X(i) * [H(i, t) - Y(i)] \quad [5]$$

o una curva

$$Q_r(i, t) = X(i) * [H(i, t) - Y(i)]^{Z(i)} \quad [6]$$

obteniendo los parámetros  $X$ ,  $Y$  (y  $Z$ ), que se usarán luego en el programa. Pero ya se comprende que el conseguir esto requiere un conocimiento muy avanzado y detallado del acuífero y de la hidrología de la zona.

La condición de río es similar, pero de sentido de circulación contrario. Si  $H(i, t) < H_t$ , y hay un río por arriba, se produce una alimentación del acuífero de formulación idéntica a la [3]. Aquí, la condición para hacer trabajar esta modalidad es que la piezometría del acuífero sea inferior a un parámetro dado, mientras que con la surgencia la piezometría tenía que ser mayor que ese parámetro. Ambos modos no son compatibles, de forma que en un determinado elemento, o existen surgencias o existen infiltraciones. Hacer que en una época ocurra surgencia, y en otras infiltración, requeriría que una serie de parámetros dependiesen del tiempo, lo que complicaría, por un lado los datos, y por otro lado el programa más aún de lo complicado que es ya. Es más simple calibrar y modelar independientemente cada una de esas épocas y correr el modelo sucesivamente por ellas.

El programa acepta una modalidad o la otra, o las dos simultáneamente (pero NO en el mismo elemento, como se ha dicho arriba), según el signo de la diferencia de cotas, y los valores de un parámetro  $N(i)$ . Los caudales resultantes, tanto de la infiltración como de la surgencia, vienen a sumarse al resto de los componentes del balance, y al residual correspondiente.

Se vuelve a insistir en la complejidad de la utilización de esta modalidad, y se recomienda que si no se tiene control suficiente del fenómeno, al menos para la calibración del modelo, los va-

lores de los volúmenes de agua surgentes o infiltrados se introduzcan en el neto de recarga/extracción como un aporte más. Conseguida la calibración del modelo, y conseguidas las curvas de ajuste  $H - Q_r$  sólo entonces merece la pena el plantearse la introducción en el programa de los parámetros para las condiciones de surgencia o de río.

d) *Recarga/descarga linealmente variable en el período*

La cuarta diferencia tiene también cierta entidad en cuanto a modificaciones en el cálculo. Se recuerda que la componente de recarga/descarga neta, en el programa más simplificado se entra como un dato numérico para cada período, y se distribuye en partes iguales en cada subperíodo. Ahora se quiere introducir la posibilidad de que la recarga/extracción (descarga) neta pueda variar linealmente dentro del período.

En la figura 2 se representa para un polígono  $I$  determinado la recarga/descarga en el período  $t_1 - t_2$ . Esta recarga/descarga viene representada por el área de la «escalera»  $t_1 - A - B - C - D - E - F - t_2$ . En la figura se ha supuesto que el período  $t_1 - t_2$  consta de tres subperíodos. Llamaremos  $B(I, L)$  al área total bajo la «escalera».  $B(I, L)$  es recarga/descarga total. Se introduce ahora un segundo número  $Y(I, L)$  que nos da la «distribución» de esa recarga/descarga total.

Este número  $Y$  puede elegirse de acuerdo con

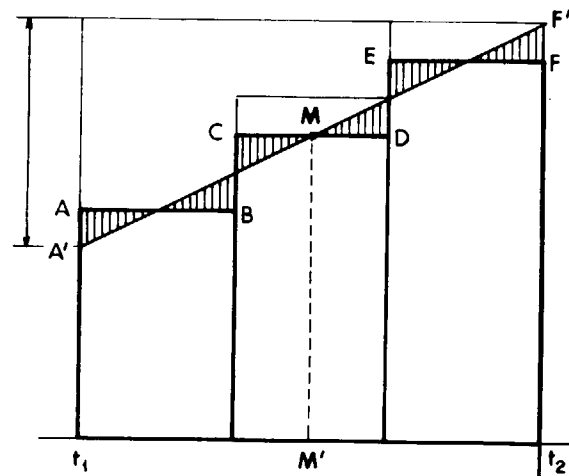


Figura 2.—Recarga/Descarga variable en el período.

varios criterios. El que se usa aquí es uno simple: Si se llama  $B_2$  a la recarga/descarga producida en la segunda mitad del período, y  $B_1$  a la recarga/descarga producida en la primera mitad del período, se elige  $Y$  como:

$$Y(I, L) = B_2 - B_1 \quad [7]$$

Volviendo a la figura 2, si se sustituye la poligonal  $A - B - C - D - S - F$  por la recta  $A' - M - F'$ , que une los puntos medios de los «escalones», el área bajo la «escalera» es la misma que el área bajo la recta, y también las áreas (recargas/descargas) correspondientes a cada uno de los subperíodos. Se tiene entonces

$$\begin{aligned} B_1 &= \text{Area } T_1 - A' - M - M' \text{ y} \\ B_2 &= \text{Area } M' - M - F' - t_2 \end{aligned} \quad [8]$$

Es fácil comprobar (siempre tomando el período como unidad de tiempo, es decir  $t_2 - t_1 = 1$ ) que

$$\begin{aligned} (A' - t_1) * 1 &= B(I, 1) - 2 * Y(I, L) \\ (F' - t_2) * 1 &= B(I, L) + 2 * Y(I, L) \end{aligned} \quad [9]$$

Si el período se divide en  $M_I$  subperíodos, y dentro de ellos se considera el subperíodo número  $ZT$ , el área correspondiente es un paralelogramo de base igual a  $1/M_I (=D)$  y altura igual a la longitud  $T_1 - A'$  más  $2 * ZT - 1$  veces la diferencia  $(t_2 - F') - (t_1 - A')$  dividida por  $2 * M_I$ , es decir, altura igual a

$$[B(I, L) - 2 * Y(I, L)] + (2 * ZT - 1) * [2 * Y(I, L) / M_I] \quad [10]$$

El área ( $BQ(I)$ ) de ese paralelogramo (Recarga/Extracción en el subperíodo en cuestión) resulta por consiguiente

$$BQ(I) = D * [B(I, L) - 2 * Y(I, L) + 2 * Y(I, L) * (2 * ZT - 1) * D] \quad [11]$$

También se comprueba fácilmente que la suma de las áreas de los subperíodos resulta igual a  $B(I, L)$ .

e) *Verificación de piezometría*

Esta variante permite operar el programa, para el proceso de calibración del modelo de una for-

ma totalmente diferente de como se ha hecho hasta ahora. De acuerdo con lo anteriormente expuesto, la calibración del modelo se hace partiendo de una piezometría, calculando (en base a cerrar ecuaciones de balance de masas) las piezometrías en períodos siguientes y comparándolas con datos de campo que se tienen para esos períodos siguientes. Otro posible proceso es el que se introduce aquí.

Se utilizan las piezometrías de todos los períodos históricos que se tienen, y el programa calcula los residuales de los balances de masa en los polígonos (elementos) y en el total del área a modelar. Si los residuales son pequeños, se considera que el ajuste es bueno. En caso contrario, y dado que la piezometría es DATO, se comienza a reestimar los otros parámetros: permeabilidad, almacenamiento, recarga/descarga.

El programa que se describe permite operar con uno y otro de los métodos de calibración indicados: obteniendo piezometrías u obteniendo residuales. Mediante un parámetro  $LR(I)$  se indica, para cada elemento  $I$  los cuatro posibles modos de operación del programa, los dos modos apuntados, más las dos variantes, según se trate de área con acuífero libre o confinado.

$$LR(I) = 3 \text{ piez. libre (cálculo piez.)} \\ + \text{ acuífero libre}$$

$$LR(I) = 2 \text{ piez. libre (cálculo piez.)} \\ + \text{ acuífero confinado}$$

$$LR(I) = 1 \text{ piez. predet. (cálculo res.)} \\ + \text{ acuífero confinado}$$

$$LR(I) = 0 \text{ piez. predet. (cálculo res.)} \\ + \text{ acuífero libre} \quad [12]$$

Aunque es una modalidad que no se suele practicar, resulta sensiblemente más cómodo para la calibración utilizar la modalidad del cálculo de residual, dejando la del cálculo de la piezometría para contrastar hipótesis de utilización futura del acuífero.

En la versión del programa que se describe, cuando se utiliza la piezometría predeterminada y se calculan los residuos del balance de masas, se introduce un refinamiento adicional. De forma parecida al hecho de permitir que la recarga/descarga varíe dentro del período, el ajuste de la piezometría dentro del período se hace de

forma que se eliminen los posibles ángulos al unir con líneas los instantes de piezometría medida. Es decir, se hace seguir a la piezometría no sólo una línea continua, sino una línea cuya derivada sea continua. Para ello se definen las tangentes a las curvas de piezometría en los instantes de la medida, y se ajustan curvas de tercer grado, diferentes pero con tangentes inicial y final comunes (spline functions), dentro de cada período.

En la figura 3 se representa un esquema de evolución piezométrica en un nudo I, durante cinco períodos, entre t<sub>0</sub> (inicial) y t<sub>5</sub> (final).

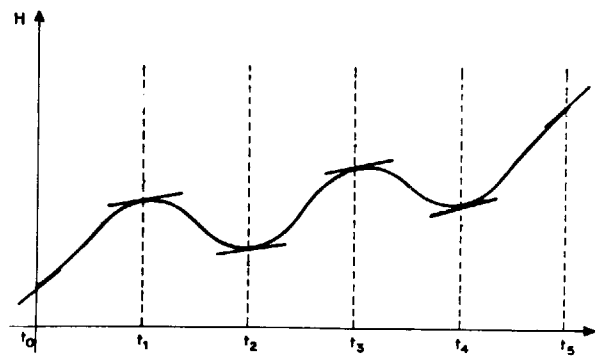


Figura 3.—Curva piezométrica predeterminada.

La tangente en el instante inicial, t<sub>0</sub>, es la recta que une los niveles H del instante inicial, t=t<sub>0</sub>, y el final del primer período, t=t<sub>1</sub>. La tangente en el instante final, t<sub>5</sub>, es la recta que une los niveles H del instante final, t=t<sub>5</sub>, y el del comienzo del último período, t=t<sub>4</sub>.

La tangente en un período intermedio, t=tn, es paralela a la recta que une los valores de H en los instantes n-1 y n+1, inicial y final, respectivamente, de los períodos que terminan y empiezan con t=tn.

Definido entonces para un período cualquiera, t=tj, t=tj+1, los valores de H en esos instantes, y los de las tangentes, se puede realizar el ajuste matemático de la curva para ese período. El hecho de que dentro de cada período la ecuación de la curva de ajuste sea diferente es lo típico de las funciones «spline». Entre sí tienen en común un punto y una tangente.

La forma de estas curvas es

$$H = a + b \cdot t + c \cdot t^2 + d \cdot t^3 = a + t \cdot (b + t \cdot (c + d \cdot t)) \quad [13]$$

La variable de tiempo se define como

$$CH = ZT/MI = ZT \cdot D \quad [14]$$

donde ZT es el subperíodo en cuestión, y MI es el número total de subperíodos que comprende cada período. D es evidentemente el inverso de MI.

La tangente, Q, en el instante inicial, L=1, y en el instante final, L=LAST, se definen (HL=nivel piezométrico):

$$Q(I, 1) = HL(I, 2) - HL(I, 1) \quad [15]$$

$$Q(I, \text{LAST}) = HL(I, \text{LAST}) - HL(I, \text{MAJOR})$$

siendo MAJOR=Número de períodos y LAST=Número de períodos+1.

La tangente en un instante intermedio, que coincide con el final del período L y el comienzo del período L+1, se define como:

$$Q(I, L) = .5 \cdot [HL(I, L+1) - HL(I, L-1)] \cdot MI \quad [16]$$

y el nivel piezométrico en un instante determinado,

$$H(I) = HL(I, L) + CH \cdot (Q(I, L) + CH \cdot (DH(I, L) + CH \cdot AH(I, L))) \quad [17]$$

donde

$$AH(I, L) = -2 \cdot HL(I, L+1) + 2 \cdot HL(I, L) + Q(I, L+1) + Q(I, L) \quad [18]$$

$$DH(I, L) = 3 \cdot HL(I, L+1) - 3 \cdot HL(I, L) - Q(I, L+1) - 2 \cdot Q(I, L) \quad [19]$$

expresiones que resultan del ajuste de la fórmula [13] a las condiciones mencionadas. Es fácil comprobar que, con las definiciones de [14], [15], [18] y [19] resulta:

$$\begin{aligned} H(I) &= HL(I, L) && \text{para } CH=0 \\ H(I) &= HL(I, L+1) && \text{para } CH=1 \\ d[H(I)]/d[CH] &= Q(I, L) && \text{para } CH=0 \\ d[H(I)]/d[CH] &= Q(I, L+1) && \text{para } CH=1 \end{aligned}$$

Al moverse las piezometrías sobre estas funciones de tercer grado, también resulta complicada la expresión de la variación de almacenamiento S(I) en un subperíodo determinado, ZT. La expresión que resulta es:

$$S(I) = A(I) \cdot (Q(I, L) + (DH(I, L) \cdot (2 \cdot ZT - 1) + AH(I, L) \cdot (3 \cdot ZT \cdot (ZT - 1) + 1) \cdot D) \cdot D) \cdot D \quad [20]$$

En efecto, al final del subperíodo ZT el nivel de agua es la expresión [17] con CH=ZT/MI, y al comienzo de ese subperíodo el nivel de agua es la expresión [17] con CH=(ZT-1)/MI. Puede comprobarse que la diferencia del primer valor menos el segundo da la expresión [20].

#### f) Cota mínima de bombeo

Es esta una condición fácil de entender físicamente.

Si el modelo prevé una extracción en un polígono (nudo, elemento), con un nivel piezométrico a —50 metros y un fondo impermeable (muro=del acuífero a —90 metros) la bomba para el caudal que se está extrayendo necesitará estar colocada más abajo de la cota —50, ya que al bombear se produce una depresión en el acuífero. Por ejemplo, la bomba debe estar 20 metros por debajo del nivel, es decir, a cota —70. Al evolucionar en el tiempo el acuífero, la piezometría va cambiando, y si resulta que va descendiendo, y queremos mantener la extracción, se debería ir colocando la bomba cada período más profunda, siempre al menos 20 metros por debajo del nivel piezométrico. Si el proceso se acumula puede darse el caso que el nivel general del acuífero se acerque a menos de 20 metros de la cota de su muro. Por ejemplo, si en el caso que estamos exponiendo, el nivel baja a —85 metros, no hay posibilidad de mantener el volumen de extracción aunque descendamos la bomba al máximo, —90 metros. El programa toma en cuenta de forma aproximada este fenómeno, fijando una cota mínima de extracción (DIF(I)), de forma que si la piezometría desciende por debajo de esa cota se recorta el volumen de agua extraído y se rehacen los cálculos. Si se repite la situación se vuelve a recortar la extracción, pudiendo llegarse hasta anularla completamente. El resultado, pues, de esta variante es una modificación de la

recarga/extracción neta, y la rec/ext. resultante y el volumen de la modificación aparecen separadamente en los resultados.

### 3. El programa

Con las variantes más arriba explicadas, el programa (fig. 4) es algo más largo y complejo que los que se han detallado en anteriores ocasiones. Pero tampoco resulta excesivamente farragoso. Vamos, como en aquellas otras veces a explicar su desarrollo describiendo las diferentes líneas:

1 — Color y título.

2-3-4 — Formatos para posterior escritura.

5 — Comienzo del bloque de lectura (y opcionalmente escritura) de datos. Se llama al archivo y se le abre para lectura. Conviene señalar que la mera lectura (y opcionalmente escritura) de datos ocupa una gran parte del programa, y nos lleva nada menos que hasta la instrucción de la línea 34.

El lector que no esté especialmente interesado en la lectura y escritura de datos, y en menores cambios en unidades, puede saltarse todo ese largo segmento del programa, e ir directamente a la línea 38. Se lee el nombre del archivo de datos.

6 — Se leen los primeros datos generales, que son:

IN=Número de nudos.

NPR=Número de polígonos (nudos) reales, es decir, no de borde.

MA=Número de períodos mayores (años, generalmente).

MI=Número de períodos menores (subperíodos dentro de cada período).

ERRO=Valor máximo de error permitido [hm<sup>3</sup>/período].

COEFA=Coeficiente utilizado en el método de relajación para la resolución de las piezometrías. Influye en la velocidad de convergencia, y el mejor valor es el que hace mínimo el número de

```

1 COLOR 7,9,2:CLS:'twm1=tysson-weber modificado. A. Navarro Junio-1992
2 BS="###.#.#" : Lectura y/o escritura de datos
3 AS="###.#.# ###.#.# ###.#.# ###.#.# ###.#.# ###.#.# ###.#.# ###.#.#"
4 FS="###.#.# ###.#.# ###.#.# ###.#.# ###.#.# ###.#.# ###.#.# ###.#.#"
5 INPUT"Archivo de datos=";ARS:ARS=ARS+".dat" : OPEN ARS FOR INPUT AS #1
6 INPUT #1,IN,NPR,IL,MA,MI,ERRO,COEFA,ITERM,FT : LAST=MA+1: G=.01
7 DIM PM(IN),QS(IN),S(IN),BQ(IN),HO(IN),RELAX(IN),RES(IN),B(IN,MA),Y(IN,MA)
8 DIM AQ(IN),SL(IN),PE(IN,IL),NFL(IN,IL),TS(IN),TBQ(IN),TQS(IN),TRE(IN),M(IN)
9 DIM DH(IN,LAST),AH(IN,LAST),QC(IN,LAST),HL(IN,LAST),NL(IN,AC(IN),LN(IN),F(IN)
10 DIM DIF(IN),DAF(IN),TAQ(IN),LR(IN),H(IN),BL(IN),TAC(IN,IL),E(IN,IL),RM(IN)
11 FOR I=1 TO IN:INPUT#1,U,LR(I),M(I),BL(I),RM(I)
12 INPUT#1,DIF(I),SL(I),A(I),DAF(I),PM(I),F(I):NL(I)=0
13 FOR J=1 TO IL:INPUT #1,NFL(I,J):IF NFL(I,J)<0 THEN NL(I)=NL(I)+1
14 NEXT J:FOR J=1 TO NL(I):INPUT #1,PE(I,J):NEXT J:FOR J=1 TO NL(I)
15 INPUT#1, E(I,J):NEXT J:FOR J=1 TO NL(I):INPUT#1,TAC(I,J):NEXT J
16 FOR L=1 TO MA :INPUT#1,B(L,L):NEXT L:FOR L=1 TO MA:INPUT#1,Y(L,L)
17 NEXT L : FOR L=1 TO LAST : INPUT#1,HL(L,L) : NEXT L:NEXT I
18 INPUT#1;Escribir datos(gn)=";CS:IF CS<>"g" THEN 35
19 LPRINT"#.pol.=";IN:LPRINT"#.pol.reales=";NPR:LPRINT"#.max.lados/pol.=";IL
20 LPRINT"#.periodos=";MA:LPRINT"#.subper./per.=";MI
21 LPRINT"error max. residual (hm3/per)=";ERRO
22 LPRINT"coef. relajacion=";COEFA:LPRINT"#.max. iteraciones=";ITERM
23 LPRINT"factor modif. tiempo=";FT:LPRINT:LPRINT
24 LPRINT"LR M MURO(m) RMÓTE(m) BOM(m) SUE(m) ";
25 LPRINT"AREA(hm2) ALMAC TM(m2/d) F" : FOR I=1 TO IN
26 LPRINT USING AS;I,LR(I),M(I),BL(I),RM(I),DIF(I),SL(I),A(I),DAF(I),PM(I),F(I)
27 NEXT I:LPRINT:LPRINT"n + Pol. Vecinos + Tr. Lados(m2/dia) + Dist.nodal(m)";
28 LPRINT " + Long.lados(m)";FOR I=1 TO IN:LPRINT I;:FOR J=1 TO NL(I)
29 LPRINT NFL(I,J);:NEXT J:FOR J=1 TO NL(I):LPRINT PE(I,J);:NEXT J
30 FOR J=1 TO NL(I):LPRINT E(I,J);:NEXT J:FOR J=1 TO NL(I)
31 LPRINT TAC(I,J);:NEXT J:LPRINT:NEXT I :LPRINT:LPRINT
32 LPRINT"n. REC/DES(hm3/año) + Repartición + Piezometria":FOR I=1 TO IN
33 LPRINT I;:FOR L=1 TO MA:LPRINT B(L,L);:NEXT L:FOR L=1 TO MA:LPRINT Y(L,L);
34 NEXT L:FOR L=1 TO LAST:LPRINT HL(L,L);:NEXT L:LPRINT:NEXT I:LPRINT:LPRINT
35 FOR I=1 TO IN:FOR L=1 TO LAST:HL(I,L)=HL(I,L)*G:NEXT L
36 DIF(I)=DIF(I)*G:SL(I)=SL(I)*G:BL(I)=BL(I)*G:RM(I)=RM(I)*G:NEXT I
37 / Fin de lectura de datos . Empieza cálculo de coeficientes
38 TOTW=0:D=1/MI:ERRAR=ERRO/D
39 FOR I=1 TO IN:A(I)=A(I)*DAF(I):Q(I,1)=HL(I,2)-HL(I,1)
40 Q(I,LAST)=HL(I,LAST)-HL(I,MA):IF MA=1 THEN 42
41 FOR L=2 TO MA: Q(I,L)=.5*(HL(I,L+1)-HL(I,L-1))*MI:NEXT L
42 FOR L=1 TO MA:B(I,L)=B(I,L)*D:Y(I,L)=Y(I,L)*D*2
43 AH(I,L)=2*HL(I,L+1)+2*HL(I,L)+Q(I,L+1)+Q(I,L):Y(I,L)=Y(I,L)*.5*D*2
44 DH(I,L)=3*HL(I,L+1)-3*HL(I,L)-Q(I,L+1)-2*Q(I,L):NEXT L
45 FOR J=1 TO NL(I):K=NFL(I,J):IF PM(I,K)<0 THEN PE(I,J)=(PM(I)+PM(K))/2
46 TAC(I,J)=D*FT*PE(I,J)*TAC(I,J)/E(I,J):IF I=K THEN 50
47 FOR MV=1 TO NL(K): IF NFL(K,MV)<1 THEN 49
48 IF TAC(I,J)>TAC(K,MV) THEN PRINT "Error datos comunes polig. I;";o";K:END
49 NEXT MV
50 NEXT J:AQ(I)=HL(I,1)-BL(I):H(I)=HL(I,1):TOTW=TOTW+A(I)*AQ(I)
51 NEXT I:LPRINT:LPRINT"AGUA ALMACENADA EN LA CUENCA=";TOTW;"HM3":LPRINT
52 / calculo por periodo
53 FOR L=1 TO MA : ITRNO=0 : NUBIT=0 : PRINT
54 FOR I=1 TO IN: IF LR(I)>1 AND L>1 THEN HL(I,L)=H(I)
55 TS(I)=0:TAQ(I)=0:TBQ(I)=0:TQS(I)=0:TRE(I)=0
56 FOR J=1 TO IL:PE(I,J)=0 :NEXT J:NEXT I
57 / calculo por subperiodo
58 FOR ZT=1 TO MI:CH=ZT*D:LM=0 : FOR I=1 TO IN : LN(I)=0 : V=D*(2*ZT-1)
59 QS(I)=0:BQ(I)=B(I,L)-Y(I,L)+Y(I,L)*V:IF LR(I)>1 THEN 62
60 H(I)=HL(I,L)+CH*Q(I,L)+CH*(DH(I,L)+CH*AH(I,L))
61 S(I)=A(I)*Q(I,L)+(DH(I,L)*(2*ZT-1)+AH(I,L)*(3*ZT*(ZT-1)+1)*D)*D*2
62 RELAX(I)=0:QS(I)=0:HO(I)=H(I):NEXT I
63 ITRNO=ITRNO+1:IF ITRNO>ITERM THEN PRINT"NUMERO ITERACIONES=";ITERM:END
64 NUBIT=NUBIT+1

```

```

65 FOR I=1 TO IN :IF LM=0 THEN 67
66 IF LN(I)=0 THEN 72
67 H(I)=H(I)+RELAX(I)*RES(I):LN(I)=0
68 IF LR(I)*(LR(I)-3)=0 THEN 71
69 IF H(I)<RM(I) THEN PRINT I;" pasa de confinado a libre. Fin":END
70 DAF(I)=1:GOTO 72
71 DAF(I)=(H(I)-BL(I))/AQ(I)
72 NEXT I : LM=0
73 FOR I=1 TO IN:YS=0:QSUM=0:IF LR(I)<2 THEN 75
74 S(I)=A(I)*(H(I)-HO(I))
75 FOR J=1 TO NL(I):K=NFL(I,J)
76 Z=TAC(I,J)*(DAF(I)+DAF(K))*5:IF Z<.001 THEN Z=.001
77 E(I,J)=Z*(H(K)-H(I)):YS=YS+Z :QSUM=QSUM+E(I,J) : NEXT J
78 HRM=H(I)-RM(I):IF (LR(I)-3)*LR(I) <0 THEN 81
79 IF H(I)=1 AND HRM>0 THEN QS(I)=-A(I)*HRM : GOTO 81
80 IF M(I)=-1 AND HRM<0 THEN QS(I)=-F(I)*HRM
81 IF LR(I)<2 THEN 83
82 RELAX(I)=COEFA/(YS+A(I))*MI
83 RES(I)=BQ(I)-S(I)+QSUM+QS(I)
84 IF A(I)=0 THEN RES(I)=0 : GOTO 92
85 IF LR(I)<2 THEN 92
86 IF BQ(I)=0 THEN 92
87 IF BQ(I)>0 THEN 90
88 IF H(I)>DIF(I) THEN 92
89 GOTO 91
90 IF H(I)<SL(I) THEN 92
91 AQH=.25*BQ(I):BQ(I)=BQ(I)-AQH:LM=1:LN(I)=1: TAQ(I)=TAQ(I)+AQH
92 NEXT I : IF LM=0 THEN 64
93 SUM=0 : FOR I=1 TO IN:IF LR(I)<2 THEN 95
94 SUM=SUM+ABS(RES(I))
95 NEXT I : IF SUM=ERRAR THEN 63
96 PRINT "Subp.=";ZT:FOR I=1 TO IN :TRE(I)=TRE(I)+RES(I)
97 TS(I)=TS(I)+S(I):TBQ(I)=TBQ(I)+BQ(I):TQS(I)=TQS(I)+QS(I)
98 FOR J=1 TO NL(I):PE(I,J)=PE(I,J)+E(I,J):NEXT J:NEXT I : NEXT ZT
99 / fin del calculo del subperiodo. Calculo de totales para escritura
100 ITRNO=ITRNO+MI:NUBIT=NUBIT+MI:ITRNO=TIT=0:TITA=0:TITAQ=0
101 TUTS=0:TUTI=0:TUT=0:TUTA=0:TUTAQ=0:TOTW=0 : FOR I=1 TO IN
102 IF TQS(I)=0 THEN TUTS=TUTS-TQS(I):GOTO 104
103 TUTI=TUTI+TQS(I)
104 TOTW=TOTW+A(I)*(H(I)-BL(I)): IF A(I)>0 THEN 108
105 FOR J=1 TO NL(I): IF PE(I,J)<0 THEN TIT=TIT-PE(I,J) : GOTO 107
106 TUT=TUT+PE(I,J)
107 NEXT J
108 IF TBQ(I)>0 THEN TITA=TITA+TBQ(I) : GOTO 110
109 TUTA=TUTA-TBQ(I)
110 NEXT I : TUTAQ=TUTA+TUT+TUTS : TITAQ=TITA+TIT+TUTI :LPRINT
111 LPRINT "ARO=";L;" Iter.=";ITRNO;" Mod.=";NUBIT:LPRINT
112 LPRINT "AGUA ALMACENADA EN EL ACUIFERO (hm3)=";TOTW
113 LPRINT "
DESCARGA (hm3/año)=";TUTAQ
114 LPRINT "
RECARGA (hm3/año)=";TITAQ :LPRINT
115 LPRINT"n. PIEZ.=H REC/DES (MODIF) V.ALM. SUR-INF ";
116 LPRINT"RESID. H-Np. ERROR n. tipo": FOR I=1 TO IN : P=H(I)/G
117 IF LR(I)<2 THEN 119
118 V=(H(I)-HL(I,L))/G : DAF(I)=0 : GOTO 121
119 V=(HL(I,L+1)-HL(I,L))/G : IF A(I)=0 THEN DAF(I)=0 : GOTO 121
120 DAF(I)=G*TRE(I)/A(I)
121 LPRINT USING FS;I,P,TBQ(I),TAQ(I),TS(I),TQS(I),TRE(I),V,DAF(I),I,LR(I)
122 NEXT I:LPRINT:LPRINT "n. FLUJOS A TRAVES DE CADA LADO":FOR J=1 TO IN
123 LPRINT I;:FOR J=1 TO NL(I):LPRINT USING BS;PE(I,J);:NEXT J:LPRINT: NEXT I
124 NEXT L:LPRINT:LPRINT "Fin programa=twm1.bas - Fin archivo=";ARS:END

```

Figura 4.

iteraciones necesarias. Generalmente varía entre 0.5 y 1.2. Aquí se usa COEFA=.8.

ITERM=Número máximo de iteraciones permitido.

FT=Factor de conversión de [m<sup>2</sup>/día] a [Hm<sup>2</sup>/año]=.0365.

Se define el parámetro LAST igual al número de períodos (años) más uno. Se define el coeficiente G=.01, que se utiliza más adelante para conversión de metros a hectómetros, y viceversa.

7-8-9-10 — Dimensionamiento de variables de acuerdo con las magnitudes antes leídas. Las variables que se dimensionan son:

DIF(IN)=Nivel piezométrico mínimo que permite el bombeo [m].

DAF(IN)=En la lectura de datos, corresponde al coeficiente de almacenamiento. Después se utiliza para los valores del coeficiente de modificación de transmisividades al variar los espesores saturados, y al final se usa una tercera vez para convertir errores en el residual en diferencias piezométricas.

LR(IN)=Modalidad operativa del programa, según lo indicado en [12].

BL(IN)=Cota del muro [m].

RM(IN)=En el caso de tratarse de un acuífero confinado (LR(I)=1 ó 2), RM es la cota del techo impermeable del acuífero, la cual se utiliza entre otras cosas juntamente con la cota del muro para el cálculo del espesor del acuífero. En el caso de tratarse de un acuífero libre (LR(I)=0 ó 3), RM es la cota de referencia para el cálculo de la surgencia o de la infiltración, la Y(i), según [5].

A(IN)=A la lectura de datos es el área [hm<sup>2</sup>]. Después corresponde al producto área\*coef. almacenamiento.

BQ(IN)=Recarga/descarga vertical neta en el elemento IN en el subperíodo [hm<sup>3</sup>/subperíodo].

TBQ(IN)=Recarga/descarga vertical neta en el elemento IN en el período [hm<sup>3</sup>/año].

AQ(IN)=Modificación de BQ por descender la piezometría del elemento IN por bajo del nivel mínimo de bombeo (DIF(IN)) [hm<sup>3</sup>/subperíodo].

TAQ(IN)=Modificación de TBQ por descender la

piezometría del elemento IN por bajo del nivel mínimo de bombeo (DIF(IN)) [hm<sup>3</sup>/año].

SL(IN)=Cota del suelo [m].

QS(IN)=Volumen de surgencia o infiltración en el elemento IN y período en cuestión [hm<sup>3</sup>/año]. subperíodo].

TQS(IN)=Volumen de surgencia o infiltración en el elemento IN y período en cuestión [hm<sup>3</sup>/año].

RES(IN)=Residual en la ecuación de balance del polígono IN y subperíodo en cuestión [hm<sup>3</sup>/subperíodo].

TRE(IN)=Residual en la ecuación de balance del polígono IN y período en cuestión [hm<sup>3</sup>/período=año].

PERM(IN)=Transmisividad asignada al nudo IN [m<sup>2</sup>/día].

S(IN)=Cambio de almacenamiento en el elemento IN y subperíodo en cuestión [hm<sup>3</sup>/subperíodo].

TS(IN)=Cambio de almacenamiento en el elemento IN y período en cuestión [hm<sup>3</sup>/año].

RELAX(IN)=Coeficiente de relajación usado para ajustar la piezometría del elemento IN. A la piezometría anterior se le añade el producto RELAX\*RES para obtener la nueva piezometría.

NLP(IN)=Número de lados permeables del polígono IN.

LN(IN)=Parámetro =0 que toma el valor 1 para indicar que se ha modificado la recarga/descarga del elemento IN en la iteración como consecuencia del descenso de piezometría por debajo del nivel mínimo de bombeo DIF.

F(IN)=Factor para el cálculo de la infiltración. En teoría corresponde al producto de una transmisividad vertical [1/día] por el área mojada [m<sup>2</sup>].

M(IN)=Parámetro generalmente igual a cero, y que toma el valor 1 para identificar elementos con surgencia, y el valor -1 para identificar elementos con percolación.

H(IN)=Piezometría intermedia y al final de cada subperíodo [m].

HO(IN)=Piezometría inicial de cada subperíodo. En la primera pasada del período L es igual a HL(IN, L), en las pasadas siguientes es igual a H(IN) [m].

HL(IN, LAST)=Datos de entrada de cotas piezométricas [m]. Se usan para el cálculo de las sucesivas H(IN).

DH(IN, LAST)=Coeficientes para el cálculo de la piezometría, según se explicó en [19].

AH(IN, LAST)=Coeficiente para el cálculo de la piezometría, según se explicó en [18].

Q(IN, LAST)=Valores de la tangente en las curvas de piezometría, según se explicó en [15] y [16].

B(IN, MA)=Recarga/descarga vertical neta del elemento IN durante el período MA, según lo explicado en la figura 2 y de [7] a [11] [hm<sup>3</sup>/año].

Y(IN, MA)=Distribución de la recarga/descarga del elemento IN y período MA, según explicado en figura 2 y de [7] a [11].

TA(IN, IL)=En la lectura corresponde a la longitud de los lados [m]. Después sirve para almacenar:

$$\frac{(\text{transmisividad}) \cdot (\text{longitud lado})}{(\text{distancia nodal})}$$

NFL(IN, IL)=Número del nudo vecino al IN a través del lado IL.

E(IN, IL)=Distancia nodal [m].

PE(IN, IL)=Transmisividad del lado IL del polígono IN [m<sup>2</sup>/día].

11-12-13-14-15-16-17 — Lectura de datos, ya comentados en las instrucciones de dimensión. Se calcula también el número NL(I) de lados permeables de cada polígono.

18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-33-34- Escritura-eco de datos.

35-36 — Cambio de unidades de las de lectura de datos [m] a las del programa [hm].

37 — Comienza el cálculo de coeficientes.

38 — Se inicializa a cero la variable sumatoria del total de agua almacenada en la cuenca. Se calculan los coeficientes D, inverso del número de subperíodos, y ERRAR, criterio de error dentro del subperíodo.

39-40-41 — Comienzo de un largo lazo, para cada nudo y/o elemento, lazo que va hasta la línea 51. Se calcula el producto del área por el coeficiente

de almacenamiento. Se calculan las tangentes inicial (Q(I, 1), final, Q(I, LAST), e intermedias, Q(I, L), para todos los períodos, del piezograma (hidrograma) del nudo en cuestión. Estos datos sólo se utilizan en caso de operarse dicho nudo con piezometría predeterminada (LR(I)=1 ó LR(I)=0). Se calcula la rec/des neta por subperíodo, valor que se almacena en B(I, L). Se calculan los coeficientes AH y DH, según lo explicado en [18] y [19], también para los casos de piezometría predeterminada.

42-43-44 — Para cada período se modifican las variables B e Y, que se usarán al calcular la recarga/descarga, en la línea 59. Se calculan los coeficientes AH y DH, según [18] y [19].

45 — Si en los datos de entrada figuran las transmisividades nodales (son > < 0), entonces la transmisividad de un lado es la media aritmética de las asignadas a los nudos vecinos.

46 — Cálculo de un término TA (I, J) que engloba la transmisividad, la anchura del lado y la distancia entre nudos vecinos. Este término, multiplicado por la diferencia piezométrica entre los nudos vecinos será, según DARCY, el flujo subterráneo entre los nudos vecinos mencionados.

47-48-49 — Como los datos correspondientes a cada lado (transmisividad, ancho del lado, distancia nodal) se entran una vez por cada polígono al que pertenecen, puede haber errores o baile de números entre los correspondientes a uno u otro nudo vecinos. Aquí se chequea que son correctos y, en caso contrario, se identifican esos nudos y se aborta el programa.

50-51 — Se calcula el espesor saturado, AQ. El valor piezométrico inicial HL(I, 1) se asigna como valor primero a la variable piezométrica H(I). Se calcula el agua total almacenada en la cuenca, TOTW, en el instante inicial, y se escribe. Fin del cálculo de coeficientes.

52-53 — Se inicia el cálculo para cada período (año). Se inicializan a cero los contadores del número de iteraciones, ITRNO, y el de veces, NUBIT, que por cotas de bombeos excesivamente bajas ha de modificarse éste.

54-55-56 — Se dan valores a las alturas de agua, para el caso de piezometría libre y datos iniciales que eran cero. Se inicializan a cero las sumatorias, para el período, del almacenamiento,

rec/extr., id modificada, surgencias o infiltraciones, residuales y flujos subterráneos.

57-58 — Comienzan los cálculos para cada subperíodo ZT. Se calculan los coeficientes CH y V, que se usan más adelante, y se inicializan a cero los indicadores LN(I) (no hay modificación de rec/des en el elemento I), y LM (no hay modificación de rec/des en ningún elemento del modelo).

59 — Cálculo de la recarga/descarga, BQ(I), en el elemento = polígono = celda I, para el subperíodo ZT, según lo explicado en [11]. Si el nudo es de piezometría predeterminada, se saltan las dos líneas que siguen.

60-61 — En el caso de piezometría predeterminada, se calcula la correspondiente a este subperíodo, H(I), según [17], y se calcula también la variación de almacenamiento, S(I), según [20].

62 — Se inicializan a cero el factor de relajación, RELAX (I), y la variable de infiltración o surgencia, QS(I). Se hace que la piezometría inicial del período, HO(I), sea igual a la piezometría vigente en este instante, H(I).

63-64 — Se incrementan los contadores de iteraciones (ITRNO) y modificaciones de la rec/des (NUBIT). Si el número de iteraciones sobrepasa el límite, se aborta el programa.

65-66-67-68-69-70-71-72 — Lazo en que se modifica la H(I) y se reajusta (si el elemento tiene acuífero libre) el espesor saturado. La modificación de la H(I) puede deberse a dos motivos diferentes. En el caso general, se hace cuando al resolver el sistema completo, no se alcanza el criterio de error. Entonces se modifican todas las H(I) y se vuelven a calcular los residuos y el error. Sin embargo, para algún elemento en particular, al descender H(I) por debajo del nivel mínimo de bombeo, se puede modificar ese bombeo. Esa modificación de bombeo implicaría una modificación del RES(I) en la línea 67, por lo que hay necesidad de recalcular la H(I) particular de ese elemento. Este caso aparece cuando es el parámetro LM < > 0 y para el nudo en el cual es el parámetro LN(I) < > 0.

Si LM=0 entonces, si el acuífero es libre, se modifican todas las H(I) y los espesores saturados. Si LM=1, entonces sólo se modifican las H(I) de aquellos polígonos cuya LN(I) no es cero.

Dentro del mismo lazo, si el nivel, en un elemento con acuífero confinado desciende por debajo de su techo, el programa identifica este elemento y finaliza.

En la línea 72, finalizados los cambios correspondientes de H(I) para todos los elementos, se vuelve a hacer LM=0.

73-74 — Comienzo de otro lazo, que va hasta la línea 95, en el que se calculan los términos del balance y se modifican las rec/des, si se requiere. Se comienza por inicializar a cero una sumatoria YS que interviene en el cálculo del coeficiente de relajación que se utiliza para la modificación de las H(I). También se hace cero la sumatoria QSUM de los flujos subterráneos que entran o salen del elemento I. Después, si el nudo NO es de piezometría predeterminada se calcula el volumen de agua almacenada, S(I). En la primera pasada, por descontado, (H(I) = HO(I) y resulta S(I)=0. Pero, en sucesivas iteraciones, conforme se va modificando la H(I), acercándose a la solución del sistema de ecuaciones, S(I) se va aproximando a su verdadero valor.

75-76 — Para cada lado del elemento I, K es el nudo vecino del I por el lado J en cuestión. Para ese lado se calcula Z, un coeficiente que es el producto del espesor medio del acuífero en los nudos I y K, por TA (recordemos que TA era la transmisividad por el ancho del lado dividido por la distancia nodal). Este coeficiente Z, cuando lo multipliquemos por la diferencia piezométrica H(K)-H(I), equivaldrá al flujo subterráneo atravesando el lado J en el subperíodo considerado. Por otro lado, la suma YS de las Z de cada lado del elemento I se usa en la fórmula (línea 82) del coeficiente de relajación, para la modificación (línea 67), en cada iteración, de la H(I). Z es una cantidad siempre mayor que cero. En el caso (sumamente anómalo) de valor cero, podría dar problemas en la fórmula del coeficiente de relajación (línea 82), donde aparece como denominador. Para evitarlo se acota con un valor mínimo pequeño (0.001 por ejemplo).

77 — Se calcula el flujo E(I, J) que pasa a través del lado J, se van sumando las Z y se van sumando los flujos E.

78 — Cálculo de la diferencia de cotas piezométrica menos la de infiltración/surgencia (si el



acuífero es libre) o la del techo del acuífero (si el acuífero es confinado). Luego, si el acuífero del elemento I es confinado se saltan las dos líneas siguientes.

79 - 80 — Si el acuífero es libre, y se dan las condiciones apropiadas, se calculan los volúmenes QS de surgencia ( $QS < 0$ ) o de infiltración ( $QS > 0$ ) En cada caso, las condiciones vienen dadas por el parámetro M(I) (1=surgencia, -1=infiltración) que determina la posibilidad, y por la diferencia HRM ( $> 0$ =surgencia,  $< 0$ =infiltración) que determina la ocasión.

81 - 82 — Si el elemento NO es de piezometría predeterminada, se calcula el llamado coeficiente de relajación, que tiene las dimensiones de una impedancia  $[T/L^2]$ , y que se utiliza para modificar la H(I) en sucesivas iteraciones.

83 — Se calcula el residual RES(I) del balance de masas del elemento I en el subperíodo ZT e iteración ITRNO. Dicho residual es igual a la rec/des BQ menos la variación del almacenamiento S más la suma neta de flujos subterráneos QSUM más/menos la infiltración/surgencia QS, todo ello en  $[hm^3/subperíodo]$ .

84 — Si el elemento es de borde (Area=0) se hace su residual igual a cero y se va al próximo elemento.

85 - 86 — Las líneas que siguen, hasta la 93, se emplean en la modificación de la recarga/descarga en cierto tipo de situaciones. Ello ocurre cuando hay extracción y el nivel piezométrico desciende por debajo del nivel mínimo de bombeo. También ocurre cuando hay recarga y el nivel piezométrico sube por arriba del nivel del terreno. Ambos fenómenos son físicamente incompatibles, y en estas líneas, el programa recorta, bien la extracción, bien la recarga, para conseguir que la piezometría no sobrepase los límites mencionados. En primer lugar, si no hay rec/des ( $BQ=0$ ), se pasa al elemento siguiente.

87 — Si hay recarga,  $BQ(I) > 0$ , se va a comparar el nivel H(I) con el del suelo SL(I).

88 - 89 — Si hay descarga, se compara la H(I) con el nivel mínimo de bombeo DIF(I). Si la H(I) es mayor, no hay modificaciones de la descarga, y se pasa al próximo elemento. En caso contrario se va a modificar BQ (línea 90).

90 — Si, habiendo recarga, la H es menor que el

nivel del suelo, se pasa al próximo elemento. En caso contrario se va a modificar BQ.

91 — Se modifica la recarga o la descarga disminuyéndola en un 25%. Al introducir la modificación, los parámetros correspondientes a detectar una modificación de la rec/des, LM y LN(I) se hacen igual a uno. Se van sumando las modificaciones sucesivas para llegar a la total TAQ.

92 — Termina el lazo de cálculo para el elemento I, subperíodo ZT, iteración ITRNO y modificación NUBIT. Si ha habido modificación de rec/des hay que repetir todos los cálculos para obtener el nuevo RES (vuelta a la línea 64). En caso contrario se pasa a chequear si se cumple o no el criterio de error para el subperíodo.

93 - 94 - 95 — Se inicializa a cero la sumatoria SUM de los valores absolutos de los errores residuales. Si el elemento es de piezometría predeterminada ( $LR(I) < 2$ ), el proceso no se aplica. Se calcula la sumatoria SUM y se compara con el criterio de error ERRAR. Si no se cumple, se reinician los cálculos, incrementando el número de iteración. Si el criterio se cumple, prosigue el cálculo.

96 - 97 - 98 - 99 — Si para el subperíodo en cuestión, ZT, se ha cumplido el criterio de error, se van calculando los totales (para el período) del residuo, TRE, variación de almacenamiento, TS, recarga/extracción, TBQ, surgencia/infiltración, TQS, y flujos por cada lado, PE(I, J). Se pasa al subperíodo siguiente y, si es ya el último, quedan completados los cálculos del período.

100 - 101 - 102 - 103 - 104 - 105 - 106 - 107 - 108 - 109 — Se inicializan a cero una serie de sumatorios, para obtener valores globales para el conjunto de área modelada y período. Se suman los términos de entradas y salidas, y luego se suman todas las entradas por un lado (TITA=recarga, TIT=flujo subterráneo entrante, TUTI=infiltración) y todas las salidas (TUTA=extracción, TUT=flujo subterráneo saliente, TUTS=surgencia) por el otro.

110 - 111 - 112 - 113 - 114 - 115 - 116 - 117 - 118 - 119 - 120 - 121 - 122 - 123 — Se escriben los totales del área del modelo, luego se escriben los totales para el período y elemento. Altura piezométrica final, P, rec/des, TBQ, variación (en su caso) de la rec/des, TAQ, variación en el almacenamiento, TS, surgencia o infiltración, TQS,

residual TRE, variación en la piezometría entre el principio y el fin del período (año), V, error en el caso de piezometría predeterminada, DAF, y tipo de elemento LR (de los cuatro posibles, según [12]), flujos subterráneos, PE, en el período (año) y elemento y lado. Se comprueba que una serie de flujos salientes por un lado son iguales a los entrantes en el polígono vecino, si lo hay.

124 — Se pasa al período (año) siguiente, o si se ha llegado al último, se termina el programa.

#### 4. Ejemplos

Para aclarar las explicaciones anteriores se ofrecen una serie de ejemplos de las formas como se puede utilizar el programa.

Tomamos como ejemplo de acuífero el muy simple de la figura 5, aunque el programa en sí no tiene limitaciones en número de elementos, lados, etc...

Se trata de la cabecera de un valle de lados impermeables, atravesado por un río, valle que descarga por el sur en una zona de piezometría predeterminada. Se ha dividido en cuatro polígonos (elementos) reales, con nudos 1, 2, 3, y 4, y dos elementos de borde, de nudos 5 y 6, que son los de piezometría fijada.

Los elementos 1 y 2 son de acuífero libre y piezometría libre, a partir de una inicial. Los polígonos 3 y 4 son de acuífero confinado y piezometría libre. Los elementos de borde 5 y 6 son de acuífero confinado y piezometría predeterminada.

Las dimensiones geométricas (distancias nodales, longitudes de los lados) son las indicadas en la figura 5. Se consideran dos años (períodos). En un primer ejemplo se considera que la repartición de la recarga/descarga es uniforme durante el período (año), y que no hay infiltraciones del río, ni surgencias. En estas condiciones, los datos de entrada, en la forma en que hace la escritura-eco el propio programa podrían ser los de la figura 6. El propio archivo desde donde se leen los datos podría adoptar la forma de la figura 7, donde aparecen las mismas magnitudes que en la figura 6, aunque con una disposición diferente.

Se leen primero el número [6] de polígonos (elementos, celdas), el de polígonos [4] reales (no de borde), número máximo de lados por polígono [3], períodos (años) [2], número de subperíodos/año [4], error máximo residual para todo el modelo (aquí se elige que el error total sea igual o menor de  $10.000 m^3/año$ ), número máximo de iteraciones (500), y el factor de paso de  $m^2/día$  a  $hm^2/año$  ( $=.0365$ ).

Después entran todos los datos para cada elemento: Número del elemento, clase (LR), coeficiente para infiltración ( $M=-1$ ) o surgencia ( $M=1$ ), y cota del muro.

Después viene una cantidad que puede tener significados diversos. Si el acuífero es confinado se pone aquí la cota del techo [m], como en los polígonos 3, 4, 5 y 6. Si el acuífero es libre, y NO hay surgencias o infiltraciones, como en este ejemplo los polígonos 1 y 2, se pone cualquier valor (el programa no utiliza el dato).

A continuación viene el nivel mínimo de bombeo [m], y la cota de la superficie del terreno [m]. El área  $[hm^2]$ , coeficiente de almacenamiento y

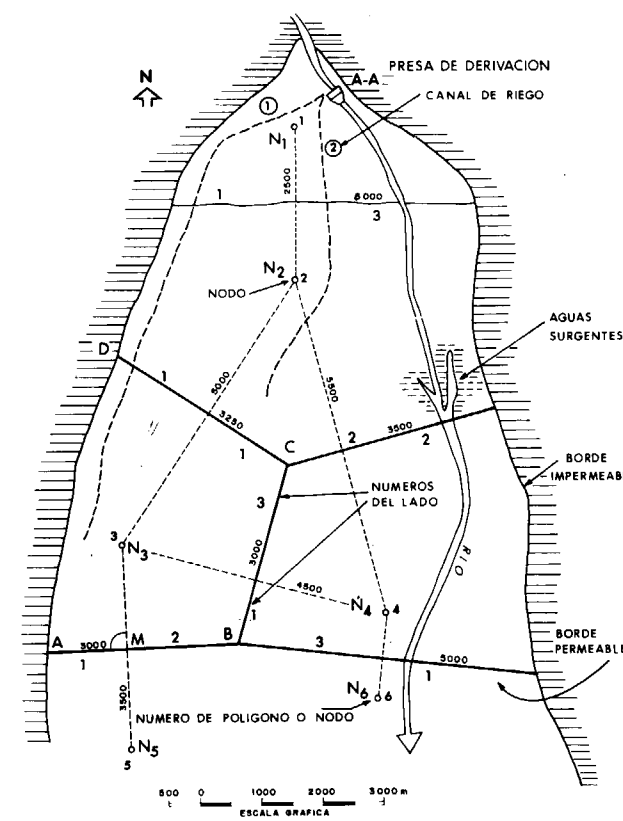


Figura 5.

```
#.pol.= 6
#.pol.reales= 4
#.max.lados/pol.= 3
#.periodos= 2
#.subper./per.= 4
error max. residual (Hm3/per)= .01
coef. relajacion= .8
#.max. iteraciones= 500
factor modifc.tiempo= .0365
```

n.	LR	M	MURO(m)	RM6TE(m)	BOM(m)	SUE(m)	AREA(hm2)	ALMAC	TN(m2/d)	F
1	3	0	362.1	391.9	373.0	392.0	725.0	.30000	0	0
2	3	0	353.0	383.9	364.0	382.5	1950.0	.15000	0	0
3	2	0	346.0	356.0	356.0	376.5	1250.0	.00100	0	0
4	2	0	345.0	355.0	355.0	374.8	1450.0	.00100	0	0
5	1	0	343.0	352.0	352.0	373.5	0.0	.00000	0	0
6	1	0	342.5	351.5	351.5	372.0	0.0	.00000	0	0

n	Pol.vecinos	Tr.lados(m2/día)	Dist.nodal(m)	Long.lados(m)
1	2	6030	5000	2500
2	3	4	1	5870
3	2	5	4	5870
4	3	2	6	3270
5	3	2	740	3000
6	4	2490	5000	1500

n.	REC/DES(hm3/año)	Repartición	Piezometria
1	9.600001	8.5	0 0 377.4 0 0
2	-1.6	-1.5	0 0 374 0 0
3	-5.1	-5	0 0 367.9 0 0
4	-10.3	-9	0 0 364.5 0 0
5	0	0	0 0 362 361.7 361
6	0	0	0 0 362.1 361.8 362

Figura 6.

6	4	3	2	4	.01	.8	500	.0365
1	3	0	362.1	391.9	373	392	725	.3
5000							9.6	8.5
2	3	0	353	383.9	364	382.5	1950	.15
3250	3500	5000	5000	5500	2500	-1.6	-1.5	0
3	2	0	346	356	356	376.5	1250	.001
3250	3000	3000	5000	3500	4500	-5.1	-5.0	0
4	2	0	345	355	355	374.8	1450	.001
3000	3500	5000	4500	5500	1500	-10.3	-9.0	0
5	1	0	343	352	352	373.5	0	0
3000							362.0	361.7
6	1	0	342.5	351.5	351.5	372	0	0
5000							362.1	361.8

Figura 7.

la transmisividad en el nudo (si se usa la de los lados se pone aquí cero).

Viene después un factor que es siempre cero, menos cuando hay infiltración, en cuyo caso es el valor que se usa como coeficiente X(i) en la

ecuación [5], para el cálculo de dicha infiltración [m<sup>2</sup>/subperíodo], ya que en teoría sería el producto del área mojada [m<sup>2</sup>] por una permeabilidad vertical [1/subperíodo]. En este ejemplo es igual a cero.

Después se entra el número del polígono vecino a través de cada lado. Hay que entrar valores hasta completar, para cada elemento, el número máximo de lados indicado, aunque el propio elemento tenga menos. Si no hay polígono vecino se entra el valor cero. Así, para el primer elemento se entran los valores 4, 0, 0. Para el segundo elemento, los valores 3, 4, 1, y así sucesivamente. El programa calcula el número de lados permeables de cada polígono descontando los ceros, y almacena también los números que identifican a los polígonos vecinos. Cuando el programa escribe datos-eco sólo escribe el número del polígono relativo al lado permeable. Por ello hay una diferencia en cómo se presentan los datos en el archivo y cómo los escribe el programa.

Después se leen [m], secuencialmente y sólo para los lados permeables, las transmisividades de los lados (si se ha usado la de los nudos se pone aquí cero) [m<sup>2</sup>/día], las distancias nodales [m], y las longitudes de los lados [m], estos tres grupos cada uno en el mismo orden en que se leyeron los números de los polígonos vecinos. Este orden es importante, ya que si no se sigue, el programa lo comprueba, y en su caso aborta.

Por último se leen los valores de la recarga/extracción por período [hm<sup>3</sup>/año], su distribución, y las piezometrías [m]. En el caso de trabajar con piezometrías a calcular (LR=2 ó 3) sólo se pone el valor de la primera, y se pone cero en las posiciones de las restantes (polígonos 1, 2, 3 y 4, por ejemplo, en el elemento 1: 377.4,0,0). En el caso de trabajar con piezometrías predefinidas (LR=0 ó 1) como con los elementos 5 y 6, hay que escribir todos los valores (por ejemplo, en el elemento 6, 362.1, 361.8, 362).

Los datos del archivo, figura 7, aparecen más claros en la escritura-eco de la figura 6.

El programa escribe a continuación el agua almacenada en la cuenca al inicio del cálculo, y después produce los resultados en la forma auto-explicativa de la figura 8. Las columnas (MODIF),

AGUA ALMACENADA EN LA CUENCA= 95.25892 Hm3

ARO= 1 Iter.= 166 Mod.= 0

AGUA ALMACENADA EN EL ACUIFERO (Hm3)= 80.96086  
DESCARGA (Hm3/año)= 23.90719  
RECARGA (Hm3/año)= 9.600001

n.	PIEZ.=H	REC/DES	(MODIF)	V.ALM.	SUR-INF	RESID.	H-Hp.	ERROR	n.	tipo
1	378.18	9.60	0.00	1.69	0.00	-0.00	0.78	0.00	1	3
2	368.54	-1.60	0.00	-15.96	0.00	-0.01	-5.46	0.00	2	3
3	365.23	-5.10	0.00	-0.03	0.00	-0.00	-2.67	0.00	3	2
4	365.03	-10.30	0.00	0.01	0.00	-0.00	0.53	0.00	4	2
5	361.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.30	0.00	5	1
6	361.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.30	0.00	6	1

n. FLUJOS A TRAVES DE CADA LADO

1	-7.91
2	-10.73 -11.55 7.91
3	10.73 -5.60 -0.06
4	0.06 11.55 -1.31
5	5.60
6	1.31

ARO= 2 Iter.= 155 Mod.= 0

AGUA ALMACENADA EN EL ACUIFERO (Hm3)= 70.65804  
DESCARGA (Hm3/año)= 18.81222  
RECARGA (Hm3/año)= 8.5

n.	PIEZ.=H	REC/DES	(MODIF)	V.ALM.	SUR-INF	RESID.	H-Hp.	ERROR	n.	tipo
1	377.40	8.50	0.00	-1.68	0.00	-0.00	-0.77	0.00	1	3
2	365.62	-1.50	0.00	-8.56	0.00	-0.01	-2.93	0.00	2	3
3	362.78	-5.00	0.00	-0.03	0.00	-0.00	-2.44	0.00	3	2
4	362.54	-9.00	0.00	-0.04	0.00	-0.00	-2.49	0.00	4	2
5	361.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.70	0.00	5	1
6	362.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	6	1

n. FLUJOS A TRAVES DE CADA LADO

1	-10.18
2	-8.12 -9.12 10.18
3	8.12 -2.88 -0.27
4	0.27 9.12 -0.43
5	2.88
6	0.43

Fin programa=twm1.bas - Fin archivo=TWM.det

Figura 8.

SUR-INF y ERROR carecen de significado en este ejemplo. Aquí resulta:

REC/DES+FLUJOS A TRAVES DE CADA LADO—V.ALM=RESID

como puede comprobarse con cualquiera de los elementos. H-Hp significa la piezometría al final del período menos la inicial del mismo, es decir,

la variación piezométrica del nudo en cuestión a lo largo del período cuyos resultados se escriben.

Terminada la escritura de un período, se pasa al cálculo y escritura del período siguiente. Tras el último de ellos termina el programa escribiendo el nombre del programa y el del archivo usado.

Sobre este mismo modelo se introducen ahora unos cambios menores para aclarar, siempre en la línea de piezometría libre (LR(1)>2) (salvo en los nudos o elementos de borde), la introducción de recarga/descarga variable en el tiempo, infiltración, surgencia y cota mínima de bombeo.

Veamos primero recarga/extracción variable en el tiempo. Para un elemento considerado, por ejemplo el elemento número 1, con una rec/des neta en el período primero de 9.6 hm<sup>3</sup>/año, se supone que la rec/des neta en la segunda mitad del período es de 0.8 hm<sup>3</sup> y la rec/des en la primera mitad del período es de 8.8 hm<sup>3</sup> (0.8+8.8=9.6). El factor de distribución a introducir es (segunda mitad—primera mitad)+0.8—8.8=—8, y ese es el número que se coloca en el lugar correspondiente del archivo de datos, donde antes había un 0. De forma similar se incluye el valor para el segundo período del primer elemento, y los de los otros elementos en donde se requiera.

Si se compara el archivo antes y después de introducir estas modificaciones, se ve que, después de las cifras de rec/des, donde antes figuraban ceros figuran ahora los valores, para cada elemento,

Elemento	Antes	Ahora
1	0	—8 —7
2	0	—8 —7
3	0	—3.1 —3
4	0	—7.3 —6.4
5	0	0 0 (Borde)
6	0	0 0 (Borde)

Veamos ahora cómo se introduce la cota mínima de bombeo. Por ejemplo, en el elemento 4, donde el acuífero se supone confinado (LR(4)=2), hay un bombeo de —10.3 y —9 [hm<sup>3</sup>] el primer y segundo período, respectivamente. Se había usado una cota mínima de bombeo de 355 [m], conjuntamente con una piezometría inicial de

364.5 [m], piezometría que a lo largo del cálculo se mantenía consistentemente por arriba de la cota mínima de bombeo. Si modificamos esta cota mínima, de 355 [m] a 368 [m], la colocamos por arriba de la inicial del nudo. En este caso, el programa realiza la modificación del bombeo, y el resultado, al final del primer período registra, en el elemento 4, una REC/DES modificada (menor bombeo), y en la columna (MODIF) aparece la cantidad modificada, de manera que REC/DES+(MODIF)=Valor original. Sin embargo, para el balance de masas del elemento se usa el valor de REC/DES modificado. El hecho de que haya habido una modificación, además de aparecer en (MODIF), aparece en el número de iteraciones especiales para la modificación, NUBIT, y se refleja en la cabecera del período, después de «Iter.» como «Mod.».

Veamos ahora una infiltración. Se supone que esta infiltración existe en el polígono (elemento) 1. Para este elemento entonces modificamos el valor M(1), desde cero antes a -1 ahora. El valor de M(1)=-1 indica al programa que en el elemento 1 se puede producir infiltración. La llamada cota de infiltración, 3.919 [hm] indica que si el nivel piezométrico es menor que éste (y M(1)=-1) habrá infiltración. Por MEDIDAS DE CAMPO se sabe que el período considerado hubo una infiltración estimada en unos 40 hm<sup>3</sup> desde el río al acuífero. La fórmula de la infiltración [hm<sup>3</sup>/año]

$$Qr(i, t) = X(i) * [Y(i) - H(i, t)] \quad [5]$$

quedará, por tanto,

$$40 = X(i) * [3.919 - H(i, t)]$$

Usando la H inicial, de 3.774 [hm], y despejando la X(i), que en el programa se llama F(i), resulta aproximadamente 275. Entrando con este valor en el archivo de datos, y pasando el modelo se obtiene un valor de infiltración en el polígono 1 y período 1 de 40.8 hm<sup>3</sup>, lo que resulta una excelente aproximación. Con más frecuencia hay que hacer varios tanteos, manteniendo la H inicial del nudo, y ajustando la cota de infiltración, RM(I), y la F(I) (=X(i)) para obtener un valor parecido a la infiltración estimada.

De forma muy parecida se hace cuando hay surgencias. En el polígono en que puede haber sur-

gencias se hace M(I)=1. Durante la calibración, partiendo de la piezometría inicial del nudo, se tantean valores de RM(I). En teoría, en el caso de surgencia, el valor del coeficiente X(i) (=F(I)) es el producto del área por el coeficiente de almacenamiento, de manera que ese término ya viene definido. En el ejemplo que se comenta se supone que en el polígono 2 (figura 5) hay una pequeña surgencia de unos 0.29 hm<sup>3</sup>/año. A tal efecto, de una fórmula similar a la [5] resulta, tras tanteos, un valor de RM(2)=373.9.

Reuniendo todas las modificaciones explicadas, cota mínima de bombeo, infiltración desde río y surgencias, el archivo de datos del mismo modelo sería el de la figura 9, y los resultados globales los de la figura 10.

```

6 4 3 2 4 .1 .8 500 .0365
1 3 -1 362.1 391.9 373 392 725 .3 0 275 2 0 0 6030
5000
2 3 1 353 373.9 364 382.5 1950 .15 0 0 3 4 1 5870 6140 6030
3250 3500 5000 5000 5500 2500 -1.6 -1.5 -.8 -.7 374.0 0 0
3 2 0 346 356 356 376.5 1250 .001 0 0 2 5 4 5870 2740 3270
3250 3000 3000 5000 3500 4500 -5.1 -.5 -3.1 -3 367.9 0 0
4 2 0 345 355 368 374.8 1450 .001 0 0 3 2 6 3270 6140 2490
3000 3500 5000 4500 5500 1500 -10.3 -9 -7.3 -6.4 364.5 0 0
5 1 0 343 352 352 373 5 0 0 0 0 3 0 0 2740
3000
6 1 0 342.5 351.5 351.5 372 0 0 0 0 4 0 0 2490
5000 1500 0 0 0 0 362.1 361.8 362
    
```

Figura 9.

Ahora se va a operar el programa con la otra posible modalidad, la de piezometría predeterminada y obtención de los correspondientes residuales.

En el archivo de datos los elementos con LR(I)=3 pasan a LR(I)=0. Los de LR(I)=2 pasan a LR(I)=1. Los de borde y LR(I)=1 siguen igual. Además, las piezometrías iniciales de los nudos 1, 2, 3 y 4 han de especificarse para los dos años (tres valores). Resulta entonces, por ejemplo,

Nudo	Piezometrías antes			Piezometrías ahora		
1	377.4	0	0	377.4	389.5	391.5
2	374	0	0	374	372.1	370.7
3	367.9	0	0	367.9	368.2	369
4	364.5	0	0	364.5	365.1	366
5	362	361.7	361	362	361.7	361
6	362.1	361.8	362	362.1	361.8	362

Las diferencias se aprecian comparando las figuras 6 y 11 o las 7 y 12.

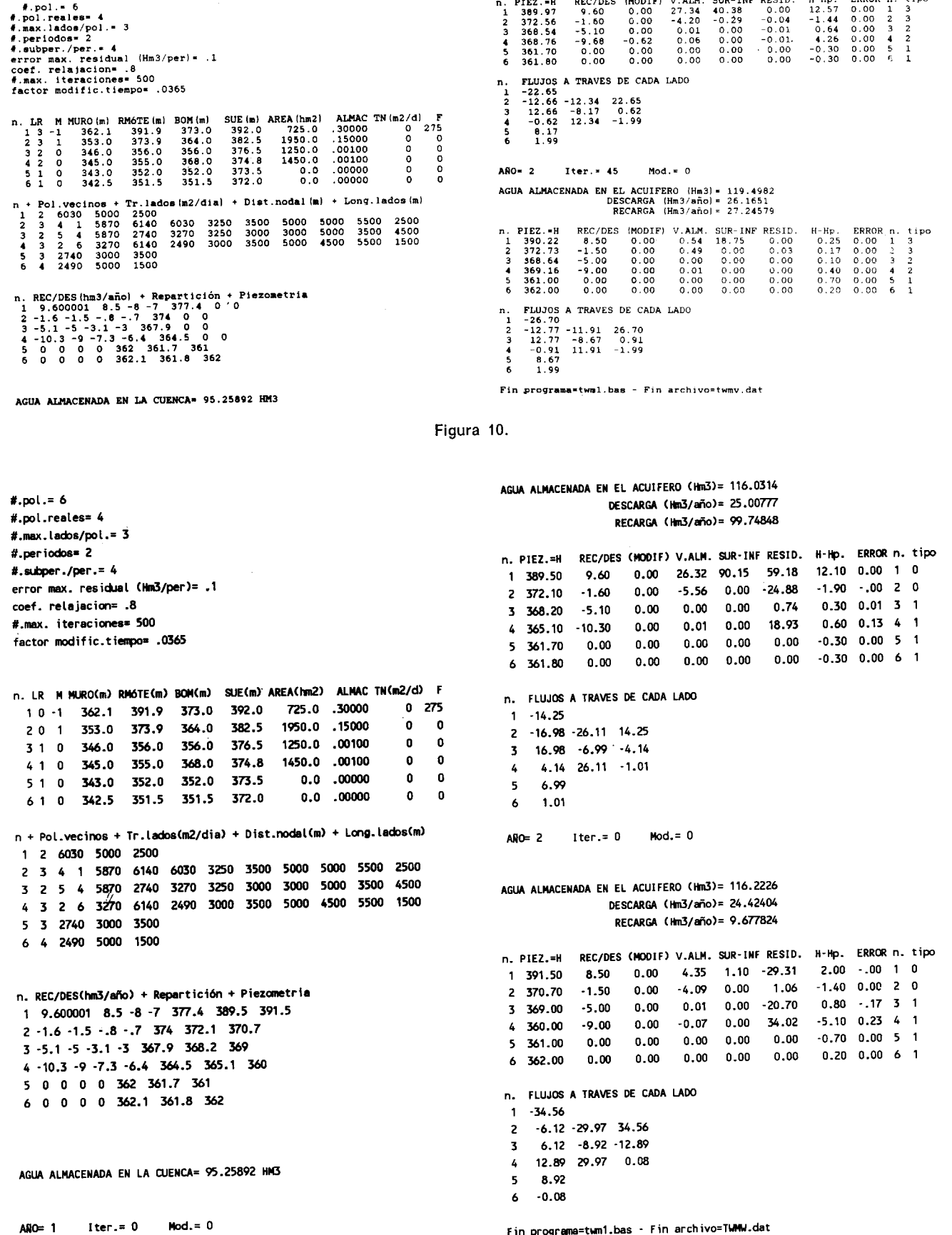


Figura 11.

El programa ya no realiza iteraciones para alcanzar una piezometría dentro de un margen de error, sino que pasa directamente a usar las piezometrías prefijadas y a partir de ellas, de la rec/des y de las infiltraciones y surgencias, calcula los residuales de los balances de masas. Al no tener que hacer iteraciones, el programa opera de forma mucho más rápida. En la figura 12 se ve el nuevo archivo, y en la figura 11 la escritura-eco de los datos, así como el resultado.

```

6 4 3 2 4 .1 .8 500 .0365
1 0 -1 362.1 391.9 373 392 725 .3 0 275 2 0 0 6030
5000 2500 9.6 8.5 -8 -7 377.4 389.5 391.5
2 0 1 353 373.9 364 382.5 1950 .15 0 0 3 4 1 5870 6140 6030
3250 3500 5000 5000 5500 2500 -1.6 -1.5 -.8 -.7 374. 372.1 370.7
3 1 0 346 356 356 376.5 1250 .001 0 0 2 5 4 5870 2740 3270
3250 3000 3000 5000 3500 4500 -5.1 -5 -3.1 -3 367.9 368.2 369
4 1 0 345 355 368 374.8 1450 .001 0 0 3 2 6 3270 6140 2490
3000 3500 5000 4500 5500 1500 -10.3 -9 -7.3 -6.4 364.5 365.1 360
5 1 0 343 352 352 373.5 0 .0 0 0 3 0 0 2740
3000 3500 0 0 0 0 362.0 361.7 361
6 1 0 342.5 351.5 351.5 372 0 .0 0 0 4 0 0 2490
5000 1500 0 0 0 0 362.1 361.8 362

```

Figura 12.

Al no permitirse cambios en la piezometría, la variante de modificación por cota mínima de bombeo no interviene aquí. Por ello no hay modificación de la REC/DES, y el término (MODIF) resulta siempre nulo. Al operar con piezometría prefijada, los residuales resultan más abultados. Ello se aprecia en la columna de RESID. La columna de H-HP, igual que antes refleja la variación de la piezometría al principio y final del período.

Ocurre con mucha frecuencia que no se tiene idea clara si una variación en piezometría repre-

senta una variación importante en volúmenes de agua en el residuo del balance de masas, y viceversa. Para aclarar esta idea, en este método, el residual RESID, se divide por el producto del área por el coeficiente de almacenamiento, con lo cual se traduce dicho residual a una diferencia equivalente de cotas piezométricas. Eso es lo que se refleja en la columna ERROR. Por ejemplo, en el primer año, se ve que el residual de 37.82 hm<sup>3</sup> del elemento 1 equivale a una desviación piezométrica menor del centímetro. En el elemento 4, un residual de 20.49 equivale a una desviación piezométrica de 14 centímetros. El diferente comportamiento de ambos elementos se debe a que el elemento 1 tiene un acuífero libre mientras que el elemento 4 lo tiene confinado.

### 5. Conclusiones

El ejemplo explicado incluye las variantes que admite el programa. Con este programa se pueden tratar prácticamente TODOS los casos de acuífero monocapa. De hecho, algunas de las variantes requieren medidas de campo tan elaboradas que en la práctica no se conocen y, por tanto, no se suelen utilizar nunca.

Es importante la posibilidad de admitir una rec/des variable dentro del período, lo que permite una buena representación de cualquier caso real. De haber necesidad de utilizar como período un lapso de tiempo menor del año, la única precaución a tomar es la de variar el factor FT en el archivo de datos, para pasar de m<sup>2</sup>/día a hm<sup>2</sup>/período. Si el período era de un año, este factor era de 0.0365. Si el período es de un mes, el factor sería de 0.0003.

Original recibido: Julio de 1992.

Original aceptado: Julio de 1992.

## Geoquímica de carbonatos continentales en la cuenca del Júcar (provincia de Albacete).

Por J. A. SANTOS GARCIA (\*)

### RESUMEN

En este trabajo se hace un estudio de los contenidos en Ba, Sr, Fe, Mn, OCa, OMg y R.I. de 137 muestras, distribuidas en 11 columnas, de las rocas carbonáticas en la cuenca del Júcar.

Se obtienen los coeficientes de correlación (r) entre pares de valores, las medias (m) y desviación standar (s) de las diferentes poblaciones, lo que contribuye a un mejor conocimiento de los mecanismos de precipitación y de las condiciones físico-químicas del medio, así como a establecer la existencia de algunos procesos postdeposicionales, caracterizando las principales tendencias, tanto en horizontal como en vertical.

Se señala la influencia de la naturaleza mineralógica de los precipitados, de los aportes continentales y de los procesos diagenéticos, en la distribución geoquímica de algunos elementos.

Se resalta el interés de la geoquímica como criterio para determinar rupturas sedimentarias.

Se establece una diferenciación geoquímica por zonas, dentro de la cuenca, a partir del análisis de las tendencias horizontales.

*Palabras clave:* Elementos traza, Carbonatos, Análisis estadístico, Cuenca del Júcar.

### ABSTRACT

The contents in Ba, Sr, Fe, Mn, OCa, OMg and R.I. of 137 samples distributed in 11 columns of the carbonatic rocks in the Jucar Basin are studied within this work.

The correlation coefficients (r) between pairs of values the means (m) and the standard deviation (s) of the different populations are obtained. This contribute to a physic-chemical conditions of some postdepositional processes, characterizing the main trends, both in horizontal and in vertical scales.

The influence of the mineralogical nature of the precipitates, of the continental drifts and of the diagenetical processes, within the geochemical distribution of some elements, in pointed out.

The interest stressed on the geochemistry as a criterium for determinig sedimentary breakings is highlighted.

From the analysis of the horizontal trends, a chemical diferentiation, by zones, within the basin, is set up.

*Key words:* Trace elements, Carbonates, Statistical analysis, Jucar Basin.

### 1. INTRODUCCION

Cada vez son más frecuentes los estudios geoquímicos en el análisis de medios de sedimentación, contribuyendo a un mejor conocimiento de

la génesis de las diferentes facies, a partir de las relaciones entre composición química y textura, ya que permiten establecer los principales parámetros físico-químicos (salinidad, carácter oxidante o reductor, condiciones de alteración, etc.) del medio de sedimentación (FRIEDMAN, 1968; POMEROL, 1975; LLAVADOR et al.

(\*) Empresa Nacional Adaro, S. A. - Dr. Esquerdo, 138. 28007 Madrid.

1983; AUERNHEIRMER, 1983, etc.) y pueden contribuir a la mejor comprensión y caracterización de los procesos diagenéticos (RENARD, 1972; VEIZER y DEMOVIC, 1974; ALHASHIMI, 1982; BUSTILLO y FORT, 1986 y 1990, etc.)

En este trabajo se estudian 137 muestras distribuidas en 11 series, pertenecientes al Terciario continental de la cuenca del Júcar (fig. 1), en el que abundan las rocas carbonáticas dentro de la Unidad Carboneras, U.T.S-2 y U.T.S-3, cuyas características estratigráficas, petrológicas, etc., han sido estudiadas con anterioridad (SANTOS, 1980, 1983, 1984 y 1985).

El comportamiento geoquímico de los elementos estudiados, presenta diferentes grados de cono-

cimiento, siendo quizá el Sr, el elemento que ha recibido un tratamiento más exhaustivo.

Este elemento aparece ligado principalmente a la porción carbonatada (GRAF, 1960; WOLF et al., 1967, etc.) por lo que cabría esperar que rocas con proporciones similares de OCa, OMg y residuo insoluble (R.I.), tuvieran concentraciones de Sr muy similares. Sin embargo, se ha comprobado con frecuencia que esto no ocurre (VEIZER et al., 1971), indicando que la concentración de Sr en los carbonatos depende también de otros factores.

RENARD (1972) señala cuatro factores principales para la incorporación del Sr a los carbonatos:

- Naturaleza mineralógica del precipitado.
- Temperatura.
- Incorporación diferencial del Sr según los organismos (factor biológico).
- Contenido de Sr en el medio.

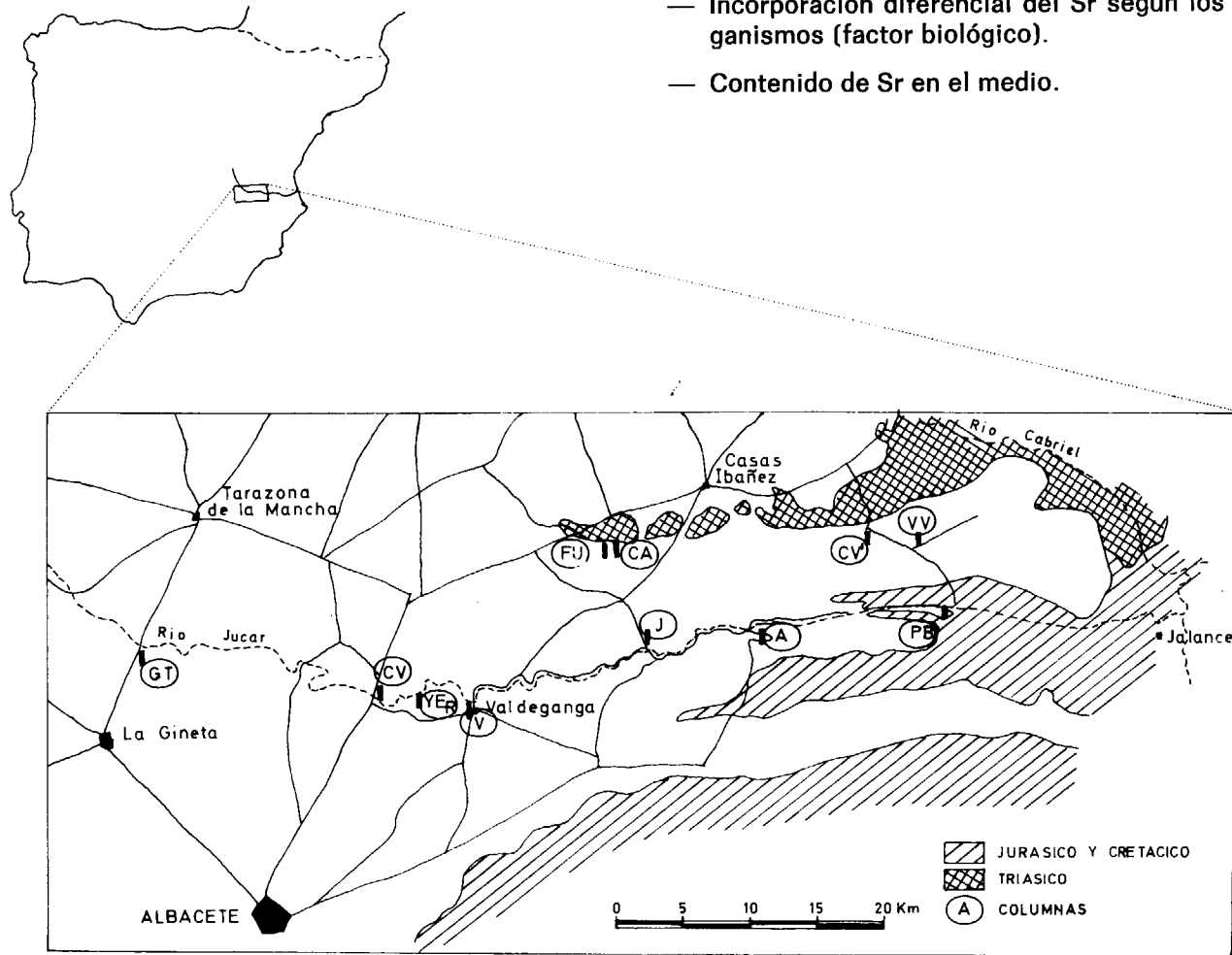


Figura 1.—Esquema de situación.

En ocasiones, puede ser importante la acción depresiva de los iones sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), que pueden formar complejos, o los posibles efectos de superficie del ión  $\text{Mg}^{2+}$  (KINSMAN y HOLLAND, 1969).

VEIZER y DEMOVIC (1973) en el Mesozoico de los Cárpatos, RENARD (1975) en el Eoceno de la cuenca de París, PRASADA y NAQVI (1977) en el Ordovícico de Australia y LLAVADOR et al. (1983) en el Cretácico de Alicante, entre otros, llegan a la conclusión de que la cantidad de Sr en las rocas carbonatadas es función del tipo de facies.

AUERNHEIRMER (1983) indica que en el Mioceno medio de Alicante, el índice  $10^3 \text{ Sr/Ca}$  puede tomarse como un indicador de medios ambientes en función de la energía. Un índice pequeño indica facies de aguas turbulentas y va aumentando al pasar a facies de aguas tranquilas.

No obstante, hay causas que pueden modificar el contenido en Sr, como ocurre con la dolomitización, que da lugar a un empobrecimiento (VEIZER, y DEMOVIC, 1974; AL-HASHIMI, 1976; KRETZ, 1982; BUSTILLO y FORT, 1990; BRAVO, 1990, etc.).

El comportamiento del Mn es bastante complejo, ya que al tener un radio iónico intermedio entre el de  $\text{Mg}^{2+}$ , el  $\text{Fe}^{2+}$  y el  $\text{Ca}^{2+}$ , puede incorporarse bastante fácilmente en la red de la calcita en lugar del Ca. Los cálculos teóricos efectuados por MICHARD (1968), obtienen un coeficiente de partición para el Mn del orden de  $5,4 \pm 0,3$ .

RENARD (1975) ha señalado que las variaciones en los contenidos de Mn de los carbonatos, reflejan la variación de las condiciones de óxido-reducción en el sedimento y por tanto dependen de dos factores principales:

- Condiciones de óxido-reducción del medio (MICHARD, 1969).

En medio reductor, el Mn coprecipita con los carbonatos, lo que conduce a carbonatos pobres en Mn.

En medio oxidante el Mn precipita bajo forma de bióxido que absorbe a los carbonatos, enriqueciéndolos en Mn.

- Concentración en Mn del medio, lo cual nos lleva a la cuestión del origen y aportes.

El Mn puede provenir de la emisión de material continental y de volcanismo submarino, extremo este que no es aplicable en nuestro caso.

BENCINI y TURI (1974) indican que los bajos contenidos en Mn, pueden obtenerse en facies de aguas someras, reflejando la composición original de la fase carbonatada.

PINGITORE (1978) atribuye algunos pequeños enriquecimientos de Mn a transformaciones como la de aragonito-calcita, durante la diagénesis.

En ocasiones, se ha investigado la contribución de la fracción arcillosa en el valor de la concentración de Mn, pero al ser generalmente reducida, no suele influir en cantidad apreciable (BIENER et al., 1968; AWASTHI, 1970; LAND et al., 1975, etc.).

En cuanto al hierro, en forma de  $\text{Fe}^{2+}$  y como consecuencia de su radio iónico, entra con mayor facilidad en la red de la calcita que en la del aragonito, por lo cual, se observan empobrecimientos en los medios más aragoníticos. La presencia de bacterias reductoras, provoca la precipitación de  $\text{Fe}^{2+}$  como piritita y marcasita, dando lugar a un aumento del contenido en hierro del sedimento.

POMEROL (1975) señala que en el curso de la sedimentación el contenido en hierro, está condicionado por la importancia de los aportes continentales.

BUSTILLO y FORT (1990) señalan un aumento en los contenidos de Fe y Mn, como consecuencia de procesos de dolomitización.

La geoquímica del Ca y Mg, es mucho mejor conocida y la bibliografía sobre el tema es exhaustiva, existiendo buenos resúmenes (BATHURST, 1971, etc.). Un factor fundamental que va a condicionar la posterior evolución de los carbonatos, es la precipitación original de carbonato, por tanto será de gran importancia el que precipite uno u otro mineral, lo cual, como señala MULLER et al. (1972) es función de la relación Mg/Ca en

el medio, dando los siguientes valores obtenidos en lagos:

- Mg/Ca < 2 ..... Calcita de bajo contenido en Mg (LCM).
- Mg/Ca entre 2 y 12 ... Calcita de alto contenido en Mg (HCM) + aragonito.
- Mg/Ca > 12 ..... Aragonito.
- Mg/Ca > 40 ..... Huntita y dolomita.

Es sabido que el aragonito no es muy estable, produciéndose procesos de inversión aragonito-calcita, pero con frecuencia quedan rasgos químicos que denotan su existencia anterior, como por ejemplo el enriquecimiento en Sr.

También es importante que la calcita sea de alto (HCM) o de bajo contenido en Mg (LCM), puesto que al tener solubilidades muy diferentes, presentaran un comportamiento diagenético distinto.

Los valores del coeficiente de participación del Mg obtenidos experimentalmente, son del orden de 0,02 (a 20°) (WINLAND, 1969), muy similares a los que cita MICHARD (1971) en la fuente de Reotier (Francia), que obtuvo un valor de 0,028 (a 20°). Ambos datos son para calcita.

CHAVE (1954) ha señalado tres factores principales que controlan la incorporación del Mg en los carbonatos:

- Naturaleza mineralógica del carbonato.
- Temperatura.
- Nivel evolutivo de la especie, en el caso de carbonatos biológicos.

No obstante, existen casos en los que el contenido de Mg puede ser muy diferente, como por ejemplo con la presencia de «fases silicatadas evaporíticas» (sepiolita y atagulgita), que dan un elevado valor en Mg, no relacionado con los carbonatos presentes.

## 2. METODOLOGIA

En el total de muestras analizadas (137) se ha realizado el análisis químico complexométrico de la fracción carbonatada, para obtener el contenido en carbonatos y la relación OCa/OMg.

También se ha realizado el análisis cuantitativo de cuatro elementos (Sr, Ba, Fe y Mn), mediante espectrometría por fluorescencia de rayos X.

Las muestras (aproximadamente 4 gr.) una vez molidas en mortero de ágata, fueron tratadas con una mezcla de 20 gr. de Elvacite en 100 cc. de acetona y compactadas en una prensa Herzog HPT-20, con una carga máxima de 18 Tm., repartidas sobre la superficie de la muestra, durante un minuto (BRANDLE y CERQUEIRA, 1972), obteniendo «pastillas» de 41 mm. de diámetro.

El estudio espectométrico fue realizado con un aparato Philips semiautomático, modelo PW 1410 de tres Kw. Los elementos medidos han sido analizados con un cristal analizador de FLi (200) y colimador fino (150 milimicras).

Se han empleado como condiciones de trabajo las siguientes:

CARACTERÍSTICAS	Fe	Sr	Ba	Mn
Tubo Rx	W	W	Cr	W
Kv	40	50	50	30
m.A.	20	40	40	20
Contador	F+S	F+S	F	F+S
V	1650	1650	1650	1650
Filtro	out	out	out	out
CT	0,4	0,4	0,4	0,4
AT	2 <sup>2</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>2</sup>

F = Contador proporcional de flujo.  
S = Contador proporcional de centelleo.

## 3. RESULTADOS. TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Las 137 muestras analizadas se han tomado en 11 columnas que se distribuyen del modo siguiente: 17 en la U. Carboneras (tabla I), 49 en la U.T.S.-2 (tabla II) y 71 en la U.T.S.-3 (tabla III). En la figura 2 se representa un ejemplo de las series realizadas.

El estudio de series con un elevado número de datos, requiere la utilización de métodos estadísticos más o menos complicados. Mediante el establecimiento de los coeficientes de correlación, se puede intentar explicar algunos parámetros que registran la repartición de los ele-

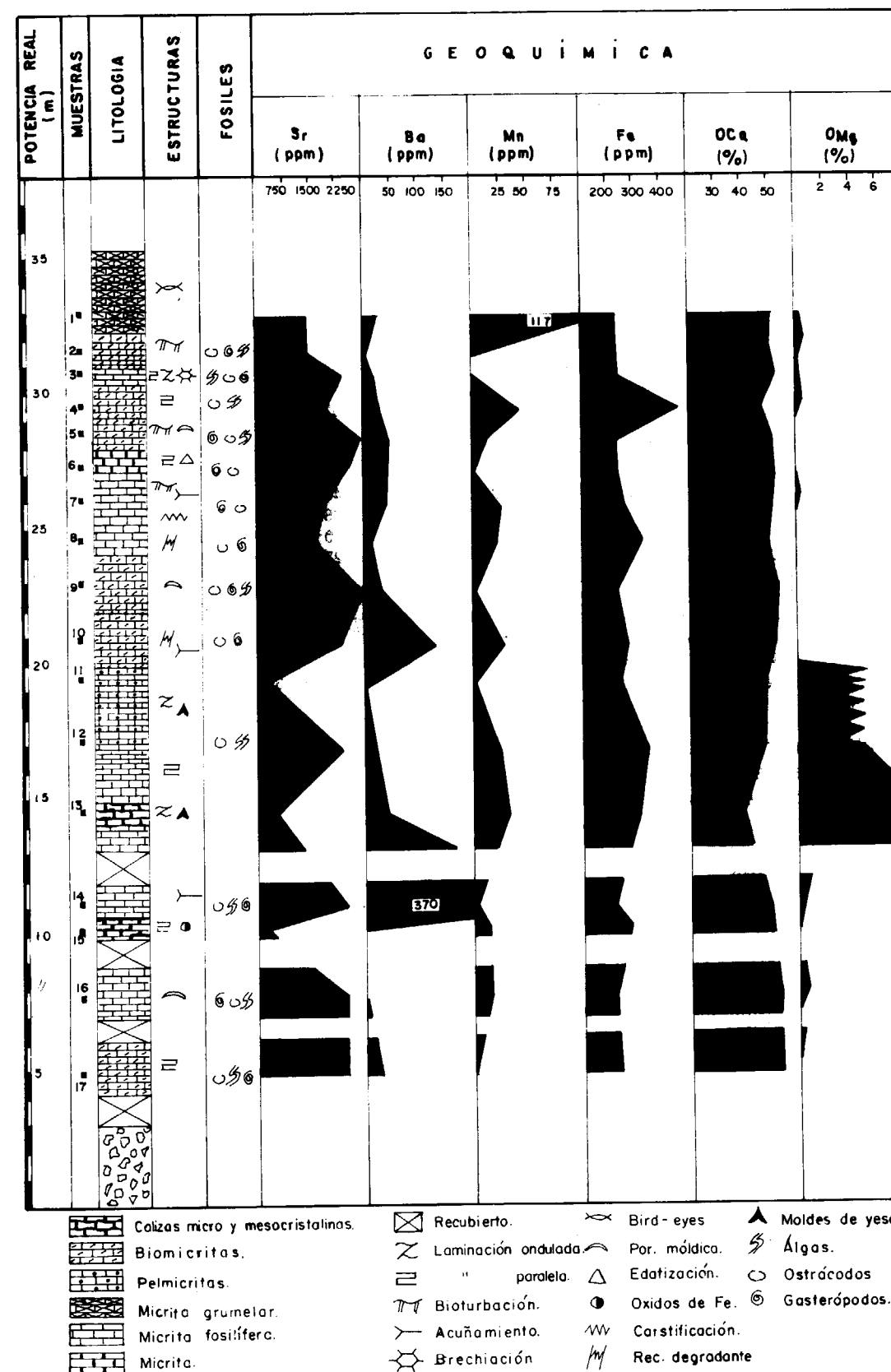


Figura 2.—Columna (CA) en la U. Carboneras.

**TABLA I**  
Muestras analizadas en la U. Carboneras

Muestra	(p.p.m.)				(%)	
	Ba	Sr	Fe	Mn	OCa	OMg
1	27	1496	223	117	51,3	0,2
2	1	1489	225	0	51,1	0,6
3	17	2438	228	0	51,7	0,2
4	30	1911	460	43	47,7	0,4
5	45	2889	224	11	51,9	0
6	42	2500	230	0	52,1	0
7	40	1833	262	23	50,9	0,3
8	9	1624	320	19	49,4	0
9	31	2910	227	0	53,1	0
10	131	2152	275	27	52,4	0
11	0	340	245	2	47,2	5
12	22	2310	357	23	47,4	2,9
13	45	570	313	30	38,7	8,2
14	370	2545	224	0	49,9	0,5
15	0	258	283	12	50,9	0,4
16	0	2469	228	15	52,9	0,6
17	30	2412	244	0	52,9	0,2

**TABLA II**  
Muestras analizadas en la U.T.S.-2

Muestra	(p.p.m.)						R.I.
	Ba	Sr	Fe	Mn	OCa	OMg	
18	68	348	1147	182	37	4,8	24
19	11	327	221	0	47,7	2,8	9,1
20	63	489	325	7	44,3	3,2	14,2
21	0	892	251	3	43,7	1,9	18
22	21	1030	332	72	51,2	1,8	6,7
23	0	954	223	6	47,1	0	16,3
24	157	569	376	158	46,5	0	18,3
25	25	680	269	53	52,4	1,8	4,7
26	38	1620	445	78	46	1	15,8
27	213	293	222	0	52,4	0,8	5,7
28	163	381	240	2	48,8	0	18,2
29	14	499	217	8	51,5	1,2	6,8
30	79	2023	458	52	47,7	0	17,8
31	0	376	221	0	51,2	1	7,6
32	40	764	230	0	50,7	1,8	7,8
33	126	463	235	0	47,9	2,2	12,4
34	0	769	232	7	49,3	0	35,5
35	27	270	226	0	49,9	0	39,6
36	17	293	228	20	52,3	0,4	—
37	14	402	238	4	53,8	0,6	3,4
38	0	336	244	0	53,8	0,4	3,6
39	8	332	219	0	54,1	0,6	2,9
40	5	565	229	0	47	1,8	14,4
41	14	524	231	0	53,3	1,1	—
42	89	598	229	0	52,1	1,1	—
43	17	620	235	0	53,7	1,2	2,9
44	0	316	256	42	54,8	0,2	—
45	7	678	314	113	52,4	1	—
46	4	298	335	97	51,6	0	—
47	35	444	476	60	48,6	1,1	—
48	17	368	463	104	48,8	0,9	—
49	74	380	230	0	53,2	0,6	4,4
50	283	862	282	3	49,8	1,8	9,3
51	0	743	231	0	51,2	1,2	7,4
52	0	538	246	0	52,4	0,4	6,1
53	0	378	224	0	53,2	0,2	4,8
54	0	367	226	0	48,4	1,2	12,4
55	8	327	222	0	51,8	0,8	6,7
56	3	284	221	0	51,5	1	7,1
57	6	544	242	7	53,2	0,6	4,4
58	2	842	227	0	53,2	1	4,1
59	3	415	196	0	53,3	0,8	3,8
60	22	338	207	3	52,4	2,4	4,1
61	177	297	252	33	54	0,6	3
62	19	613	289	9	51,4	1	7,2
63	14	383	241	12	51,2	0,4	—
64	45	361	249	0	53,4	0,8	3,8
65	25	402	237	5	52,7	0,7	—
66	0	401	233	1	55,5	0,4	0,6

mentos químicos y la convergencia o divergencia de sus propiedades geoquímicas en el contexto estudiado.

Se han establecido todos los coeficientes de correlación (r) para los posibles pares de variables, a excepción del residuo insoluble (R.I.) en la U. Carboneras, ya que es prácticamente nulo (tabla IV), representándose algunos diagramas de correlación en la figura 3.

La correlación OCa/Sr es claramente positiva (0,5817) para la U. Carboneras, mientras que en la U.T.S.-2 existe correlación negativa (-0,2804), que puede atribuirse al aumento de la proporción de calcita esparítica secundaria, empobrecida en Sr.

En la U.T.S.-3 la correlación es muy pobre (-0,0221), como consecuencia de la presencia de facies bastante más detríticas y recristalizadas que las anteriores, provocando la casi total independencia entre los elementos.

En el diagrama OCa/Sr (fig. 3) se pueden separar cinco poblaciones de características diferentes:

— Población A: Corresponde a facies de biomicritas y micritas fosilíferas in-

alteradas. Está formada en su mayoría por muestras de la U. Carboneras.

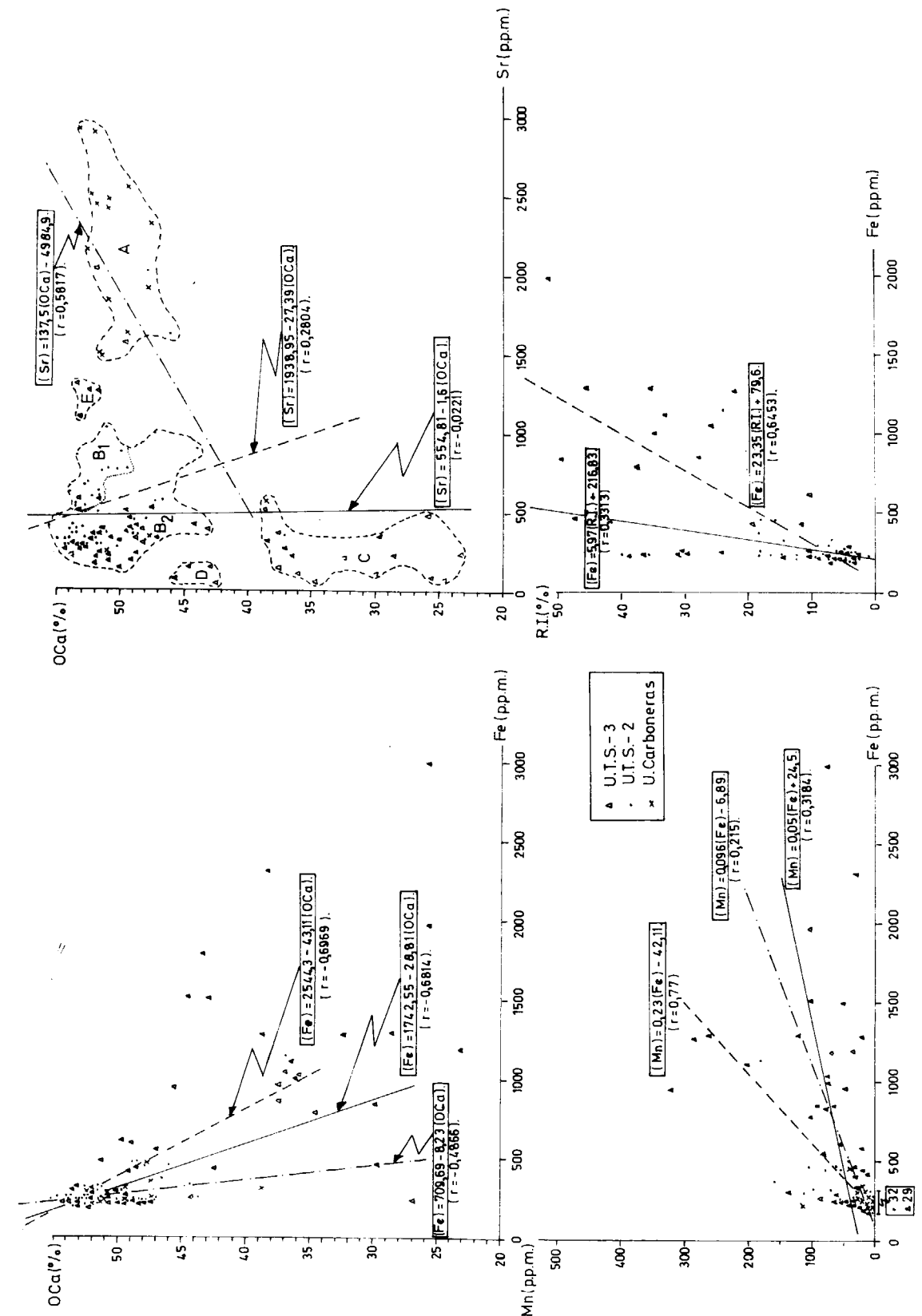


Figura 3.—Diagramas de correlación.

**TABLA III**  
**Muestras analizadas en la U.T.S.-3**

N.º	(p.p.m.)				(%)			N.º	(p.p.m.)				(%)		
	Ba	Sr	Fe	Mn	Oca	OMg	R.I.		Ba	Sr	Fe	Mn	Oca	OMg	R.I.
67	60	59	784	103	34,8	0,3	37,4	102	67	519	227	0	47,6	0	—
68	87	97	1969	105	25,8	1,1	51,6	103	95	211	1280	22	32,4	6,9	35,3
69	46	239	1118	204	36,5	0,8	39,2	104	140	240	1182	71	23,3	10,9	—
70	42	366	855	66	37,6	2,5	27,6	105	663	481	3000	77	25,9	7,9	45,9
71	13	41	426	11	42,6	2,2	19,3	106	0	174	259	0	61,5	1,7	—
72	55	346	449	23	29,7	0	47,2	107	0	169	268	0	51,9	0,8	—
73	0	355	245	62	51,8	1	6,5	108	0	187	255	0	50,9	1,1	—
73	28	507	1266	284	38,7	4,2	22,2	109	14	212	284	13	51,9	0,4	—
75	56	234	1282	264	28,6	1,6	45,5	110	11	226	258	0	51,6	0,9	—
76	50	72	835	76	24,7	3	49,6	111	60	317	2309	31	38,5	1,1	—
77	60	1550	613	56	49,8	1	10,1	112	60	144	958	49	37,5	0,9	—
78	62	2022	221	0	52,1	1,8	5,2	113	65	115	847	90	30	0,4	—
79	13	474	223	0	50,7	2,6	6,9	114	5	356	253	33	51,8	1	6,5
80	84	261	1045	76	37	3,8	25,9	115	24	375	338	29	49,8	1,4	10,2
81	18	310	218	0	49,9	0,9	8,9	116	454	348	230	35	51,8	1,2	6,4
82	6	299	219	23	48,2	0	14,1	117	289	490	228	0	52,4	1,4	5,2
83	0	422	247	42	44,3	0	24	118	105	573	226	0	51,8	1,6	6
84	0	4637	231	0	26,9	10,4	30,2	119	40	107	1002	74	36,2	0,6	34,9
85	28	501	250	6	49,5	1,4	10,1	120	11	265	307	137	53,3	0	—
86	5	1258	229	21	52,6	0,8	5,3	121	17	444	405	30	49,1	1	—
87	26	570	227	0	53,2	0,6	4,4	122	0	231	263	86	51,7	1,1	—
88	2	2467	229	0	52,1	1,2	5,8	123	0	334	248	41	50,8	0,7	—
89	29	1296	217	0	53,5	1,2	3,3	124	0	269	247	42	52,7	0,4	—
90	10	1092	194	18	53,2	1,6	3,4	125	0	375	246	28	50	0,7	—
91	0	1247	183	10	52,1	0,2	6,9	126	15	320	242	55	52,2	0,7	—
92	28	400	428	626	48,7	1,6	11,5	127	9	144	290	1	50	1,1	—
93	13	281	291	61	53,5	0,6	3,9	128	20	182	583	21	49,1	0,3	—
94	14	285	249	40	53,2	1	5	129	62	79	946	322	45,7	0,5	—
95	175	388	218	0	43,2	0	38,8	130	63	153	1516	104	44,7	0,4	—
96	87	390	225	0	49,4	0	36,4	131	57	135	1500	51	43	1,2	—
97	32	236	238	0	48,8	0	30,8	132	33	235	1284	123	43,5	0,8	—
98	12	234	224	0	48,8	0	28,7	133	3	275	257	47	53,2	0,9	—
99	20	253	218	0	54,3	0	—	134	23	333	548	78	47,1	1,4	—
100	6	351	228	0	52,1	1,1	—	135	0	221	222	0	53,9	0,5	—
101	0	290	221	0	53,8	0,3	3,6	136	24	385	478	32	51,3	1,1	—
								137	0	503	253	14	53,2	0,7	—

— Población B: Se trata de micritas recristalizadas y afectadas por procesos postdeposicionales, en las que se pueden diferenciar dos subpoblaciones, la B<sub>1</sub> más fosilífera y la B<sub>2</sub>, en la que predominan micritas grumelares y facies más diagenetizadas.

— Población C: Constituida por carbonatos arenosos, frecuentemente edafizados, de la U.T.S.-3.

— Población D: Formada por costras de la U.T.S.-3.

— Población E: Corresponde a muestras pertenecientes a la U.T.S.-3, en la zona de Valdeganga, que constituyen un tránsito entre las poblaciones A y B.

En consecuencia, a partir del contenido en Sr y OCa, es posible diferenciar con claridad las facies que pertenecen a la U. Carboneras y dentro de la U.T.S.-3, las facies más detríticas. Se puede

considerar al Sr como un buen indicador de las condiciones del medio en la U. Carboneras.

La relación OCa/Sr tiene un significado similar al índice 10<sup>3</sup> Sr/Ca (AUERNHEIMER, 1983), encontrando que los valores de la distribución del Sr son sensiblemente paralelos a la energía del medio.

La correlación Ba/Sr es positiva para la U. Carboneras (0,286), mientras que para el resto no se observa ningún tipo de correlación; además, dada la disposición existente (fig. 3) parece que el Ba no está ligado a la litología y las fluctuaciones observadas no resultan significativas.

La correlación Mn/Fe es positiva y elevada en la U.T.S.-2 (0,77), disminuyendo notablemente en la U.T.S.-3 (0,3184) y en la U. Carboneras (0,215), observándose una gran concentración de valores en torno a 0-50 p.p.m. de Mn y 200-300 p.p.m. de Fe, lo cual puede atribuirse a que el Mn está ligado a las condiciones de óxido-reducción del medio, para las facies químicas, pues las facies

aumenta a 0,6453, indicando una clara correlación entre Fe y R.I., es decir una interrelación aportes detríticos-contenido en Fe, que demuestra cómo el contenido en Fe es función de los aportes continentales.

La correlación OCa/Fe es negativa para las tres unidades: U. Carboneras (—0,4866), U.T.S.-2 (—0,6814) y U.T.S.-3 (—0,6969), lo cual confirma que el aumento en la proporción de Fe está ligado a los aportes continentales y en consecuencia, a una disminución de la sedimentación química. Esto da lugar a que las facies detríticas de la U.T.S.-3 aparezcan claramente separadas del resto, con gran dispersión, lo cual es función de la mayor o menor proximidad a los bordes y en definitiva a las zonas de aporte.

4. TENDENCIAS EN LA VERTICAL

El análisis de los valores medios y de la desviación standar, obtenidos en cada unidad, nos permite obtener una idea de la tendencia principal del medio de sedimentación durante el relleno de la cuenca, es decir, una evolución en vertical. Los valores medios (m) obtenidos para cada unidad, así como la desviación standar (s) se indican en la tabla V.

La variación de la media (m) en el caso del Ba es muy reducida, por lo que no se considera significativa. En el Sr se observa una clara disminución al rellenarse la cuenca, con un valor muy elevado para la U. Carboneras. En el Fe y Mn, la evolución es de tendencia positiva, aunque en rangos muy diferentes, observándose aumento según se rellena la cuenca. Mientras el Mn lo hace de forma progresiva, el Fe aumenta bruscamente entre U.T.S.-2 y U.T.S.-3. Finalmente, tanto el OCa como el OMg, presentan pequeñas variaciones, siendo en este último los porcentajes muy pequeños, por lo que no se consideran significativas.

Los valores de la desviación standar (s) son importantes, pues suponen una medida de la separación del valor medio y en consecuencia, pueden utilizarse como control de las fluctuaciones acaecidas en el medio. Se observa una tónica general a que estas desviaciones son mucho más acusadas para todos los elementos en la U.T.S.-3, lo que sugiere una mayor diversificación y varia-

**TABLA IV**  
**Coefficientes de correlación (r)**

	Sr	Fe	Mn	Oca	OMg	R. I.
Ba	0,286 0,0526 -0,0148	-0,1501 0,123 0,2476	-0,1116 0,1182 0,0286	-0,0172 -0,1662 -0,3242	-0,0973 0,0825 0,3872	- 0,0783 0,222
Sr	-	-0,2098 0,1615 -0,1958	-0,204 0,1593 -0,1559	-0,5817 -0,2804 -0,0221	-0,5845 -0,0372 0,3917	- 0,1284 -0,213
Fe	-	-	0,215 0,77 0,3184	-0,4866 -0,6814 -0,6969	0,2133 0,5018 0,3848	- 0,3313 0,645
Mn	-	-	-	0,1333 -0,4704 -0,2632	0,0144 0,1993 0,0607	- 0,3004 0,176
Oca	-	-	-	-	-0,9044 -0,5712 -0,5674	- -0,481 -0,8768
OMg	-	-	-	-	-	- 0,004 0,2384

0,286 = U. Carboneras.  
0,0526 = U.T.S.-2.  
-0,0148 = U.T.S.-3.

más detríticas presentan una clara diferenciación, como consecuencia de la elevación del contenido en Fe. Esa concentración de valores sugiere que la concentración de Mn no está afectada por procesos postdeposicionales.

La correlación Fe/R.I. en la U.T.S.-2 presenta un valor positivo de 0,0331, mientras en la U.T.S.-3



**TABLA V**

**Valores de la media (m) y desviación standar (s) en las tres unidades**

	U. Carboneras		U.T.S.-2		U.T.S.-3	
	Media (m)	Desviación (s)	Media (m)	Desviación (s)	Media (m)	Desviación (s)
Ba (p.p.m.)	49,4	88,1	39,8	62,2	51,3	99,7
Sr (p.p.m.)	1890,9	836,3	550,9	331,7	475,7	653,5
Fe (p.p.m.)	268,7	63,7	282	143,8	566	551
Mn (p.p.m.)	18,9	28,5	23,3	43	54,8	94,2
OCa (%)	49,9	3,5	50,7	3,4	45,7	9,3
OMg (%)	1,1	2,2	1	0,9	1,4	2

ción de los medios de depósito, que concuerda con los datos estratigráficos y petrográficos (SANTOS, 1983, 1984, 1985 y 1987).

**5. TENDENCIAS EN LA HORIZONTAL**

Con el fin de poder visualizar las principales variaciones en la horizontal, producidas durante la sedimentación se ha realizado el estudio de la distribución de los valores medios de cada elemento, en las diferentes series analizadas, para las dos unidades superiores (U.T.S.-2 y U.T.S.-3), ya que la U. Carboneras, al presentar un afloramiento muy reducido, sus variaciones en horizontal no resultan significativas.

Los valores medios de cada serie se indican en la tabla VI, cuya visualización corresponde a la figura 4, aunque en ella no se representa la totalidad de las columnas estudiadas, ya que al corresponder a una sección aproximada E-O, quedan tres columnas ocultas (FU, CV' y VV) que se han obviado para no complicar la representación.

En una primera aproximación, es evidente que la U.T.S.-2 es geoquímicamente mucho más uniforme (figura 4A), con variaciones graduales, mientras que la U.T.S.-3 muestra mayor cantidad de anomalías (fig. 4B).

La U.T.S.-2 presenta poca variación geoquímica de un extremo a otro de la cuenca, señalando el área de Valdeganga (V) como área de transición de estos cambios, lo cual sugiere durante la sedimentación de la unidad se pueden diferenciar geoquímicamente dos zonas. La zona al E de Valdeganga (V) corresponde a una sedimenta-

**TABLA VI**  
**Valores medios en cada columna**

	Sr	Ba	Mn	Fe	OCa	R. I.
GT	970,6 365,3	48,2 28	73,4 203	329 931	48,6 39,7	12,3 24,7
CV	-	-	-	-	-	-
YER	2490,6	6	10,8	229	37,1	22,9
V	648,7 1103,8	73,6 16	7,7 85,1	253,4 244	49,9 51,9	16,8 9,3
J	458,7 326,8	20,5 101,8	3 20,8	231,6 600	52,5 45,4	5,4 25,4
A	501,5 428,4	33,4 175,4	- 19,4	229,5 259	51,9 51,4	6,2 8,9
PB	409,5 107	46,7 40	10 74	250,1 1002	53 36,1	3,7 34,9
FU	420,8 193	12,6 26,2	83,3 22,9	368,8 679,7	51,2 46,7	- -
CV'	-	-	-	-	-	-
VV	240,4	26,7	72,1	716	48,6	-
	319,7	6,1	59,8	279,7	51,4	-

970,6 = U.T.S.-2.  
365,3 = U.T.S.-3.

ción más química, prácticamente sin aportes continentales como denotan los reducidos valores del R.I. y del Fe, con predominio de condiciones reductoras en el medio. Por el contrario, la zona occidental indica cierta contaminación de aportes continentales, ligera reducción en el porcentaje de OCa y condiciones más oxidantes del medio, en términos relativos. Estas variaciones pueden atribuirse a la situación de facies en el modelo clásico de carbonatos lacustres.

Los valores medios en la U.T.S.-3 aparecen reflejados en la figura 4B, observándose una clara discontinuidad que afecta a la zona limitada por las columnas CV y V, lo cual era predecible al

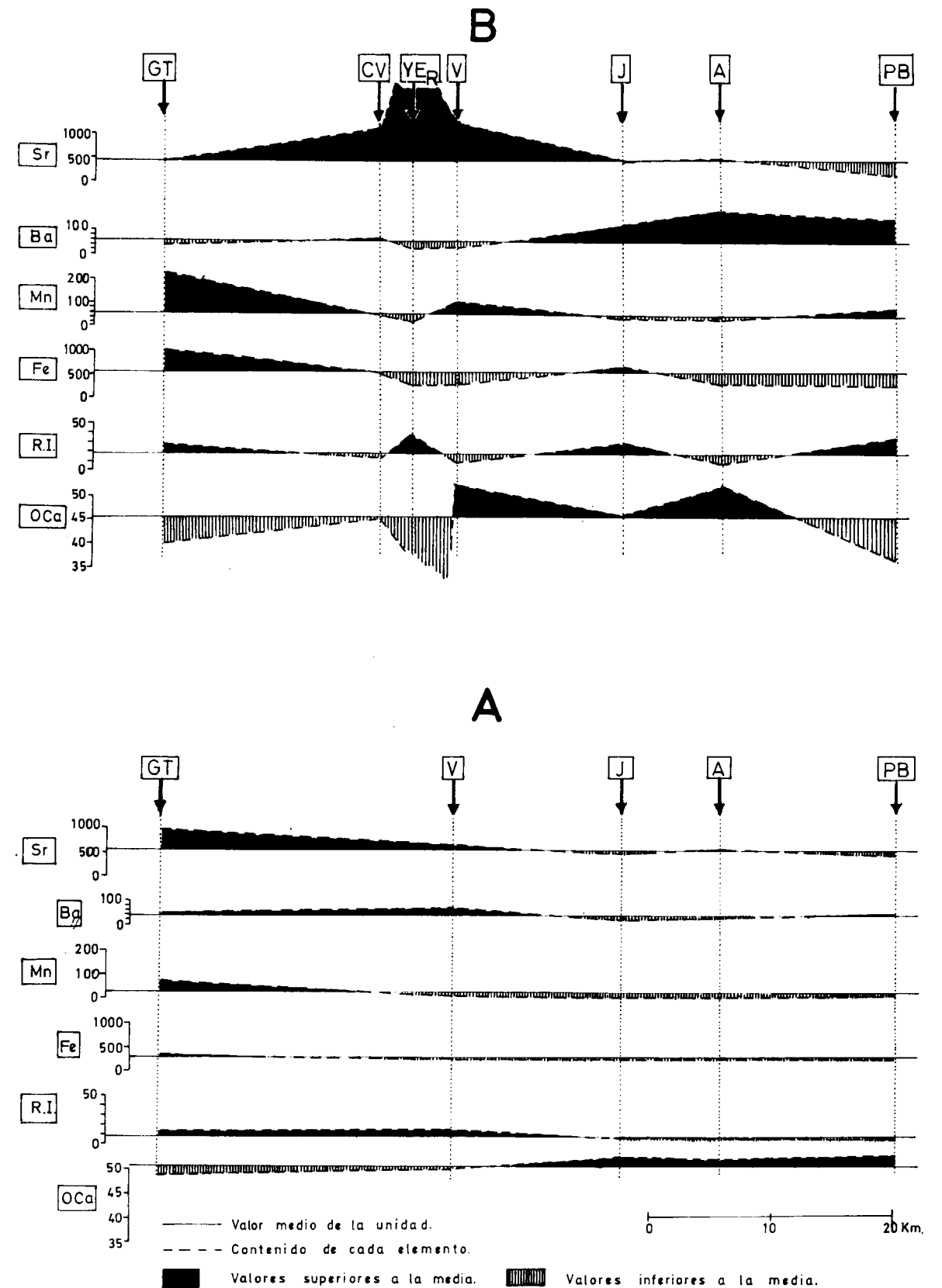


Figura 4.—Evolución de los valores medios. A.—U.T.S.-2 y B.—U.T.S.-3.

corresponder a facies yesíferas relacionadas con niveles arcillosos y dolomíticos.

Durante la sedimentación de la U.T.S.-3 pueden diferenciarse tres zonas (fig. 4B):

- La situación al E de la cuenca, donde todavía permanecen condiciones similares a las de la U.T.S.-2, con predominio de la sedimentación química, aportes continentales casi nulos y condiciones reductoras en el medio. No obstante, se aprecian algunas anomalías como la observada en Jorquera (J), que corresponde a una entrada de detríticos procedentes del borde N que dan lugar a un aumento en los contenidos de Fe y R.I., disminuyendo el % de OCa.
- Zona próxima a los Yesares (YER), cuya influencia afecta a la columna CV y se extiende hasta cerca de Valdeganga (V), dando un medio de características muy peculiares (SANTOS, 1984).
- Zona oeste de la cuenca, en la que son muy marcados los aportes continentales, las condiciones oxidantes del medio y la disminución de la sedimentación química.

Estas tres zonas dan una configuración a la cuenca bastante diferente de la que existía durante la deposición de la U.T.S.-2.

## 6. CONSIDERACIONES FINALES

El estudio de las variaciones en el contenido de los elementos, así como sus tendencias verticales y horizontales y la correlación entre pares de elementos, permite hacer las siguientes consideraciones:

Los parámetros estudiados se revelan como buenos indicadores para poder determinar las condiciones físico-químicas del medio, así como los procesos postdeposicionales a que han estado sometidos.

Del conjunto de parámetros analizados y teniendo en cuenta los datos petrográficos y sedimentológicos de las series estudiadas, se puede afirmar que:

- \* La naturaleza mineralógica de los carbonatos es bastante constante en la U. Carboneras y U.T.S.-2, mientras que en la U.T.S.-3 se obser-

van frecuentes variaciones que son debidas, fundamentalmente, a contaminación por aportes continentales y a una mayor diversificación de los ambientes de depósito.

- \* La temperatura se puede considerar que no influye de manera decisiva, en la incorporación de los distintos elementos a las facies carbonatadas, ya que permanece prácticamente constante durante toda la sedimentación.
- \* El factor biológico, a excepción de determinados niveles de la U. Carboneras y U.T.S.-2, no se revela como decisivo para explicar las diferencias de concentración.
- \* Los aportes continentales resultan de gran importancia para explicar la incorporación de algunos elementos.
- \* En ocasiones hay que recurrir a procesos diagenéticos para poder explicar valores anómalos.

Los diferentes elementos juegan un papel distinto para caracterizar el medio de sedimentación y sus influencias externas:

— Estroncio (Sr): Se comporta de forma similar al OCa y está estrechamente relacionado con las facies carbonáticas.

En la U. Carboneras, las variaciones en la proporción de Sr dependen, fundamentalmente, de la naturaleza mineralógica del mineral primario. En la U.T.S.-2 y U.T.S.-3 son frecuentes los casos en que se produce un empobrecimiento anómalo que puede atribuirse a la presencia de calcita esparítica secundaria.

Es decir, este elemento es un buen indicador de las condiciones del medio de sedimentación, aunque en ocasiones, los valores originales pueden aparecer modificados por procesos postdeposicionales.

— Hierro (Fe): Se correlaciona positivamente con el R.I., mientras que su correlación con el OCa es altamente negativa, lo cual, expresa de manera inequívoca la importancia de los aportes continentales en la concentración de este elemento.

Es decir, puede utilizarse como un buen indicador de las condiciones de alteración sobre el continente y de la naturaleza de los aportes.

— Manganeso (Mn): Se comporta de manera próxima al Fe, lo cual en principio, permitiría suponer que depende de los aportes continentales, pero esto es cierto sólo en parte y para la U.T.S.-3, pues en las otras dos unidades los contenidos en Fe y Mn son reducidos y la proporción de Mn puede explicarse por coprecipitación con la calcita, que daría valores entre 1 y 55 ppm., acordes con los datos obtenidos ( $m = 18,9$  en la U. Carboneras y  $m = 23,3$  en la U.T.S.-2). Es decir, puede utilizarse como indicador de las condiciones de óxido-reducción.

El Ba no resulta significativo, al no haberse apreciado ningún tipo de relación con otros elementos, o respecto a determinados procesos.

Del estudio individual de las series, se puede extraer como consecuencia la utilidad de la geoquímica como criterio para caracterizar rupturas sedimentarias, ya que se ha determinado la existencia de saltos bruscos en la concentración de algunos elementos (fundamentalmente Fe y Sr), a uno y otro lado de la ruptura entre U.T.S.-2 y U.T.S.-3, lo cual en ocasiones, era fácilmente predecible a partir de otros criterios (sedimentológicos, petrográficos, etc.), pero otras veces, resultaba prácticamente imposible de caracterizar la existencia de ruptura, dada la gran semejanza de facies. Es en estas ocasiones, cuando se revela de gran utilidad la geoquímica.

Mediante el estudio de conjunto, se ha caracterizado geoquímicamente las tres unidades consideradas en este trabajo, obteniendo los valores de las medidas ( $m$ ) y desviaciones estándar ( $s$ ), para cada elemento, cuyas variaciones permiten deducir la evolución vertical de las condiciones de sedimentación desde un ambiente lacustre estable (U. Carboneras), a otro en el que se observan fluctuaciones de poca entidad (U.T.S.-2), para terminar en un medio con aportes continentales importantes, donde los ambientes lacustre y palustre quedan restringidos a pequeñas áreas a nivel cuencal (U.T.S.-3).

## 7. CONCLUSIONES

El estudio geoquímico ha contribuido a conocer mejor los mecanismos de precipitación y las condiciones físico-químicas del medio de sedimentación, así como los procesos que han afectado a las rocas carbonáticas de la cuenca del Júcar.

Las principales conclusiones obtenidas pueden resumirse en los cinco puntos siguientes:

- Se ha señalado la importancia de la naturaleza mineralógica de los precipitados, así como de los aportes continentales, en la distribución geoquímica de algunos elementos, a la vez que se indica la influencia de los procesos diagenéticos, para interpretar algunas anomalías.
- El estroncio (Sr) resulta un buen indicador de las condiciones del medio de sedimentación, mientras que el hierro (Fe) se revela como indicador de las condiciones de alteración sobre el continente y de la naturaleza de los aportes, y el manganeso (Mn), puede utilizarse como indicador de las condiciones de óxido-reducción.
- La geoquímica resulta de gran utilidad para la caracterización de rupturas sedimentarias, cuando se carece de otros criterios, por lo que se revela como una herramienta de gran interés para la determinación de discontinuidades, en aquellos casos que otros criterios no son aplicables.
- En la evolución del relleno de la cuenca, se observa tendencia general al aumento de los aportes continentales y en consecuencia al predominio de facies detríticas, en detrimento de las facies químicas.
- Se han diferenciado geoquímicamente una serie de zonas que permite establecer un esbozo paleogeográfico.

## REFERENCIAS

- AL-HASHIMI, W. S. (1976): *Significance of strontium distribution in some carbonate rocks in the Carboniferous of Northumberland, England*. Jour. Sed. Petrol., 46, pp. 369-376.
- AUERNHEIMER, C. (1983): *El estroncio como indicador de paleoambientes sedimentarios*. Mediterranea. Serv. Geol. núm. 1, pp. 3-30.
- AWASTHI, N. (1970): *Some aspects of the Krol Formation of the Himalaya, India*. Contr. Mineralogy and Petrology, vol. 28, pp. 192-220.
- BATHURST, R. G. C. (1971): *Carbonate sediments and their diagenesis*. In Developments in Sedimentology, núm. 12. Elsevier. Amsterdam.

BENCINI, A. y TURI, A. (1974): *Mn distribution in the Mesozoic carbonate rocks from Lima Valley Northern Apennines*. Jour. Sed. Petrol., 44(3), pp. 774-782.

BIENNER, F. B.; DE JERKOWSKY; PELET, R., y TISSOT, B. (1968): *Abondance et repartition de certains elements and les formations sedimentaires du Bassin de Paris*. In Origin and distribution of the elements. Ahrens, L. H. edit. Pergamon Press. Oxford, pp. 1039-1063.

BRANDLE, J. L., y CERQUEIRA, M. I. (1972): *Determinación de elementos menores en rocas silicatadas por fluorescencia de rayos X*. Estudios Geológicos, 28, pp. 445-451.

BRAVO, J. I. (1990): *Estudio de los contenidos de estroncio en las rocas carbonatadas del Cretácico inferior del noroeste de Cantabria (España)*. Geogaceta, núm. 7, pp. 49-51.

BUSTILLO, M., y FORT, R. (1986): *Evolución geoquímica del estroncio en los procesos de dolomitización: Aplicación a las dolomías del Cretácico inferior de la zona oeste de Cantabria*. Bol. Geol. y Minero, 97(5), pp. 662-671.

BUSTILLO, M., y FORT, R. (1990): *Los carbonatos marinos aptienses del anticlinal de Santillana del Mar, Cantabria: Procesos diagenéticos y su relación con los contenidos de Sr, Fe y Mn*. Estudios Geológicos, 46(1-2), pp. 57-64.

CHAVE, K. E. (1954): *Aspect of the biogeochemistry of magnesium. 1.—Calcareous marine organisms*. Jour. Geol., vol. 62, pp. 266-283.

CHAVE, K. E. (1954): *Aspect of the biochemistry of magnesium. 2.—Calcareous sediments and rocks*. Jour. Geol., vol. 62, pp. 587-589.

FRIEDMAN, G. H. (1969): *Trace elements as possible environmental indicators in carbonate sediments. Depositional environments in carbonate rocks*. Soc. Econom. Paleont. Mineral. Sp. Publ. 14, pp. 193-198.

GRAF, D. L. (1960): *Geochemistry of carbonate sediments and sedimentary carbonate rocks*. Illinois State Geol. Surv. Circs. núms. 297, 298, 301 y 308, 250 pp.

KINSMAN, D. J. J. (1969): *Interpretation of Sr<sup>+2</sup> concentrations in carbonate minerals and rocks*. Jour. Sed. Petrol., vol. 39(2), pp. 486-508.

KINSMAN, D. J. J. (1969): *Aragonite formation by marine bacteria*. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol., 47, pp. 358.

KINSMAN, D. J. J., y HOLLAND, M. D. (1969): *The co-precipitation of cations with CaCO<sub>3</sub>. 4.—The co-precipitation of Sr<sup>+2</sup> with aragonite between 16-96 °C*. Geochim. Cosmochim. Acta, 33, pp. 1-18.

KRETZ, R. (1982): *A model for the distribution of trace elements between calcite and dolomite*. Geochim. Cosmochim. Acta, 46, pp. 1979-1981.

LANDL, S.; SALEM, M. R., y MORROW, D. W. (1975): *Paleo-hidrology of ancient dolomites: geochemical evidences*. Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 59, pp. 1602-1625.

LLAVADOR, F.; PINA, J. A., y AUERNHEIMER, C. (1983): *Discriminación geoquímica de algunas facies del Cretácico (Albense) en el sector oriental de la zona Prebética (pro-*

*vincia de Alicante)*. Mediterranea, Ser. Geol., núm. 1, pp. 31-69.

MICHARD, G. (1968): *Co-precipitation de l'ion manganoux avec le carbonate de calcium*. C. R. Acad. Sci. Paris., núm. 267, pp. 1685-1688.

MICHARD, G. (1969): *Contribution a l'etude du comportement du manganese dans la sedimentation*. These Univ. Paris.

MICHARD, G. (1971): *Contribution a l'etude de l'entraine-ment des elements traces dans la calcite lors de sa precipitation. Exemple des concentrations de la fontaine de Reotier (Haute Alpes. France)*. Chem. Geol., 8, pp. 311-327.

MULLER, G.; IRION, G., y FORSTNER, U. (1972): *Formation and diagenesis of inorganic Ca-Mg carbonates in the lacustrine environment*. Naturwissenschaften, vol. 59, pp. 158-164.

PINGITORE, N. E. (1978): *The behavior of Zn<sup>+2</sup> and Mn<sup>+2</sup> during carbonate diagenesis: theory and applications*. Jour. Sed. Petrol., 48, pp. 799-814.

POMEROL, B. (1975): *Utilisation des elements traces comme indicateurs des conditions de sedimentation et de diagenese des carbonates. Exemple du Cretace superieur de Haute-Normandie*. IX Congr. Intern. Sediment. Nice. Teme 1, pp. 169-175.

PRASADA, C., y NAQVI, I. H. (1977): *Petrography, geochemistry and factor analysis of a lower Ordovician subsurface, Tasmania, Australia*. Jour. Sed. Petr., 47, pp. 1036-1055.

RENARD, M. (1972): *Interpretation des teneurs en strontium des carbonates du Lutetien superieur a Saint-Vaast-les-Mello (Oise)*. Bull. Inf. Geol. Bass. Paris, núm. 34, pp. 19-29.

RENARD, M. (1975): *Etude geochemique de la fraction carbonatee d'un facies de bordure de depot gypseux (exemple du gypse ludien du bassin de Paris)*. Sedimentary Geology., 13, pp. 191-231.

SANTOS, J. A. (1980): *Contribución al conocimiento lito-estratigráfico y sedimentológico de la cuenca del Júcar (Albacete)*. IX Congr. Nac. Sediment. Resúmenes pp. 47-49. Actas Salmanticensia. Ciencias 50, vol. I, pp. 133-152 (1986).

SANTOS, J. A. (1983): *Estudio geoquímico y sedimentológico del Terciario continental de la cuenca del Júcar (provincia de Albacete)*. Tesis Doct. Univ. Complut. Madrid. 520 pp.

SANTOS, J. A. (1984): *Interpretación de un episodio evaporítico en Valdeganga (provincia de Albacete)*. I Congr. Esp. Geol. Segovia. Tomo I, pp. 247-258.

SANTOS, J. A. (1984): *Síntesis litoestratigráfica de la cuenca del Júcar, a partir del análisis tectosedimentario*. Bol. Geol. y Minero. 95(5), pp. 429-439.

SANTOS, J. A. (1985): *Contribución al estudio de las calizas continentales; las rocas carbonáticas de la cuenca del Júcar*. Rev. Mat. Proc. Geol., vol. III, pp. 107-124.

SANTOS, J. A. (1987): *Estudio de rocas detríticas en la U.T.S.-3 del Terciario continental de la cuenca del Júcar*

(provincia de Albacete). Estudios Geológicos, 43(3-4), pp. 185-195.

VEIZER, J.; DEMOVIC, R., y TURIAN, J. (1971): *Possible use of strontium in sedimentary carbonate rocks as a paleoenvironmental indicator*. Sedimentary Geology., 5, pp. 5-22.

VEIZER, J., y DEMOVIC, R. (1973): *Environmental and climatic controlled fractionation of elements in the Mesozoic carbonate sequences of the western carpathians*. Jour. Sed. Petrol., 43, pp. 258-271.

VEIZER, J., y DEMOVIC, R. (1974): *Strontium as a tool in facies analysis*. Jour. Sed. Petrol., 44, pp. 93-115.

WINLAND, H. D. (1969): *Stability of calcium carbonate polymorphs in sea water*. Jour. Sed. Petr., 39(4), pp. 1579-1587.

WOLF, K. H.; CHILLINGAR, G. V., y BEALES, F. W. (1967): *Elemental composition of carbonate skeletons, minerals and sediments*. In Carbonate Rocks. G. V. Chillingar; H. J. Bissel and R. W. Fairbridge edit. Elsevier. Amsterdam, pp. 23-50.

Original recibido: Febrero de 1992.

Original aceptado: Septiembre de 1992.

## INGENIERIA GEOAMBIENTAL

## La Ingeniería Geológica, Tecnología de la Tierra

Por F. J. AYALA CARCEDO (\*)

## RESUMEN

En este artículo, se analizan los fundamentos de esta rama de la Ingeniería, estableciendo con claridad su delimitación respecto a la Geología del Ingeniero (Engineering Geology), con la cual suele confundirse a veces. Se analizan sus cinco ramas: la Ingeniería de Prospección Minera, la Ingeniería Hidrogeológica y Geotérmica, la Ingeniería Geotécnica, la Ingeniería Geoambiental y la Ingeniería Geológica Marina. También se analizan los contenidos de las Tecnologías del Terreno y la Cartografía Geotecnológica, y se subraya la necesidad de colaboración sinérgica de los ingenieros geólogos con los geólogos e ingenieros convencionales.

**Palabras clave:** Ingeniería Geológica, Prospección Minera, Ingeniería Hidrogeológica, Ingeniería Geotérmica, Ingeniería Geotécnica, Ingeniería Geoambiental, Ingeniería Geológica Marina, Tecnología del Terreno, Cartografía Geotecnológica, Geología del Ingeniero, Geología Ambiental, Geotecnia, Enseñanza de la Ingeniería Geológica, Ingeniería del Terreno.

## ABSTRACT

In this paper are analyzed the principles of this branch of Engineering, Geological Engineering, clearly establishing its contents as regards to Engineering Geology, a branch of Applied Science. The five branches of Geological Engineering are analyzed: Mining Prospection Engineering, Hydrogeological and Geothermal Engineering, Geotechnical Engineering, Geoenvironmental Engineering and Marine Geological Engineering. Also are analyzed the Ground Technologies and the Geotechnological Mapping and it is emphasized the need of a good cooperation between geological engineers, geologists and other kinds of engineers.

**Key words:** Geological Engineering, Mining Prospecting, Hydrogeological Engineering, Geothermal Engineering, Geotechnical Engineering, Geoenvironmental Engineering, Marine Geological Engineering, Ground Technologies, Geotechnological Mapping, Engineering Geology, Environmental Geology, Geotechnics, Teaching of Geological Engineering, Ground Engineering.

## INTRODUCCION

En los últimos años, se ha observado en nuestro país un creciente interés por la Ingeniería Geológica. La introducción académica del término Ingeniería Geológica, con un contenido próximo al de la Geología Aplicada a la Ingeniería (Engineering Geology), se realizó en la Facultad de Ciencias Geológicas de Madrid en la segunda mitad de los 70. La Escuela de Ingenieros de Minas de Madrid en los 80 constituyó el Departamento de Ingeniería Geológica con contenidos globales; en 1989, en Cataluña, comenzaron a impartirse las enseñanzas de Ingeniería Geológica por la U. Politécnica de Cataluña (E.T.S. de I. de

Caminos) y la de Barcelona como título reconocido a nivel regional como Graduado Superior en Ingeniería Geológica con cinco años y contenidos fundamentalmente Geotécnicos, Hidrogeológicos y de Prospección Minera; en 1990, en Madrid, la Universidad Complutense ha organizado un Master de Ingeniería Geológica en línea del anterior Curso y la Universidad Politécnica otro de Ingeniería Geológica (Geotécnica y de Riesgos Naturales) y Ambiental. En 1991, se celebró en España la I Bienal Española de Ingeniería Geológica y Minera, y en 1993 está prevista una Conferencia Internacional de Ingeniería Geológica y Minera. En las Escuelas de Ingeniería de Caminos españolas, se han estructurado Departamentos de Ingeniería del Terreno, con una concepción próxima a la de Cataluña, y en la Univer-

sidad de Cantabria, otro de Ciencias e Ingeniería de la Tierra. A nivel internacional, hay estudios a nivel de Master y Doctorado en «Geological Engineering» en diversas instituciones norteamericanas, entre ellas la Colorado School of Mines, la Universidad de Arizona y la South Dakota School of Mines; en Bélgica el Earth Technology Institute de la Universidad Libre de Bruselas, imparte también enseñanzas en estas materias. Existe también una revista internacional sobre el tema: *Geological Engineering*. En diversos países de Iberoamérica existen asimismo estudios de Ingeniería Geológica. El interés por el tema proviene, pues, tanto de la Ingeniería como de la Geología, y tiene su origen en la existencia de necesidades sociales y profesionales. Sin embargo, la caracterización de la naturaleza, contenidos y funciones de esta disciplina es significativamente diferente según los casos, por lo que resulta necesario clarificar este problema desde la Filosofía, la Historia y la Sociología de la Ciencia y de la Técnica, sobre bases racionales procedentes de la propia naturaleza de la Ciencia y la Ingeniería y la propia estructura del saber geológico.

Es necesario sin embargo, antes de proceder al análisis del problema, dejar sentada una tesis básica: *la Ingeniería Geológica es una rama de la Ingeniería y no de las Ciencias Geológicas. Ello es así por la misma razón que la Geología no es una rama de la Ingeniería sino una rama de la Ciencia*, aunque al igual que otras ciencias debe mucho en su desarrollo inicial a la labor de los ingenieros, especialmente en el XIX. El sustantivo ingeniería es el que le confiere su carta de naturaleza como saber tecnológico; el adjetivo, geológica, es el que define su campo. Ni la Ingeniería es la Ciencia ni la Ciencia es la Ingeniería: son realidades complementarias del campo del saber, una orientada al saber por el saber, otra al saber hacer. Como diría el conocido filósofo de la Ciencia y la Tecnología MARIO BUNGE (1985), la Ciencia es «un campo de investigación» mientras que la Tecnología es, además, un campo de «diseño y planeación». Para HULL (1959), la Ciencia «descubre», la Ingeniería «crea»; KRICK (1975), pone el acento en el papel de la Ingeniería como mediadora entre Ciencia y Sociedad y en la selección óptima entre diversas soluciones técnicas a los problemas.

El autor, ha analizado la caracterización de la Tecnología, la Ciencia y la Ciencia Aplicada re-

cientemente (AYALA, 1991). La *Ciencia Básica*, es un «saber racional generado de acuerdo con el método científico, orientado al conocimiento de la realidad por sí mismo». Las *Ciencias de la Tecnología o Aplicadas* son un «saber-frontera entre la Ciencia y la Tecnología, estructurado científicamente en torno a problemas tecnológicos». *La Tecnología*, es un «saber hacer racional científicamente fundado, orientado a la transformación óptima de la realidad en contextos con algún nivel de incertidumbre y riesgo mediante la combinación de conocimientos y sistemas científicos y tecnológicos en forma de diseños, innovaciones, proyectos, estudios, planes y sistemas».

*La práctica totalidad de los malentendidos e inexactitudes que existen en este campo, proceden de la confusión entre Ciencia Aplicada y Tecnología.*

Aunque la introducción de los términos Ingeniería Geológica y Geotecnología data de las últimas dos décadas, no debe pensarse por ello que las actividades que comprenda sean recientes. JIMENEZ SALAS (1990), ha puesto de relieve claramente cómo la Ingeniería ha precedido a la propia Geología en el campo de la Ingeniería Geotécnica. Otro tanto sucedía con la Ingeniería de Prospección Minera como ponen de relieve los trabajos de los ingenieros de minas del XIX y buena parte del XX (¿Hubiera sido posible si no la explotación de las cuencas carboníferas, de Riotinto, de Almadén, de Bilbao o de Linares-La Carolina? Vid. GARCIA-LOYGORRI, 1990, y AYALA, 1991), o con la Ingeniería Hidrogeológica. Simplemente, se hacía Ingeniería Geológica, aunque no se hubiera acuñado el concepto, porque era estrictamente necesaria para que se hicieran obras y se cubicaran yacimientos mineros o se alumbraran aguas subterráneas. Este hecho de que la Tecnología precediera a su propia formulación teórica (Vid. p.e. DE SOLLA PRICE, 1969, o DERRY and WILLIAMS, 1960), es un hecho bien conocido en la Historia de la Tecnología. Todas las ingenierías más antiguas como la Naval, Minera o Civil, se estructuraron formalmente cuando desde hacía miles de años se construían barcos o caminos y se explotaban minas. En definitiva, *la Ingeniería Geológica es la formulación y estructuración teórica rigurosa pero reciente de algo que en gran medida venía ya haciéndose desde hace mucho tiempo.*

(\*) Dr. Ingeniero de Minas (Ingeniería Geológica). Instituto Tecnológico Geominero de España.

## INGENIERIA, CIENCIA BASICA Y CIENCIA APLICADA

Supongamos un problema concreto de la Ingeniería: el diseño de cimentaciones para una planta industrial. Para la resolución de este problema, habrá que: a) definir el Problema; b) analizarlo; c) generar soluciones; d) seleccionar la solución óptima; e) proyectarla; f) dirigir y organizar los medios necesarios. En la etapa de Análisis, será necesario incorporar conocimientos provenientes de la Geología Aplicada a la Ingeniería, la Mecánica de Terrenos (Suelos y Rocas) y la Ingeniería Estructural. En esta etapa, deben por tanto incorporarse aportaciones de al menos dos Ciencias Aplicadas y una Ingeniería; posteriormente, será necesario, a la hora de seleccionar soluciones, aplicar criterios de Inge-

### OPERACIONES DE INGENIERIA

Diseño y Proyección Técnicos  
Planificación, Dirección y Gestión Técnicas  
Evaluación Técnico-Económica  
Estudios Técnicos  
Investigación y Desarrollo Tecnológicos  
Caracterización Tecnológica  
Modelización Tecnológica

nería de Construcción y Económicos; a la de diseñar, organizar y realizar, la Ingeniería de Organización y la de Seguridad e Higiene. En este proceso, la Geología Aplicada deberá definir el Modelo Geológico del subsuelo que debe soportar las cargas, aplicando la Geología Básica al emplazamiento concreto. Sobre este modelo, se definirá el Modelo Geomecánico aplicando la Mecánica de Terrenos, que precisará resistencias y deformaciones potenciales, y sobre éste los diseños posibles atendiendo a las cargas presentes (cimentaciones superficiales o profundas concretas), que serán seleccionadas, diseñadas y realizadas de acuerdo con condiciones constructivas, organizativas y económicas.

En este proceso, las Ciencias Aplicadas intervienen hasta la fase de Análisis; la Ingeniería Geo-

mecánica o Geotécnica, una de las ramas de la Ingeniería Geológica, llegaría hasta la etapa final.

Las Ciencias Básicas, en este caso las Geológicas, son el punto de partida necesario, con su conjunto de conocimientos de carácter general. Estos conocimientos generales, deben sin embargo aplicarse al caso concreto cuya resolución es el objetivo buscado; ésta es la función de la Geología Aplicada, que explotando el cuerpo de conocimientos geológicos proporcionará al Ingeniero Geólogo el Modelo Geológico Concreto. Sobre esta base, el ingeniero, incorporando aportaciones de otras Ciencias Aplicadas y de la Ingeniería, genera soluciones, las selecciona óptimamente, diseña, proyecta, y las organiza y dirige técnicamente (AYALA, 1991).

Procesos similares se dan en todos los campos de la Ciencia y la Ingeniería, agrupando en la práctica diaria, de forma interdisciplinar, a científicos e ingenieros. A los primeros, les corresponde la elaboración de Modelos Científicos, a los segundos, de Modelos Tecnológicos, Diseños y Proyectos.

En el campo de la Investigación y Desarrollo, la Investigación puede ser científica o tecnológica, el Desarrollo es sin embargo, preponderantemente tecnológico; la Demostración totalmente. Esto es así porque la I+D está orientada a la resolución de problemas socioeconómicos, finalidad de la Tecnología.

En definitiva, la Ciencia Básica se ocupa del conocimiento general; la Aplicada, de la aplicación al caso concreto de este conocimiento general, muy a menudo para generar un modelo científico para el ingeniero, salvo en Ciencias donde no cabe hoy por hoy Ingeniería, como en la Meteorología Predictiva; la Ingeniería, sobre la base anterior, de la resolución óptima de problemas generalmente pluridisciplinarios con incidencia socioeconómica, innovando y proyectando, organizando y realizando técnicamente. La Ciencia Aplicada y la Ingeniería, tienen por objeto conocimientos útiles; la Ciencia Básica, el conocimiento científico de la realidad, al margen de su utilidad. La Ciencia Aplicada, produce estudios para la Ingeniería; la Ingeniería, estudios, proyectos, organizaciones y realidades.

La Ingeniería, puede clasificarse en dos grandes grupos según el tipo de producto que genera: de

Innovación, Diseño y Estudios, y de Producción (AYALA, 1991a). *La Ingeniería Geológica, es básicamente una Ingeniería de Innovación, Diseño y Estudios.*

## LA INGENIERIA GEOLOGICA Y LAS CIENCIAS GEOLOGICAS Y APLICADAS

Como ha constatado el conocido filósofo de la Ciencia HEMPEL (1966), «muchas ramas de la ciencia empírica han sentado las bases para que, asociadas a ellas, surjan tecnologías».

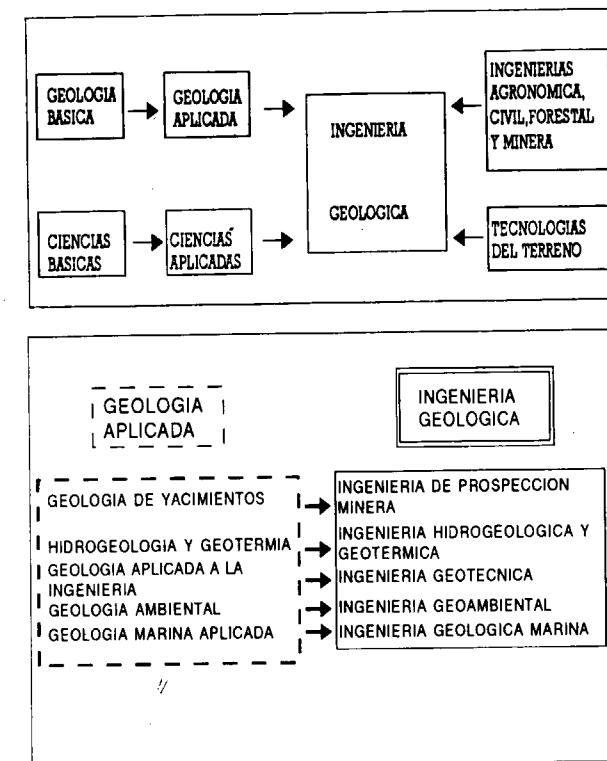


Figura 1.—La Ingeniería Geológica.

*La Ingeniería Geológica, puede por tanto articularse en correspondencia con la Geología Aplicada, tal y como puede verse en la figura 1, en cinco ramas correspondientes a las diversas parcelas de la realidad geológica que interesan a la Sociedad desde un punto de vista utilitario: la Ingeniería de Prospección Minera, la Hidrogeológica y Geotérmica, la Geotécnica, la Geo-*

ambiental y la Geológica Marina. Las dos primeras fueron las más tempranas en desarrollarse (siglo XIX), y las dos últimas son los más recientes.

Una articulación similar se da a partir de otras Ciencias Naturales como la Biología, tal y como sucede con la Fitotecnia y la Zootecnia, esencia de las Ingenierías Forestal y Agronómica, en correspondencia con la Botánica y Zoología Aplicadas.

En España, se aplica a veces el término Ingeniería Geológica con un sentido diferente, correspondiente en cuanto a contenidos y funciones, unas veces a la Geología Aplicada a la Ingeniería o Geología del Ingeniero, otras a la Ingeniería Geotécnica. Un reciente editorial de la revista española *Ingeopress* (sept.-oct. 1992) asimila la Ingeniería Geológica a la Geología del Ingeniero. En este caso se trata de una traducción incorrecta del término «Engineering Geology», cuya traducción correcta es «Geología de la Ingeniería o del Ingeniero» (la «Geologie de l'Ingenieur» francesa o la «Ingenieur-geologie» alemana, término creado por Hochstetter en Austria en 1874) o la «Geología Aplicada a la Ingeniería» española (la traducción correcta al inglés de Ingeniería Geológica es «Geological Engineering»); supone además una confusión de la Ciencia Aplicada con la Ingeniería.

La sustitución del término Ingeniería Geotécnica o Geotecnia, no supone esta confusión, pero tampoco es adecuada ya que la Geotecnia es una parte de la Ingeniería Geológica, que por su calificación, «Geológica», se ocupa necesariamente de toda la realidad geológica.

Resulta interesante constatar la repercusión que a nivel profesional tiene la estructuración académica de la Geología Básica, la Aplicada y la Ingeniería Geológica. De forma necesaria supone la ruptura de las relaciones directas entre el geólogo básico o infraestructural y los ingenieros; el geólogo infraestructural, en cuanto a trabajos ingenieriles, está al servicio del geólogo aplicado, éste del ingeniero geólogo, y éste a su vez del ingeniero tradicional. Para RAHN (1986), un ingeniero geólogo «tiene una formación ingenieril con un énfasis geológico en sus últimos años (upperclass studies)».

Este surgimiento de nuevas profesiones en un mismo campo, es consustancial a la evolución

de la Ciencia y la Ingeniería, y a la de la propia realidad social de las sociedades complejas, como puso de relieve en 1893 el sociólogo francés EMILE DURKHEIM en su conocida obra sobre la División del Trabajo Social. De una parte, esto se ha traducido en la aparición de un nuevo profesional, el geólogo, que ha tomado el relevo de los ingenieros en Geología Básica y en gran medida en la Aplicada. Ello ha conllevado la aparición de una función nueva en este campo, la de coordinación de diversos especialistas con vistas a la resolución de problemas tecnológicos, coordinación que sólo puede hacerse desde la Ingeniería, y que refuerza la necesidad y el papel de ésta, junto a sus propios cometidos.

*Ciencias Geológicas e Ingeniería Geológica se solapan sin embargo en el campo de la Geología Aplicada, tanto en cuanto a Aplicaciones directas de la Geología como en cuanto a la Geología de la Ingeniería en sentido amplio (de Yacimientos, Hidrogeología, etc.), tal y como puede verse en la figura 2.*

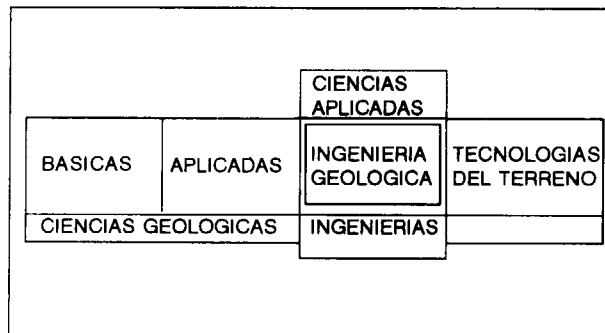


Figura 2.—La Ingeniería Geológica, las Ciencias Aplicadas y la Tecnología.

Ello es así necesariamente por dos razones. La primera es que pertenece a la esencia de la Ingeniería moderna su fundamentación sobre la Ciencia Aplicada o de la Tecnología. Esta necesidad es la que ha dado origen al hecho histórico de que los ingenieros hayan estructurado por necesidad estricta la mayor parte de las Ciencias Aplicadas. Piénsese p.e. en William Smith, que trabajó en minería y canales en el Reino Unido en el XIX y al que tanto debe la Geología Minera del carbón y la propia Estratigrafía (FAUL

y FAUL, 1983), o el papel de los ingenieros de minas alemanes y franceses en el desarrollo de la Metalogenia. La segunda es la complementariedad entre el Geólogo Aplicado, con su punto de vista más orientado desde la Geología Básica, y el del Ingeniero Geólogo, más orientado desde la realidad socioeconómica.

La Ingeniería Geológica no sólo se apoya en la Geología Aplicada, sino en otras Ciencias de la Tecnología: la Mecánica de Terrenos, la Hidráulica, la Termodinámica Aplicada, las Matemáticas Aplicadas, la Economía Aplicada, la Ciencia de Materiales, la Química Aplicada, etc.

La unidad y cohesión interna de las diversas ramas de la Ingeniería Geológica, viene dada de una parte por la de la propia Geología Aplicada, y ésta por la de las Ciencias Geológicas, sus Teorías, Principios Básicos y Leyes Generales. De otra, por el uso común de las Tecnologías del Terreno. Por otra parte, la Ingeniería Geoambiental, como la Geología Ambiental en su campo, proporciona, en torno a la resolución de problemas ambientales y territoriales, una cohesión adicional al conjunto de ramas, que poseen por otra parte una estructura y función propias (AYALA, 1988).

El progreso de las Ciencias Geológicas, especialmente en las décadas de los 50 y 60, con los avances en Sedimentología y Tectónica Global, ha potenciado la capacidad de la Ingeniería Geológica para la resolución de problemas tecnológicos en sus diversos campos, gracias a Modelos Geológicos cada vez mejores.

Geología Básica y Aplicada e Ingenierías Geológicas, forman parte de un *conjunto sinérgico* que puede resolver problemas sociales gracias a la inclusión en la cadena del eslabón ingenieril. *El planteamiento científico (básico y aplicado) es en este sentido insuficiente, y frustra justamente la resolución tecnológica de problemas, conclusión lógica de los trabajos científicos y fuente de rentabilidad social de los mismos.* Probablemente la exclusión del eslabón tecnológico al definir como científica a una organización (cosa que no sucede al definirla como tecnológica con las actividades científicas que resultan automáticamente incluidas), es la causa del academicismo y progresivo alejamiento de la realidad social en que se debaten diversas instituciones públicas en este campo a nivel nacional

e internacional. Las empresas consultoras y un conjunto de instituciones (como el ITGE español), han seguido sin embargo, debido a la necesidad de competir y sobrevivir, incompatible con el academicismo y el aislamiento social, una vía opuesta integradora de Ciencia y Tecnología. El problema de la desconexión entre Ciencia y Tecnología es, por otra parte, un problema estructural de la Investigación y Desarrollo en España.

A continuación comentaremos más en detalle la estructura y funciones de las diversas ramas de la Ingeniería Geológica.

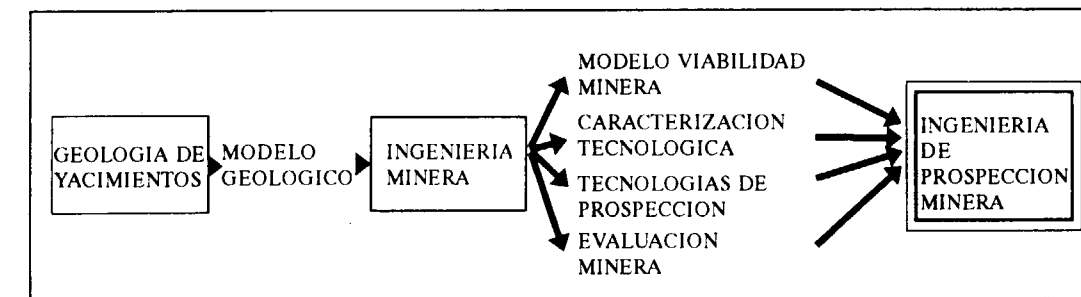


Figura 3. La Ingeniería de Prospección Minera.

la prospección de biomasa forestal explotable, de la botánica.

Utiliza la totalidad de las Tecnologías del Terreno, necesarias para la realización de su función, difícil y a veces poco gratificante.

La Geología de Yacimientos suministra el Modelo Geológico Aplicado del Yacimiento: Estratigrafía, Tectónica, Paragénesis y Génesis, y es el input fundamental para la búsqueda.

La Ingeniería de Prospección Minera, apoyada sobre la Geología de Yacimientos y desarrollando y explotando Modelos Tecnológicos: a) Caracteriza e inventaría en su caso tecnológica y económicamente los posibles yacimientos y paragénesis, determinando su explotabilidad (incorporando los posibles modelos mineros de explotación a nivel de viabilidad que permitan tomar decisiones sobre el diseño y continuidad de la campaña de exploración), la ley de corte, la viabilidad mineralúrgica, y la economicidad del yacimiento, posible o real; b) diseña, organiza y dirige la campaña de prospección a nivel de me-

## LA INGENIERIA DE PROSPECCION MINERA

Como puede verse en la figura 3, se sitúa a partir de la Geología de Yacimientos (Metalogenia, Geología del Carbón y Petróleo, etc.) pasando por la Ingeniería Minera, estructurándose de acuerdo con las grandes clases de yacimientos útiles.

Su función es la localización y evaluación de los recursos y reservas *mineras* de los yacimientos. Su objetivo no son los yacimientos «mineralógicos», sino las menas explotables. Hay un planteamiento en esto enteramente paralelo al que diferencia la Ingeniería Forestal de la Botánica,

dios humanos, tecnológicos y económicos en condiciones seguras y ambientalmente aceptables, estableciendo los criterios para el paso de una fase a otra; c) evalúa las reservas mineras; d) diseña y dirige los reconocimientos en la etapa de explotación y las pruebas de producción junto con el Ingeniero de Explotación.

La Ingeniería de Prospección Minera y gran parte de las Tecnologías de Prospección, fueron estructuradas en España históricamente por los ingenieros de minas-geólogos, como fundamento esencial de la Ingeniería Minera. Esta característica hace que en España la Prospección Minera sea parte constituyente de los Planes de Labores que anualmente presentan los mineros a la Administración.

## INGENIERIA HIDROGEOLOGICA E INGENIERIA GEOTERMICA

Como puede verse en la figura 4, se sitúa entre la Hidrogeología, ciencia frontera entre la Hidro-

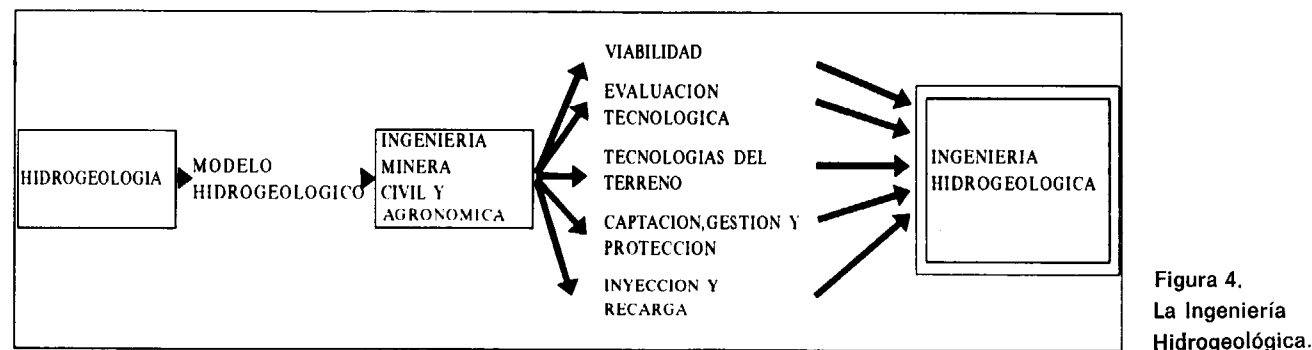


Figura 4.  
La Ingeniería  
Hidrogeológica.

logía y la Geología (denominada Hidrología Subterránea por los ingenieros civiles), con carácter de Ciencia Aplicada, y un conjunto de Ingenierías: Minera, Hidráulica, Agronómica (el riego consume la mayor parte del agua subterránea) y Energética.

Utiliza la totalidad de las Tecnologías del Terreno, con un especial énfasis en las mineras, especialmente los sondeos de captación. Igualmente, obras mineras como galerías de captación y pozos.

La Hidrogeología tiene un papel central en la búsqueda del agua subterránea.

La Ingeniería Hidrogeológica o Tecnología Hidrogeológica, apoyada en el desarrollo y explotación de modelos técnicos: a) Caracteriza e inventaría tecnológica y económicamente los recursos, determinando su explotabilidad y economía, especialmente frente y junto al agua superficial; b) diseña, organiza y dirige la campaña de prospección, las pruebas de bombeo y acondicionamientos; c) evalúa los recursos hídricos de acuerdo con su calidad y economía; d) diseña, organiza y dirige el plan de gestión y protección; e) en su caso, diseña, organiza y dirige los planes de recarga, descontaminación y usos como almacén de los acuíferos. Todas estas labores deben ejecutarse en estrecha colaboración con los ingenieros correspondientes, que frecuentemente son también ingenieros hidrogeólogos.

La Ingeniería Geotérmica tiene funciones muy similares, pero sus tecnologías son muy próximas a la de la Ingeniería del Petróleo, y en cuanto a explotación de un recurso al margen prácti-

camente del ciclo natural del agua puede considerarse como una rama de la Ingeniería Minera.

Tanto la Ingeniería Hidrogeológica como la Geotérmica, han sido desarrolladas básicamente por la Ingeniería Minera, especialmente en cuanto a Tecnologías de Explotación; los fundamentos hidrológicos, deben mucho a los Ingenieros Civiles. Las obras de captación e inyección forman parte de las Ingenierías Minera y Civil.

#### INGENIERIA GEOTECNICA

Como puede verse en la figura 5, la Ingeniería Geomecánica o Geotécnica (o simplemente Geotecnia), se sitúa entre la Geología Aplicada a la Ingeniería o Geología del Ingeniero (Engineering Geology), la Mecánica del Terreno o Geomecánica, y las Ingenierías Civil y Minera.

Se estructura en dos grandes clases: de Cimentaciones y de Estructuras de Tierra (Taludes, Presas, Espacio Subterráneo, etc.), o alternatively de Suelos y Rocas. La convergencia entre el conjunto de disciplinas implicadas ha sido lenta pero fructífera, y hoy está sólidamente implantada en los grandes campos de aplicación: las Obras Civiles, la Minería y la Edificación. El proceso de formación se aceleró notablemente a partir de la constitución definitiva en 1925, debido a Karl Terzaghi, de una nueva Ciencia Tecnológica: la Mecánica de Suelos a la que vendría a sumarse la de Rocas en los 50.

Su función fundamental es la de elaborar y explotar Modelos Geotécnicos, producir diseños estables y organizar y dirigir su ejecución. El papel de la Geología Aplicada a la Ingeniería es

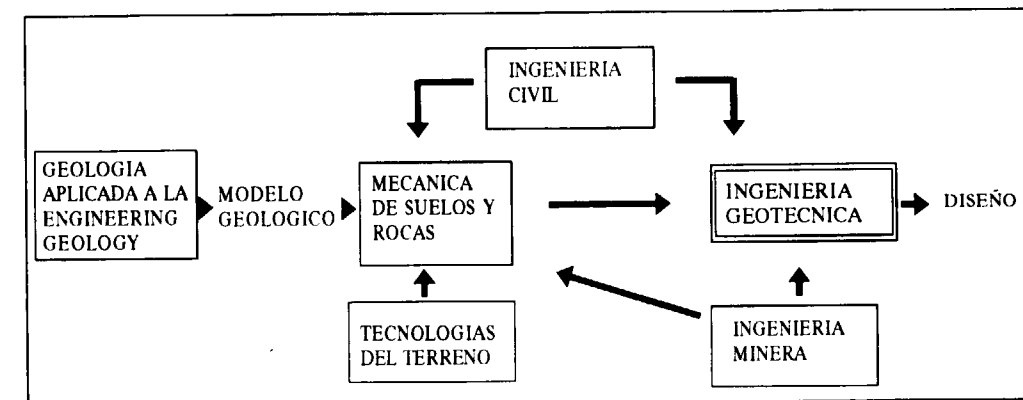


Figura 5.  
La Ingeniería  
Geotécnica.

clave, ya que nunca los Modelos Geotécnicos y los Diseños pueden superar la bondad de los Geológicos, y no pocos de los grandes desastres constructivos se han debido a insuficiencias del Modelo Geológico. La Geología Aplicada a la Ingeniería tiene, sin embargo, problemas sin resolver para estructurarse como Ciencia con un nivel similar al de, p.e., la Mecánica de Suelos, la Hidrogeología o la Geología de Yacimientos, que disponen de un conjunto estructurado de leyes y teorías científicas.

Está estrechamente ligada a la Ingeniería de Riesgos Geológicos.

La Ingeniería Geotécnica de Suelos ha sido desarrollada en su práctica totalidad por la Ingeniería Civil; la de Rocas, por la Ingeniería Civil y la Ingeniería Minera. Esta Ingeniería es parte esencial de las Ingenierías Minera y Civil.

#### INGENIERIA GEOAMBIENTAL

Cronológicamente, la Geología Ambiental o Geología Aplicada al Medio Ambiente es la última Ciencia Geológica Aplicada, cuyo origen puede datarse, aproximadamente, hacia 1970; la Ingeniería Geoambiental sitúa su origen en la segunda mitad de los años 80, cuando comienza a hablarse de Geotecnología Ambiental (Environmental Geotechnology) a nivel internacional y ya algunos de los iniciadores de la Geología Ambiental en España comenzaron a evolucionar hacia la Ingeniería Territorial y Ambiental, por la insuficiencia del planeamiento científico-aplicado para la resolución de problemas, que fue puesto

de manifiesto por el autor en 1988. Su objeto es el Medio Ambiente Geológico, que junto al Atmosférico, Biológico y Antrópico, componen el Medio Ambiente. *Es la Ingeniería Ambiental y Territorial del Medio Geológico, o la rama geológica de la Ingeniería Ambiental y Territorial.* En Italia se denomina Geoingeniería Ambiental y existe con este título una revista publicada por la Assoiazione Mineraria Subalpina.

La Geología Ambiental, al igual que la Aplicada a la Ingeniería, tiene problemas por resolver para estructurarse científicamente de forma rigurosa. Por otra parte, el deslinde de campos entre la Geología Ambiental y la del Ingeniero es un tema polémico. Para LUNDGREN (1986), p.e., los Riesgos Geológicos forman parte de la Geología Ambiental; para LANGER (1990), de la del Ingeniero. Para el autor se trata de un problema de nivel de integración: el punto de vista geológico-ambiental, debe incluir los riesgos geológicos, tratados a nivel científico-aplicado por la Geología del Ingeniero, y a nivel tecnológico por la Ingeniería Geotécnica y de Riesgos.

Se estructura en dos grandes clases: la Ingeniería de Riesgos Geológicos (Terremotos, Deslizamientos, etc.) ligada directamente con la Geotécnica, y la Ingeniería Ambiental y Territorial del Medio Geológico, que incluye la anterior (fig. 6).

El Medio Geológico tiene varias vertientes cara a su uso: recursos minerales y riesgos, de un lado; impactos geoambientales, de otro, y por fin, componente esencial y permanente del territorio. La función de la Ingeniería Geoambiental, apoyada sobre los Modelos Geoambientales

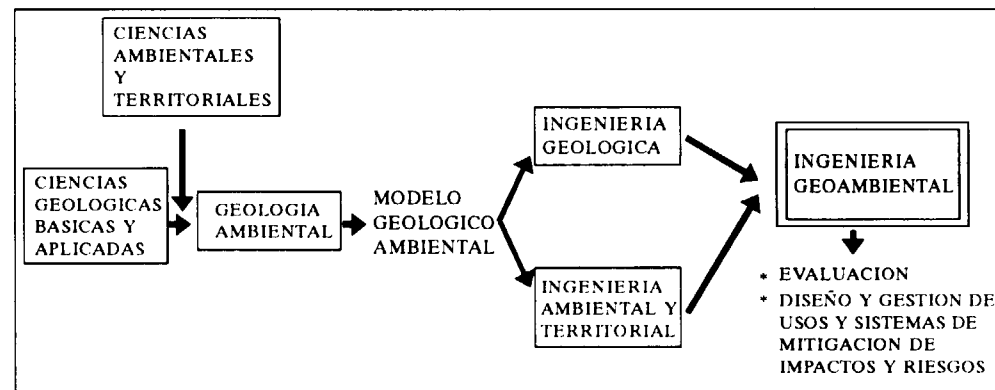


Figura 6.  
La Ingeniería  
Geoambiental.

que proporciona la Geología Ambiental, es, con una visión global, territorial y ambiental, desarrollar y explotar Modelos y Diseños Técnicos para evaluar recursos, riesgos, procesos y territorio con vistas a su uso, y diseñar, organizar y gestionar usos óptimos de los mismos que armonicen su aprovechamiento y uso con unos niveles mínimos de impactos y riesgos, gracias al diseño de sistemas de mitigación de unos y otros.

La Ingeniería Geoambiental es la más pluridisciplinar de todas, y tiene relación tanto con la Ingeniería Civil y Minera como con la Agronómica y Forestal (erosión, ordenación territorial, patrimonio natural, etc.).

La Ingeniería Geoambiental puede cumplir un papel útil en la vertebración del resto de las ramas de la Ingeniería Geológica, al igual que le sucede a la Geología Ambiental en el contexto de las Ciencias Geológicas, respetando su propia funcionalidad y autonomía. Por otra parte, necesita un punto de vista claramente pluridisciplinar tanto respecto a las otras ramas de la Ingeniería Ambiental y Territorial como respecto al conjunto de las Ciencias Ambientales y Territoriales.

Aunque las causas de alteración de la piedra natural usada en monumentos es a menudo ambiental, la Ingeniería de Restauración de la Piedra Natural es más adecuado considerarla como una rama de la Ingeniería de Materiales de fuerte componente minera, sobre una base petrológica-aplicada y de ciencia de los materiales.

#### LA INGENIERIA GEOLOGICA MARINA

El medio marítimo impone un conjunto de fuertes condicionantes a cualquier actividad o disciplina, y por tanto al desarrollo de todas las ramas de la Ingeniería Geológica antes citadas. Alguna de ellas incluso, como en el caso de la Ingeniería Hidrogeológica, carecen allí de sentido. Por otra parte, las Tecnologías del Terreno utilizables tienen un fuerte sello propio. Esta es la razón por la que es aconsejable agrupar el conjunto de ramas de la Ingeniería Geológica para su aplicación en el mar.

Problemas específicos de esta disciplina son la Prospección de Yacimientos Off-Shore (petróleo, nódulos, áridos, etc.), la Geotecnia del subsuelo marino y la Ingeniería Geoambiental de la Plataforma (p.e. contaminación de suelos, problemas de emisarios, etc.).

Puede estructurarse en dos clases: del Litoral y Plataforma, y de Mares Profundos.

La Ingeniería Geológica Marina se ha desarrollado básicamente a partir de la Ingeniería Minera del Petróleo y la Ingeniería de Costas, rama de la Ingeniería Civil, sobre el soporte de la Geología Marina, la Geología Costera y la Oceanografía Aplicada.

#### LAS TECNOLOGIAS DEL TERRENO

Junto a la Geología Aplicada, la Ingeniería y otras Ciencias Aplicadas, vertebran la Ingeniería Geológica, proporcionándole un componente tecnológico adicional y necesario.

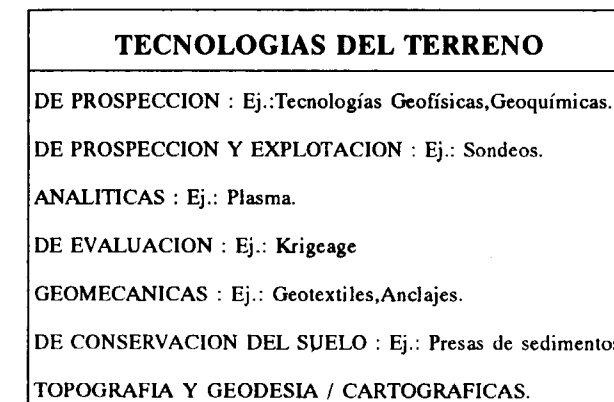


Figura 7.—Las Tecnologías del Terreno.

Como puede verse en la figura 7, son de varias clases:

- De Prospección: Tecnologías Geofísicas y de Teledetección, y Tecnologías Geoquímicas y Mineralométricas. No deben confundirse estas tecnologías con las Ciencias Aplicadas correspondientes. Así, p.e., la Tecnología Geofísica, mediante dispositivos tecnológicos como el desarrollado por los hermanos Schlumberger, ingenieros de minas franceses, busca resolver problemas ingenieriles, a diferencia de la Geofísica, que busca el conocimiento de la Física del Globo.
- De Explotación: Sondeos. Son unas tecnologías ampliamente desarrolladas por la Ingeniería de Minas, y en algún caso por la Ingeniería Civil.
- Analíticas y de Ensayos.
- Tecnologías de Evaluación, fundamentalmente Informáticas e Ingeniería de Sistemas y Modelización.
- Tecnologías Geomecánicas, orientadas al refuerzo del terreno (bulones, anclajes, etc.) y a su Instrumentación y Ensayo in situ. Son también parte de las Ingenierías Civil y Minera.
- Tecnologías de Conservación del Suelo, procedentes de las Ingenierías Agronómica y

Forestal, básicas para la Ingeniería Geoambiental.

- Topografía o Geodesia.
- Cartografía.

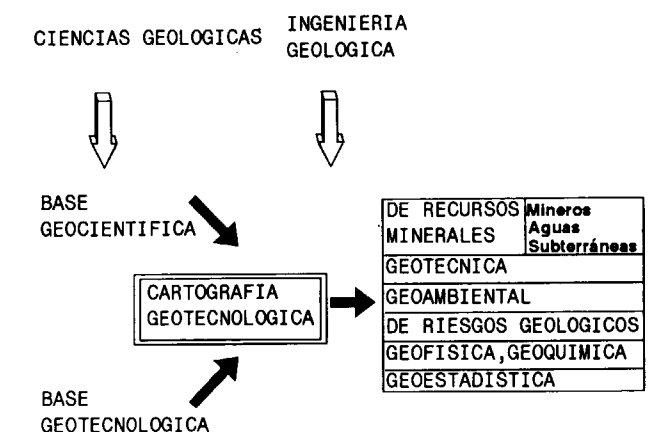
Junto al progreso de las Ciencias Geológicas y Aplicadas el de las Tecnologías del Terreno (piénsese, p.e., en la Informática, ausente de este campo hace poco más de 20 años, o en el desarrollo de las Tecnologías Geofísicas o de las Geotextiles), ha sido el responsable de la potenciación de la capacidad de la Ingeniería Geológica para resolver problemas tecnológicos.

#### LAS CARTOGRAFIAS GEOTECNOLOGICAS

Es frecuente la creencia de que la Cartografía es una actividad exclusivamente científica; esto no es así. La Cartografía proporciona modelos del terreno que pueden ser científicos o tecnológicos. En el campo temático, pueden representarse factores científicos como, p.e., la cronología de una determinada formación, o factores tecnológicos como, p.e., las capas de carbón explotables de acuerdo con criterios mineros. En el primer caso tendremos un ejemplo de Cartografía Geocientífica sectorial; en el segundo, de Cartografía Geotecnológica.

Son característicos de los Mapas Geotecnológicos algunos de los siguientes aspectos:

- Representación de variables geotecnológicas, como: caracterización tecnológica de





formaciones geológicas (p.e. % de cenizas de una capa; excavabilidad; caudal específico de sondeos, etc.).

- b) Elementos tecnológicos directamente relacionados con el tema, p.e. puntos conflictivos en Mapas de Vulnerabilidad; Planos de Minas; Carreteras, etc.
- c) Interpretación tecnológica, p. e. aptitud del terreno para cimentación; explotabilidad, evaluación de reservas, etc.
- d) Recomendaciones técnicas, p.e. para mitigar impactos geoambientales como la erosión, o riesgos, o recomendaciones de uso u ordenación territorial.

El autor, p.e., ha puesto de relieve la fuerte componente geotécnica de los Mapas de Riesgos Geológicos (AYALA, 1990).

Las Cartografías Geotecnológicas, y especialmente la Geotécnica, no deben confundirse con las geológico-ingenieriles («*engineering geology mapping*»), que corresponden a una Ciencia Aplicada: la Geología Aplicada a la Ingeniería.

Estas cartografías deben fundarse en un trabajo de campo detallado de los geólogos, pero deben a su vez realizarse con un trabajo de campo, gabinete y laboratorio suplementario de los ingenieros que cubra los aspectos geotecnológicos.

## CONCLUSIONES

La Ingeniería Geológica es una rama de la Ingeniería orientada a la resolución de problemas tecnológicos previos y necesarios al aprovechamiento, uso y conservación del medio geológico, mediante el estudio, diseño y transformación de la realidad en condiciones óptimas con el uso de modelos tecnológicos sobre la base de la Geología Aplicada y otras Ciencias Aplicadas, las Tecnologías del Terreno y la Ingeniería.

Tiene cinco subramas: la Ingeniería de Prospección Minera, la Ingeniería Hidrogeológica y Geotérmica, la Ingeniería Geotécnica, la Ingeniería Geoambiental y la Ingeniería Geológica Marina. Algunas de estas subramas son compartidas con las Ingenierías Civil y Minera principalmente, así como con la Ingeniería Ambiental y Territorial, la Agronómica y la Forestal.

El uso del término Ingeniería Geológica como equivalente a la Engineering Geology, Geología de la Ingeniería es incorrecto, ya que confunde Ingeniería y Ciencia Aplicada y no considera la mayor parte de los campos de la Ingeniería Geológica ni de la propia Geología Aplicada.

Es necesario tener muy presente en este campo la necesidad de una colaboración estrecha entre los geólogos aplicados y los ingenieros geólogos.

Por ello debe subrayarse el papel de los buenos modelos geológicos en este campo, sólo conseguibles con un sólido apoyo de la Geología Aplicada en la Geología Básica y el trabajo de campo.

## REFERENCIAS

AYALA CARCEDO, F. J. (1988): *La Geología Ambiental en el contexto de las Disciplinas y Problemas Ambientales*. En *Geología Ambiental*, Ayala, F. J., y Jordá, J. F. Ed. I.T.G.E. Madrid.

AYALA CARCEDO, F. J. (1990): *Investigación sobre Cartografía Integral de Riesgos Geológicos para Ordenación del Territorio*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

AYALA CARCEDO, F. J. (1991a): *Tecnología, Ciencia Básica y Ciencia Aplicada*. En *Actas del Congreso Nacional de la Ingeniería*. Instituto de la Ingeniería de España. Madrid.

AYALA CARCEDO, F. J. (1991b): *Lucas Mallada, ingeniero de minas-geólogo y humanista*. Industria Minera. Madrid.  
BÜNGE, M. (1985): *Seudociencia e ideología*. Alianza Editorial. Madrid.

DE SOLLA PRICE, D. (1969): *The structure of publication in Science and Technology*, in Gruber and Marquis, Edit. *Factors in the transfer of Technology*, MIT Press, USA.

DERRY, T. K., and WILLIAMS, T. I. (1960): *A Short History of Technology*. The Clarendon Press Oxford, U. K.

DURKHEIM, E. (1893): *De la Division du Travail Social*. Trad. de 1985 en Planeta-Agostini.

FAUL, H., y FAUL, C. (1983): *It began with a stone*. Wiley-Inter Science, N. Y., USA.

GARCIA-LOYGORRI, A. (1990): *Apuntes históricos sobre los comienzos del aprovechamiento del carbón y de su primera evolución en España durante los siglos XVIII y XIX*, in *Historia de la Geología*. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Madrid.

HEMPEL, C. G. (1966): *Philosophy of Natural Science*. Prentice-Hall, New Jersey, USA. Traduc. española en Alianza Editorial. Madrid.

HULL, L. W. H. (1959): *History and Philosophy of Science*. Longmans, Green and Co. Ltd., U. K. Traduc. española en Ariel. Barcelona.

JIMENEZ SALAS, J. A. (1990): *El entorno geológico de las Obras Públicas*, in *Historia de la Geología*. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Madrid.

KRICK, E. (1975): *An Introduction to Engineering*. Wiley and Sons, N. Y., USA. Traduc. mejicana en Limusa Wiley.

LANGER, M. (1990): *La Geologie de l'Ingenieur aujourd'hui. Exigences et réalités*. Bull. de la Int. Assoc. of Engin. Geology, núm. 42. Paris.

LUNDGREN, L. (1986): *Environmental Geology*. Prentice-Hall, N. Y., USA.

RAHN, P. H. (1986): *Engineering Geology. An Environmental Approach*. Elsevier, N. Y., USA.

Original recibido: Octubre de 1992.  
Original aceptado: Noviembre de 1992.

ESTUDIO DE MINERALES Y ROCAS

# Mineralogía de sulfosales y sulfuros en los filones de Ateca, Cordillera Ibérica.

Por R. BENITO GARCIA (\*) y A. VERGARA PARDEIRO (\*)

RESUMEN

La mineralización de los filones localizados al sur de Ateca presenta una paragénesis relativamente simple constituida por sulfosales de Pb-Sb-Cu y sulfuros de metales base. Las observaciones microscópicas y los análisis por microsonda electrónica han confirmado la presencia de la semseyita como mineral principal, fundamentalmente aislada y algunas veces asociada con la bournonita y la galena. Este último mineral es también abundante y aparece junto a la esfalerita. La secuencia de deposición indica la existencia de cinco etapas, cuatro de mineralización y una de alteración: 1) Cu-Fe; 2) Pb-Sb; 3) Pb-Sb-Cu-Zn; 4) Ba, y 5) óxidos y sulfuros supergénicos. La segunda etapa es la de mayor desarrollo, con formación de bandas de centímetros de espesor de semseyita separadas entre sí por cuarzo. La paragénesis y las temperaturas de homogeneización de inclusiones fluidas apuntan a una deposición de la mineralización por soluciones hidrotermales a unos 158-175° C.

Palabras clave: Sulfosales de Pb-Sb-(Cu), Sulfuros, Ateca.

ABSTRACT

The southern of Ateca vein-type mineralization contains Pb-Sb-Cu sulphosalts and base metal sulphides. Ore microscopy and electron microprobe studies have confirmed the presence of predominant semseyite with galena, bournonite and sphalerite. The sequence of mineral deposition indicates the existence of five stages, four mineralizing stages and one supergene alteration stage: 1) Cu-Fe; 2) Pb-Sb; 3) Pb-Sb-Cu-Zn; 4) Ba, and 5) Supergene oxides and sulphides. The Pb-Sb stage reaching the maximum development, with bands of semseyite up to some centimeters thick. The paragenesis and the homogenization temperatures of fluid inclusions suggest a deposition from hydrothermal fluids at 158-175° C.

Key words: Pb-Sb-(Cu) sulphosalts, Sulphides, Ateca.

INTRODUCCION

Los filones conteniendo sulfosales y sulfuros localizados al sur de Ateca (Zaragoza) fueron explotados en el siglo pasado para el beneficio de antimonio y plomo en varias minas (El Fraile, La Argentina, San Luis, La Estrella, Desgraciada, Leonor y Aragón).

De las explotaciones sólo quedan pozos abandonados y escombreras ricas en dichas especies minerales.

Estas minas están localizadas en la Rama Occidental del zócalo de la Cordillera Ibérica, región en la que son abundantes las mineralizaciones

sulfuradas de galena, esfalerita, calcopirita, boullangerita y tetraedritas (MONSEUR et al., 1978; GUTIERREZ MAROTO y MONSEUR, 1980), algunos filones de baritina y otros de estibina (La Carrascosa, Ateca).

BENITO et al. (1988) estudian la geoquímica de los materiales encajantes de varios filones de la zona de Ateca y describen la paragénesis de la mineralización. Su formación está relacionada con manifestaciones magmáticas calcoalcalinas de edad pérmica.

En el presente trabajo se pretende identificar y analizar las fases minerales que comprenden los filones antedichos para establecer las implicaciones metalogenéticas en base a su paragénesis.

(\*) Instituto Tecnológico Geominero de España.

ENCUADRE GEOLOGICO, EL MEDIO ENCAJANTE

Los filones se encuentran en los terrenos paleozoicos del Cámbrico-Ordovícico que forman el zócalo en la Rama Occidental de la Cordillera Ibérica, dentro de la formación Valconchán o Cuarcitas de Barrera (fig. 1). Los materiales encajantes son capas alternantes de cuarcitas-areniscas de grano fino y pizarras-turbiditas procedentes de materiales depositados en una plataforma somera en ambiente intermareal. Respecto a su disposición muestran cambios laterales de facies bruscos, con una dirección de transporte de sedimentos E-W y estructuras de altafondo.

La serie virtual local en los alrededores de las antiguas explotaciones mineras ha sido descrita por BENITO et al. (1988) y va desde cuarcitas y psammocuarzitas a micropsammofilitas finas.

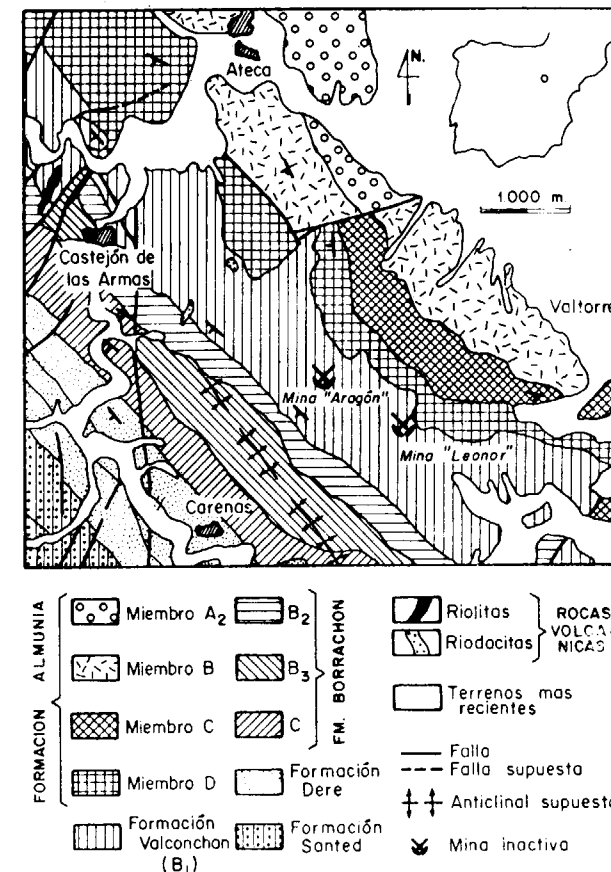


Figura 1.—Esquema geológico de la zona de Ateca (Zaragoza), rama occidental de la Cordillera Ibérica.

PARTE EXPERIMENTAL

El conocimiento de la composición química de las sulfosales y los sulfuros (tabla I) se ha conseguido mediante análisis por microsonda electrónica. Se ha dispuesto de un equipo SEMQ2 de la firma ARL provisto de dos sistemas para la medida de la radiación característica: cristales analizadores en dispersión de longitud de onda (WDS) y detector sólido de Si(Li) en dispersión de energías (EDS). La primera vía ha sido la uti-

TABLA I  
Análisis por microsonda de sulfosales y sulfuros (Porcentajes en peso)

	S	Pb	Sb	Zn	Fe	Cu	Ni	Total
<b>Semseyita</b>								
18,93	52,50	28,61	—	—	—	—	—	100,04
19,40	52,40	27,53	—	—	—	—	—	99,33
18,76	51,78	28,29	—	—	—	—	—	98,83
18,98	51,83	27,84	—	—	—	—	—	98,65
18,82	52,24	28,07	—	—	—	—	—	99,13
19,03	52,60	27,92	—	—	—	—	—	99,57
19,06	53,11	27,39	—	—	—	—	—	99,56
19,62	52,41	27,39	—	—	—	—	—	99,42
19,33	52,70	27,91	—	—	—	—	—	99,94
19,01	52,54	28,36	—	—	—	—	—	99,91
19,30	52,89	27,65	—	—	—	—	—	99,84
18,85	52,61	28,36	—	—	—	—	—	99,82
18,95	52,56	27,83	—	—	—	—	—	99,34
19,07	53,08	27,79	—	—	—	—	—	99,94
<b>Galena</b>								
13,30	86,50	—	—	—	—	—	—	99,80
13,41	85,95	—	—	—	—	—	—	99,36
14,41	80,43	5,02	—	—	—	—	—	99,86
14,81	71,94	12,41	—	—	—	—	—	99,16
<b>Esfalerita</b>								
33,76	—	0,10	65,16	0,39	0,10	—	—	99,51
33,29	—	0,20	65,52	0,60	0,20	—	—	99,81
<b>Bournonita</b>								
20,56	42,17	23,35	—	—	12,90	—	—	98,98
20,81	41,15	24,22	—	—	12,55	—	—	98,73
19,36	43,21	24,25	—	—	12,86	—	—	99,68
19,65	42,51	25,57	—	—	13,01	—	—	100,74
<b>Calcopirita</b>								
35,41	—	—	—	28,94	35,61	—	—	99,96
35,61	—	—	—	29,20	35,84	—	—	100,65
<b>Ullmanita</b>								
14,97	2,02	56,23	—	—	—	—	26,74	99,96
15,30	0,60	55,03	—	—	—	—	28,91	99,84
15,11	0,50	55,78	—	—	—	—	28,63	100,02

lizada en este trabajo con las siguientes condiciones experimentales para efectuar el análisis cuantitativo: potencial acelerador de los electrones de 25 kV, intensidad de corriente de sonda de 20 mA, cristales de LiF (200) y PET, tiempos de medida de 20 seg. en los picos y 4 seg. en los fondos. Como patrones se han empleado  $\text{FeS}_2$ , ZnS, PbSe y Sb, Cu y Ni metálicos. Las muestras han sido metalizadas con una capa de carbono de 200 Å de espesor siguiendo la técnica de sombreado en alto vacío con el fin de proporcionarles la conductividad eléctrica y calorífica necesaria. El programa de corrección aplicado ha sido el MAGIC IV.

El análisis de elementos traza se ha abordado por ICP-AES sobre el resultado de una digestión con agua regia de la muestra.

La difracción de rayos X ha sido realizada con un difractor PW1830 provisto de ánodo de cobre trabajando con radiación  $\text{k}\alpha$  de 1,54060 Å y unas condiciones de excitación de 40 kV y 40 mA.

#### ASOCIACIONES MINERALES Y COMPOSICION QUIMICA

La mineralización se presenta en diversas estructuras: bandas simétricas situadas en lentejones que arman en pizarras o areniscas, masas cuarcíticas, brechas pizarro-areniscosas y vetas en pizarras.

Los minerales primarios encontrados, citados en orden de abundancia, son los siguientes: semseyita, galena, esfalerita, bournonita, calcopirita, pirita y ullmanita. Como minerales de alteración están presentes óxidos de antimonio, galena antimonífera, covellina y óxidos de Fe. La ganga está constituida por cuarzo, baritina y carbonatos.

La semseyita ha sido previamente citada como galena antimonial (quiroguita), boulangerita, estibina o heteromorfitita (CALVO et al., 1988; BENITO et al., 1988). Es el mineral mayoritario y se encuentra fundamentalmente en bandas de centímetros de espesor dentro de los lentejones zonados simétricamente. Se presentan dos o más bandas separadas entre sí por cuarzo lechoso (figs. 2A y 2B). Aparece en agregados policristalinos de tipo mosaico (fig. 3A) con una red de

pequeñas fracturas rellenas de galena antimonífera (fig. 3B) y óxidos de antimonio (fig. 3C). Ocasionalmente hay bournonita en el borde de sus granos. Cristalográficamente, la semseyita es una sulfosal de plomo y antimonio del tipo pseudoisométrico con relación  $\text{PbS}/\text{Sb}_2\text{S}_3$  igual a 9/4. Pertenece al grupo de la plagionita, los miembros representantes de este grupo, atendiendo a una proporción creciente de Pb, son: fuloppita, plagionita, heteromorfitita y semseyita (JAMBOR, 1969). Todos ellos constituyen una serie mineralógica análoga (fórmula general  $\text{Pb}_{3+2n}\text{Sb}_n\text{S}_{15+2n}$ ) en la cual los parámetros a y b permanecen invariables mientras que el valor de c se incrementa con n (KOSTOV y STEFANOVA, 1981). Dentro de esta serie los tres últimos términos tienen el mismo tipo estructural (MOZGOVA, 1984). La composición química media encontrada para la semseyita de Ateca ha sido:  $\text{Pb}_{8,94}\text{Sb}_{8,08}\text{S}_{20,97}$ , respecto a elementos mayoritarios, y 4.500 ppm de Zn, 650 ppm de Ag, 230 ppm de Cu y 16 ppm de Cd en lo referente a los traza. El difractograma de rayos X (fig. 4) muestra todas las reflexiones de este mineral con su intensidad distorsionada en algunas difracciones por la presencia de galena y óxidos de antimonio imposibles de separar.

La galena es el segundo mineral más abundante en la mineralización. Ha aparecido en los lentejones ocupando bandas más internas que las de la semseyita (figs. 2C y 2D), frecuentemente asociada a la bournonita y la esfalerita (fig. 3D). En algunas bandas de galena se encuentra semseyita, bien como inclusiones o intercrecimientos (fig. 3E). La galena predomina en las brechas y vetas de las pizarras, donde suele estar fracturada, englobada y reemplazada por la esfalerita (fig. 3F). Su composición concuerda con la fórmula teórica. También se ha encontrado otro tipo de galena, que contiene un elevado porcentaje de antimonio ( $\text{Pb}_{0,76}\text{Sb}_{0,22}\text{S}_{1,01}$  -  $\text{Pb}_{0,88}\text{Sb}_{0,09}\text{S}_{1,02}$ ), rellenando la red de fracturas de la semseyita.

La esfalerita se presenta, como se ha indicado con anterioridad, reemplazando a la galena tanto en las bandas de los lentejones como en las brechas pizarrosas. La esfalerita analizada es muy pobre en Fe ( $\text{Zn}_{0,98}\text{Fe}_{0,01}\text{S}_{1,01}$ ).

La bournonita se encuentra fundamentalmente como inclusiones y en los bordes de grano de la galena. Accesoriamente también se halla en la

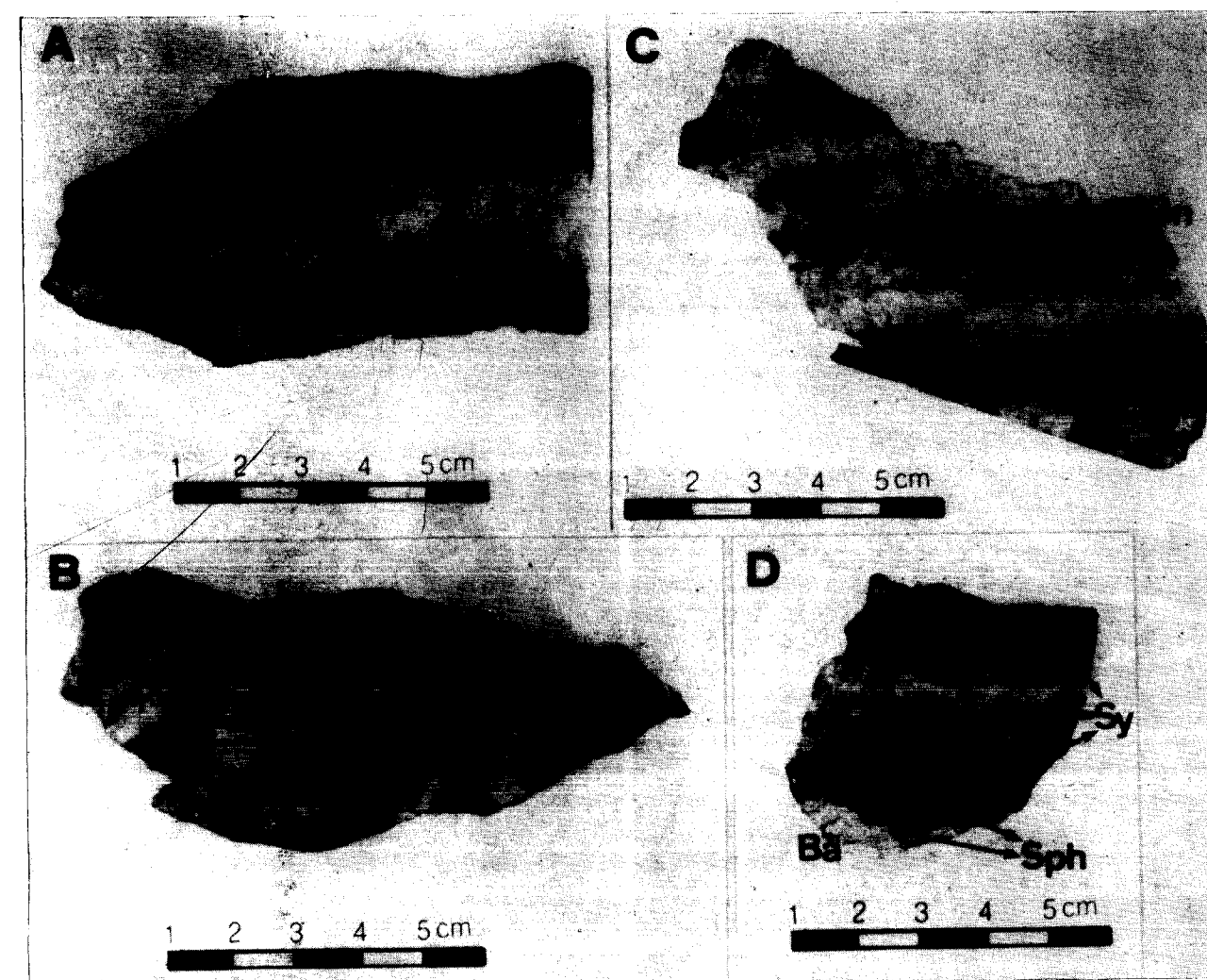


Figura 2.—Morfología de la mineralización de semseyita. A: Lentejón simétrico de semseyita (Sy) y cuarzo (Q). B: Alternancia de bandas de semseyita y cuarzo. C: Bandas de semseyita, cuarzo y galena (Gn). D: Zonado completo de los lentejones: en el centro baritina (Ba), a su lado esfalerita (Sph), galena con bournonita y por último varias bandas de semseyita separadas por cuarzo.

semseyita. Su composición media se ajusta a la teórica ( $\text{Cu}_{2,01}\text{Pb}_{2,02}\text{Sb}_{1,96}\text{S}_{6,01}$ ).

La calcopirita ( $\text{Cu}_{1,03}\text{Fe}_{0,95}\text{S}_{2,02}$ ), la pirita y la ullmanita ( $\text{Ni}_{1,01}\text{Pb}_{0,01}\text{Sb}_{0,97}\text{S}_{1,01}$ ) son de carácter accesorio y se presentan solamente en las brechas y en las vetas de las pizarras, principalmente asociadas con galena y esfalerita.

La baritina aparece en el centro de algunos lentejones, junto a las bandas de galena con esfalerita (fig. 2D). También se presenta en las brechas englobando a los otros minerales.

#### PARAGENESIS E IMPLICACIONES METALOGENETICAS

La paragénesis observada pertenece al tipo de mineralizaciones filonianas q.Pb-Sb correspondientes a un relleno de fracturas y discordantes con los materiales encajantes cámbrico-ordovícicos (BENITO et al., 1988).

En la deposición mineral (fig. 5) existen cuatro etapas: la primera con pirita, ullmanita y calcopirita de carácter accesorio, la segunda con semseyita mayoritariamente, la tercera con galena-

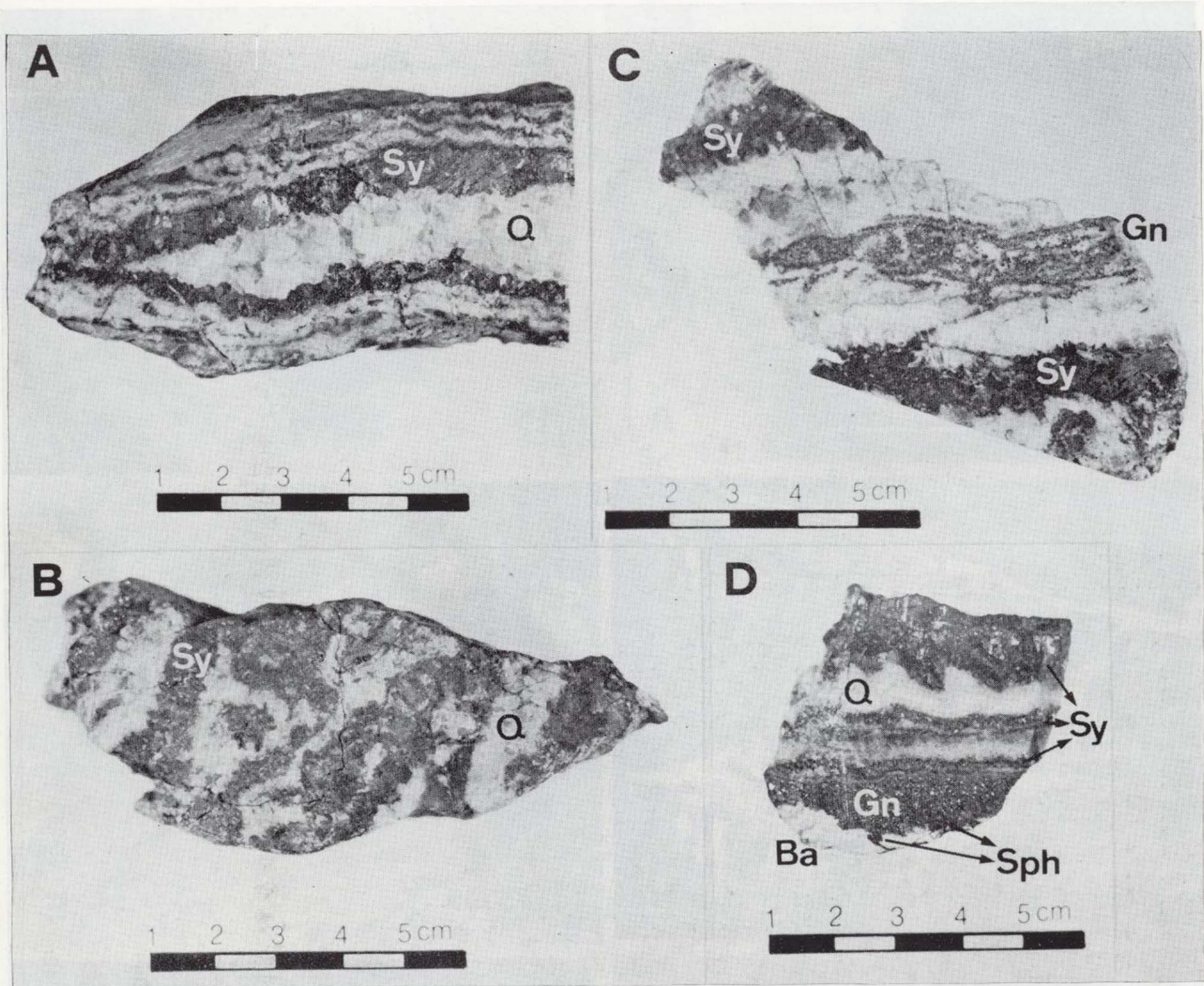


Figura 2.—Morfología de la mineralización de semseyita. A: Lentejón simétrico de semseyita (Sy) y cuarzo (Q). B: Alternancia de bandas de semseyita y cuarzo. C: Bandas de semseyita, cuarzo y galena (Gn). D: Zonado completo de los lentejones: en el centro baritina (Ba), a su lado esfalerita (Sph), galena con bournonita y por último varias bandas de semseyita separadas por cuarzo.

semseyita. Su composición media se ajusta a la teórica ( $\text{Cu}_{2,01}\text{Pb}_{2,02}\text{Sb}_{1,96}\text{S}_{6,01}$ ).

La calcopirita ( $\text{Cu}_{1,03}\text{Fe}_{0,95}\text{S}_{2,02}$ ), la pirita y la ullmanita ( $\text{Ni}_{1,01}\text{Pb}_{0,01}\text{Sb}_{0,97}\text{S}_{1,01}$ ) son de carácter accesorio y se presentan solamente en las brechas y en las vetas de las pizarras, principalmente asociadas con galena y esfalerita.

La baritina aparece en el centro de algunos lentejones, junto a las bandas de galena con esfalerita (fig. 2D). También se presenta en las brechas englobando a los otros minerales.

#### PARAGENESIS E IMPLICACIONES METALOGENÉTICAS

La paragénesis observada pertenece al tipo de mineralizaciones filonianas q.Pb-Sb correspondientes a un relleno de fracturas y discordantes con los materiales encajantes cámbrico-ordovícicos (BENITO et al., 1988).

En la deposición mineral (fig. 5) existen cuatro etapas: la primera con pirita, ullmanita y calcopirita de carácter accesorio, la segunda con semseyita mayoritariamente, la tercera con galena-

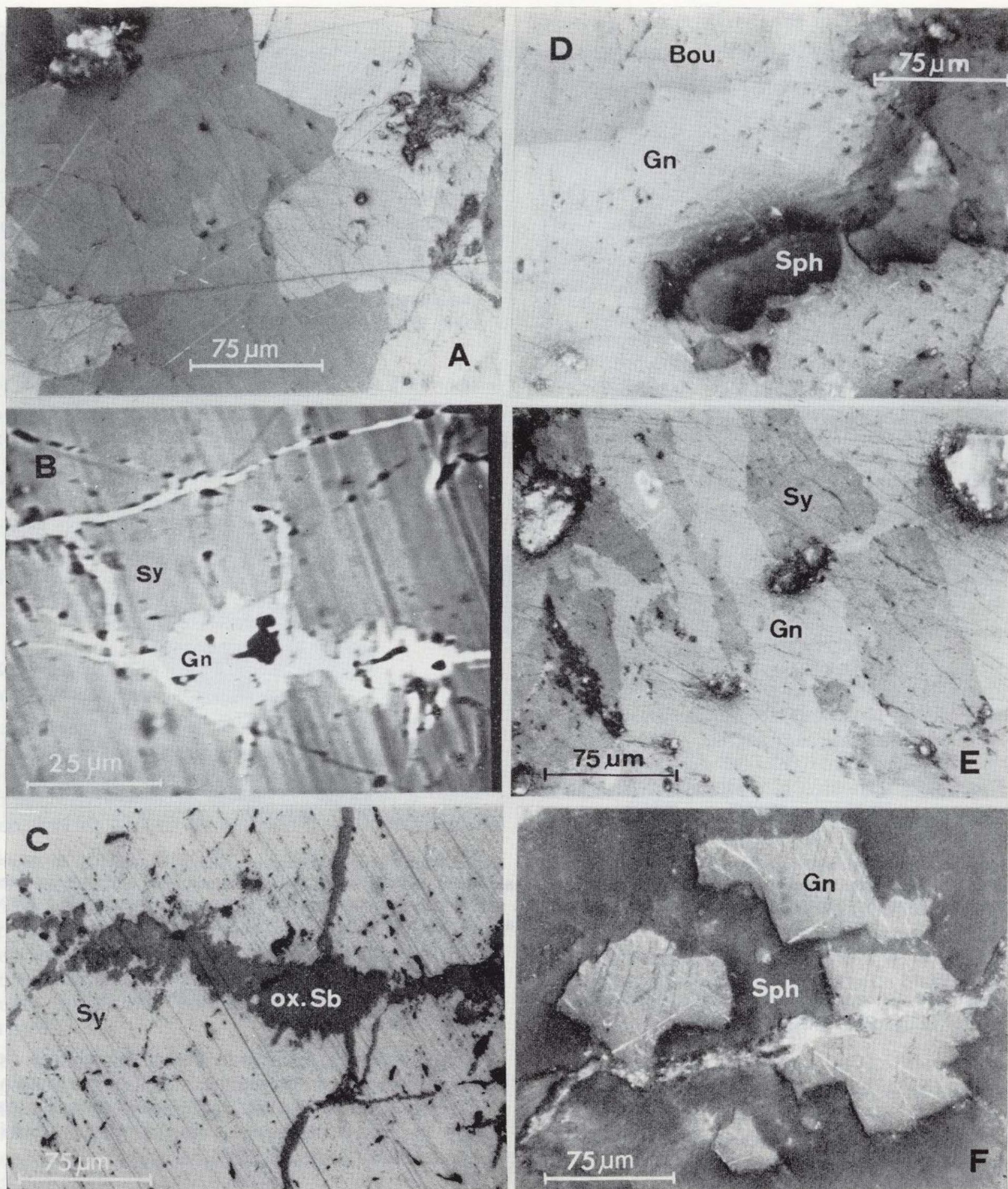


Figura 3.—Asociaciones minerales. A: Semseyita en mosaico de granos poligonales con fuerte anisotropía (nícoles cruzados). B: Fractura de la semseyita (Sy) rellena por galena (Gn) antimonífera (microsonda electrónica, imagen BSE). C: Fractura de la semseyita rellena por óxidos de antimonio (ox. Sb) (luz normal). D: Galena con bournonita (Bou) y esferiterita (Sph) (nícoles cruzados). E: Cristal idiomorfo de galena fracturado y englobado por esfalerita (nícoles cruzados). F: Semseyita incluida en galena (nícoles cruzados).

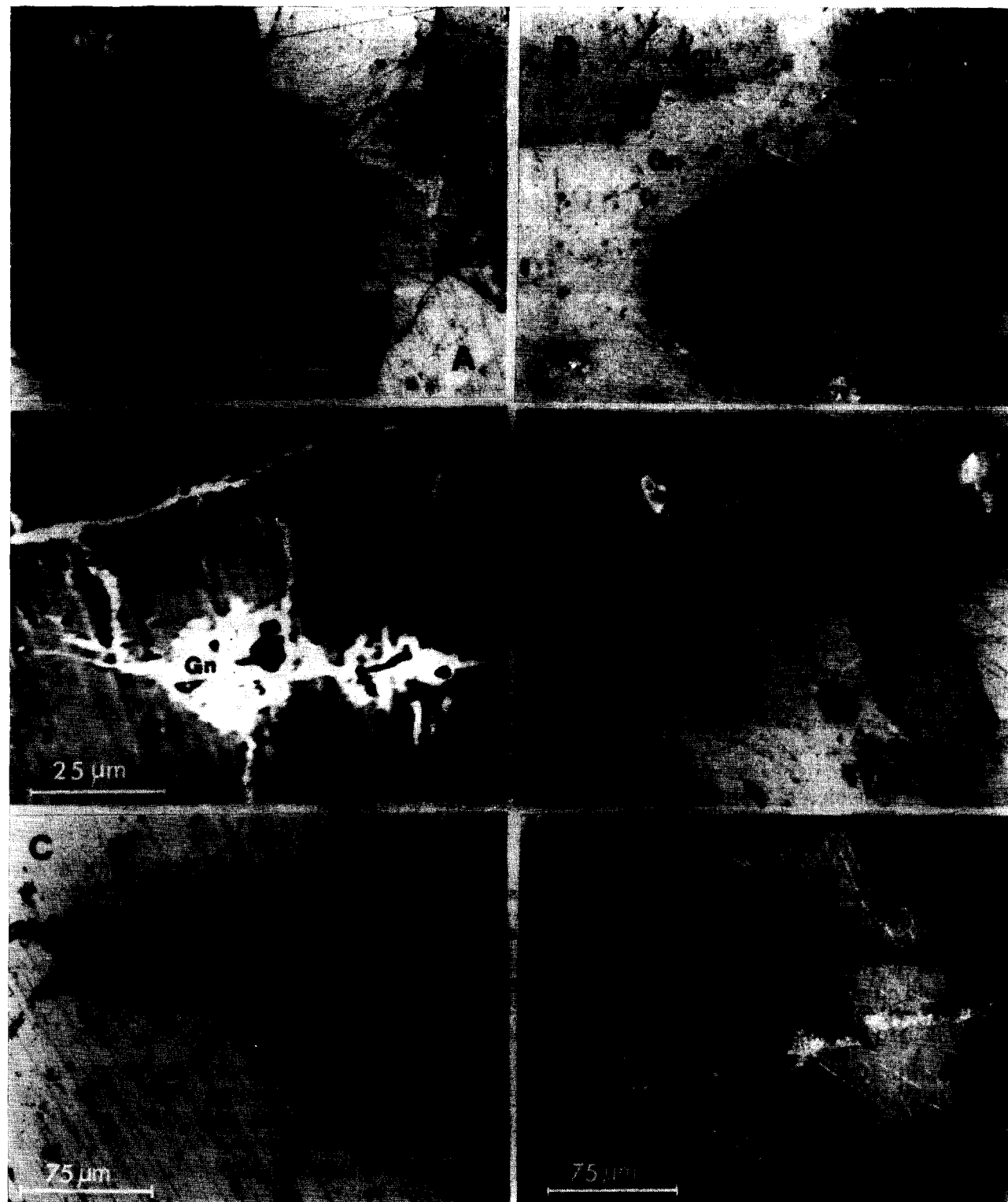


Figura 3.—Asociaciones minerales. A: Semseyita en mosaico de granos poligonales con fuerte anisotropía (nícoles cruzados). B: Fractura de la semseyita (Sy) rellena por galena (Gn) antimonífera (microsonda electrónica, imagen BSE). C: Fractura de la semseyita rellena por óxidos de antimonio (ox. Sb) (luz normal). D: Galena con bournonita (Bou) y esfalerita (Sph) (nícoles cruzados). E: Cristal idiomorfo de galena fracturado y englobado por esfalerita (nícoles cruzados). F: Semseyita incluida en galena (nícoles cruzados).

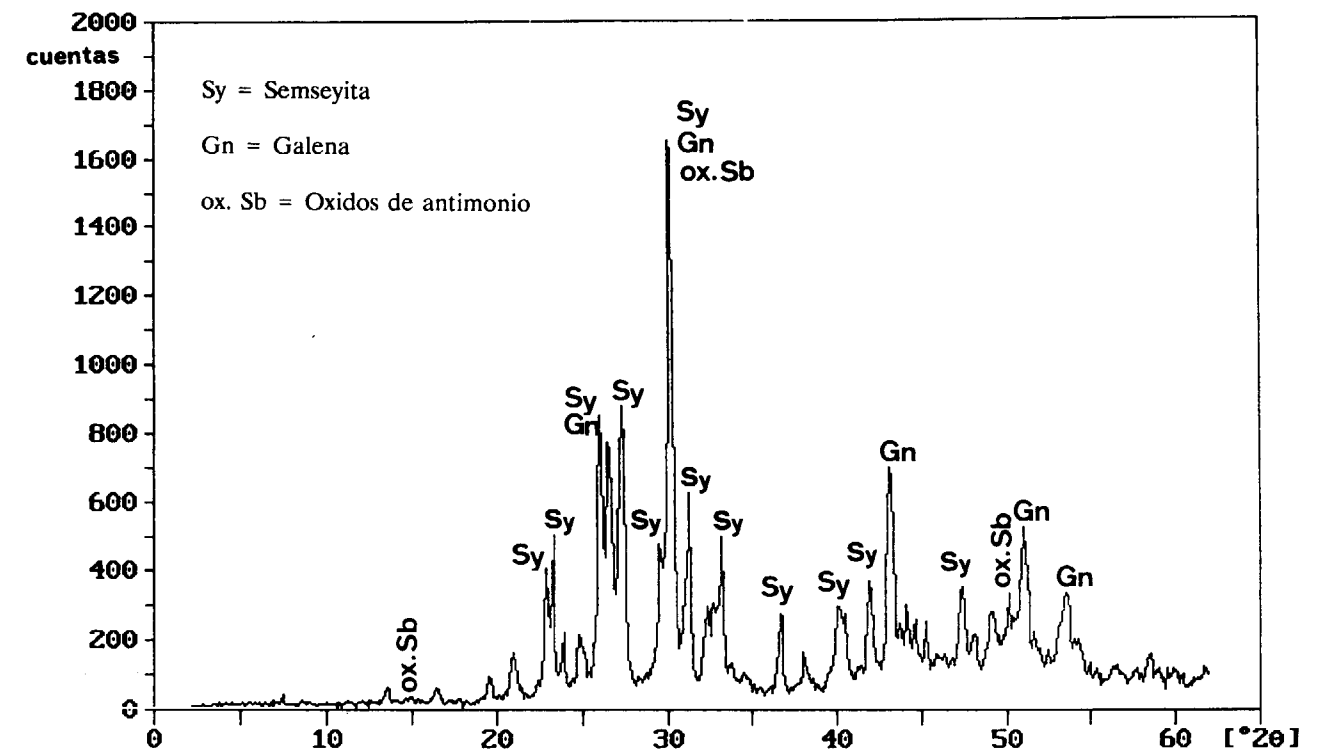


Figura 4.—Difractograma de una muestra correspondiente a las bandas de semseyita de la fig. 2A. Solamente se han marcado las reflexiones más intensas de cada especie mineral. Todas las reflexiones menos intensas no marcadas corresponden a la semseyita.

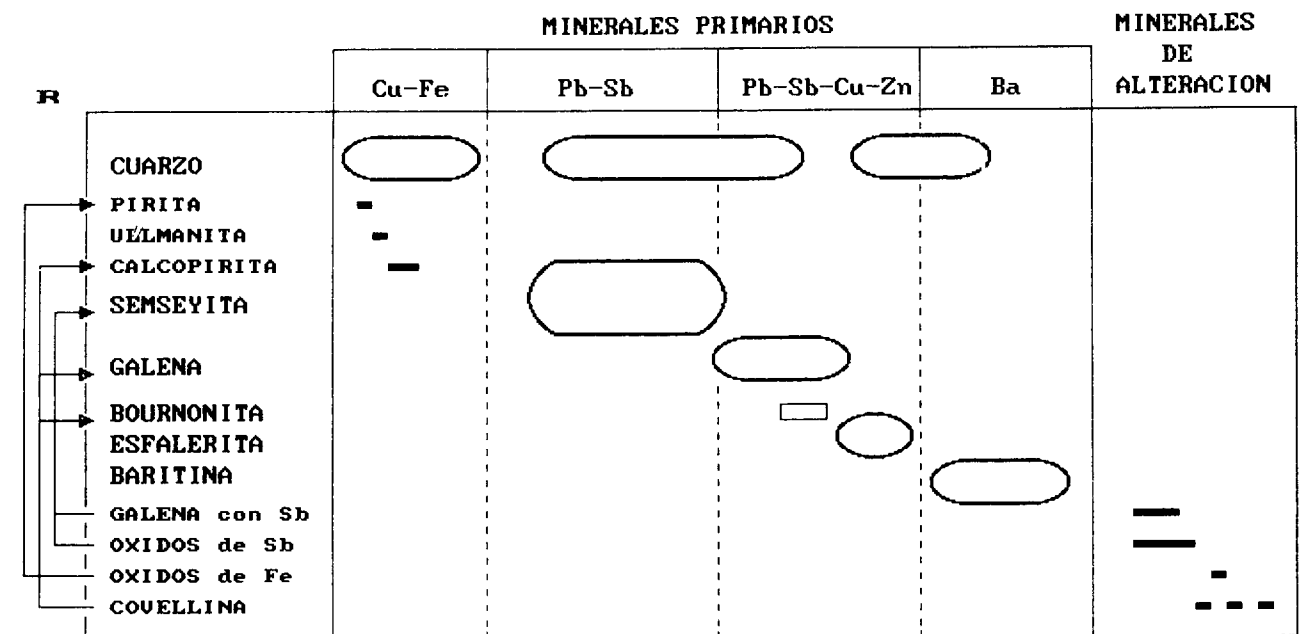


Figura 5.—Etapas mineralizadoras y secuencia paragenética de los filones de Ateca.

bournonita-esfalerita y la cuarta con baritina. La alteración supergénica ha producido la oxidación de la semseyita, que se ha transformado en óxidos de antimonio y galena antimonífera. Estos componentes rellenan pequeñas fracturas de la semseyita. En ocasiones, se han observado reemplazamientos de calcopirita, bournonita y galena por covellina.

Las sulfosales de plomo y antimonio son útiles como indicadores paragenéticos en yacimientos de estos metales. La paragénesis de las mineralizaciones de Ateca concuerda con las producidas por soluciones hidrotermales con Pb y Sb primarios a temperaturas inferiores a 200° C (MOELO, 1983).

La ausencia de estibina excluye la posibilidad de una formación por aportes de Pb sobre un yacimiento preexistente de Sb. Por otra parte las sulfosales observadas en este caso son zinkenita y fuloppita.

Las paragénesis producidas por aportes de Sb sobre mineralizaciones de Pb son difíciles de distinguir de las de depósitos con Pb-Sb primarios, pero en el primer caso la galena es el mineral inicial y las sulfosales se han formado con posterioridad. Al final de la cristalización pueden aparecer berthierita y estibina.

Las soluciones hidrotermales con Pb y Sb primarios a temperaturas superiores a 200° C depositan boulangerita y jamesonita, y si existe Cu se presenta como meneghinita, que sólo es estable a temperaturas elevadas (HODA y CHANG, 1975). Las sulfosales de la serie de la plagionita se observan a temperaturas menores de 200° C. En estos casos se da un depósito de cuarzo bien cristalizado con semseyita, que precede inmediatamente al de galena, bournonita y esfalerita.

La anterior secuencia es la observada en los filones de Ateca, siendo el rango de temperaturas de 158-175° C, como se desprende del medido por BENITO et al. (1988) en las inclusiones fluidas del cuarzo. El reemplazamiento filoniano y la brechificación han creado las estructuras en bandas y los fenómenos de recurrencia mineralógica observados.

La existencia de bournonita tardía indica que las soluciones mineralizadoras en Ateca eran relativamente pobres en Fe-Cu, ya que de otra forma se producen calcoestibina, calcopirita o tetrae-

drita precoces. La presencia de ullmanita accesoría es debida a una actividad de Ni relativamente elevada. Por último, la precipitación de baritina terminal es causada por los aniones  $SO_4^{2-}$  en solución.

### CONCLUSIONES

Los filones localizados al sur de Ateca presentan una mineralogía predominante de semseyita, asociada a galena, bournonita y esfalerita. La ganga que acompaña a las sulfosales y los sulfuros es de cuarzo con baritina. Su formación ha transcurrido en cinco etapas, cuatro de mineralización y una de alteración supergénica: 1) Cu-Fe; 2) Pb-Sb; 3) Pb-Sb-Cu-Zn; 4) Ba y 5) Oxidos de antimonio, galena antimonífera y covellina.

Las mineralizaciones se depositaron en fracturas por efecto hidrotermal a 158-175° C. Las soluciones mineralizadoras además de S, Pb y Sb tenían Zn, Ba, algo de Ni, relativamente poco Fe-Cu-Ag y abundante  $SO_4^{2-}$ .

La alteración supergénica de los filones ha dado lugar a la oxidación de la semseyita parcialmente descompuesta en óxidos de antimonio y galena antimonífera. Estos minerales aparecen rellorando pequeñas fracturas de la sulfosal.

### AGRADECIMIENTOS

Queremos dar las gracias al Prof. A. Gutiérrez Maroto por iniciarnos en el estudio de los yacimientos minerales y al Dr. F. J. Valle por su ayuda a la hora de identificar los difractogramas y en la corrección del texto.

### REFERENCIAS

- BENITO, R.; GUTIERREZ MAROTO, A., y GUIJARRO, J. (1988). *Metalogenia de las mineralizaciones filonianas Pb-Sb de «Leonor» y «Aragón» (Ateca, Zaragoza)*. Estudios Geol., 44, 173-179.
- CALVO, M.; BESTEIRO, J.; SEVILLANO, E., y POCOVI, A. (1988). *Minerales de Aragón*. Mira Editores, Zaragoza. 142 pp.
- GUTIERREZ MAROTO, A., y MONSEUR, G. (1980). *Altafondo de la Pedraza y mineralización asociada (Bubierca, provincia de Zaragoza, España)*. Tecniterrae, 35, 32-43.

HODA, S. N., y CHANG, L. L. Y. (1975). *Phase relations in the pseudoternary system PbS-Cu<sub>2</sub>S-Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> and the synthesis of menghinite*. Can. Mineral, 13, 388-393.

JAMBOR, J. L. (1969). *Sulphosalts of the plagionite group*. Mineral Mag., 37, 442-446.

KOSTOV, I., y STEFANOVA, J. M. (1981). *Sulphide Minerals. Crystal Chemistry, Parageneses and Systematics*. Bulgarian Academy of Sciences. Institute of Geology, 212 pp.

MOELO, Y. (1983). *Contribution à l'étude des conditions naturelles de formation des sulfures complexes d'antimoine*

*et plomb, sulfosels de Pb/Sb, signification métallogénique*. Coll. Doc. B.R.G.M., 55, 624 pp.

MONSEUR, G.; GUTIERREZ MAROTO, A.; MORCILLO, E., y GUIJARRO, J. (1978). *Control litoestratigráfico y tectónico de la mineralización plomo-argentífera de Peñalcázar (Soria-España)*. Rev. Iberoam. Crist. Miner. Metalogen., 1, 77-79.

MOZGOVA, N. M. (1984). *Principles of classification of sulphosalts*. En: Mineralogy, Proceedings 27th International Geological Congress. Moscow, 10, 113-138.

Original recibido: Septiembre de 1992.

Original aceptado: Octubre de 1992.

## INFORMACION

### Luis Mariano Vidal y la Comisión del Mapa Geológico de España (1873-1900)

Por E. ARAGONES VALLS (\*)

#### RESUMEN

Se estudian las especiales relaciones del ingeniero Luis Mariano Vidal (1842-1922), comisionado para realizar estudios geológicos en Cataluña, con la Comisión del Mapa Geológico de España durante el último cuarto del siglo XIX, a partir de documentos inéditos, en especial la correspondencia que Vidal recibió de aquella Comisión durante el período considerado.

*Palabras clave:* Historia de la geología, Siglo XIX, Cartografía geológica, Cataluña, Comisión del Mapa Geológico de España, Luis Mariano Vidal.

#### ABSTRACT

The study of unpublished documents, specially the mail from the Comisión del Mapa Geológico de España, gives some information about the story of L. M. Vidal's relation with that Comision, and his contribution to catalonian geologic cartography, as a part of Geologic Map of Spain project (last quart of XIX century).

*Key words:* History of Geology, XIXth century, Geological cartography, Catalonia, Comision del Mapa Geologic de España, L. M. Vidal.

#### 1. INTRODUCCION

Se cumple en 1992 el centésimo-quincuagésimo aniversario del nacimiento de Luis Mariano Vidal y Carreras (fig. 1), ingeniero de minas y geólogo eminente, autor de una obra importantísima sobre la geología de Cataluña, a la cual contribuyó con las descripciones geológicas de las provincias de Gerona y Lérida, y con otros trabajos fundamentales, es-

pecialmente paleontológicos y estratigráficos, sobre el mesozoico prepirenaico; gran parte de su obra geológica la realizó en el marco de la antigua Comisión del Mapa Geológico de España durante el decenio 1873-1883, y con ella contribuyó brillantemente al resultado final de la obra de la Comisión: el Mapa Geológico de España a escala 1:400.000, del cual puede ser considerado uno de los más conspicuos coautores. En realidad, la obra de Vidal no se circunscribe al área de la geología, sino que abarca además diversos campos científicos en los que asimismo consiguió notables resultados (la arqueología y la geogra-

fía, por ejemplo), sin contar con otras facetas en las que proyectó con éxito sus aficiones (el excursionismo, el coleccionismo), y su proyección social, que pasó por su ejemplar participación en diversas asociaciones cívicas y su altruismo y mecenazgo que ejerció repetidamente; todo lo cual explica su popularidad en la sociedad catalana de su tiempo. Véanse a este respecto sus necrologías y biografías según BATALLER (1922, a, b y c); CAZURRO y otros (1924), SAN MIGUEL (1928), y LOPEZ DE AZCONA (1990); así como el trabajo de BATALLER (1956) que estudia específicamente la aportación de Vidal a la paleontología.

Aunque no perteneció Vidal a la Comisión, ésta solicitó y obtuvo del Gobierno se le concediera un «status» especial —destinado perpetuamente en Cataluña, con facultad para efectuar estudios en todo el territorio catalán—, a raíz del prestigio que le reportaron sus primeros trabajos geológicos, de una altura científica inaudita en el país. Esta especial circunstancia determinó su estrecha relación con la Comisión, que se mantuvo hasta la publicación del Mapa (1892), y aun después, por lo menos hasta 1900.

Afortunadamente, ha llegado hasta nosotros la mayor parte de la correspondencia que Vidal recibió de la Comisión, lo cual permite estudiar y documentar la historia de su aportación a la Cartografía geológica de Cataluña y sus relaciones con la Comisión y con los personajes que la integraron; y por extensión, aportar datos para la historia de la expresada Comisión y del Mapa Geológico de España.

#### Documentación estudiada

Se conserva en el Archivo Histórico del Museo Geológico del Seminario de Barcelona un importante epistolario recibido por L. M. Vidal de eminentes geólogos españoles y extranjeros a lo largo de su dilatada vida profesional. Dicha documentación formó parte en su día del legado del antiguo *Servei del Mapa Geològic* de la Mancomunidad de Cataluña, al cual fue entregado, junto con otros documentos del autor, por mediación de J. R. Bataller. A la disolución de dicho servicio (1924), su archivo pasó provisionalmente a la custodia del *Servei Geogràfic*, y luego al *Instituto Geológico y Topográfico de la Diputación de Barcelona*, creado en 1927, el cual radicaba en el Laboratorio de Geología de la Universidad de Barcelona, donde han permanecido custodiados por el Dr. Solé Sabarís, hasta su entrega al Museo del Seminario para su conservación (1983).

En el presente trabajo se estudia aquella parte del conjunto epistolar que tiene relación directa con el Mapa Geológico, la cual está integrada por el correo recibido de los organismos oficiales del Gobierno, de la Comisión del Mapa y de los personajes que la integraron, que, con unos 250 documentos, constituye una buena parte del epistolario. Podemos subdividir este grupo en dos partes:

a) La correspondencia oficial comprende cerca de 50 ofi-

cios: 4 del Ministerio, 30 de la Dirección General, 13 de la Comisión del Mapa; recoge, entre las fechas de 1866 —en que Vidal obtiene el título—, y de 1909 —fecha de su jubilación— los ascensos, incidencias de su situación profesional, recibos de material, felicitaciones, etc.

b) La correspondencia particular con el personal de la Comisión llega hasta 1918, y consta de unas 200 cartas de los directores de la Comisión: Manuel Fernández de Castro (23 cartas), Antonio Hernández (16), Justo Egozcue (26), Rafael Sánchez-Lozano (8); de sus miembros Lucas Mallada, amigo personal de Vidal (114 cartas) y Eusebio Sánchez (2); de los ayudantes Godoy (35) y Magallón (5); presenta características muy diferenciadas, como es lógico, según las circunstancias de los autores con respecto a la Comisión y su relación personal con Vidal; así:

— De D. Manuel Fernández de Castro, director de la Comisión, se conserva la correspondencia dirigida a Vidal de los períodos 1874-1876, 1877-1883 y 1889-1894. Los interregnos se deben a la ausencia de Castro (entre 1876 y 1877), y la excedencia de Vidal (entre 1883 y 1888). Con estas excepciones, sus escritos cubren prácticamente todo el período de formación y publicación del Mapa Geológico, que D. Manuel supo conducir a buen puerto a pesar de las dificultades que tuvo que sortear (fig. 2).

— De D. Antonio Hernández, director accidental que sustituyó a Castro por ausencia al frente de la Comisión, se conserva la correspondencia con Vidal de su período directivo, entre 1876 y 1877 (fig. 3).

— De D. Rafael Sánchez Lozano, director del Instituto Geológico de España, hemos podido estudiar cartas fechadas en 1918 y 1919, dirigidas a Vidal con ocasión de las correcciones de nuevas ediciones del Mapa Geológico.

No se conservan escritos de los directores de la Comisión entre 1895 y 1918 (el propio Vidal ocupó esta dirección entre 1908 y 1909).

— De D. Lucas Mallada se conserva un importante paquete formado por 114 cartas escritas de su puño y letra, cuyo interés justifica por sí solo un estudio aparte, el cual está ya en curso y esperamos será publicado en breve. El caso de D. Lucas es especial, puesto que además de miembro de la Comisión fue amigo personal de Vidal durante toda su vida; de ahí que sus escritos (que Bataller calificó de «preciosa reliquia», BATALLER, 1952) sean una inagotable fuente de información sobre su eximio autor; en este artículo daremos cuenta únicamente de aquellos aspectos directamente relacionados con la Comisión (fig. 4).

— De D. Justo Egozcue, que sería el Director de la Comisión a la muerte de D. Manuel (1895), todas las cartas que se conservan pertenecen al período anterior: 1873-1875 y 1883-1887. Durante la excedencia de Vidal del

(\*) Servei Geològic de Catalunya. Avda. Paral·lel, 71. 08004 Barcelona.



Cuerpo, será el enlace de Vidal con el Director de la Comisión, Fernández de Castro (fig. 5).

- De D. Eusebio Sánchez, antiguo Jefe de Vidal en Barcelona, se conservan únicamente dos cartas, de 1874 y 1876, así como su informe favorable sobre el trabajo del Garumnense.
- De D. Felipe Bauzá, antiguo director de la Comisión, se conserva copia de una carta suya dirigida a Castro, opinando favorablemente sobre los trabajos de Vidal, fechada en 4 de mayo de 1874.
- Del auxiliar Godoy se conserva abundante correspondencia, exclusivamente relacionada con asuntos de trámite, entre 1876 y 1887: recibos, pagos, suscripciones, envíos de material, etc.
- Del auxiliar Magallón se conservan cartas relacionadas con su ofrecimiento para auxiliar a Vidal en la redacción de la memoria de la provincia de Lérida (1883-1884).

Algunas de las misivas cuentan con brevísimas notas de Vidal sobre la fecha de recepción y de contestación; a veces con el resumen de la respuesta; solamente en contados casos se conserva el borrador íntegro de las respuestas (fig. 6).

## 2. L. M. VIDAL REMITE SUS PRIMEROS TRABAJOS GEOLOGICOS A LA COMISION DEL MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA (1871-1873)

El ingeniero Vidal llega a las oficinas del Distrito Minero de Barcelona, donde fue destinado a petición propia, procedente de la provincia de Teruel, en la que sirvió dos años, el 17 de agosto de 1869. Por entonces era el director de aquella oficina el ingeniero D. Eusebio Sánchez.

Poco tiempo después, en abril del año siguiente, se creaba por R. O. la Comisión del Mapa Geológico de España, al cabo de varios años de escasa actividad geológica en los organismos oficiales, pues la antigua Comisión para la carta geológica de Madrid y del Reino, creada en 1849, había sido transformada en simple Brigada Geológica dentro de la Junta General de Estadística; y finalmente sus trabajos geológicos habían sido suspendidos. Tras la revolución «Gloriosa» de 1868, el gobierno de progreso no podía menos que impulsar el estudio geológico del país, por entonces poco conocido desde el punto de vista que nos interesa en comparación con los países europeos, puesto que sólo se disponía de un mapa geológico a 1:1.500.000 y varios mapas provinciales a 1:400.000, no todos publicados. Así se hizo con la creación de la nueva Comisión, que sin embargo resultó inoperante (según Mallada, en tres años las secciones trabajaron sólo 45 días) y fue necesario reformarla en 1873.

## Estudio del N de la provincia de Barcelona

Las libretas de campo de Vidal —que con más de 3.000 páginas abarcan toda su vida profesional y que en gran parte han llegado hasta nosotros—, registran un primer apunte relacionado con su servicio (una concesión minera), fechado en noviembre de 1869, pero no empiezan sus anotaciones geológicas sistemáticas hasta el 15 de marzo de 1871, con una expedición a Queralt y Berga, con objeto de estudiar la cuenca carbonera garumnense del N de la provincia de Barcelona —en realidad, la inmensa mayoría de sus expediciones, por lo menos en estos primeros años estaban dirigidas al estudio de las cuencas y afloramientos de carbón, por entonces la primera fuente de energía—. De estas observaciones sale la nota *Excursión geológica por el N de la provincia de Barcelona* (VIDAL, 1871), que publicó la Revista Minera (fig. 7), en la cual demostró ser un excelente geólogo; circunstancia que no pasó inadvertida para el personal de la Comisión del Mapa.

Una vez reformada la Comisión en 1873 por Fernández de Castro, éste, nuevo director, comprendió que no podía prescindir de Vidal para la obra del Mapa Geológico, y decidió sugerir al Gobierno la conveniencia de que Vidal siguiera trabajando en Cataluña. En palabras de Mallada:

«La circunstancia especial en que te hallas de ser el único ó casi el único que ha probado ser geólogo te abre de par en par una puerta que solo estaría entornada para otros. El nuevo Director es de lo más activo que puedes imaginarte y persona de gran ilustración; te tiene señalado como uno de los que en 1er. término podrán contribuir á la Obra (...) tal vez si lo desearas entrarías en la Comisión (...) Los repetidos elogios que de ti hemos hecho D. Felipe Bauzá, D. Eusebio Sanchez, yo, y mas que los tres tu Nota geológica sobre el N de Berga, te tienen puesto á muy buena altura. Si por circunstancias de familia ó conveniencia no pudieras moverte de Cataluña, y quisiera Dios el tiempo se aclarase, debías continuar tus estudios y reclamar con el Decreto en la mano el abono de tus gastos» (Carta de Mallada a Vidal, 24 abril 1873.)

## Estudio sobre el Garumnense

En 1872, sus expediciones se dirigieron a las cuencas carboneras del Maestrazgo, el Montsec, el Berguedà, y a Erill-Castell; el siguiente año vuelve al Montsec, visita el Pallars y la comarca de Berga; en julio se traslada a Francia para estudiar las cuencas garumnenses meridionales y así poderlas comparar con las del Berguedà. Con los conocimientos que sobre el terreno garumnense había adquirido, escribió una memoria científica de tal calidad que la Comisión no pudo menos que apreciar (VIDAL, 1874, figs. 8 y 9); así, le comunica D. Justo Egozcue que su memoria...

«...sea dicho sin adulacion, va llamando la atencion de cuantos la leen. A eso esperaba también (estudiarla) para darle mi enhorabuena por ser V. realmente el primer ingeniero de minas á quien se debe un trabajo paleontológico en España» (Carta de D. J. Egozcue a Vidal, 19 de septiembre de 1873.)

Y Mallada:

«Castro está muy contento con tus trabajos. Yo te felicito cariñosamente y veo en ellos una gran cosa. Para acabar de acreditar en el Ministerio que es preciso sigas tu en Cataluña, el Director remitirá esta semana una copia de tu 1.ª memoria y las dos láminas de fósiles dibujadas por la señorita» (Carta de Mallada a Vidal, 6 de enero de 1874.)

El propio Gobierno de la República, a propuesta del Director de la Comisión y previo informe de la Junta Superior de Minería (oficio de 26 de diciembre de 1873, documento núm. 1) acordó manifestarle el aprecio por su trabajo, y lo autorizó para permanecer en Barcelona con facultad para visitar la vertiente septentrional de los Pirineos para completar los estudios de la provincia de Lérida y comarcas próximas; que se le abonasen los gastos, se le publicase la memoria, y que «ese servicio extraordinario» quedara consignado en la hoja de servicios del autor (oficio de 22 de enero 1874, publicado en VIDAL, 1874). La memoria fue publicada por cuenta del Estado, y también insertada en el t. 1 del Boletín de la Comisión.

## Estudio de la región central de la provincia de Lérida

El 15 de enero de 1874 la Comisión recibe con satisfacción el estudio del sector central de la provincia de Lérida, junto con los fósiles, sus catálogos, y un mapa geológico dibujado sobre el mapa de Indar (oficio de 15 de enero de 1874, anexo 2). De esta memoria, que será publicada, aunque sin el mapa (fig. 10), en 1875, dice Vidal:

«La rapidez de mi excursión explicará la brevedad de mis descripciones: destinado mi trabajo á la formación del Mapa geologico de España, he creído que exígia de mi parte mas bien el reconocimiento de los terrenos en extensión, que el examen minucioso de su estructura; pero si al trazar, por esta razón, a grandes rasgos la composición de los diferentes tramos me he visto privado de descender á cierto orden de detalles, no he dejado de detenerme algo más en aquellos puntos que, por sus circunstancias especiales, me ha parecido que debían ofrecer un mayor interés» (VIDAL, 1875).

Aunque en el acuse de recibo oficial se dice que tal estudio «le había sido encomendado en junio pasado», parece dudoso este extremo, pues no existe prueba de ello, y más adelante, en 1900 como veremos, se le dice oficialmente que ese trabajo era anterior al encargo de la Comisión; más bien parece un artificio del Director para justificar el abono de los gastos.

Con sólo tres trabajos publicados se ha ganado Vidal no sólo el reconocimiento del personal de la Comisión, sino también el de la comunidad científica internacional, como lo prueban estas inequívocas palabras de M. Lartet:

«Vous avez gran raison de dire que la Géologie est en Espagne, à una nouvelle Aurore. Pour être juste envers les anciens, constatons qu'à la première s'attache le nom de notre regretté ami Casiano del Prado, si modeste, si consciencieux, si dévoué à la science! Quant à la seconde, sans vouloir prophétiser ni vous flatter, je crois que ce seront vos travaux qui l'ammèneront. Aussi je les salue joyeusement en vous adressant mes bien sincères félicitations.» (Carta de Lartet a Vidal, 4 de febrero de 1876.)

En mayo del 75 envió Vidal la cuenta de gastos por su trabajo del Garumnense, que estudió en Serchs, Fígols, Peguera, Isona, Sellent, Coll de Nargò, Alt Garona, y Provenza, por 1.231,30 pesetas, declarando que los únicos trabajos hechos para la Comisión eran las memorias del Garumnense y de la provincia de Lérida, «habiéndome impedido el estado político de este país emprender nuevos estudios en el resto del año que acaba de transcurrir».

## 3. VIDAL Y EL ESTUDIO GEOLOGICO DE CATALUÑA Y BALEARES PARA LA COMISION DEL MAPA GEOLOGICO (1874-1883)

Después del impacto que sus primeros trabajos causaron en la Comisión, el director de la misma le encargó la continuación de los estudios geológicos de la provincia de Lérida, así como el bosquejo geológico de la provincia de Gerona. A lo largo del período comprendido entre 1874 y 1883, Vidal se aplicará a su tarea sin descanso, y, a pesar de sus discrepancias con la Comisión, acometerá además otros estudios geológicos que le encargó la Comisión, y colaborará con frecuencia en el Boletín de la misma.

## El «bosquejo» geológico de la provincia de Lérida

El 10 de febrero de 1874, Castro le comunicó que se proponía encargarle la continuación de los estudios de la provincia de Lérida; un año más tarde, la Comisión lo autorizó a reconocer con aquella finalidad otras localidades de la provincia.

Con el fin de acopiar datos para la descripción de la provincia, efectúa Vidal una expedición al límite con la provincia de Huesca, con su amigo Mallada, en el verano de 1875,

«...donde no haya peligro de tropezarse con carlistas, y de no ser así mira de proporcionarme el

pase necesario, no me vayan a quitar el caballo y darme encima una paliza» (Mallada, carta a Vidal de 23 de junio de 1875).

Sin embargo, a pesar de las precauciones, la expedición resultó interrumpida por los movimientos de tropas, puesto que por entonces la guerra civil no había terminado aún. En 1876, viaja al Montsec, en 1877, al Pallars Sobirà y Valle de Arán. Con sus datos se podrá formar en la Comisión un mapa geológico de la provincia; sin embargo, Vidal aplazará de momento la redacción de la memoria correspondiente, apremiado por otros quehaceres.

#### Discrepancias con la Dirección de la Comisión

Entre los ingenieros relacionados con el Mapa Geológico había dos corrientes de pensamiento: los no geólogos, entre ellos el director de la Comisión, Fernández de Castro, eran de la opinión que cualquier ingeniero podía efectuar una descripción geológica provincial, sobre todo si ya existían datos previos; mientras que los geólogos, entre ellos Mallada y Vidal, opinaban lo contrario; además, que era un error emplear la provincia como unidad cartográfica, y que era mejor obtener la descripción geológica a partir de estudios aplicados a la prospección de recursos económicos.

Además, Castro estaba empeñado en que los mapas de las cuatro provincias catalanas llevasen la firma de Bauzá —anterior Director de la Comisión, quien entre 1853 y 1859 había realizado algunos trabajos geológicos en Cataluña—, además de la de los autores; con lo cual Vidal no estaba de acuerdo, puesto que el nombre del antiguo director de la Comisión aparecería de este modo ligado al de otros ingenieros a los que Vidal no consideraba geólogos (referencia a Maureta y Thos, a los que les había sido encargado el bosquejo de la provincia de Barcelona). El propio Bauzá había reconocido que sus propios trabajos eran de escasa importancia al lado de los de Vidal (carta a Castro del 4 de mayo, documento núm. 3). Vidal expuso con franqueza su punto de vista a Castro, justificando éste sus motivos en una larga carta de respuesta (5 de abril de 1875, documento núm. 4) que no convenció a Vidal (documento núm. 5); habiéndose ausentado Castro el «problema» pasó a su sucesor, D. Antonio Hernández.

#### El «bosquejo» de la provincia de Barcelona

En abril de 1875 diversos asuntos particulares motivaron que Castro dejase temporalmente la dirección del Mapa Geológico. Le sustituyó interinamente D. Antonio Hernández, que era secretario del Consejo de Minería. De él escribiría don Lucas:

«El Sr. Hernández que hace de director interino, es uno de los inspectores mas sensatos y concienzudos. No lleva su actividad al punto que D. Manuel

pero no carece de celo. Sin embargo hasta dentro de algún tiempo no podré asegurarte cuales son sus planes, por ser persona algo reservada. Mas yo creo que atendido el carácter de *interinidad*, no hará otra cosa que seguir (con aplomo y lentitud) las huellas de Castro» (Carta de Mallada a Vidal, 10 de abril 1876.)

No se equivocó Mallada, y Hernández mantuvo el compromiso adquirido por Castro con Maureta y Thos para efectuar el «bosquejo» de Barcelona, que Vidal pretendía ser el primero en realizar, toda vez que había efectuado ya diversos trabajos geológicos en el norte de la provincia. Esta decisión, quizá unida a las dificultades que presentaba el estudio de la provincia de Lérida por falta de información cartográfica de base, las malas comunicaciones, su gran extensión (véase la carta de A. Hernández de 24 de abril de 1876, documento núm. 6), motivaron el desánimo de Vidal, el cual quería abandonar el Mapa geológico. Mallada, él mismo también disgustado con la Comisión y sobrecargado de trabajo, tuvo que emplearse a fondo para tranquilizar a Vidal:

«No te desanimes bajo ningún concepto pues no tienes filosóficamente considerados más que algunos motivos para mortificar tu buen sentido, y tu delicada conciencia, mas no para abandonar una ciencia en la cual has probado bien cumplidamente tus felices disposiciones» (Carta de Mallada a Vidal, 5 de mayo de 1876.)

En una carta escrita cinco días más tarde (documento número 7) resume Mallada la situación, y le sugiere que publique sus estudios sobre la provincia de Barcelona. De ahí saldrá el trabajo *Nota acerca del sistema cretáceo de los Pirineos de Cataluña* (VIDAL, 1877), en la cual Vidal sobrepasa la demarcación provincial y se refiere a todo el prepirineo catalán, que interesa a las tres provincias de Lérida, Barcelona y Gerona.

Todavía el 16 de junio le decía Hernández:

«...respeto las razones que le impulsan en el deseo de ser el primero que dé el bosquejo geológico completo de la provincia de Barcelona, y esto me hace lamentar una vez mas que una combinación de circunstancias superiores á mi voluntad no me permite encargarle oficialmente dicho trabajo, que sé ha de desempeñar V bien. Y puede estar seguro que si el Sr. Castro hubiera tenido los datos que yo tengo hoy acerca del asunto, V y no otro hubiera sido el encargado, pero el mal ya está hecho y no encuentro medio de remediarlo (...) Por lo demas cuando se trate de emprender algun nuevo trabajo en Cataluña y mientras yo tenga la dirección del Mapa, se ha de contar siempre con V en primer termino» (Carta de A. Hernández a Vidal, 18 de junio de 1876.)

La *Nota sobre el sistema cretáceo...* antes mencionada

se recibió en la Comisión en abril de 1877, y tras un laborioso proceso de publicación apareció finalmente publicada en mayo del siguiente año.

#### El «bosquejo» de la provincia de Gerona

Entre 1876 y 1881, Vidal orientó preferentemente sus estudios geológicos hacia la provincia de Gerona, cuyo bosquejo geológico le había sido también encargado, aunque sin descuidar las expediciones a Lérida, y también a las islas Baleares.

En sus libretas de campo encontramos notas sobre los lignitos de la Cerdaña y el carbón de San Juan de las Abadesas (1876); sobre La Selva, el valle de Ribes y el Ampurdán (1877 a 1880); también sobre el Montsec (1876), el Pallars y Arán (1877), las islas Baleares (1877-79), y Puigcercós (1881), a donde fue comisionado para estudiar un deslizamiento de tierras. Entre las colaboraciones que requirió para sus estudios figuran las de Coquand (ammonites), Cossmann (moluscos miocénicos, Cotteau (equínidos); las de Macpherson y Adán de Yarza (petrología).

De la provincia de Gerona existía en la Comisión un mapa firmado por Bauzá de 1873, el cual sirvió de base a los trabajos de Vidal (SOLE SABARIS, 1981); también se habían publicado varias notas geológicas recientemente en la Revista de Gerona (1878-1880). A punto de terminar el «bosquejo», el 12 de abril de 1881 fue nombrado jefe de minas de aquella provincia, y el 19 de agosto recibió la Comisión dos cartas y un pliego titulado *Reseña de la provincia de Gerona* (fig. 11). A Castro le hubiese gustado más el título de «Memoria» (reservado para aquellas que incluían la descripción física, geológica y minera), que se hubiera publicado aparte, como era habitual. En 1882 se publicó un estudio de Mr. Cotteau sobre los equínidos numulíticos de aquella provincia, que Vidal le había confiado. Sin embargo, la publicación del «bosquejo» se demoró largos años, pues Castro esperó hasta 1885 a que Vidal añadiera la reseña física; por entonces Vidal estaba en excedencia, dedicado a la dirección de las Minas de San Juan de las Abadesas. Finalmente se decidió Castro a su publicación; proceso cuya responsabilidad recayó en D. Justo Egozcue durante 1887 y 1888; cuando ya se habían empezado a grabar las hojas del mapa general.

#### Estudio de las islas de Ibiza y Formentera

Ya en 1874 reconoció la Comisión haber encargado trabajos geológicos sobre la isla de Ibiza al ingeniero D. Eugenio Molina. En el Boletín de 1876, Thos y Codina publicó en el boletín una síntesis de la información existente sobre aquel territorio insular donde se decía:

«De las precedentes consideraciones claramente se desprende, que para hacer frente al estudio geológico de la isla de Ibiza, debe encargarse este á una persona que conozca bien la cuenca del Mediterráneo,

ó cuando menos haya estudiado detenidamente bajo el punto de vista geológico la costa española de Levante y las islas de Mallorca y Menorca» (THOS Y CODINA, 1876.)

El ingeniero en cuestión no fue otro que Vidal, que al parecer se ofreció para ello:

«Celebraré que pueda V decirnos algo de la constitución geológica de Ibiza, y ya sabe V que ahora y siempre vendran bien y seran recibidos con aprecio cuantos trabajos nos mande para las publicaciones de esta Comisión» (Carta de A. Hernández a Vidal, 15 de noviembre de 1876.)

Con este fin realizó sendas expediciones a las islas en 1877 y 1878. La Comisión acusó recibo del trabajo en 1880, y lo publicó en su Boletín en aquel mismo año, con las firmas de Vidal y de Molina (fig. 12). Para Vidal se trataba solamente de un avance que salía a la luz por razones de urgencia:

«Ante la vaguedad de tan escasos datos, la Dirección del Mapa geológico se sirvió encomendarnos el estudio de esta pequeña y olvidada fracción del territorio español; y por nuestra parte, gustosos hubiéramos ido acopiando observaciones, á fin de hacer nuestro trabajo todo lo más completo posible, si la necesidad de adelantar un esbozo de la constitución geológica de estas islas, para contribuir al trazado del Bosquejo general de España, que en breve ha de darse á luz, no nos impusiese la de hacer conocer el estado presente de nuestras investigaciones...» (VIDAL, 1880.)

#### El estudio del deslizamiento de Puigcercós

También encargó la Comisión a Vidal, por expreso deseo de D. Manuel, el estudio de las causas de los deslizamientos de tierras ocurridos en Puigcercós en enero de 1881, encargo que Vidal cumplió puntualmente y a satisfacción, como lo prueba el oficio de la Dirección General (Documento núm. 8). Sus resultados se publicaron aquel mismo año en el Boletín (VIDAL, 1881), si bien en el mismo volumen Cortázar se permitió hacer algunas rectificaciones a la génesis que Vidal había propuesto para el fenómeno, en el sentido de que para Cortázar se trataba de un movimiento muy superficial, en el que los gases acumulados en el subsuelo jugaban un papel importante. En un trabajo anterior, Vidal había rectificado a aquel ingeniero a propósito de la estratigrafía de los materiales cretácicos; esto y la falta absoluta de correspondencia entre ellos parece indicar que sus relaciones no fueron más allá de la necesaria corrección.

#### Otros trabajos

Además del ingente trabajo que Vidal realizó para la Co-

misión y que hemos comentado en los apartados precedentes, y de otras comisiones menores como la que le encargó D. Antonio Hernández de cobrar las suscripciones al Boletín, todavía se permitió Vidal publicar en el Boletín otros trabajos que no derivaron de encargos de la Comisión, como la *Nota sobre la constitución geológica de la isla de Mallorca* (VIDAL, 1878), la cual parece ser fruto del azar, pues Vidal aprovechó en este caso una estancia forzosa en la isla (por temporal) al regreso de una de sus expediciones a Ibiza, para recoger algunos datos sobre su constitución geológica. Otros trabajos que aparecieron en el Boletín son: *Yacimiento de la Aerinita* (VIDAL, 1882 a), en la que colaboró MacPherson, y la memoria geológica *Estudio geológico de la estación termal de Caldas de Malavella* (VIDAL, 1882 b). En 1893 publicó una nueva aportación al mapa geológico de la provincia de Lérida: la cartografía de la cuenca carbonífera de la Seu de Urgel (VIDAL, 1883, fig. 13), en un curioso folleto en el que estudia los recursos de carbón y de hierro de la zona, y propone varios trazados alternativos de ferrocarril para enlazar con Manresa y Ripoll.

#### 4. VIDAL, EXCEDENTE DEL CUERPO DE MINAS (1883-1888)

Vidal solicitó y obtuvo el 31 de julio de 1883 licencia ilimitada para dirigir las minas de carbón de San Juan de las Abadesas, quedando en situación de supernumerario del cuerpo de minas. Previamente había comunicado sus intenciones a Castro (2 de febrero), cosa que éste lamentó, pues temía, no sin razón, como se verá, que las ocupaciones de Vidal impedirían que se llegara a realizar la memoria de Lérida.

Durante este período se interrumpe el diario de notas de Vidal, así como la relación directa con Castro, que se hará entonces a través de Egozcue y de Mallada.

Sabemos que Vidal tenía intención de redactar la descripción física y minera de la provincia de Lérida que debían de acompañar la geológica para formar el «bosquejo»; con este motivo el auxiliar Magallón se ofreció para ayudarlo (octubre 1883), pero la colaboración quedó aplazada «sine die» en agosto de 1884.

En abril de 1885, D. Justo esperaba la reseña física de Gerona, a lo que Vidal contestó que no podía hacerla antes de agosto. También le pide en julio la descripción de las especies que tiene en estudio («debe V. hallarse en exceso atareado, cuando tan olvidados nos tiene, al menos en apariencia»). Finalmente, en enero de 1886, Castro se decide a publicar el manuscrito de Gerona sin la parte física, «que las atenciones de V. le han impedido escribir». Por mediación de D. Justo, le pide el título del trabajo, y dice que es importantísimo publicar el mapa, ya que (con excepción de la de Lérida), se han publicado ya los de todas las provincias; por entonces se empezaba a grabar el

mapa general. En enero de 1886 le envían los originales (memoria y mapa) de Gerona, que había solicitado para modificar. En abril, Mallada le pregunta por la memoria de Gerona:

«¿Y tu memoria de Gerona? D. Manuel y D. Justo empiezan a estar amoscados, aunque yo les digo que eres un sujeto de mucha formalidad y vergüenza» (Carta de Mallada a Vidal, 29 de abril de 1886.)

El proceso de corrección del mapa y el texto se prolongará unos meses, hasta que por fin en noviembre de 1887 recibirá la tirada aparte. Según el autor, se trataba de un estudio incompleto:

«Interrumpido el estudio de esta provincia que, por disposición del Excmo. Director del Mapa Geológico, empecé para formar una descripción física, geológica y minera, sin que me sea fácil precisar la época en que podrá ser terminado, he debido ordenar y dar a luz los materiales que tenía reunidos, aun juzgándolos poco completos para merecer su publicación, movido por el temor de que llegasen a perder su oportunidad; peligro a que esta clase de trabajos quedan expuestos, lo mismo en la parte puramente científica, por causa de la creciente afición a los estudios geológicos, que en la parte minera, por el rápido cambio que en la fisonomía industrial de un país opera su continuo desarrollo» (VIDAL, 1886.)

#### 5. LA EDICION DEL MAPA GEOLOGICO Y LA CONTINUACION DEL ESTUDIO DE LA PROVINCIA DE LERIDA (1888-1900)

Después de ser objeto de un atentado terrorista en mayo de 1887, Vidal decidió reingresar en el Cuerpo, solicitando el alta en septiembre; el 30 de abril ocupó la vacante de D. Enrique Naranjo, que pasó a Arrayanes, y seguidamente fue nombrado Jefe de Minas de Lérida, cargo que con la reforma de las demarcaciones del mes de septiembre de aquel año, acumuló además la jefatura de Tarragona. Empieza para Vidal una nueva etapa en la que, además de su dedicación al Servicio y sus colaboraciones con la Comisión, se irá decantando hacia el interés por el país, sus hombres y su prehistoria, siendo uno de los abanderados del excursionismo catalanista finisecular. Todo ello sin abandonar el estudio geológico de su provincia predilecta, como consta en su Diario de expediciones.

#### Edición del Mapa Geológico de España

En la primavera de 1888, los trabajos de la Comisión se encontraban parados por falta de recursos, pues según Mallada,

«En la Comisión no hay un céntimo, ni esperanzas. Pasaremos este verano con la boca abierta entre aburridos y famélicos. Valiente negocio hacemos!» (Carta de Mallada a Vidal, 24 de junio de 1888.)

Poco después D. Manuel consiguió los recursos necesarios y la publicación del Mapa recibió un fuerte impulso. A partir de entonces Vidal sería requerido para efectuar correcciones al mapa, proceso en el que Mallada jugará un importante papel. Así, en abril de 1889 recibe Castro una prueba corregida del mapa de Lérida y Tarragona. En julio del mismo año, el Director, por medio de Mallada, pide a Vidal que acordase los límites del paleozoico de Lérida y Gerona con los de los mapas franceses:

«Desea el Sr. Director que pongas de acuerdo los límites de los terrenos cambriano y siluriano de las fronteras de Lérida y Gerona. Tu haces llegar hasta Francia el siluriano; y como verás por las dos hojas del mapa francés recientemente publicado, la Comisión geológica de nuestros vecinos hacen llegar hasta España el terreno cambriano. ¿Podrías diferenciar o segregarse del siluriano inferior de Gerona y Lérida una zona que pudiera pasar al cambriano? o crees, por el contrario, que los franceses exageran la importancia de este sistema y no existe tal cambriano en Lérida y en Gerona?» (Carta de Mallada a Vidal, 31 de julio de 1889.)

Insistió Mallada en enero del 90, pues era ya urgente para las pruebas del mapa general de España. En febrero le envían un calco del valle del Ribagorzana, puesto que había diferencias de empalme al S. del Montsec y propone D. Lucas ir al campo juntos para unificar criterios:

«D. Manuel pide la zona de empalme. No te detengas en muchos escrúpulos, pues de todos modos no pasará de bosquejo el mapa grande» (Mallada, carta a Vidal del 11 de junio.)

El 2 de julio reciben la enmienda, pero aún no ha mandado Vidal las de Gerona y Lérida, cosa que motivó una nueva insistencia de D. Manuel. La carta del Director de la Comisión fechada el 7 de diciembre del 91 (Documento número 9) da idea de la minuciosidad con que se corregían los menores detalles, incluso la situación de los pueblos, no siempre correcta en los mapas existentes. Finalmente, en enero del 92 se terminó la última de las 16 hojas del mapa (Galicia), llegando los primeros ejemplares al Senado en mayo de aquel año.

#### Se pierde en la Comisión una colección de corralarios cretáceos de Vidal

Ya BATALLER (1956, p. 23) había hecho referencia a este suceso. Se trataba de una colección que Vidal mandó en mayo de 1889, debidamente preparada y empaquetada:

«Al desempaquetar tu envío admiro la limpieza con que los preparas y cuidas. Por excepción haremos

algo de eso con algunos fósiles. Todos los tuyos vienen perfectamente preparados para estudiarlos» (Carta de Mallada a Vidal de 24 de mayo de 1889.)

Se empezaron a grabar las láminas, pero hubo de interrumpir el trabajo en septiembre para dedicarse a las de un artículo traducido para el Boletín. En enero del 90, Mallada había estudiado ya una docena de especies nuevas —ocho de las cuales dedicadas a Vidal— cuya lista remitió aquel mismo mes (lista que no hemos podido localizar):

«Si te repugna que las ocho especies nuevas lleven tu apellido dímelos, pero creo que debes respetar mi capricho. *Vidali* son todas, pues tú las descubristes» (Carta de Mallada a Vidal, en BATALLER, 1956.)

Luego el trabajo de grabación se retrasó por ausencia de la dibujante; a su vuelta quedó pospuesto por otros encargos. Ya en 1892, Mallada encuentra revueltos los cajones que contenían los fósiles, y el 2 de mayo notifica a Vidal el lamentable estado de «las asquerosas colecciones de la Comisión»:

«Tus fósiles están *casi todos!* es decir, todos los que no nos perdió la *estúpida* dibujante antes mencionada. Pero como están! Donde dejé una Trochomilia me hallo una Sinaestrea (...). Ello es que en uno de mis periodos de Madrid, al cabo de 6 á 8 ausencias, me hallé con tal desaguisado» (Carta de Mallada a Vidal, 2 de mayo de 1892.)

Finalmente, optó Mallada por devolverle a Vidal los fósiles que no se habían perdido, proponiéndole los grabara el litógrafo de París que dibujaba los de Almera, a cargo de la Comisión.

#### Nuevas correcciones y reimpresión del mapa

Apenas concluida la primera edición del Mapa, pensando ya en la segunda edición, le pide D. Manuel a Vidal opinión sobre los mapas de Almera (enero, 1892).

También para la segunda edición queda la solución del problema de las franjas triásicas que Mallada había pintado en el valle de la Noguera Ribagorzana, que en el mapa de Vidal pasaban a ser ofitas o cretácico. La primera edición del mapa respetó los colores de Vidal pero no suprimió el Triás; con lo que D. Manuel estaba disgustado. Así, el 3 de octubre de 1892, Mallada fue al campo y comprobó la existencia del Triás con fósiles, aunque malos, indeterminables específicamente; pero la roca era indudablemente triásica. Mallada trató tan espinosa cuestión con toda delicadeza, pues no quería indisponerse con Vidal bajo ningún concepto (Documento núm. 10). En diciembre propuso a Vidal ir al campo con el Dr. Almera, que había encontrado fauna triásica en la provincia de Barcelona.

En abril de 1893 envió D. Manuel a Vidal un croquis de

Mallada, resultado de la excursión de octubre, y pide observaciones sobre el mismo, para la reimpresión de la hoja 7.<sup>a</sup> (Documento núm. 11); cosa que Vidal cumplimentó el día 17 de abril; la hoja corregida con el calco para comprobar la remitió Castro el 15 de junio.

#### El «bosquejo» de la provincia de Lérida

Tan pronto se reincorporó Vidal al servicio en 1888, continuó sus estudios sobre la provincia de Lérida; así, registra su Diario Viajes al Montsec y el Pallars todos los años, con algunos otros viajes a las restantes provincias catalanas.

Ya publicado el mapa, con fecha 15 de junio de 1893 preguntó Vidal a Castro cuándo se podría imprimir la provincia de Lérida, que le gustaría publicar en verano de aquel año, y en cualquier caso antes de dejar la dirección de la Comisión; a lo que Vidal contestó que no podría acabar la memoria antes del verano, y pidió como plazo lo que quedara de año.

No bastó el plazo solicitado; tras la muerte de Castro en 1895 el nuevo director le confirma que sigue vigente la autorización para efectuar estudios en las provincias de Lérida, Barcelona y Gerona, y que no era óbice para ello su ascenso a la jefatura de Lérida. Pero la memoria de aquella provincia no siguió adelante. En 1898 el Boletín publicó el estudio de Cossmann de los moluscos del Pirineo catalán, trabajo que había de formar parte de la descripción de aquella provincia, que se pensaba publicar en 1897, pero se publicó por separado, no habiendo podido acabar Vidal el estudio y de acuerdo él. Aquel año de 1898 tuvo lugar la reunión de la Sociedad Geológica de Francia en Barcelona; Vidal, junto con Almera y Bofill fueron los encargados de la organización; él mismo dirigió varias excursiones por las provincias catalanas, y en especial por su provincia de Lérida, cuyas guías fueron traducidas y publicadas en el Boletín en el siguiente año. Un hecho lamentable, sin embargo, vino a interrumpir definitivamente la redacción del «bosquejo», como veremos a continuación.

#### Ruptura con la Comisión

Habiendo sustituido D. Gregorio Esteban de la Reguera a D. Justo Egozcue en la Dirección de la Comisión, creyó procedente el nuevo director reclamar oficialmente (24 de mayo de 1900) a Vidal la memoria de Lérida, que había sido prometida a Castro para finales de 1894, y lamentó que no hubiera actuado Vidal con la celeridad y eficacia de Maureta y Thos.

El 9 de junio manifestó el nuevo director su pesar por la respuesta de Vidal, y le dio como nuevo plazo para presentar la memoria hasta fin de año, amenazándole con pedir se le retirara la autorización para estudiar toda Cataluña (Documento núm. 12), a lo que repuso Vidal que

aceptaba el plazo, a costa de la calidad del trabajo (Documento núm. 13); además solicitó particularmente al Sr. Reguera se le cerrara la cuenta que tenía con la Comisión, y se le dispensase de cobrar las suscripciones del Boletín (Documento núm. 14).

Tales censuras, exigencias y amenazas oficiales provocaron la indignación de Vidal, quien adjunto dejó escrito lo siguiente:

«Quémense estos 2 oficios del Mapa Geológico, únicos que en mi larga vida he recibido en son de censura, y que sólo se explican por haber subido á la Dirección unos papanatas, y haber tomado por consejero al mas vil y rencoroso de los ingenieros. V.»

#### 6. EPILOGO

No se conservan documentos relacionados con la Comisión entre los años 1900 y 1918. Durante esta etapa, Vidal no cesa de acumular ascensos y honores, siempre sin abandonar sus investigaciones y estudios.

A finales de 1900 es nombrado Ingeniero Jefe de 2.<sup>a</sup> clase, con categoría de Jefe de Administración de 3.<sup>a</sup>. En febrero de 1903 es trasladado a Barcelona, donde ocupa la jefatura de Minas en sustitución de Thos y Codina, que pasó a Madrid.

De estos años constan, entre otras, colaboraciones con Dépéret (1903-05) para el estudio de los fósiles garumnenses y oligocenos; con Sauvage (peces, 1902), con Zeiller (flora de Meià); que demuestran que no abandonó la recopilación de información geológica sobre la provincia de Lérida; es en esta época que publica sus trabajos paleontológicos de madurez; sin embargo, la descripción geológica de aquella provincia quedará para siempre sin escribir, habiéndose únicamente empezado la descripción física, cuyo manuscrito se conserva en el Archivo del Museo Geológico del Seminario de Barcelona.

#### Vidal, director de la Comisión del Mapa Geológico

En 1908 es nombrado Inspector general del Cuerpo (10 de enero), con la categoría de Jefe de Administración de 1.<sup>a</sup> clase; por entonces ocupaba la presidencia de la Comisión para el Estudio del Grisú a la que Mallada había renunciado. En febrero se le destinó a inspeccionar durante dos años la primera región (Galicia, Asturias, Cantabria y León), y por último en 24 de noviembre de aquel año, Director de la Comisión del Mapa Geológico. Carecemos de datos que aportar sobre su período directivo, donde, según Bataller,

«invertió todas sus energías, principalmente en las investigaciones hidrológicas, recibiendo un fuerte

disgusto con la jubilación por haber cumplido los 67 años (BATALLER, 1952.)

Coincide con su etapa de Director la publicación en el Boletín, junto con Sánchez Lozano, de un trabajo de hidrogeología subterránea en Villena. También los trabajos de Bentabol, Rubio y Kindelán, publicados asimismo en el Boletín, que seguramente Vidal impulsó desde la Dirección.

Por D. Horacio Bentabol sabemos que se preocupó también desde la Dirección de la Comisión de subsanar las deficiencias que presentaban los mapas topográficos de entonces:

«Tan pronto como el Sr. Vidal se hizo cargo de la Dirección del Mapa Geológico de España, se apresuró a procurar llenar las deficiencias que observaba en los mapas y planos, dignándose encargarme del levantamiento del de la región volcánica en cuestión y de hacer cuantas observaciones geográficas, geológicas é hidrográficas pudiese durante el escaso tiempo disponible como base para el estudio de la misma...» (BENTABOL, 1910.)

La jubilación le llegó el 8 de octubre de 1909. Con él desapareció la Comisión del Mapa Geológico, puesto que D. Luis de Adaro, el siguiente director, tuvo a bien transformarla en el Instituto Geológico de España en 1910.

No por ello cesó Vidal en sus investigaciones. En 1914-15 publicó sus últimos trabajos en el Boletín: un estudio hidrogeológico sobre Cartagena (con su amigo Mallada), y un nuevo trabajo geológico y paleontológico sobre la provincia de Lérida. Su Diario, que se conserva bastante incompleto en esta época, registra diversos viajes por el extranjero; sus notas de campo se extienden hasta septiembre de 1919, siendo su última expedición registrada un nuevo viaje a la Conca de Tremp.

#### Últimas correcciones al Mapa (1918)

Siendo D. Rafael Sánchez Lozano director del Instituto Geológico, se preparó una nueva edición del Mapa 1:1.500.000 que estaba agotado; también se pensaba reproducir las hojas 1:400.000 con las necesarias correcciones (entre ellas las del canónigo Almera, el cual incluía en el Eoceno el Garumnense); entonces pidió el expresado Director a Vidal, que llevaba ya nueve años en situación de jubilación, si quería corregir el mapa de Lérida (18 de abril de 1918). Vidal, a pesar de su salud ya no muy boyante —bronquitis y una afección nerviosa—, que le había impelido a renunciar a la vicepresidencia de la Academia, pidió la cartografía de Cataluña para rectificarla, y la devolvió en septiembre con las modificaciones superpuestas en papel-tela sobre el mapa en color (solamente las suyas, y no las de Almera, con las que Vidal estaba de acuerdo, pero que estimó no ser de su incumbencia). D. Rafael, mantuvo una correspondencia cordialísima con Vidal sobre este asunto: llegó a ofrecerle un ayudante si lo necesitaba (oferta que Vidal declinó), y se

mostró satisfecho con el trabajo realizado (Documentos 15 y 16). Tal fue el postrer servicio que Vidal prestó a la cartografía geológica oficial de la región catalana.

#### R E F E R E N C I A S

BATALLER, J. R., 1922 (a). Don Luis Mariano Vidal Carreras. *Ibérica*, 17: 72-74.

BATALLER, J. R., 1922 (b). En Lluís Marian Vidal i Carreras 1842-1922. *Butlletí del Centre Excursionista de Catalunya*, 328: 109-125.

BATALLER, J. R., 1922 (c). En Lluís Marian Vidal i Carreras. 1842-1922. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, 22: 106-120.

BATALLER, 1952. Lucas Mallada. En el XXX aniversario de su muerte. *Estudios Geológicos*, 15, 85-108.

BATALLER, J. R., 1956. La paleontología y Luis Mariano Vidal. *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, 67, 50 pp.

BENTABOL, H., 1910. Estudio sobre los lagos y manantiales de Bañolas, Espolla y San Miguel de Campmayor. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 30: 129-208.

CAZURRO, M.; SAN MIGUEL, M., y PARDILLO, F., 1924: *El Ilmo. Sr. D. Luis M.<sup>a</sup> Vidal y Carreras*. Publicaciones de la Junta de Ciencias Naturales de Barcelona. 56 pp.

LOPEZ DE AZCONA, J. M., 1990. Mineros destacados del siglo XIX. Luis Mariano Bolisario Ramón Vidal y Carreras (1842-1922). *Boletín Geológico y Minero*, 101(3): 483-504.

SAN MIGUEL, M., 1928. Necrología del Ilmo. Sr. D. Luis Mariano Vidal y Carreras. *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, 21: 9-38.

SOLE SABARIS, L., 1981. Els mapes geològics més antics de les comarques gironines. *Revista de Girona*, 27(96): 209-214.

THOS I CODINA, S., 1876. Notas acerca de la constitución geológica de las Islas de Ibiza y Formentera. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 3: 363-368.

VIDAL, L. M., 1871. Excursión geológica por el Norte de Berga. *Revista Minera*, 22 (514 y 515), 22 pp.

VIDAL, L. M., 1874. *Datos para el conocimiento del terreno garumnense de Cataluña*. Madrid, 39 pp. Reproducido en: *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 1: 209-247.

VIDAL, L. M., 1875. Geología de la provincia de Lérida. Región central. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 2: 273-349.

VIDAL, L. M., 1877: Nota acerca del sistema cretáceo de los Pirineos de Cataluña. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 4: 257-372.

VIDAL, L. M., y ADAN DE YARZA, R., 1879. Excursión geológica por la isla de Mallorca seguida del examen microscópico de varias rocas de la misma. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 6: 1-22.

VIDAL, L. M., y MOLINA, E., 1880. Reseña física y geológica de las islas Ibiza y Formentera. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 7: 67-113.

VIDAL, L. M., 1881. Nota acerca de los hundimientos ocurridos en la cuenca de Tremp (Lérida) en enero de 1881. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 7: 113-129.

VIDAL, L. M., 1882 (a). Yacimiento de la aerinita. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 9: 113-121.

VIDAL, L. M., 1882 (b). Estudio geológico de la estación termal de Caldas de Malavella. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 9: 65-91.

VIDAL, L. M., 1883. *Cuenca carbonífera de Seo de Urgel*. Barcelona, Suc. de N. Ramírez. 36 pp.

VIDAL, L. M., 1886. Reseña geológica y minera de la provincia de Gerona. *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, 13: 209-380.

#### APENDICE DOCUMENTAL

##### 1. Informe de una comisión del Ministerio de Fomento sobre la recomendación que hizo el director del mapa Geológico a favor de D. L. M. Vidal

Leídos en la Junta celebrada en 23 del mismo, los documentos á que hace referencia, se nombró una Comisión que los estudiase y diese informe sobre ellos. Esta en sesión celebrada el 27, presentó el siguiente dictámen. La Comisión nombrada para informar acerca de la recomendación, que en oficio de 22 del corriente hace el Sr. Director de la Ejecutiva del Mapa Geológico de España, á favor del Ingeniero de minas D. Mariano Vidal, con motivo de la memoria que este ha escrito bajo el título de «Datos para el conocimiento del terreno garumnense de Cataluña», la cual acompaña, así como el dictámen que sobre dicho trabajo ha dado el Inspector general del Cuerpo, D. Eusebio Sanchez, tiene el honor de manifestar lo siguiente.—Honra y satisfacción ha recibido con el cometido de examinar tan profundo trabajo, en que resaltan los especiales conocimientos del autor, su amor á la ciencia, su extensa imaginación, su conciencia en las apreciaciones, su perseverancia hasta en el minucioso estudio de los detalles paleontológicos y aun la corrección y severidad de su lenguaje.— Y si amena es la lectura de tan interesante escrito, agradable es también enaltecerlo en-

salzando á la vez el luminoso dictámen que le acompaña y la justicia del elogio del expresado Director de acuerdo con la Sección geológica.— Este trabajo que honra á la ciencia rindiéndole frutos reproductivos en los territorios de las Repúblicas Española y Francesa, honra a la vez á España por el notable y eficaz concurso, que viene á prestar allí, donde los más distinguidos geólogos franceses han dedicado empeñadas investigaciones para determinar la estructura geológica de los Pirineos; en cuya empresa merece principal lugar el concienzudo escrito que nos ocupa. El Ingeniero Vidal al estudiar el terreno garumnense en las provincias de Barcelona y Lérida, ó sea el Sud del Pirineo; y al demostrar las relaciones del mismo en la parte francesa, ó sea en el alto Garona, Ariège y Aude al Norte, ha prestado un verdadero servicio á ambos países, facilitando la exploración y aprovechamiento del lignito que, en grandes zonas, ocupa la parte inferior del citado terreno, servicio tanto más importante, cuanto que está demostrado prácticamente la buena calidad de aquel combustible: y tanto más extenso, cuanto que á la vez dá á conocer la magnitud y circunstancias de otros materiales útiles que le acompañan en la misma formación. Tales son las margas, que tienen allí excelentes condiciones para alfarería; las calizas superiores para fabricación de cales margas, y las inferiores margosas para cemento hidráulico: dando las areniscas excelentes piedras de molino en su parte más compacta, y buena arena para cemento la más desagregada.— Todo ello dá evidente prueba del progreso que recibirá el mapa geológico con el concurso de los Ingenieros que sirven en distritos; progreso que será mayor si se exponen las deducciones de cada trabajo, haciendo resaltar las aplicaciones que ofrezcan á la industria en general.— La Comisión, pues cree muy fundada la recomendación que se hace en favor del ilustrado y laborioso Ingeniero D. Luis Mariano Vidal. Más tratando de concretarla en ocasión en que están suprimidas las condecoraciones, juzga oportuno:— 1.º Que el gobierno se digne demostrar al citado Ingeniero, el aprecio con que ha sido recibido su notable trabajo, remitiéndole á la vez copias de los dictámenes que ha merecido, disponiendo la publicación de aquel y consignando este mérito en la hoja de servicios del interesado.— 2.º Que la Superioridad se sirva disponer que continúe sirviendo en Cataluña con facultad de visitar la vertiente francesa de los Pirineos, para completar los estudios de la provincia de Lérida y Comarcas adyacentes.— 3.º Que se pida al mismo nota explicada de los gastos que le haya ocasionado este trabajo, para compararla con la cantidad que hay recibido á este objeto, abonándole la diferencia si la hubiese.— Madrid 26 de Diciembre de 1873. Ignacio Gomez de Salazar = Juan Manuel de Aranzazu. Es copia. Camps.

##### 2. Oficio del Director de la Comisión del mapa Geológico a L. M. Vidal, 15 de Enero de 1874

A su debido tiempo se han recibido sucesivamente en esta Dirección del Mapa geológico de España, 1.º los Es-



Figura 1.—Retrato de D. L. M. Vidal y Carreras (Instituto Tecnológico Geominero de España).



Figura 1.—Retrato de D. L. M. Vidal y Carreras (Instituto Tecnológico Geominero de España).

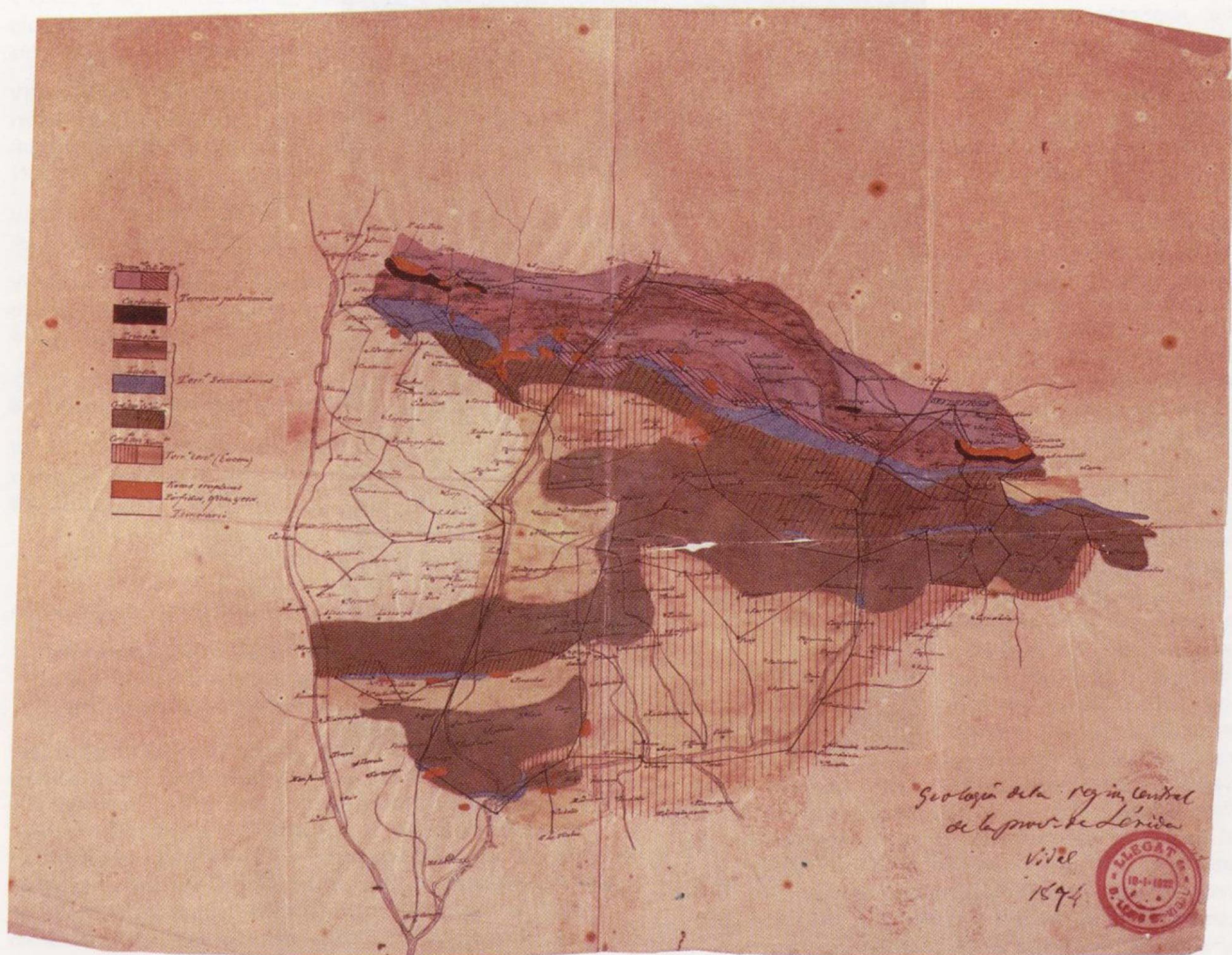


Figura 10.—Calco del original del Mapa Geológico de la región central de la provincia de Lérida (Biblioteca de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad de Barcelona).

prende que con sus muchas ocupaciones, y el  
deber de hacer una obra buena de trabajos  
retardando la terminacion de la Memoria  
geologica de Lerida y de un punto V. Teniendo  
terminado para junio: en cuanto a la me-  
moranda se prolonga la deplorable discrecion de V. el se-  
ñalar la duracion y si el tiempo de mi la-  
bajo debe ser por un tal periodo sino  
por poder echar mis cuentas y arreglar un  
trabal de cuentas publicas. Ciertamente  
sectine con un tal punto las notas para  
el Vol. de V. un punto.

Siempre de V. ap. amigo, conf.

J. B. S. M.

Mauit pour d'actes

El 26 Mayo de ya no hay tal veno  
y si acaso la banita caeria en  
roca silicada de aluminosa.  
Que me tome el resto del año  
para plazo de mi memoria

Figura 2.—Autógrafo de D. M. Fernández de Castro y nota de Vidal (Museo Geológico del Seminario de Barcelona).



realizada la cobranza le remitiré la canti-  
dad que falta hasta el completo de las 1.000  
pesetas que le indicaba en mi última

Lo probable que dentro de tres o cuatro días  
salga para su provincia es por el Quin-  
ta Luchas y no sabe si pasará por Bar-  
celona pero le encargare que escriba a lo  
antes

El Sr. Hernandez de Castro debe de-  
jar a Madrid a fines del presente Abril

Sin mas por ahora le repito su affmo  
compañero y amigo

q. b. d. m.

Antonio Hernandez

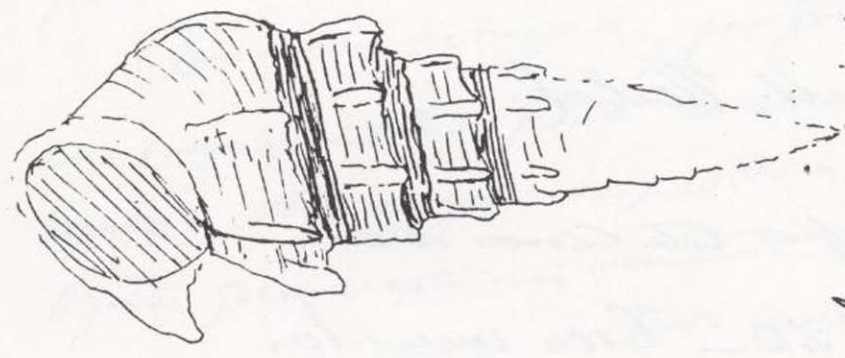
Figura 3.—Autógrafo de D. Antonio Hernández (Museo Geológico del Seminario de Barcelona).

ejempl. a la *M. inquinata*, Defr.  
pues esta no tiene mas q. tuberculos  
limitados a la parte mas saliente de  
cada vuelta y el resto es liso

Observa si los ejemplares mejor  
conservados de Jan una boca entera  
no hayan e las centurias, amez.  
no seria gran error tenerlas por  
*M. Cuvieri* pues se parecen mucho  
su egg. a la descripcion y figura.

Con los mametrachos adjuntos se  
bastara pt. comparar las 2 formas  
distinguidas. No hay otra especie de  
*Melania* (ni *Melanozopsis*) con costillas  
rematadas en espina como la *M.*  
*Cuvieri*.

Manda con de un par de pesos y escribe  
en el apasionado amor y en  
Lucas



*Melania Cuvieri*: Defr.



*M. inquinata*, Defr.

*El 11 de enero  
de 1887.*

COMISION  
DEL  
MAPA GEOLOGICO  
DE  
ESPAÑA

*5 de Julio 1887*

*Sr. D. Luis M. Vidal:*

*Mi carísimo Am<sup>o</sup>: por las cosas van  
las grabadas 24 a 60. Creo que las  
composiciones a que he comprendido  
en tus llaves rojas deben ir en  
signos pequeños, como los empleados  
en los cuadros que van cerrados.  
En estos suprimiría las líneas que  
los cierran. - V. decidirá en todo.*

*Justo Egozcue*

Figura 5.—Nota de D. Justo Egozcue (Museo Geológico del Seminario de Barcelona).

I. S. República de Losos

Madrid

Madrid 26 Abril 1918

Mi querido amigo: con viva satisfacción me enteré por la postal de que te habías recuperado, lo cual es muy de celebrar por haber sido <sup>tan</sup> pronto el ataque: ~~que desde ahora~~ todo está en hacer lo posible para no volver en el peor clima de Madrid, que puede ser a mi boca, puede decirse un fidei comiso.

De mi acahuete, por fortuna nota su avance en su lentitud: pero avanza: es ley de esta clase de males. Así es que he pedido a la R. A. de G. y A. de O. que me acepte mi reemplazo del Cuerpo de Vicepresidentes, y que me dispensen de todo cargo oficial: ~~probablemente~~ es bien en mi calidad puede trabajar, porque cuando le cubren se me cansa. me levanto y hago otra cosa, en los ociosos espacios es en posible hacer pequeños.

Recibiré con mucho gusto la hija en regreso de Cataluña, y pondré en ella los datos geológicos tal como quisiera darte mis últimas observaciones: pero algo hay que renovar en la lección.

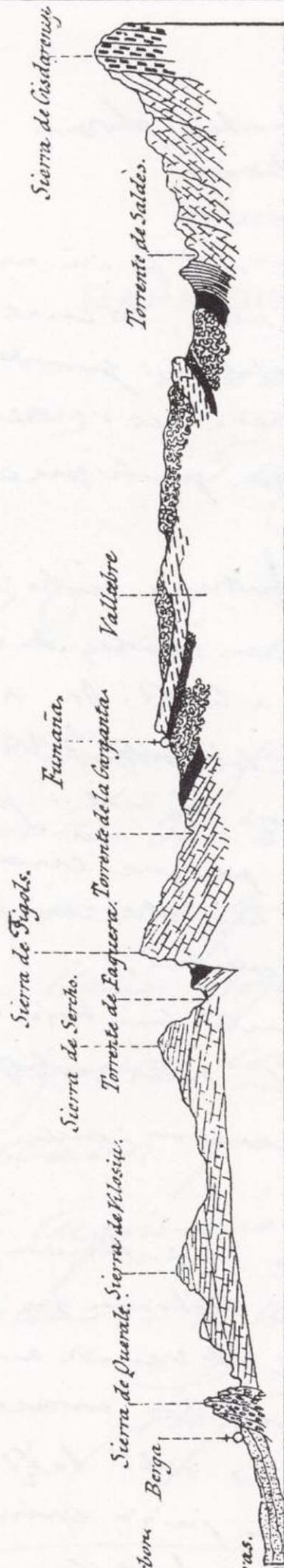
Lo que he marcado es el p. Alvarado, que antes me parecía, así bien. No he hecho más que fijar geográficamente lo que yo describí en la l. g. de V. de Barcelona, cuando establecí con la misma idea que convencí el gobierno, no con gobierno + en la misma idea de la zona de P. Ser. en esencia. Era un juicio erroneo que yo hice cuando publicé la Edad de los Capas de P. Ser. y su era muy lógica en aquella época: ~~pero~~

Como me me delgo por Agullana, a la vez que en el mes de Mayo, hacia mediada de Junio podré ocuparme en lo que desear y desarrollar la hija. Sería

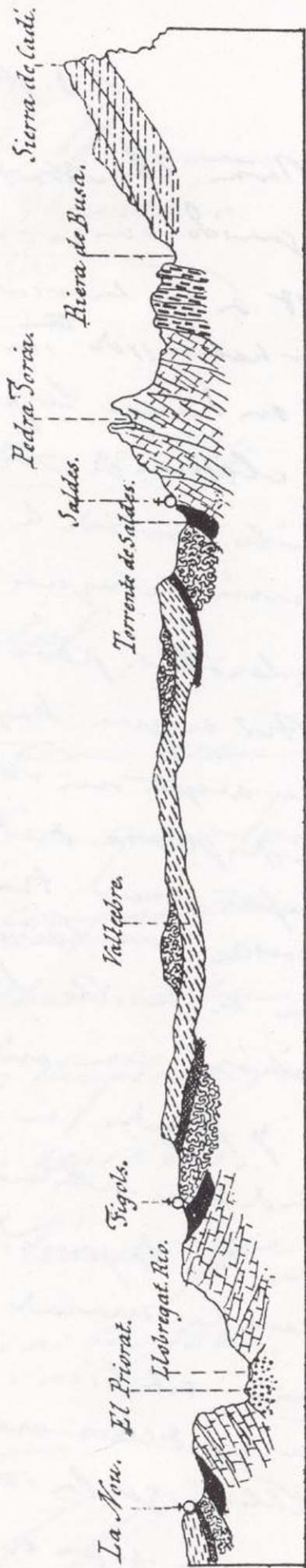
Figura 6.—Borrador de una carta de Vidal (Museo Geológico del Seminario de Barcelona).

CRIADERO DE CARBON DEL N. DE BERGA

- ...saliza...
- ...arenisca...
- ...marga...
- ...grupo del carbon.
- ...calizas arcillosas no fosilíferas.
- ...arenisca...
- ...conglomerado nummulítico
- ...caliza...
- ...trabazo superior
- ...lias.
- ...yesos.

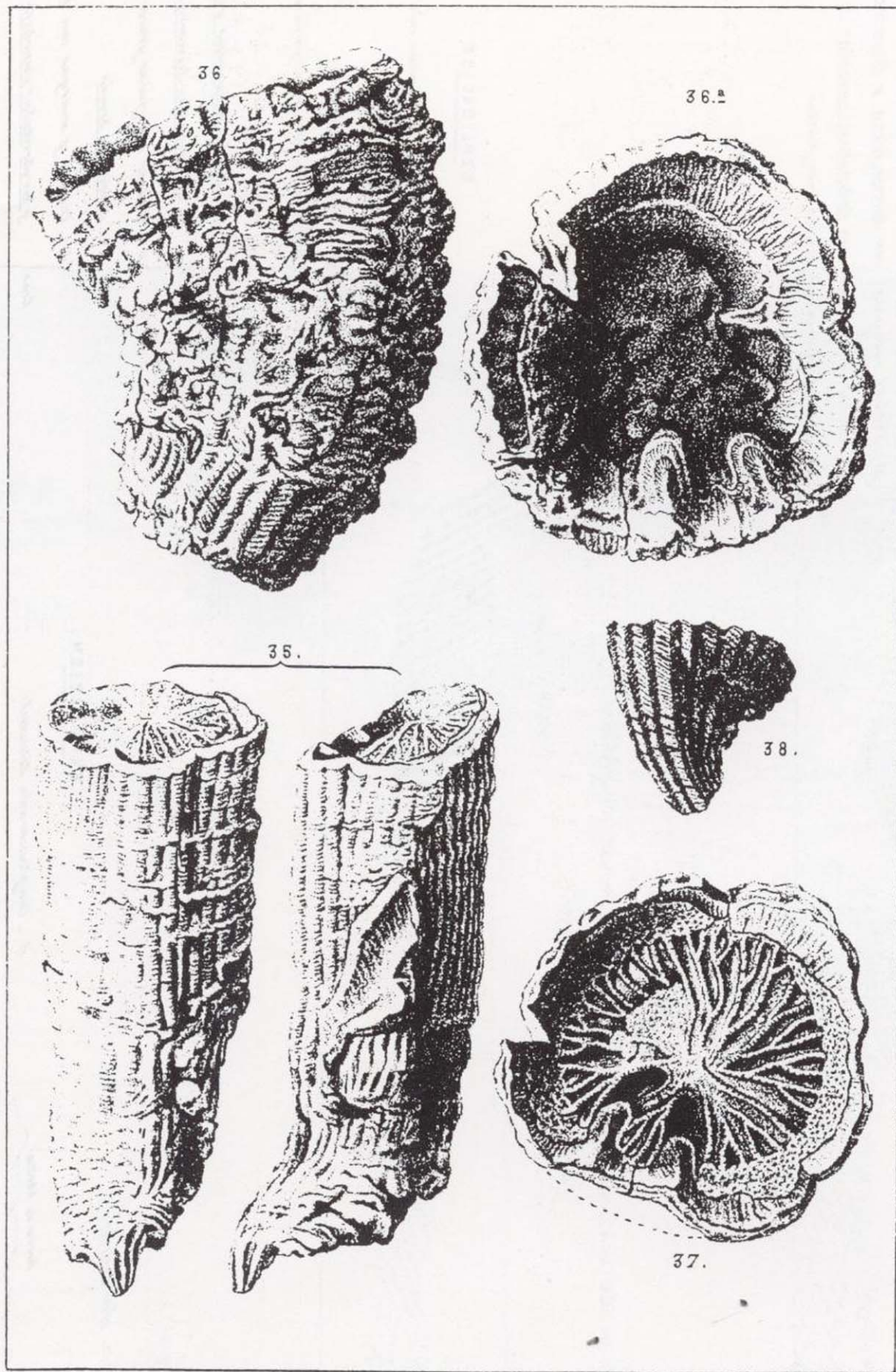


Corte desde Berga a la Sierra de Giodaeny



Corte desde La Nou a la Sierra de Cadi

Figura 7.—Cortes geológicos de la cuenca carbonera del N de Berga (VIDAL, 1871).



D.<sup>o</sup> Terera / Madarri / lo dibujo

Lit. de G. Pfeifer .

- 35 . *Hippurites castroi*, en escata mitad.
- 36 . *Id. id.* Valva inferior de otro individuo : Tamaño natural.
- 36<sup>a</sup> *Id. id.* Interior de la misma.
- 37 . *Id. id.* Valva superior de otro individuo . Tamaño natural.
- 38 . *Id. id.* Individuo joven.

Figura 8.—*Hippurites castroi*, rudistido dedicado por Vidal al Director de la Comisión, D. Manuel Fernández de Castro (VIDAL, 1874).

Fig. 1.ª

Corte del puro garumense junto a las Marías de Margó.

(Longitud 2 kilós. Almaric laber.)



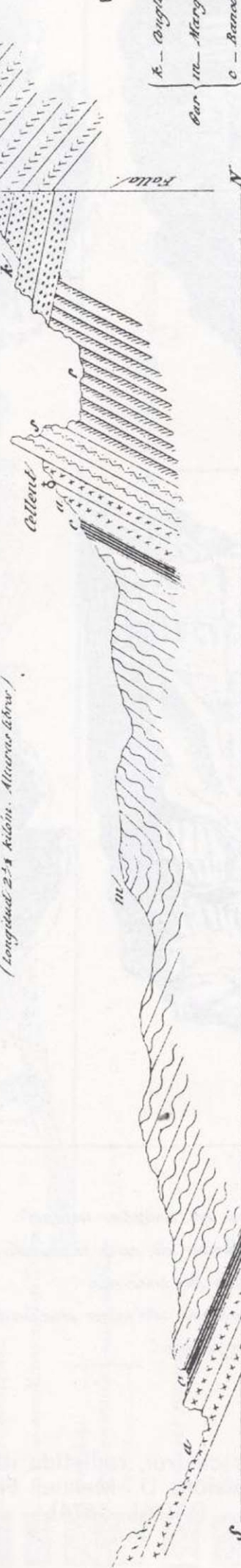
EXPLICACION.

- Bar. k - Conglomerado calizo rojo
- m - Margas terrosas rojas y abigarradas
- c - Bancos de lignito
- San. a' - Arenisca formada en su parte inferior a calizas
- d - Calizas margosas con *Orthis turca* y *Rhynchonella*
- Apé. o - Calizas compactas con *Orthis turca* concordas
- n' - Calizas margosas grises sin fósiles

Fig. 2.ª

Corte del manchon de Coll de Margó cerca de Calent.

(Longitud 2 1/2 kilós. Almaric laber.)

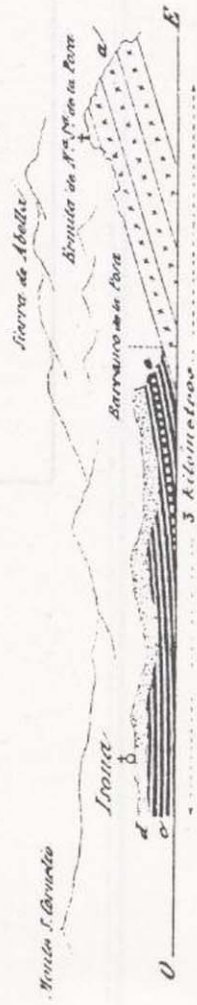


EXPLICACION.

- Bar. k - Conglomerado calizo rojo
- m - Margas rojas
- c - Bancos de lignito
- San. a' - Arenisca formada pasando a conglomerados
- Son. s - Bancos de *Hippurites radicans* y *Trochotrocha deirreica*
- p - Calizas margosas grises con *Murchisonia*
- San. k - Calizas y margas con *Stenonites* y *Avicula* *puccella*
- San. p - Calizas pardas, negras, y conchas con restos de *Stenonites* y algunas otras margas

Fig. 3.ª

Corte del manchon de Isona.



EXPLICACION.

- d - Conglomerado diluvial
- c - Grupo del carbón
- a - Banco de *Hippurites radicans*, *Stenonites*, *Equinaria*
- a' - Arenisca formada pasando a

Figura 9.—Cortes geológicos del garumense de la provincia de Lérida (VIDAL, 1874).

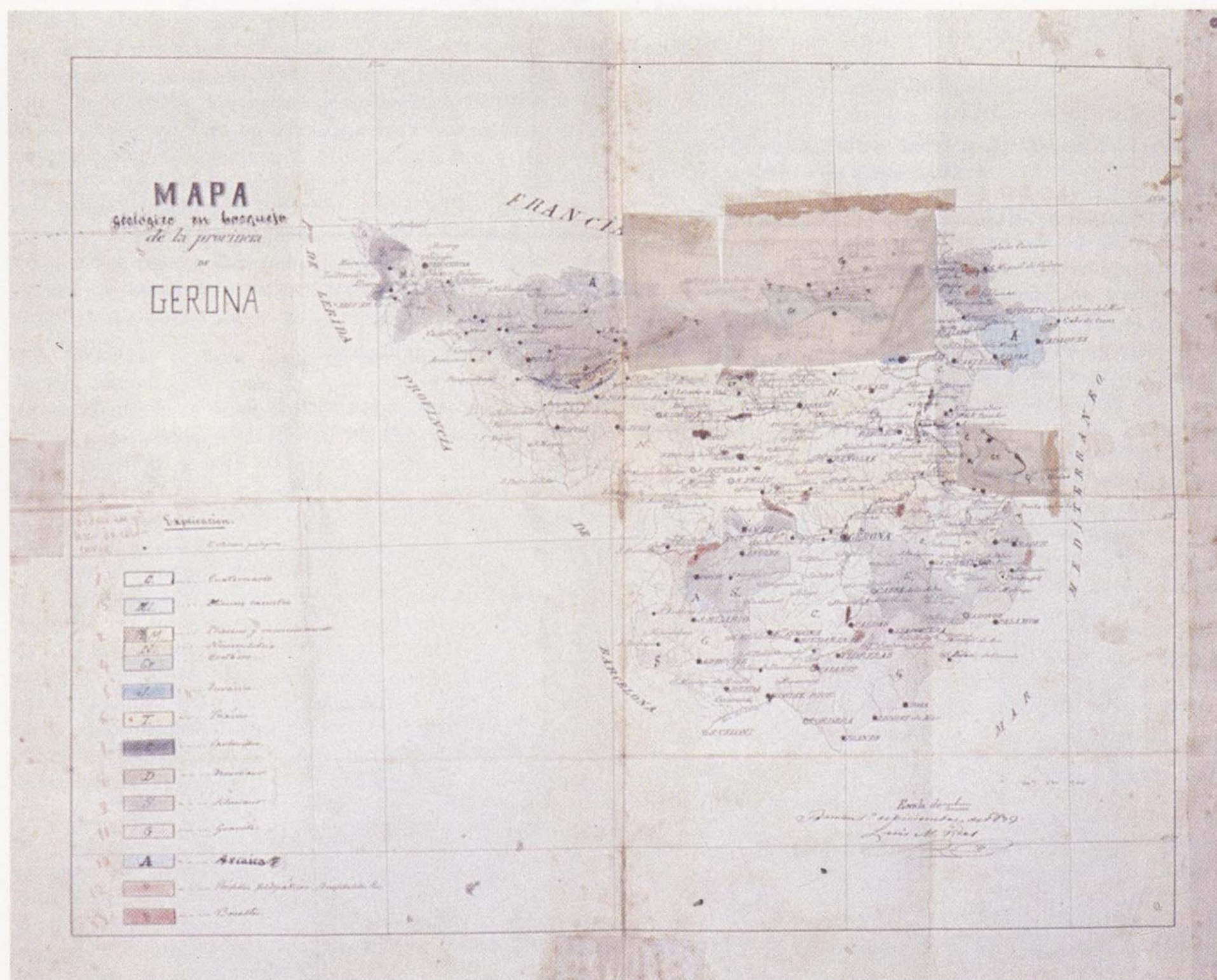


Figura 11.—Original del Mapa Geológico de la provincia de Gerona (Museo Geológico del Seminario de Barcelona).



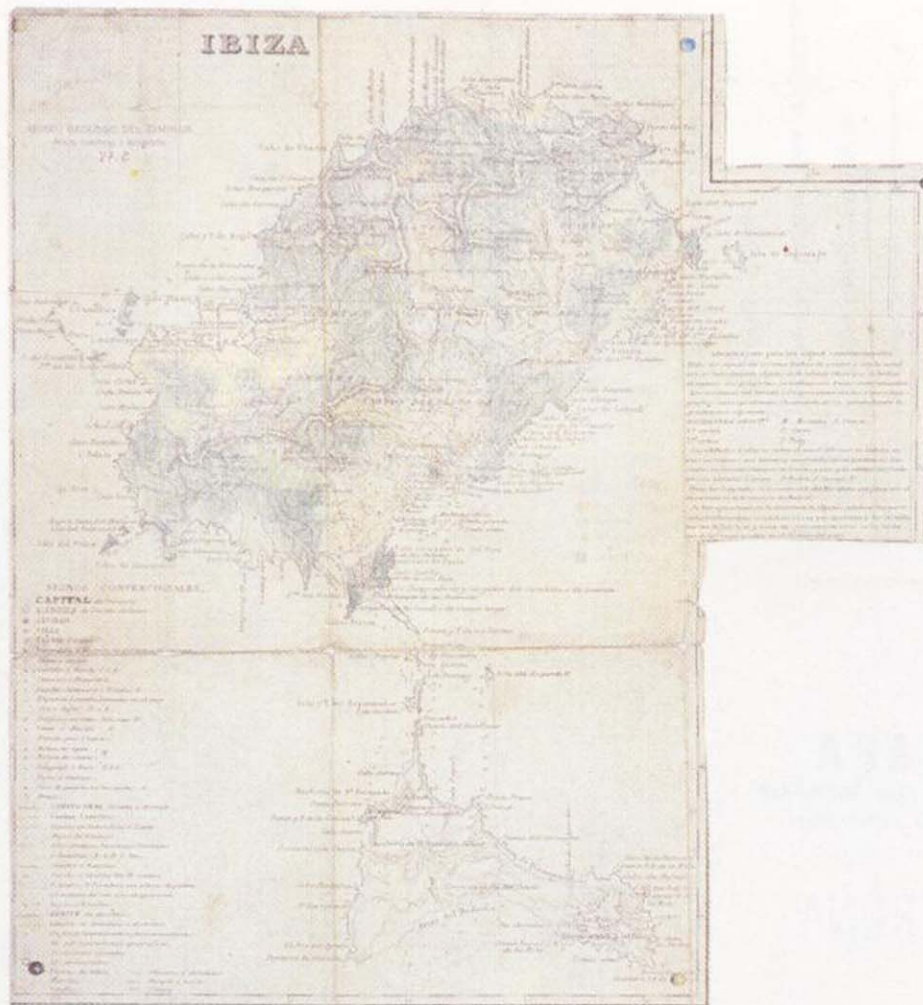


Figura 12.—Original del Mapa Geológico de las islas de Ibiza y Formentera (Museo Geológico del Seminario de Barcelona).

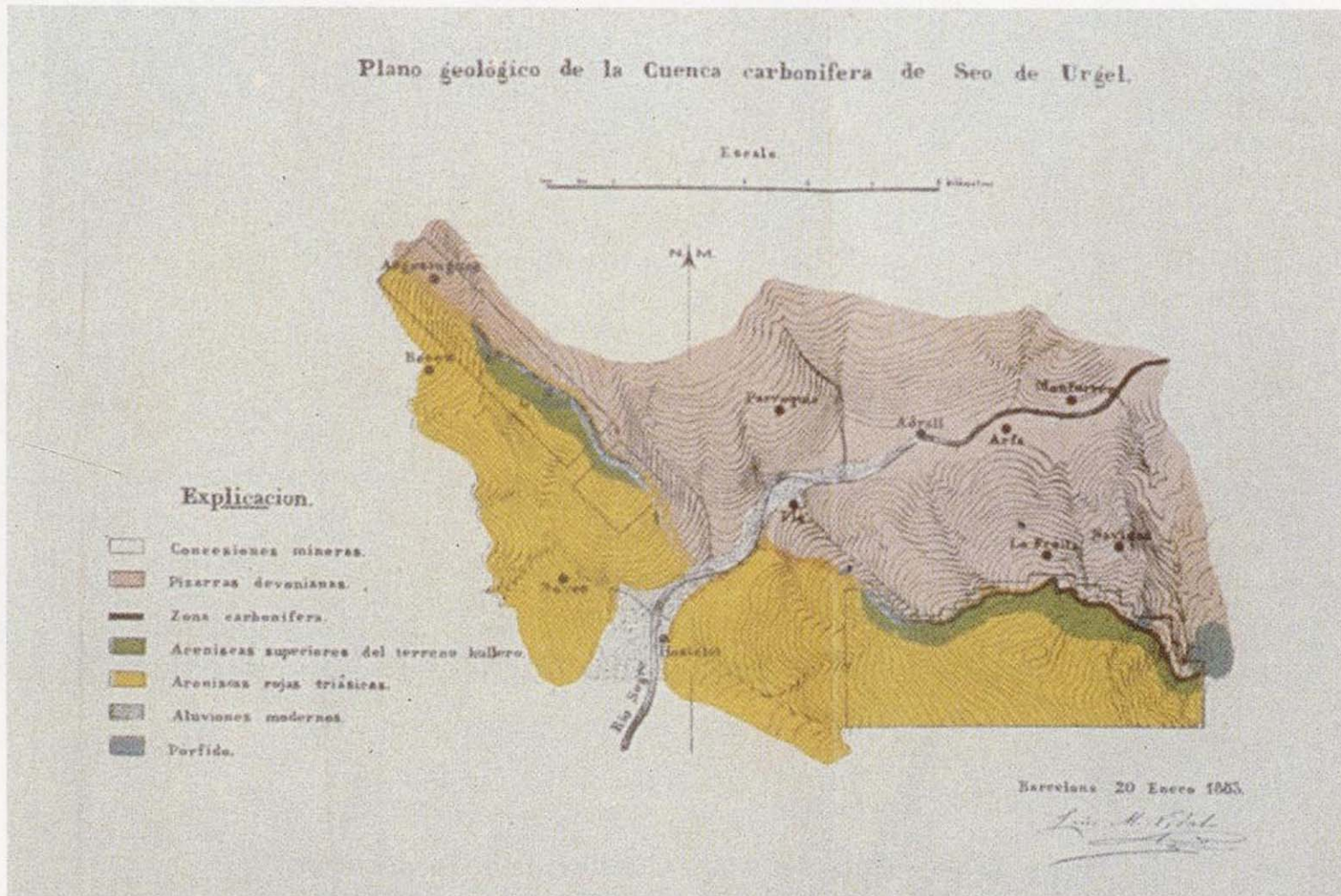


Figura 13.—Mapa Geológico de la Cuenca carbonífera de La Seo de Urgel (VIDAL, 1883).

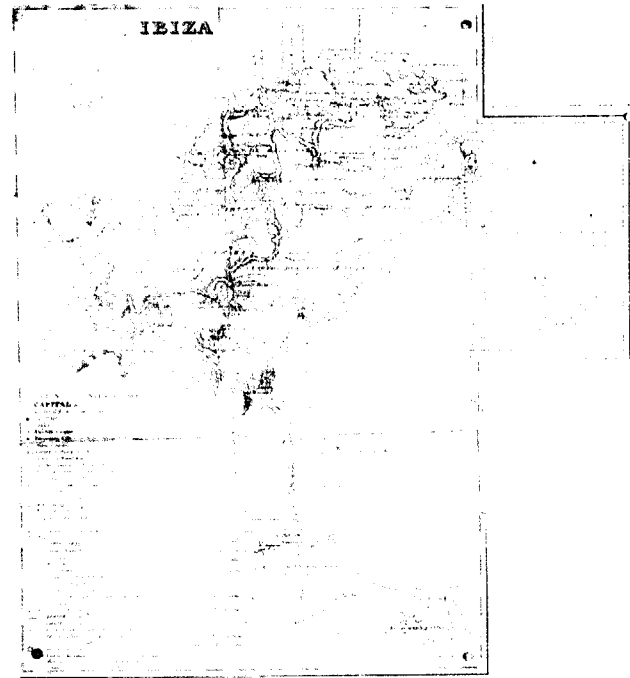


Figura 12.—Original del Mapa Geológico de las islas de Ibiza y Formentera (Museo Geológico del Seminario de Barcelona).

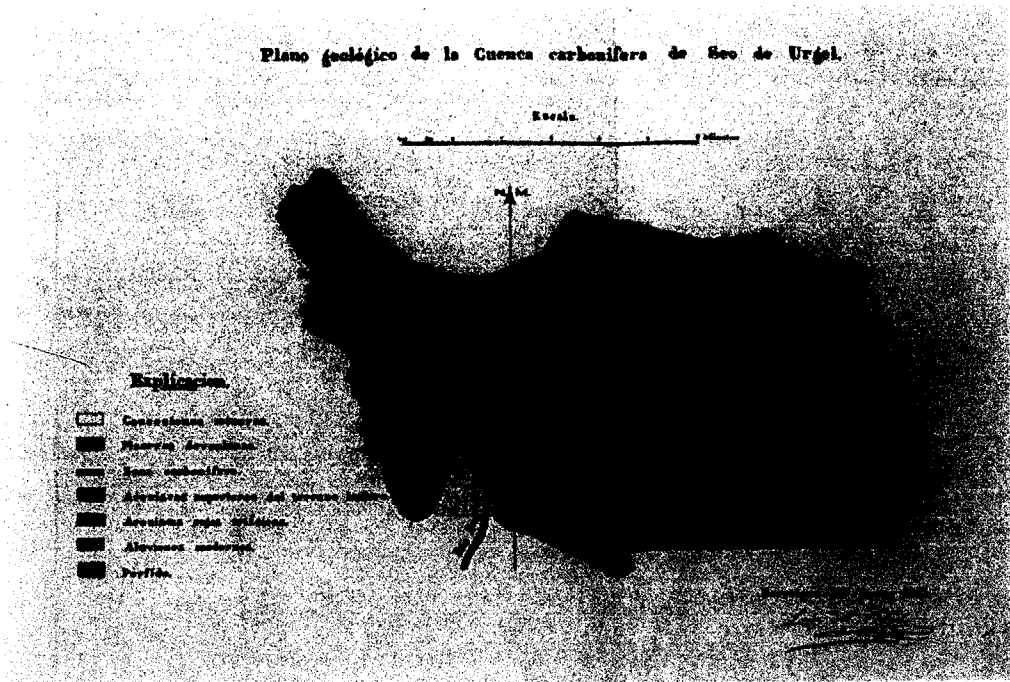


Figura 13.—Mapa Geológico de la Cuenca carbonifera de La Seo de Urgel (VIDAL, 1883).

tudios geológicos de la provincia de Lérida que le confió aquella en Junio último; 2.º, el catálogo de los fósiles pertenecientes á dichos Estudios; 3.º, un cajon con los fósiles y parte de las rocas; 4.º, el bosquejo geológico correspondiente, trazado sobre el mapa de Indar; 5.º, el catálogo de las rocas.— Queda solo por recibir el cajon que contiene el resto de las rocas, y cuya salida anunció V. en comunicacion posterior al oficio de 27 de Diciembre último, á que contesto en el presente.

En la 1.ª sesión del año, celebrada por la Sección inspectora de la Junta superior facultativa, dí cuenta de su oficio y presenté la parte del trabajo que V. había enviado, es decir, la Memoria, los cortes y el catálogo de fósiles, y dicha Seccion no solo se manifestó muy complacida de la manera como ha cumplido V. la Comision que se le confirió, sino que acordó se le hiciese saber el aprecio con que habia recibido sus trabajos, y que se le diesen las gracias por ellos, sin perjuicio de lo que proceda cuando examinados por la Comision ejecutiva y la Seccion inspectora se tenga á la vista los informes á que dé lugar el indicado examen.

Esta Direccion se hace cargo de las dificultades que ha debido encontrar V. para la clasificacion de los fósiles y hará cuanto esté en sus medios para que se llenen los vacios que necesariamente han debido quedar en el catálogo remitido, si bien se ofrece también en esta la dificultad de no poseer colecciones tipos bastante completas.—De todas maneras la Comision esta convencida, y la Junta lo estará á su tiempo, de que V. ha hecho cuanto es posible hacer en el cumplimiento del trabajo que se le encomendó, así como también de que su memoria y bosquejo no son unicamente el fruto de las escursiones que V. ha practicado despues de conferirsele la comision, sino que representa un estudio en el que se han empleado por V. algunos años recorriendo ese territorio, lo que prueba la laboriosidad y constancia que ha desplegado para obtener y recoger datos geológicos, al mismo tiempo que desempeñaba los deberes del servicio ordinario del distrito.

Sin perjuicio de lo que á su tiempo manifiesten los Ingenieros encargados de informar acerca de su trabajo, esta Direccion se hace cargo de los motivos que han obligado á V. á separarse algun tanto de las instrucciones que se le dieron, y los encuentra justificados; con tanta mas razon, cuanto que nunca ha sido su ánimo sujetar á los Ingenieros con todo rigor á reglas que en la práctica pueden alguna vez perjudicar á la claridad y perfeccion á que debe aspirarse en los trabajos.— Encomendados estos al celo de un empleado facultativo, su criterio y buen juicio ha de ser necesariamente bastante elevado para saber conciliar lo que se le pide con lo que el conocimiento del terreno le indique que puede y debe hacer.—En vista de esta consideracion, creo que ha estado V. en su lugar al separarse algun tanto de la Nota que se le remitió, si como parece ha conseguido llenar mejor su cometido.

Queda pues esta Direccion altamente satisfecha del estu-

dio geológico que por su orden ha practicado V., y no es menor su satisfaccion al participarle que la Seccion inspectora de la Junta lo ha apreciado de la manera que merece.

Lo que me apresuro á poner en conocimiento de V. para su debida inteligencia y satisfaccion.

Dios que. á V. ms. años.  
Madrid 15 de Enero 1874.

El Director de la Comision ejecutiva.  
Manuel Fern. de Castro.

3. Carta de D. Felipe Bauzá a D. Manuel Fernández de Castro. 4 de Mayo de 1874

Estimado amigo y compañero: recibí los dos planos de la provincia de Lérida; visto y examinado el de Vidal de la parte que ha hecho, que es la mas interesante por cierto, encuentro que no solo contiene todas las observaciones que ya tenia hechas y anotadas en mi plano, sino que tambien las tiene aumentadas, corregidas en muchos puntos y que por consiguiente poco ó nada puedo añadir á lo hecho por Vidal, puesto que lo único que falta es la parte comprendida entre el Segre (rio) y los límites de la provincia de Barcelona que casi en su totalidad es terciario ó numulítico, y la parte N. del valle de Aran y Andorra cuyas lagunas trataré de llenar lo mejor posible segun mis apuntes, pero para ello necesito antes ver los cortes y la memoria que ha mandado Vidal con tan precioso trabajo, siendo sensible que no haya tenido un mapa mejor de dicho provincia que el de Indár.—

Si escribe V. á Vidal hagame V. el favor de trasladarle esta carta para que conste en todo tiempo que el trabajo que puedo yo mandarle á V. le considero de poca importancia después del de Vidal.

Sin mas, queda de V. su afmo. comº q.b.s.m.= Felipe Bauzá. Hoy 4 Mayo/74.

Es copia, Fern. de Castro.

4. Carta de D. Manuel Fernández de Castro a Vidal, 5 de Abril de 1875

Mi estimado amigo y compº: Habrá V. creído, sin duda, al ver mi tardanza en contestar á su carta del 8 del pasado Marzo, que como indicaba en ella, hayan podido parecerme sus conceptos «mas que un poco descarnados» y que «se ha excedido V. al expresar tan claro y con tanta viveza su pensamiento». Puedo asegurarle con toda verdad que nada de eso ha sucedido y que me pesa en el alma haber podido dar motivo con mi largo silencio á que haya V. creído por un momento que no he sabido agradecer la franqueza con que me habla y que yo mismo he provocado con mis excitaciones.

Los motivos de no haberle escrito á V. son otros, que aunque no ha(n) desaparecido completamente, por desgracia, me permiten tomar por fin la pluma aunque no con todo el espacio que quisiera para contestarle. Ya sabe V. porque se lo he dicho otras veces, y pudo verlo durante los días que permaneció en Madrid que la Direccion del Mapa me da bastante trabajo, hasta el punto de tener que hacer en casa y por la noche todos aquellos trabajos que necesitan algunas horas de meditacion y recogimiento. Hace cuatro meses que esos trabajos se me han aumentado con la enfermedad del Secretario de la Comision Emilio Moreno, que me falta precisamente cuando mas lo necesitaba para la redaccion de la larga memoria (muy atrasada por causas inevitables) en la que he de dar cuenta al Gobierno de lo que se ha hecho en el Mapa desde que me he encargado de su direccion, del estado en que se hallaba entonces y de lo que puede hacerse, con arreglo al art.º 10 de la Instruccion que acompaña al Decreto de 28 de Marzo de 1873. A eso se agrega el penoso trabajo que da el Consejo de Instruccion pública que desde su instalacion, pero ahora sobre todo, tiene muchos y graves asuntos que reclaman una asistencia asidua. Pero sobre todo mi delicada salud en estos ultimos meses, y enfermedades en mi familia, me han privado absolutamente de ponerme á escribir la carta á V. y otras que exigian algo mas que una contestacion puesta a la ligera entre la barahunda de gente y de asuntos que despacho en las pocas horas que puedo estar en la oficina. Ni un solo día, sin embargo, he dejado de recordar la necesidad de decirle á V. con cuanto aprecio he recibido la prueba de confianza que V. me ha dado en su carta.

No voy á hacerme cargo de ella detenidamente, porque necesitaría muchos pliegos y difícilmente llevaría el convencimiento al ánimo de V. que me parece, debo decirselo con una franqueza igual á la que V. emplea, me parece algo preocupado con una idea fija que no es enteramente exacta: la de que estando asociado ya el nombre de Bauzá a otros que no son los de verdaderos geólogos no debe apetecer esa colaboracion quien con justicia se considera competente. Teme V. (sin fundamento en mi concepto) que las personas entendidas que vean el nombre del Sr. Bauzá al lado de otros desigualmente aptos para secundarle confundan bajo un mismo anatema el juicio desfavorable que pudiera hacerles formar el peor de esos trabajos. Y digo que no tiene fundamento ese temor, que no es exacta la idea que le domina á V.; porque en el mero hecho de ser competentes los que juzgaren los trabajos del Sr. Bauzá desigualmente auxiliado se desprende que han de saber encontrar la diferencia y aplicar la critica ó la alabanza á quien la merezca y hasta podría adaptarse á este caso un axioma matemático: si en ambos trabajos hay un factor comun y sin embargo el mérito es muy desigual, á los otros factores corresponde cargar con el aplauso ó con la censura.

Pero todo esto que yo veo claro y sobre lo cual en una conferencia de pocas horas no podríamos menos de ponernos de acuerdo pronto, comprendo que no es fácil ex-

plicarlo en una carta, por mucho que quisiera extenderme y hasta sería delicado por demas, pudiendo escaparse alguna palabra que no fuera bien interpretada; me falta tambien el tiempo para escribir con el detenimiento que sería necesario, y como por otra parte *mi Idea dominante* desde que me encargué de la direccion del Mapa es que todos y muy particularmente V., cuya cooperacion tengo en mucho, no trabajen sino en aquello que hagan con gusto, desde el momento en que tiene V. la menor repugnancia en redactar el Bosquejo fisico-geológico de la provincia de Lérida como colaborador de otro y que no tiene inconveniente en hacer y firmar solo algunas memorias describiendo geológicamente diferentes partes de ella que reunidas formen despues un todo completo; no veo la menor dificultad en que se realice la primera parte del plan que le propuse á V. y quede el Bosquejo para mas tarde; que juntos y discutiendo sobre el modo de llevarlo á cabo elegiremos la solucion mas satisfactoria entre las que se me ocurren.

No quiero terminar esta carta sin aclarar algunos puntos de la suya y desvanecer los escrúpulos que pueda V. tener, y que creo descubrir en ella.—Empiezo por sentar que yo no soy geólogo, que entro en la categoría de los que siendo ingenieros de minas con ideas de Geología, no han practicado lo bastante para resolver con acierto las dificultades que ofrece trazar el bosquejo geológico de una comarca no explorada: y por eso siendo Director del Mapa, no encomendaré semejante estudio á un principiante ó aficionado, si está en mi mano disponer de un geólogo; pero en cambio creo que *teniendo ya un bosquejo*, y en él marcados los límites de los terrenos, sistemas o grupos, puede un ingeniero, para quien no es enteramente extraña la Geología, rectificar esos límites, confirmar lo que está bien señalado y corregir los errores que necesariamente ha de haber en la forma y dimensiones de las manchas de terreno cuyas líneas de separacion no se han marcado sino por algunos puntos señalados en itinerarios mas ó ménos numerosos. Si el ingeniero encargado de la rectificacion tiene buena fé y no adolece de una petulancia exagerada, su trabajo no puede ménos de mejorar el primitivo bosquejo, aunque esté hecho por una persona mas competente que él, puesto que no debe alterar sino aquello que *positivamente encuentra defectuoso* y por el contrario debe dejar sin alteracion no solo aquello que encuentra bien, sino tambien lo que le parezca dudoso: el resultado que presente no será perfecto, pero tiene que ser mejor que lo que había y esto es lo que despues de oír á D. Eusebio Sanchez, y con el consentimiento de Dn. Felipe Bauzá se encomendó a dos ingenieros de ese distrito, *cuando ya á V. se le habia confiado una comision delicada que se hallaba desempeñando*. La manera como cumplió V. esa comision me dió la medida de lo que V. vale como geólogo, y de aquí vino mi idea de *no encargarle simplemente la rectificacion* de los trabajos que hubiere sobre la provincia de Lérida, sino encomendarle ántes otros *hechos solo por V.* cuya importancia dieran á conocer toda la parte que le correspondía

en el bosquejo que mas tarde había de formar llevando su nombre asociado al del Sr. Bauzá. El conocimiento que tengo de que hechas las cosas así no podrá confundirse lo que V. hiciera con lo que podia hacer un cualquiera es tan grande, que no desconfío aun de que V. lo reconozca así y me dé algun día la razon, sin necesidad de que discutamos sobre ello, con solo meditarlo friamente. Pero de todos modos, por ahora me basta que sepa V. cual ha sido mi intencion y que no crea que ni el Sr. Bauzá, ni Sanchez, ni yo desconocemos la diferencia que hay entre el ingeniero que tiene nociones de la geología, como una de tantas ciencias auxiliares de la profesion, y el que como V. ha hecho un estudio especial de ese ramo: por eso un bosquejo como el de Barcelona, bastante completo, casi concluido, pero hecho á retazos en un largo período de tiempo, con datos heterogéneos y que necesitaba alguna rectificacion que no podra ya hacer el autor, se le encargó á dos ingenieros, que no lo pretendieron pero que manifestaron buena voluntad de trabajar; mientras que las provincias de Lérida y Gerona, apenas bosquejadas, que necesitaban exploraciones geológicas muy detenidas, se reservaron para V. encargandole ántes esos estudios que habían de aparecer, como era justo, hechos por V. solo. Yo tuve el gusto de mandarle á V. una carta del mismo Sr. Bauzá en que manifestaba el alto concepto que tiene de esos trabajos, debía V. pues estar seguro de que *todos*, incluso el colaborador con quien lo asociaba á V. le habían de hacer completa justicia.

Pero veo que empiezo á repetir lo que ya tengo dicho y me voy extendiendo mas de lo que me había propuesto y puedo hacerlo: termino, pues, asegurandole á V. de nuevo que siento no haber acertado, pero que mi intencion no podia ser mejor; que creía con mi plan dar un gran valor al trabajo del Sr. Bauzá, sin que dejaran de aparecer como originales los de V.; que me alegraría que al fin se convenciese V. de ello porque así llegaríamos mas pronto á tener completos los bosquejos de Cataluña. En el caso contrario, espero que no dejará V. de seguir haciendo los estudios que sean mas de su gusto, porque siempre serán importantes y ocuparán un lugar muy distinguido en las publicaciones de la Comision del Mapa.

Es siempre de V. affmo. amigo y compañero.

Manuel Fern. de Castro.

##### 5. Borrador de una carta de Vidal a D. Manuel F. de Castro. (Abril de 1875)

Recibí á su tiempo su muy estimada carta de 5 Abril, que he leído con sumo detenimiento y á la cual voy á contestar tan brevemente como me sea posible, porque á pesar de que veo la benevolencia con que ha acogido V. mi anterior, comprendo que no estoy en mi terreno al hablar con V. de un asunto tan delicado, y deseo terminar antes mi insistencia no haga pensar á V. que animado con la confianza que V. me dispensa he confundido los papeles.

Tengo un verdadero sentimiento al leer la idea de que se puede encargar la rectificacion o terminacion de un trabajo geológico casi concluido, á quien no haya practicado la geología. Dios quiera que el tiempo no se encargue de demostrar que esto no pasa de una ilusion: Si los Tramos geológicos estuvieran tan claramente señalados en el terreno, como los manchones coloreados con que se les marcan en el papel, ciertamente costaría poco al neo-geólogo extender los límites de las formaciones que otro observador haya ido señalando; pero bien sabemos que no hay mas guia que el estudio de los fósiles: que el color, aspecto y naturaleza de las rocas de un mismo tramo cambia segun la comarca en que se estudie: por lo tanto ¿que criterio guiará al que quiera ultimar el trabajo de otro, si no conoce la paleontología, ni ha adquirido nunca la costumbre de observar? Niego en absoluto que pueda *poner la mano* en un trabajo geológico, por completo que sea, nadie que (crea) iguales 2 fósiles de distintas épocas, y diferentes los que pertenezcan á una misma. Si por ejemplo fuese V. autor de una obra de terapeutica, tendría valor para hacerla terminar por un alumno del colegio de S. Carlos? Quién daría un tratado de táctica militar para que la completase la inocente experiencia de un cadete?... Pues no dude V. que la comparacion, aunque parezca exagerada, es muy exacta. Es tan peligroso hablar de lo que no se entiende! A nuestro Cuerpo en masa ha de dolerle la severa leccion que han recibido del geólogo Mr. Coquand tres Ingenieros españoles cuyo talento nadie pondrá en duda, por que se ocuparon de los carbonos de Utrillas sin tener suficiente competencia en los estudios geológicos.

Triste es que en el terreno de la política se haya visto en España Gobernadores sin saber apenas firmar, Generales que se atortolan al hacer maniobrar 2 batallones; pero muchísimo mas triste es que en el terreno científico se prescindiera tambien de la capacidad, y tengamos geólogos sin geología.

El ardiente deseo de dar brillo al Cuerpo, y esa bondad excesiva que forma el fondo de su carácter y que le hacen mirar á los demas en el mismo espejo en donde vé V. su gran actividad y su aptitud para todo lo que se propone, son los móviles que le han impulsado á tomar una medida que, no lo dude, no responderá a su objeto. Nadie que haya visto cuanto empeño pone V en la mejor marcha de lo que le está confiado, y como le roba el tiempo y la salud la penosa direccion de nuestros trabajos, dejara de hacer siempre justicia á sus intenciones ni podra menos de reconocer el mérito que le corresponde en haber dado en tan pocos meses un impulso tan vigoroso al estudio geológico de España. Pero yo, señor Castro, que veo ciertas cosas mejor que V. por que estoy más cerca, mientras que V. por estar mas alto las vé mas lejos, hé de hablarle á V. con franqueza catalana: Así como el militar pundonoroso ve con pena el modo de distribuir grados y empleos, el hombre estudioso, que mira como honras de gran precio las comisiones emanadas de centros como el que V. dirige, no puede presenciar impasible como parten con él estos honores los que hace

poco juraban que no aceptarían encargo alguno si antes no se les daba un *maestro de geología teórica y práctica*. La persona extraña al Cuerpo que al dirigir ciertas preguntas de geología á personas revestidas de un carácter científico oficial obtenga por respuesta «...no sé decirle á V.... por ahora no estamos bastante al corriente ... ya ve V. á nosotros nos hacen ser *geólogos por fuerza...*» formará una tristísima idea de lo que son en España las comisiones científicas.

**6. Carta de D. Antonio Hernández a Vidal,  
24 de Abril de 1876**

Mi estimado compañero y amigo: por la suya de 18 del corriente y el calco que la acompaña, veo el adelanto en que lleva V. ya el estudio geológico de la provincia de Lerida y el sistema que se propone seguir para continuarlo.

Tiene V. mucha razón para decir que le ha tocado lo peor de Cataluña, no solo por la gran extensión de la provincia sino también por el imperfecto conocimiento geográfico que de la misma se tiene. Respecto á este último punto no pierda V. de vista que en condiciones análogas se hallan la mayor parte de las provincias de España, y entre ellas las de Huesca y Cáceres que le han tocado en suerte á Mallada. El mismo D. Casiano de Prado tuvo que publicar su carta geológica de Madrid en 1853 sobre un trazado geográfico muy imperfecto; seis años después, en 1859, me decía que aguardaba solo á que su paisano D. Carlos Ibañez terminase la carta topográfica de la provincia de Madrid para publicar un nuevo mapa geológico detallado, y que tenía ya hechos todos los estudios necesarios. La carta geográfica de Madrid se retrasó tanto que ahora se está grabando, y D. Casiano tuvo el buen acuerdo prescindir de ella y darnos en 1864 su segunda carta y su «Descripción física y geológica de la provincia de Madrid», que como V. sabe es lo mejor que en su clase se ha publicado en España, y sin embargo el trazado geométrico no merece gran confianza, y estoy seguro que si Dn. Casiano viviera hoy publicaría un tercer mapa sobre el trazado exacto que ha de darnos el Instituto Geográfico.

El geólogo que hace sus estudios detenida y concienzudamente, que tiene sus observaciones consignadas en las libretas refiriendo, como es indispensable, los límites de las formaciones á objetos fijos é invariables del terreno, siempre que por un nuevo trazado geométrico se modifique la relación entre estos objetos fijos puede modificar su trazado geológico sin que persona alguna competente pueda echarle en cara su imperfecto trazado anterior. No se olvide V. de que lo mejor es enemigo de lo bueno, y que en España pocas veces se hacen las cosas como deben hacerse y es necesario conformarse con hacerlas como se puede, pues de otro modo no se hace nada.

Viniendo al estado presente de la cuestión diré á V. que no hay que pensar por ahora en datos de triangulación geodésica de la provincia de Lerida. Según la carta publicada por el Instituto Geográfico hace menos de un año,

en la que se representa la red geodésica de 1.ª orden, resulta que en todo el Pirineo de Cataluña no hay más que un solo vértice observado (en la Junquera), y luego está en blanco todo lo demás hacia el oeste y el interior de la provincia de Lérida hasta la capital, por consiguiente si todavía no hay triángulos de 1.ª orden puede V. figurarse cuando tendremos los de 2.ª orden; y luego hay que contar con que transcurre mucho tiempo desde que observan sobre el terreno hasta que terminan el cálculo de los triángulos, y esto acabamos de verlo con la provincia de Toledo.

De los mapas de Coello no hay tampoco mucho que fiar pues no es más que un compilador de los datos existentes; y provincias hay, la de Murcia por ejemplo, en que su mapa es fatal; sin embargo para cuando su trabajo de V. se halle en estado de publicarse ya procuraremos allegar todos los datos que se pueda para hacer lo mejor posible. Por el momento hemos encargado una carta de los Pirineos de Du Ballon, que según dijeron á Mallada, había pedido la Comisión que se ocupa del trazado del ferrocarril por el Pirineo Central; veremos lo que es y se le mandará un calco.

Recomiendo á V. muy particularmente que procure ocuparse con algún detenimiento de los recursos industriales de cada formación, no solo respecto de la especialidad de nuestra carrera, sino también para la agricultura; la construcción y la industria fabril: esto es de mucho interés en todas partes pero lo es más aun en un país pobre y atrasado como España, y pone de relieve el valor práctico y de aplicación de los mapas geológicos.

(...)

Se repite de V. afmo compañero y amigo.

**7. Carta de D. Lucas Mallada a Vidal,  
10 de Mayo de 1876**

Amigo Luis: Confirmando mi anterior, contestación á la tuya de 29 Abril, y hoy no puedo menos de volver á escribirte, para hacerte algunas aclaraciones más.

Te preocupa mucho la Memoria de Barcelona, encomendada á Thos y Maureta, por lo que puedan relacionarse con tus trabajos, y la cuestión es muy sencilla. D. Antonio Hernández, al encargarse de la dirección del Mapa, se encontró con un compromiso adquirido por el Sr. Castro con Thos y Maureta, compromiso que llegaba al punto de haber acordado ya la remisión en este año de nuevas cantidades para que continuasen sus estudios, y que el Sr. Hernández no pudo menos de atender. Tu ó yo en su lugar hubiéramos hecho lo propio. No se le oculta al Sr. Hernández que pudiera muy bien suceder que los trabajos de Thos y Maureta no respondieran á lo que el Sr. Castro esperaba, y que tardarían mucho tiempo en dar resultado, ó este no sea aprovechable. Pues bien, existiendo un trabajo tuyo de Barcelona, lo más práctico y

conveniente desde luego, es que tu lo remitas aquí brevemente y se publique en el Boletín este año mismo. Debes pues decidirte, y con eso adquieres la prioridad que deseas.— Como es natural, Thos y Maureta tendrán buen cuidado de no enviar una memoria que sea inferior á la tuya. Si así lo hicieran, el resultado sería bien desfavorable para ellos; y si después de tu primer trabajo sobre Barcelona se consideraban sin fuerzas para hacer cosa mejor, no tendrían más remedio que expresarlo así, y entrarías tu de lleno en hacer cuantos detalles quisieras.

Las *notas* (?) (!) sobre Tarragona y Lérida del Sr. Bauzá son unas pocas páginas que en nada pueden hacer sombra á tus estudios, y sobre las cuales ya te dije bastante en mi anterior.—

D. Antonio Hernández no piensa como el Sr. Castro que cualquiera Ingeniero ha de servir para hacer estudios geológicos, y te aseguro que lo que es por su parte no los harán los que no hayan probado ya que los saben hacer. Pero necesariamente se ve obligado á no desatender compromisos adquiridos los cuales la *parte contraria* ya verá como llega á satisfacer.

Tenemos todos en esta casa el convencimiento de que tu seguirás en 1.ª línea en los asuntos geológicos; y te aseguro por mi parte que no debes tomar como vendabal deshecho lo que no es más que un ligero vientecillo. Si es positivo que Thos y Maureta no han de llegar á hacer un trabajo aceptable, no dudes que ellos llorarán sus pecados.

Si, como suponemos, te decides á mandar tus estudios de Barcelona, procura hacerlo en breve, pues para Julio ó Agosto ha de estar ya en disposición de mandarlo á la imprenta. D. Antonio lo desea saber cuanto antes, para retirar ó no otros trabajos que hay pendientes, y que se dejarían para otro año, si se cuenta con tus escritos.

Cuidate mucho y sabes desea serte útil tu buen y desventurado amigo.

**8. Oficio del Director de la Comisión a Vidal,  
19 de Abril de 1881**

El Excmo. Señor Director general de Obras públicas y Minas, me dice con fecha 6 del corriente lo que sigue:

«Excmo. Señor.— El lamentable suceso acaecido en 13 de Enero último en la llamada Cuenca de Tremp, en la provincia de Lérida que tan triste porvenir auguraba al vecindario del pueblo de Puigercós, si continuaban produciéndose los hundimientos que hacían temer las grietas observadas en el suelo de sus calles y de sus casas, y que tan profunda y legítimamente preocuparon la atención pública, despertaron en V. E. de una manera espontánea como patriótica, la idea de confiar el Ingeniero del Cuerpo de Minas Don Luis Mariano Vidal el estudio del fenómeno en cuestión, para que, si como ya entonces se tenía por probable, era debido á causas geológicas, se pudieran adop-

tar, en su vista, por el Gobierno de S.M. las medidas más rápidas y conducentes á evitar la repetición de males siempre lamentables y hartos sensibles para aquellos que los padecen. Basta la rápida lectura de la comunicación dirigida por V.E. á este Centro directivo, al remitirle un ejemplar de la Memoria escrita por el Ingeniero Vidal, para apreciar hasta que punto el celo, nunca suficientemente encarecido de V.E., ha sido secundado por la activa inteligencia de aquel funcionario, que en esta ocasión ha demostrado una vez más que los conocimientos científicos que posee no son inútiles para el interés público; y para comprender al propio tiempo, que el Gobierno conoce ya los datos necesarios á producir la adopción de las previsoras medidas á que tienen derecho todos y cada uno de los individuos que constituyen la nación; medidas que de seguro se adoptarán oportunamente, en el grado posible, toda vez que ya tiene conocimiento el Excmo. Señor Ministro de la Gobernación del resultado ofrecido por el importante trabajo que se debe á la exclusiva iniciativa de V.E. y á la laboriosidad inteligente del Ingeniero Vidal. y esta Dirección general que tiene complacencia suma en tributar sus plácemes á cuantos á ellos se hacen acreedores, ha acordado manifestar á V.E., para su conocimiento y el del Ingeniero de que se trata, la gran satisfacción con que se ha enterado del importante estudio llevado á cabo por el mismo, como consecuencia de la laudable y provechosa idea concebida por V.E.».

Lo que traslado á V.S. para su conocimiento y satisfacción.

Dios guarde á V.S. muchos años. Madrid 19 de Abril de 1881. Manuel Fern. de Castro.

**9. Carta de D. Manuel Fernández de Castro a Vidal,  
7 de Diciembre de 1891**

Mi muy estimado amigo y compañero: recibí oportunamente su carta de 19 del pasado Noviembre y no he contestado antes porque he tenido enfermos de cuidado en casa; con eso se han retrasado y acumulado trabajos urgentes, de los cuales no me he desembarazado aún. Además deseaba que Mallada se enterase de la carta de V. y del croquis ó cálculo que en ella me incluye para que me dijera si está conforme con las modificaciones que V. propone y que se refieren á los terrenos por donde pasa la línea de separación de las provincias de Lérida y Huesca.

Pero vamos punto por punto, en el orden en que V. me hace sus observaciones, ó mejor dicho, en que V. contesta á las de M. Margerie.

Con respecto á la situación topográfica de Sellent, poco hay que decir y hacer; puesto que tiene razón Margerie y V. propone el medio de remediar la falta; le diré que puede perfectamente corregirse la situación de dicho pueblo raspando la piedra y poniéndole como V. indica en su cálculo de puntos; es decir, más distante de Boixell y en el terreno cretáceo superior.

Las otras dos observaciones siguientes de Margerie, á que contesta V., se refieren á los sistemas triásico y jurásico que quedan interrumpidos en la línea que separa las dos provincias de Lérida y Huesca.

Ambas tienen la misma explicación que V. dá con respecto á una de ellas: que esas diferencias proceden del modo de ver de dos observadores distintos. Esa contestación, daré también á M. Margerie cuando le escriba, reconociendo que ha tenido razón al suponer lo mismo; pero como conviene que no quede así en la nueva tirada que se haga, sino que en esa como en las sucesivas se vayan corrigiendo las deficiencias que no puede ménos de tener un bosquejo, ya estudiaremos el modo de conseguirlo. Mallada, á quien he mostrado, como era natural, las observaciones de Margerie y la contestación de V., así como su indicación de que la concordancia puede lograrse fácilmente *ahora* por el lado de Aragón, sobre todo en la región de Camporrells, dice que se alegraría equivocarse y que V. tuviese razón, pero cree que nó, porque ha recogido fósiles triásicos en Naval y recuerda que Caserras tiene las rocas triásicas que ha visto en varias provincias; si bien es posible que las dos fajitas de Baldellou y de Camporrells sean cretáceas, pero no está seguro.

Pasemos á otros particulares de la carta de V.

Después de indicarme que el mapa manuscrito y fotografiado que M. Prudent le mandó á V. es bueno, y le facilitará á V. el trabajo; pero que tiene errores en la situación de los pueblos, (indicación muy importante por que voy á tener presentes sus trazados para corregir nuestras hojas) después de eso, repito, me dice V. que había pensado enviar un cálculo á la Comisión, á fin de completar la provincia con los datos y mapas de que disponemos y me pregunta si yo había formado algun proyecto sobre el particular. Precisamente yo había pensado pedir á V. dicho mapa para corregir los nuestros; y puesto que hemos coincidido en el pensamiento, no tengo nada que añadir, sino que cuando mande V. el cálculo señale en él en tinta de distinto color todos los errores ó modificaciones que en su concepto deban enmendarse.

En cuanto al auxiliar que V. necesita para cuando tenga su trabajo de Lérida en disposición de emprender los dibujos de mapa y cortes geológicos; no tiene V. mas que avisarme y se lo mandaré inmediatamente jojalá fuera muy pronto!

Sin más por hoy queda siempre de V. afmo. am<sup>o</sup> y s.s.q.b.s.m. Manuel Fern. de Castro.

**10. Carta de Lucas Mallada a Vidal,  
25 de octubre de 1892**

Querido amigo Vidal:

De regreso de mis últimas excursiones debo decirte otra vez mas el objeto y resultado de mi expedición á Aragón y Cataluña.

Cada vez que remitias nuevos y retocados ó reformados planos de los confines de Huesca y Lérida, me dolía el desacuerdo en que me hallaba contigo y que principalmente consistía en que mis fajas triásicas de las inmediaciones del Montsec se convertían en cretáceas ó en ofitas al tocar en tu terreno. Uno de los dos nos equivocábamos; pero queriendo respetar tus observaciones, en las que tenía yo mas confianza que en las mías propias, en las hojas del Mapa General ya publicadas se respetaban tus colores y se cercenaban los míos, si bien no me atreví definitivamente á suprimir en Huesca las dichas fajitas *triásicas*.

Después de publicadas dichas hojas no han faltado críticos nacionales y extranjeros á quienes *chocaba* el desacuerdo; y á todo esto, Don Manuel, por una parte, deseaba preparar una segunda edición de *nuestra hoja* reformada ó enmendada en lo que se pudiese. Por otra parte, tu te hallabas, y sigues, en visperas de ultimar tu Mapa definitivo de Lérida. De aquí nació la idea de que juntos revisásemos nuestros confines; pero motivos que te expuse en mi anterior impidieron que acudiera yo al lado tuyo en tiempo oportuno.

¿Qué hacer, habiéndose pasado lo mejor de la estación y aproximándose el invierno? D. Manuel, nuestro Jefe, veía con pena que las diferencias seguían en pie y que ya, hasta otro año, no sería fácil nuestra reunión en los confines de Huesca y Lérida. No podía yo mostrarme indiferente ante el disgusto de D. Manuel; y así fué que el 3 del corriente salí, como sabes, á dar un vistazo á la cuenca del Noguera, penetrando en tu provincia con el vivo deseo de *no ver trias* y pasar á Huesca á tacharlo, si no tenía seguridad ó no confirmaba mis primitivas observaciones. Te digo con el corazón en la mano que deseaba ardientemente haber sido yo quien se había equivocado. Te repugnaré, tal vez, creer en tanta humildad, ó en tanto abandono de amor propio; pero te aseguro que así es de toda verdad. Hace muchos días que he perdido el último átomo de entusiasmo y de vanidad por la excelsa y perillustre Ciencia, de la cual solo he recogido frutos amargos ó insípidos.

Pero la Ciencia es la Verdad y soy mas amigo de esta que de ti, con serlo mucho. Después de mi última excursión tengo la completa seguridad de que no te has fijado en el trias. En las calizas triásicas *con fósiles*, aunque malos, están Alós, Vilanova des Abellanes, Avellanes, las salinas de estos pueblos &a. No me extraña que hayas dejado de notar esas manchas confundiéndo las con el cretáceo y en parte con el lias. Omisiones, olvidos, descuidos mayores he cometido yo en mis trabajos. Todavía mas. La salina de Tragó ó de Estopiñán, sobre la derecha del Ribagorzana, ya en territorio aragonés, y donde has estado y recogido fósiles varias veces (fósiles cretáceos) se halla en una mancha triásica que manchamos de *ofita*, siguiendo tus planos y *enmendando* mis primitivas observaciones. Lo que menos hay allí son ofitas. Sobre las arcillas con sal y yesos de colores hay bancos de calizas triásicas fosilíferas sobre las que se apoyan á uno y otro

lado la fajas cretáceas del Monsec por el Norte y de Tragó con sus marmoles de alveolinas, calizas y numulíticas &a. por el Sur. Y no te vuelvo á molestar mas en este asunto.

Yo, ya lo sabes, no tengo fuerzas ni humor de empezar otra segunda provincia de Huesca; y de mucho peor talante estaría para agregar *un minuto* mas á mis cinco días de expedición por Lérida, de cuya provincia deseo hagas una Memoria modelo, inmejorable é incorregible.

A D. Manuel he enterado de mis observaciones, y supongo te escribiré confirmando mi absoluta creencia de que debes admitir mis fajitas triásicas, desde el Ribagorzana hasta muy cerca del Segre por el lado de Artesa.

Mandame otras cosas en que pueda servirte, y no dudes te quiere de veras tu amigo y c<sup>o</sup>.

**11. Carta de D. Manuel Fernández de Castro a Vidal,  
4 de Abril de 1893**

Mi estimado amigo y compañero: adjunto remito á V. el croquis geológico de los confines de las dos provincias de Huesca y Lérida, que me ha presentado el Sr. Mallada, como resultado general de las rápidas excursiones que efectuó en Octubre último, cuando se proyectó que fueran VV. juntos por indicación mia á recorrer los límites de las dos provincias y poner de acuerdo los trabajos de ambos.

De sus visitas á algunos pueblos de la provincia de Lérida, el Sr. Mallada ha deducido las siguientes consecuencias:

1.<sup>o</sup> que las manchas señaladas por V. como ofitas con yesos son principalmente triásicas, desarrollándose las calizas tabulares y cavernosas, arcillosas y magnesianas casi siempre, en una mancha comprendida entre Villanueva de Abellanes y Abellanes; en otra sobre que está edificado Alós, en otra al pie de Clúa sobre la riera de Vilanova y en otra que se intercala entre las capas cretáceas, á orillas del Rivagorzana, al N. de Tragó y que procede de una gran mancha que en Huesca se dilata desde Caserras á Camporrells, teniendo en su centro á Estopiñán. Todavía marca otra fajita que interesa á ambas provincias, cruzando el Rivagorzana, desde el N de Valdellou (Huesca) al S. de Boix (Lérida).

2.<sup>o</sup> Respecto á las manchas de ofita, naturalmente ya muy reducidas en sus dimensiones, el Sr. Mallada ha visto las siguientes: a. Una grande con muchas vetas de aerinita al E. de Villanueva de Abellanes, dada á conocer por V. hace tiempo. b. Otra mayor al O. de Abellanes y que llega hasta muy cerca de Tartareu, dependiendo de esta otra manchita que asoma á 500 metros al S. de Tartareu en el tosal de Moliné.

3.<sup>o</sup> Respecto á las otras manchas ofíticas que V. señala en esa parte de Lérida, me dice el Sr. Mallada que tal vez por la rapidez con que efectuó su excursión, no vió

esa roca eruptiva al N. de Cubels, donde le parece que abundan los yesos terciarios.

4.<sup>o</sup> Respecto á los demás terrenos, considera nuestro compañero tan exactas las observaciones de V., que no se atreve á objetar el más mínimo reparo. Unicamente marca en el croquis unas manchas diluviales en el Segre, que cree que junto á Balaguer depositó sobre ellas extensos mantos diluviales. No olvide V. que el Sr. Mallada en Huesca y en otras provincias ha señalado, con separación de los terrenos infra-yacentes, muchas manchas cuaternarias y actuales, cuya importancia en Lérida ignora hasta donde puede llegar en espesor y en superficie.

5.<sup>o</sup> También le llamaron la atención, una extensa mancha de acarreo al S. de Vilanova de Meyá y las grandes acumulaciones de caliza tobacea con abundantes restos vegetales, en el mismo pueblo de Alós.

Habiéndose empezado á grabar los límites de los terrenos en la nueva tirada de la hoja n.<sup>o</sup> 7 en que están las dos provincias de que se trata en esta carta, agradeceré á V. que, en vista de lo que manifiesta el Sr. Mallada, me diga lo más pronto posible, cuanto se le ofrezca observar sobre el croquis adjunto, para resolver definitivamente la estampación de dicha hoja.

Sin más, es siempre de V. Afmo. am<sup>o</sup>, comp<sup>o</sup>, y s.s.q.b.s.m. Manuel Fern. de Castro.

No olvide V. de devolver el croquis al contestar.

**12. Oficio del Director de la Comisión a Vidal,  
9 de Junio de 1900**

Con sentimiento ha leído esta Dirección su oficio del 26 del próximo pasado en que contesta la comunicación con que se trataba de avivar su celo para que terminara la Memoria geológica de la provincia de Lérida, que tantos años hace se le tiene encomendada, y que se creía poder publicar el año 1897, segun se expresa en el prólogo del tomo XXIII del Boletín de esta Comisión del Mapa geológico. Y el sentimiento se justifica al ver me manifiesta que podrá concluir citada Memoria á fin del año próximo, y aun esto con la condición de que se le envíe un Auxiliar facultativo para escribir y dibujar.

Ha padecido V.S. una equivocación al decir que desde que se le encargó el estudio de esa provincia ha remitido la Geología de su parte Central; pues tanto este trabajo, cuanto los Datos sobre el terreno Garumnense son anteriores á dicho encargo, aunque después se le abonaran los gastos que le acarrearán.

Respecto á que el retardo con que se publique su Memoria será compensado porque estará más ajustada á la verdad, por los adelantos de la geología en el tiempo transcurrido, me parece nó lo ha meditado bien V.S.; porque dicha razón induciría á que nó se publicara, ni se

hiciera ninguna obra hasta que se conociera el resultado final del asunto á que se refiriese.

Teniendo esta Comisión el compromiso de sus publicaciones, como ya he manifestado á V.S., el mayor plazo que puede concederle para que envíe su Memoria es el de fin del año corriente, para que se publique el año próximo; y como créa que la autorización que V.S. tiene para hacer el estudio de toda Cataluña ha contribuido y contribuye á que nó la haya terminado, se verá esta Dirección precisada á pedir á la Superioridad dé por terminada dicha autorización si V.S. no promete enviar la Memoria en el plazo dicho anteriormente.

Dios guarde á V.S. muchos años. Madrid, 9 de junio de 1900.

El Director de la Comisión.

Greg. Esteban de la Reguera.

**13. Borrador del oficio de Vidal al Director de la Comisión. Sort, 4 de junio de 1900**

Con sorpresa he leído su comunicacion de 9 del actual, ante la amenaza de declararme indigno de disfrutar por mas tiempo del premio que se me dió en 1874 (premio que constituye el mayor orgullo de mi carrera) y que la Dirección Gral hace poco más de 3 años declaró hallarse en vigor á propuesta de esa misma Comisión, amenaza equivalente á la de arrancar una cruz á quien no merece llevarla (yo que no concibo que la tardanza en presentar una memoria merezca tan severo castigo, cuando no he cesado de acopiar materiales para ella). He de manifestarle que al dar a V. Ilma. el plazo en que podré entregarle la Memoria ignoraba que V. Ilma. se hubiese propuesto que no pasase del fin del año actual: que aquella promesa oficial la formulé en el concepto de dar á la Memoria la importancia que creo debe tener; pero toda vez que V. Ilma. me exige que prometa concluir en lo que falta de año, doyle con vivo sentimiento esta promesa que equivale á decirle que sacrificaré la calidad del trabajo á lo que V. Ilma. llama *compromiso de las publicaciones* ya que es imposible que realice mi plan en este plazo aún solicitando para ello la separacion temporal del servicio del distrito así que concluya los expedientes que tengo entre manos.

Al ceder de este modo á lo que V. Ilma me exige, cúpleme desvanecer la creencia que dice tener de que el uso de la autorización para hacer geología en Cataluña haya sido la causa de no dar la Memoria de Lérida. Esta creencia es infundada del todo: la única causa ha estado siempre en las dudas que he abrigado sobre puntos importantes y en mi deseo de disiparlas. A ello han contribuido los adelantos geologicos de los últimos años, y por esto me permito insistir respetuosamente en la idea que V. Ilma. se sirve calificar de poco meditada, cuando dije

que es un consuelo para mi el acercarme ahora mas á la verdad geológica. Estas palabras no dicen ni significan que yo crea que los trabajos científicos deban siempre retardarse.

Y bien puedo esperar de la generosidad de V. Ilma que por el solo delito de mi tardanza tan inesperadamente ha fulminado la amenaza del más severo castigo sobre quien no es de los que menos ha trabajado por el buen nombre de los geologos españoles, el permitirme siquiera el consuelo de quedar un poco más satisfecho de mi trabajo.

Dios & L.M.V.

**14. Borrador de una carta particular de Vidal a D. G. E. de la Reguera. Sort, 4 de junio de 1900**

Muy Sr. mío y Jefe: rotas por la comunicacion oficial de V. las buenas relaciones con que me honraba esa Comisión, es de todo punto imposible que siga en el terreno particular usando de la bondad con que se me tenía cuenta abierta en las oficinas de la misma. Ruégole pues que se sirva mandar cerrarle y que se me notifique el saldo para hacerlo efectivo.

Al mismo tiempo espero que comprenderá que sería en adelante un motivo de pena para mi ocuparme como hasta ahora ocurre en cobrar las suscripciones de una publicacion que tan hondo disgusto me recordaría siempre, y que se dignará dispensarme de seguir encargado de ello.

Soy de V. at. s.s. &

**15. Carta de D. Rafael Sánchez Lozano a Vidal, 7 de Octubre de 1918**

Mi querido amigo y compañero: No sabe V. cuanto le agradezco el envío de las cinco hojas que le mandé para corregir el Mapa Geológico y que he recibido ayer, mandando enseguida que las trasladen a un mapa en limpio para enviarlas a la litografía.

No sé si recibiría V. una carta que le escribí al empezar el verano diciéndole que si para ayudarle en su trabajo le convenia que le enviara un Ayudante de este Instituto lo haría con mucho gusto, pues no quería que se molestara V. demasiado; por lo visto no ha sido necesario y ello me demuestra que todavía a pesar de su delicado estado de salud tiene V. muy buenos ánimos para trabajar y me complazco en ver que lo hace V. perfectamente, como si se encontrara del todo bien de salud.

Muchísimas gracias por todo, y ya sabe V. que, como siempre, tiene aquí a sus órdenes para cuanto quiera mandarle, a su antiguo y buen amigo que bien le quiere.

**16. Carta de Vidal a D. R. Sánchez Lozano, 14 de Octubre de 1918**

Mi querido amigo Rafael. Me complace en extremo la excelente acogida que has dado a las hojas geológicas corregidas que te envié. A su tiempo recibí tu grata en que me ofrecías mandarme un auxiliar para ayudarme; pero, en primer lugar, amigo Rafael yo estaba avergonzado de ver que á pesar de mi buen deseo, tendría que poner 4 meses en hacer lo que te prometí hacer en unos 2; y

por otra parte dado el modo como proyectaba yo hacer las correcciones, era un trabajo tan personal que no podía un ayudante prestarme ayuda; mientras que en la forma en que lo he hecho el ayudante trabajará mas bien y mas pronto, transportando a una hoja nueva mis hojas de calco.

Te abraza tu viejo amigo. V.

Celebraré que en tus parientes no se haya cebado la epidemia. Aquí, entre los míos han caído unos pocos; los más viejos hemos sido respetados.

## Noticias

### Conferencia Internacional Ingeniería Geológica y Minera

A celebrar en La Habana, Cuba, del 21 al 23 de octubre de 1993. El Comité Organizador está presidido por el ingeniero Francisco Corratgé García.

#### OBJETIVO

Propiciar el intercambio de información y criterios entre los especialistas de la práctica de Ingeniería Geológica y Minera. Ofrecer un marco apropiado para presentar realizaciones actuales, así como analizar el desarrollo alcanzado en cuanto a la concepción, diseño, construcción, tecnología y utilización de materiales. Promover y contribuir a la enseñanza de esta práctica y profundizar en el impacto ambiental de estas obras.

TEMA CENTRAL: Por un mayor desarrollo de la Ingeniería Geológica y Minera.

#### SUBTEMAS

- Ingeniería geotécnica y de riesgos naturales.
- Ingeniería geoambiental.
- Ingeniería hidrogeológica.
- Ingeniería de prospección y evaluación minera.
- Ingeniería geológica marina.
- Tecnologías del terreno (sondeos, ingeniería geofísica, etcétera).
- Cartografía geotecnológica y sistemas de información geográfica.
- Protección del patrimonio histórico-minero.
- Ingeniería ambiental en minería.
- Ingeniería minera y medio geológico.
- Métodos avanzados en minería.
- Ingeniería geológica y minera en los países en vías de desarrollo.

#### PRESENTACION DE TRABAJOS

Los trabajos que se presenten no deben haber sido publicados antes de la fecha de celebración de FMOI'93. El texto no excederá las 10 páginas, mecanografiadas a un espacio en papel blanco por una cara en formato A-4 con mar-

gen superior e izquierdo de 25 mm. La extensión del resumen no excederá las 300 palabras y se ajustará a los mismos requisitos de los trabajos.

La presentación de los trabajos con su resumen, ambos en original y copia, será hasta el 30 de junio de 1993. La aceptación o no de los mismos se comunicará por escrito antes del 31 de julio. Los trabajos que se recibieran con posterioridad a la fecha fijada quedan a criterio del Comité Organizador para su presentación y publicación.

#### CURSOS CORTOS

Antes de los eventos técnicos, durante los días 14, 15 y 16 de octubre, se ofrecerán dos cursos cortos, vinculados a la temática del evento.

— Hidrogeología aplicada a la investigación de obras subterráneas.

Métodos de investigación. Cálculos hidrogeológicos necesarios para la proyección de obras subterráneas.

— Impacto ambiental de la minería.

Afectaciones de la flora y la fauna. Contaminación ambiental. Enfermedades profesionales y afectaciones a la salud por contaminación ambiental. Medidas de protección. Recultivación y reforestación.

Para una mayor información, como costo de matrícula, alojamiento, transporte aeropuerto-hotel, etc., así como para el envío de los trabajos o solicitud de los mismos, dirigirse a:

Comité Organizador FMOI'93.

Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba.

Humboldt N.º 104, esquina a Infanta.

Apartado Postal 4039, Ciudad de La Habana, Cuba.

Télex 511340/511139 MICONS CU

Fax (537) 33-3523/33-1657

### Concurso Científico para 1994 de la Real Academia de Doctores

El plazo de admisión de las tesis doctorales, en español, finalizará el 15 de octubre de 1993, a las 20 horas, período durante el cual se admitirán en la Secretaría (San Bernardo, 49), de seis a ocho de la tarde.

Las tesis deberán haber alcanzado la calificación de apto «cum laude», desde enero de 1992 hasta octubre de 1993, inclusivos.

Los premios relacionados con las actividades de esta revista, son:

#### PREMIO DE LA REAL ACADEMIA (1993) Disciplina Ciencias

Tema: Ciencias Físicas.  
Distinción honorífica de Doctor Académico correspondiente.

#### PREMIO JUAN MANUEL LOPEZ DE AZCONA (1989)

Tema: Efecto del estado físico-químico sobre los espectros ópticos de emisión.  
Dotación: Ciento cincuenta mil pesetas.

#### PREMIO MARTEL HERNANDEZ-SAN GIL MENDEZ (1989)

Tema: Estudio geológico del archipiélago canario.  
Dotación: Ciento cincuenta mil pesetas.

#### PREMIO SOCIEDAD HULLERA VASCO-LEONESA (1993)

Tema: Defensa del medio ambiente en la minería del carbón.  
Dotación: Doscientos cincuenta mil pesetas.

### Medalla al Mérito Doctoral

Con ocasión de la solemne inauguración del curso 1993 de la Real Academia de Doctores de España, le fue impuesta la Medalla al Mérito Doctoral en su categoría de Oro al Dr. Ingeniero de Minas y Dr. en Ciencias D. Juan Manuel López de Azcona, como premio a su labor científica.

Durante el acto se entregaron los diversos premios del Concurso Científico 1992 entre los cuales estaba el del

#### PREMIO FUNDACION GOMEZ PARDO (1993)

Tema: Libre en las áreas de Ciencias de la Tierra, Minería, Metalurgia y Energía, preferentemente con una orientación industrial.  
Dotación: Doscientos cincuenta mil pesetas.

#### PREMIO JUAN ABELLO PASCUAL (1993)

Tema: Libre de Bioquímica.  
Dotación: Doscientos mil pesetas.

#### PREMIO FERTILIZANTES ESPAÑOLES (FESA) (1989)

Tema: Posible eliminación del mercurio durante el proceso de fabricación del ácido sulfúrico a partir de las piritas de Huelva.  
Dotación: Ciento cincuenta mil pesetas.

#### PREMIO JUAN ABELLO PASCUAL (1989)

Tema: Métodos analíticos para alcaloides.  
Dotación: Ciento cincuenta mil pesetas.

#### PREMIO CLUB ESPAÑOL DE LA MINERIA (1987)

Tema: Aplicación de las técnicas de teledetección a la exploración minera.  
Dotación: Cien mil pesetas.

Instituto Tecnológico Geominero de España que correspondió al trabajo de D. Fernando Sánchez Ferrer titulado «Evolución Estructural post-kimmérica de la Plataforma Continental Vasco-Cantábrica» y Accésis al trabajo de D. Enrique Orche García y titulado «Desarrollo de una nueva Metodología de Estimación de Costes e Inversiones en el Sector de la Minería a Cielo Abierto de Carbón en España».

## Libros

### Introducción a la recuperación y reciclado de los metales no férreos

Autor: F. Román Ortega. 1992. 270 pp.

Edita: **Instituto Tecnológico Geominero de España**

Formato 28 x 21 cm.; 270 pp. Madrid, 1992

Una de las últimas publicaciones del Instituto Tecnológico Geominero de España está dedicada al aprovechamiento de los residuos metálicos producidos por la actividad industrial y urbana. Este libro está escrito por FRANCISCO ROMAN ORTEGA, Doctor Ingeniero de Minas, cuya trayectoria profesional abarca la totalidad de las operaciones de la industria minera y metalúrgica, siempre en puestos de elevada responsabilidad dentro de varias empresas de nuestro país y ahora como Presidente de la Asociación Nacional del Plomo. Ello condiciona muy favorablemente la realización de este tratado, puesto que a la innegable

calidad técnica del trabajo se une una visión muy práctica de esta actividad, que se presenta como una solución inevitable a los problemas de suministros de materias primas y al sostenimiento de una controlada situación ambiental.

Es un acierto que el ITGE haya publicado este manual, dividido en 13 capítulos en los que en los primeros se contemplan los aspectos básicos del problema: justificación del reciclado, el ciclo de los metales, su consideración como recursos y los aspectos económicos de su recuperación. En los últimos capítulos se repasan los sistemas básicos de la metalurgia antes de acceder a una descripción de los procesos aplicados a la metalurgia secundaria de los metales de aluminio, cobre, cinc, plomo, metales menores y preciosos. Sobresale en esta segunda parte la incorporación de los últimos sistemas de aprovechamiento metalúrgico, algunos de los cuales aún se encuentran en fase primeriza de aplicación industrial.

### Manual de evaluación técnico-económica de proyectos mineros de inversión

Diversos autores

Edita: **Instituto Tecnológico Geominero de España**

Formato 30 x 21 cm.; 632 pp. Madrid, 1991

El Instituto Tecnológico Geominero ha publicado este volumen dentro de su serie de manuales de ingeniería, que sin lugar a dudas constituye uno de los mejores tratados sobre minería que se ha editado en lengua española.

El tema, de singular importancia, no goza de bibliografía

importante, incluso fuera de nuestro país, aunque son numerosos los congresos y seminarios que se celebran a lo largo del año y en diferentes instituciones.

El gran mérito del libro es haber sabido aglutinar a gran número de especialistas de gran prestigio en cada una de sus materias, sin perder por ello una envidiable homogeneidad de estilo. Otro aspecto positivo es su carácter eminentemente práctico y didáctico. En lenguaje muy comprensivo e introduciendo numerosos ejemplos, se van abordando todos los aspectos relacionados con el proyecto técnico y económico de inversión minera. Así, se co-

mienza con la planificación del proceso, la clasificación de los recursos, la selección de los métodos de beneficio, para pasar a los métodos de estimación de costes e ingresos (incluyendo su aspecto comercial y de mercados). La última parte del volumen se dedica a la metodología del análisis del proyecto de inversión, a la evaluación de riesgos y al aspecto financiero y fiscal de los proyectos mineros. Como final se desarrollan de manera didáctica 18 casos muy escogidos. También, se adjunta once anexos que recogen un enorme número de tablas y datos de incomparable utilidad. Además, el manual se ofrece con un

programa de PC, de muy fácil utilización, en donde además de una buena presentación para el desarrollo de un análisis de inversión minera, introduce temas específicos del régimen fiscal español, tal como el «factor de agotamiento».

En fin, un magnífico tratado dirigido por Ricardo Arteaga Rodríguez, Director de la División de Minería del ITGE y por Carlos López Jimeno, Catedrático de la ETSI de Minas de Madrid, además del selecto grupo de especialistas ya aludido.

### Minería Química

Dirección y coordinación: Emilio Llorente Gómez

Dirección técnica: José Martínez Nieto con la colaboración de otros autores

Edita: **Instituto Tecnológico Geominero de España**

Formato 30 x 21,5 cm.; 651 pp. Madrid, 1991

Este volumen corresponde a la serie de manuales de ingeniería que el Instituto Tecnológico Geominero viene ofreciendo en los últimos años. **Minería Química** es un tratado que pretende ser exhaustivo en los procesos hidrometalúrgicos aplicados a la recuperación de metales dentro de la base misma del sistema productivo, es decir, en la operación minera. Así, después de repasar los fundamentos básicos de este tipo de minería, principalmente referente a la cinética de las reacciones químicas involucradas y los variables procesos de lixiviación, pasa inmediatamente a contemplar su aplicación a la recuperación de metales (cobre, uranio, oro y plata) a partir de sus menas.

La segunda parte del libro se dedica a analizar diferentes tipos de esta clase de aprovechamiento: trituración y aglomeración, procesos «in situ», en vertederos, en pilas, en

tanques de agitación y mediante biotecnología. El tomo se cierra con un panorama completo de instalaciones reparadas por todo el territorio nacional en activo o recientemente clausuradas.

La confección de este manual ha sido dirigida por Emilio Llorente, Catedrático de la ETSI de Minas de Madrid y anterior director del ITGE y particularmente por José Martínez Nieto, ex subdirector de mineralurgia de Río Tinto Minera, S. A., con prestigiosos especialistas de la minería y la ingeniería química.

La hidrometalurgia minera constituye una de las máximas aportaciones de la tecnología actual al campo de los procesos extractivos, con un futuro ya asegurado al introducir la economía a la extracción directa del metal, máxima aspiración de los sistemas de producción primaria, al mismo tiempo que resuelve problemas de mineralurgia en algunos casos sin solución posible. Ello ha propiciado el beneficio de minerales de muy baja ley, la reapertura de yacimientos ya abandonados, y la solución a la acumulación de algunos residuos mineros.

El libro se encuentra magníficamente presentado, incluyendo toda suerte de tablas, procedimientos de cálculo y diseño, esquemas de proceso y fotografías de ejemplos.



## Notas bibliográficas

### GEOLOGIA REGIONAL

911290. **El Paleozoico Inferior del SE del Montseny.** HUERTA, J.

*Acta Geol. Hisp.* (1990), vol. 25, núm. 1-2, 105-111, 20 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Cámbrico, Ordovícico Inf., Orogenia hercínica, Metamorfismo regional, Metamorfismo de contacto, Microtectónica, Asociación mineral, Cadena Costero Catalana, Provincia Barcelona.

911291. **Geología de los materiales paleozoicos de las escamas de la Cordillera prelitoral catalana al este del río Llobregat.** UBACH, J.

*Acta Geol. Hisp.* (1990), vol. 25, núm. 1-2, 113-121, 11 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Ordovícico, Orogenia hercínica, Ignimbrita, Piroclástico, Cabalgamiento, Escama, Metamorfismo regional, Metamorfismo de contacto, Cuenca Llobregat, Cadena Costero Catalana, Provincia Barcelona.

911292. **Geología de los materiales paleozoicos del área de Capellades (Prov. de Barcelona).** SERRA, M.

*Acta Geol. Hisp.* (1990), vol. 25, núm. 1-2, 123-132, 19 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Ordovícico, Orogenia hercínica, Roca sedimentaria, Granodiorita, Microtectónica, Tectónica superpuesta, Geometría, Metamorfismo regional, Metamorfismo de contacto, Cadena Costero Catalana, Provincia Barcelona.

911293. **El Paleozoico de la parte NE de Garraf (Cadenas Costero Catalanas).** BENET, M. I.

*Acta Geol. Hisp.* (1990), vol. 25, núm. 1-2, 133-139, 12 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Ordovícico, Silúrico, Roca ígnea, Orogenia hercínica, Microtectónica, Geometría, Tectónica superpuesta, Metamorfismo regional, Cadena Costero Catalana, Provincia Barcelona.

911504. **Geología del extremo septentrional de la Zona Subportuguesa en la región de Aracena (Macizo Ibérico Meridional). Discusión y cuestiones abiertas.** CRESPO BLANC, A.

*Bol. Geol. Min.* (1990), vol. 101, núm. 5, 669-677, 15 ref., esp., res. fr., bibl. ITGE.

\* Litoestratigrafía, Tectónica superpuesta, Microtectónica, Deformación, Pliegue tumbado, Intrusión, Granodiorita, Metamorfismo de contacto, Zona cizallamiento, Devónico Medio, Devónico Sup., Hercínico Sur, Ossa Morena, Provincia Huelva.

### ESTRATIGRAFIA

911294. **Biostratigrafía y facies de la sucesión carbonatada del Silúrico Superior y Devónico Inferior de Santa Creu d'Olorda (Cadenas Costero Catalanas, NE de España).** GARCIA LOPEZ, S.; JULIVERT, M.; SOLDEVILA, J.; TRUYOLS, M.; ZAMARREÑO, I.

*Acta Geol. Hisp.* (1990), vol. 25, núm. 1-2, 141-168, 56 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Silúrico Sup., Devónico Inf., Corte geológico, Escala estratigráfica, Litofacies, Composición carbonatada, Fauna conodonto, Tentaculites, Dacryoconarida, Tectónica imbricada, Biostratigrafía, Cadena Costero Catalana, Provincia Barcelona.

911299. **Caracterización paleontológica del Cámbrico de la Zona de Ossa Morena (Z.O.M.) y sus paleorrelaciones con Marruecos y Centroeuropa.** GIL CID, M. D.

*Bol. Geol. Min.* (1991), vol. 102, núm. 1, 3-18, 92 ref., esp., res. fr., SP. ITGE.

\* Correlación, Biostratigrafía, Fauna trilobites, Cámbrico, Ordovícico, Síntesis biográfica, Hercínico Sur, Ossa Morena, Macizo Hespérico, Península Ibérica, Europa Central, Marruecos.

### GEOLOGIA DEL INGENIERO

911151. **Problemática de los escudos: escudo de presión de tierra en el metro de Toulouse.** MENDAÑA, F., y ESTEFANIA, J.

*Ing. civ.* (1991), núm. 78, 37-51, esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Presión terreno, Obra subterránea, Metropolitano, Túnel, Alto Garona, Francia.

911152. **Aplicación del Método de Weibull a la determinación del régimen extremal de oleaje en la costa norte de Tenerife.** MEDINA, J. M.

*Ing. civ.* (1991), núm. 78, 66-70, 4 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Puerto, Rompeolas, Espigón, Oleaje, Distribución estadística, Distribución de Weibull, Canarias, Isla Tenerife.

911153. **Factores físicoquímicos y mineralógicos que intervienen en el hinchamiento de las arcillas.** SAEZ AUÑON, J.

*Ing. civ.* (1991), núm. 78, 73-83, 13 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Hinchamiento, Mineralogía arcilla, Montmorillonita, Vermiculita, Gel coloidal, Propiedad físico-química, Arcilla.

911157. **El gran debate sobre el clima.** WHITE, R. M.

*Invest. cienc.* (1990), núm. 168, 4-12, 5 ref., esp., bibl. ITGE.

\* Variación, Clima, Efecto invernadero, Gas carbónico, Previsión, Protección medio ambiente, Acción hombre.

911158. **Tendencias hacia el calentamiento global.** JONES, P. D., y WIGLEY, T. M. L.

*Invest. cienc.* (1990), núm. 169, 8-16, 4 ref., esp., bibl. ITGE.

\* Efecto invernadero, Variación, Clima, Temperatura, Circulación climática, Circulación oceánica, Mundo.

911167. **Vertidos al mar.** LAVIN, V.

*Mar* (1991), núm. 282, 26-32, esp., bibl. ITGE.

\* Vertedero, Océano, Contaminación, Residuo radiactivo, Petróleo, Abono.

911168. **El Golfo, negro.** DIAZ, A.

*Mar* (1991), núm. 282, 33-36, esp., bibl. ITGE.

\* Vertedero, Marea negra, Petróleo, Descartaminación, Cooperación internacional, Golfo Pérsico.

911169. **Ganando costas.** PEDRERO, M.

*Mar* (1991), núm. 282, 65-66, esp., bibl. ITGE.

\* Recuperación, Playa, Legislación mar, Protección medio ambiente, Investigación, Andalucía, España.

911177. **El delito ecológico en el Código Penal.** IGNACIO, J.

*Rev. MOPU* (1991), núm. 385, 22-27, esp., bibl. ITGE.

\* Delito ecológico, Legislación, Protección medio ambiente, Previsión, España.

911178. **Pruebas de firmes de carreteras.** IGNACIO, J.

*Rev. MOPU* (1991), núm. 385, 31-35, esp., bibl. ITGE.

\* Simulación, Carretera, Propiedad geotécnica, Medio transporte, España.

911179. **Campaña para evitar el vertido de aceites usados.** ROJO, I.

*Rev. MOPU* (1991), núm. 385, 39-43, esp., bibl. ITGE.

\* Protección medio ambiente, Vertedero, Residuo líquido, Petróleo.

911187. **Generación de electricidad y medio ambiente.** INST. ING. ESPAÑA.

*Jornadas sobre la generación de electricidad y el medio ambiente.* Madrid (1990), 273 pp., esp., bibl. ITGE.

\* Reunión, Electricidad, Protección medio ambiente.

### PALEONTOLOGIA: VERTEBRADOS

911324. **Nuevas faunas de micromamíferos del terciario continental del NE de la Cuenca de Madrid (Prov. Guada-**

**lajara, España).** SESE, C.; ALONSO ZARZA, A. M., y CALVO, J. P.

*Estud. geol.* (1990), vol. 46, núm. 5-6, 433-451, 48 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Fauna mamífero, Insectívoros, Nuevo dato, Yacimiento fosilífero, Diente, Biometría, Biostratigrafía, Paleografía, Paleocología, Mioceno, Cuenca Madrid, Provincia Guadajajara.

911325. **Stephanorhinus hemitoechus (falc.) (rhinocerotidae, mammalia) del Pleistoceno Medio y Superior de España.** CERDEÑO, E.

*Estud. geol.* (1990), vol. 46, núm. 5-6, 465-479, 53 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Ceratomorpha, Rhinocerotidae, Diente, Anatomía esqueleto, Cráneo, Biometría, Yacimiento fosilífero, Pleistoceno Medio, Pleistoceno Sup., España.

### PALEONTOLOGIA: INVERTEBRADOS

911503. **Presencia de foraminíferos en las pizarras carboníferas de Sotiel Coronada (Huelva). Nuevos datos sobre el Complejo Volcánico Sedimentarios de la Faja Pirítica del SO de España.** FERNANDEZ CALIANI, J. C., y GONZALEZ REGALADO, M. L.

*Bol. Geol. Min.* (1990), vol. 101, núm. 5, 663-668, 24 ref., esp., res. ing., SP. ITGE.

\* Fusulina, Morfología, Concha, Taxón bentónico, Biostratigrafía, Paleogeografía, Volcano sedimentario, Composición ácida, Pizarra, Carbonífero, Provincia Huelva.

### PALEOBOTANICA

911300. **La colección de diatomeas del Instituto Tecnológico Geomínero de España.** PASTOR, R.

*Bol. Geol. Min.* (1991), vol. 102, núm. 1, 19-92, 29 ref., esp., res. ing., SP. ITGE.

\* Diatomeas, Colección, Catálogo, ITGE, España.

### TECTONICA

911319. **Los métodos de análisis de paleoesfuerzos a partir de poblaciones de fallas: sistemática y técnicas de**

**aplicación.** CASAS, A. M.; GIL PEÑA, I., y SIMON, J. L. *Estud. geol.* (1990), vol. 46, núm. 5-6, 385-398, esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Microtectónica, Metodología, Falla, Campo de tensiones, Proyección estereográfica, Círculo Mohr, Tensión, Deformación, Histograma.

## HIDROLOGIA. HIDROGEOLOGIA

911302. **Fábrica de uranio de Andújar (Jaén). Clausura del dique de estériles.** FERNANDEZ RUBIO, R.

*Bol. Geol. Min.* (1991), vol. 102, núm. 1, 119-134, 6 ref., esp., res. ing., SP. ITGE.

\* Acuífero, Contaminación, Radionucleidos, Radón, Reacondicionamiento, Estériles, Dique de contención, Industria, Uranio sustancia, Estudio impacto medio.

911307. **Hidrología isotópica de las aguas subterráneas del Parque Nacional de Doñana y zona de influencia.** BAONZA, E.; PLATA, A., y SILGADO, A.

*Cuad. CEDEX*, núm. 7, 139 pp., 25 ref., esp., bibl. ITGE.

\* Hidroquímica, Agua subterránea, Tritio, C13 - C12, C14, Denterio, O18, Recarga acuífero, Parque Nacional Doñana, Provincia Huelva.

911320. **Nuevos datos experimentales sobre parámetros hidrogeológicos de la Cuenca de Madrid obtenidos a partir de muestras de sondeos.** FORNES, J. M., y VILLARROYA, F. I.

*Estud. geol.* (1990), vol. 46, núm. 5-6, 399-408, 20 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Acuífero, Nuevo dato, Porosidad, Permeabilidad, Compresión edométrica, Peso específico, Capacidad almacenamiento, Densidad, Ensayo laboratorio, Terciario, Provincia Madrid.

911321. **Sistema automatizado de tratamiento de datos hidroquímicos para el chequeo de la calidad de aguas.** ALVAREZ, E.; VINARDELL, I.; FAGUNDO, J. R.; VEGA, J., y REGUERA, E.

*Estud. geol.* (1990), vol. 46, núm. 5-6, 409-414, 18 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Acuífero, Calidad agua, Hidroquímica, Intrusión agua salada, Sobreexplotación, Programa ordenador, Microordenador, Estudio caso, Cuba.

911508. **Las redes de vigilancia de las aguas subterráneas: Características técnicas básicas.** NIETO, P.

*Bol. Geol. Min.* (1990), vol. 101, núm. 5, 766-774, esp., res. fr., SP. ITGE.

\* Agua subterránea, Acción preventiva, Perímetro protección, Acuífero, Contaminación, Muestreo, Análisis químico, Calidad agua, Gestión recursos agua.

911509. **Aplicación de técnicas espectrofotométricas al análisis de agua y sedimento en el estudio de la calidad del agua del río Henares.** DE LA FUENTE, M. P.; ALONSO, E.; QUIJANO, M. A., y BUSTOS, A.

*Bol. Geol. Min.* (1990), vol. 101, núm. 5, 775-779, 2 ref., esp., res. ing., SP. ITGE.

\* Calidad agua, Red drenaje, Análisis químico, Muestreo, Espectrometría, Contaminación, Metal pesado, Industria, Provincias Guadalajara, Madrid.

## MINERALOGIA: GENERALIDADES

911434. **Catálogo. Glosario de especies minerales.** MIRETE, S.

*ITGE* (1991), 264 pp., esp., SP. ITGE.

\* Catálogo, Glosario, Mineral.

911502. **Nuevos minerales.** DANEYKO, C., y MARCOS, F.

*Azogue* (1991), vol. 2, núm. 3, 42-43, esp., bibl. ITGE.

\* Mineral nuevo.

## MINERALOGIA: SILICATOS

911091. **Presencia de alofana en la zona de alteración supergénica de las minas de barita de Vide de Alba y San Blas (Provincia de Zamora).** PEREZ DEL VILLAR, L.; MORO, M. C., y CEMBRANOS, M. L.

*Bol. Soc. Esp. Mineral.* (1990), vol. 13, núm. 1, 72-73, 1 ref., esp. bibl. ITGE.

\* Proceso exógeno, Alofana, Silicato, Análisis químico, Dato mineral, Dato ATG, Dato ATD, Dato microsonda electrónica, Provincia Zamora.

911108. **Cloritas dioctaédricas asociadas a piritas en metapelitas de la Sierra de los Cameros.** MATA, M. P.; PRIETO, A. C.; RULL, F., y LOPEZ AGUAYO, F.

*Bol. Soc. Esp. Mineral.* (1990), vol. 13, núm. 1, 104-105, 6 ref., esp., bibl. ITGE.

\* Clorita, Grupo clorita, Malla elemental, Fórmula, Análisis químico, Metapelita, Piritita, Sulfuro, Macizo Ibérico.

911109. **Cloritas dioctaédricas asociadas a las fluoritas del Portalet.** FANLO, I.; GONZALEZ LOPEZ, J. M., y FERNANDEZ NIETO, C.

*Bol. Soc. Esp. Mineral.* (1990), vol. 13, núm. 1, 106-107, 2 ref., esp., bibl. ITGE.

\* Clorita, Grupo clorita, Fluorita, Fluoruro, Composición hiperalumínica, Análisis químico, Alteración hidrotermal, Cuarzita, Pirineos españoles.

911120. **Estudio mineralógico y geoquímico de los granates de Sierra Albarrana (Córdoba, España).** GONZALEZ DEL TANAGO, J.

*Bol. Soc. Esp. Mineral* (1990), vol. 13, núm. 1, 125-126, 9 ref., esp., bibl. ITGE.

\* Granate, Grupo granate, Textura, Composición mineralógica, Provincia Córdoba.

911130. **Características geoquímicas de los polimorfos de Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> en rocas graníticas.** FERNANDEZ CATUXO, J.; CORRETGE, L. G., y SUAREZ, O.

*Bol. Soc. Esp. Mineral.* (1990), vol. 13, núm. 1, 140, esp., bibl. ITGE.

\* Alúmina, Polimorfismo, Dato mineral, Andalucita, Nesosilicato, Granito, Provincias Cáceres, Toledo, León.

## MINERALOGIA: NO SILICATOS

911501. **Las azuritas de Ortiguero (Asturias).** GARCIA GARCIA, G.

*Azogue* (1991), vol. 2, núm. 3, 39-41, esp., bibl. ITGE.

\* Azurita, Carbonato, Cristal, Yacimiento mineralógico, Mina, Cobre sustancia, Asturias.

## PETROLOGIA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

911301. **Análisis sedimentológico y secuencias carbogénicas en un sector de la parte oriental de la Unidad Sobia-Bodón (Asturias, Cordillera Cantábrica).** SANTOS GARCIA, J. A.

*Bol. Geol. Min.* (1991), vol. 102, núm. 1, 93-107, 14 ref., esp., res. ing., SP. ITGE.

\* Plataforma carbonatada, Medio pantanoso, Medio deltaico, Paleogeografía, Regresión, Bahkiriense, Moscoviense, Asturias, Región Cantábrica.

911317. **Composición modal de las arenas de la Cuenca del Guadalquivir: evaluación de su procedencia.** PALOMARES, M.

*Estud. geol.* (1990), vol. 46, núm. 5-6, 359-371, 20 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Análisis modal, Arena, Análisis químico, Plataforma continental, Remoción sedimentaria, Tortoniense, Messiniense, Mioceno Sup., Plioceno, Cuenca Guadalquivir, Provincias Sevilla, Córdoba.

911318. **Estudio de las tierras raras en las bauxitas kársticas del noreste de la Península Ibérica.** ORDÓÑEZ, S.; FORT, R., y BUSTILLO, M.

*Estud. geol.* (1990), vol. 46, núm. 5-6, 373-384, 31 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Bauxita, Karst, Tierra rara, Análisis elemento traza, Análisis mayores, Análisis menores, Análisis factorial, Coeficiente repartición, Plataforma carbonatada, Génesis yacimiento, Cataluña, Pirineos españoles, Macizo Ibérico, Provincia Teruel.

911322. **Litoestratigrafía y evolución paleogeográfica del Mioceno del borde NE de la Cuenca de Madrid (Prov. de**

**Guadalajara).** ALONSO ZARZA, A. M.; CALVO, J. P., y GARCIA DEL CURA, M. A.

*Est. geol.* (1990), vol. 46, núm. 5-6, 415-432, 62 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Sedimentación fluvio-lacustre, Litoestratigrafía, Carbonato, Sedimentación detrítica, Corte geológico, Paleokarst, Paleogeografía, Progresión río, Mioceno, Cuenca, Madrid, Provincia Guadalajara.

911506. **Plataformas siliciclásticas externas: Facies y su distribución areal (Plataformas dominadas por tormentas). Parte I. Procesos sedimentarios y facies.** GABALDON, V.

*Bol. Geol. Min.* (1990), vol. 101, núm. 5, 701-760, ref. 102, esp., res. ing., SP. ITGE.

\* Plataforma continental interna, Plataforma continental externa, Sedimentación detrítica, Sedimentación litoral, Off shore, Medio margen continental, Tempestad, Turbidita, Estructura sedimentaria, Paleogeografía, Subsistencia, Eustatismo, Macizo Ibérico, Zona Bética.

911512. **Idem. Parte II. Análisis de cuencas.** GABALDON, V.

*Bol. Geol. Min.* (1990), vol. 101, núm. 6, 827-857, 27 ref., esp., res. ing., SP. ITGE.

## PETROLOGIA DE ROCAS IGNEAS Y METAMORFICAS

911142. **Estructuras fluidales de las «ofitas» de la Zona Subbética.** MORATA, D. A.

*Bol. Soc. Esp. Mineral.* (1990), vol. 13, núm. 1, 160, 2 ref., esp., bibl. ITGE.

\* Ofita, Mármol, Textura, Spirifex, Keuper, Zona Subbética, Zona Bética.

911505. **Contribución al estudio del metamorfismo de Sierra Albarrana (Z.O.M., Córdoba, España).** GONZALEZ DEL TANAGO, J., y PEINADO, M.

*Bol. Geol. Min.* (1990), vol. 101, núm. 5, 678-700, 77 ref., esp., res. ing., SP. ITGE.

\* Gneis, Micaesquistos, Asociación mineral, Condición presión-temperatura, Diagrama equilibrio, Metamorfismo regional, Retrometamorfismo, Tectónica superpuesta, Zona cizallamiento, Orogenia hercínica, Ossa Morena, Zona Bética, Provincia Córdoba.

## YACIMIENTOS: GENERALIDADES

911304. **Procesamiento de imágenes y sistemas de información geográfica en proyectos de exploración.** ORTEGA, E.; ARTIEDA, J.; HAYDN, R., y VOLK, P.

*Cant. explot.* (1991), núm. 289, 77-82, esp., bibl. ITGE.

\* Teledetección, Prospección minera, LANDSAT, Imágenes.



911134. **Datación absoluta de granitoides de la Sierra de Gredos, por el método Rb-Sr.** LALLENA, P. P.; SANZ, H. G.; PEREZ DEL VILLAR, L., y QUEJIDO, A. J.

*Bol. Soc. Esp. Mineral.* (1990), vol. 13, núm. 1, 144-145, esp., bibl. ITE.

\* Datación, Rb-Sr, Sr 87 - Sr 86, Grenodiorita, Aplita, Granito, Isocrona, Sierra de Gredos, Hercínico Centro.

911135. **Contenido y variación de las tierras raras en los granitoides tardihercánicos de la Sierra de Guadarrama (S.C.E.)** CASILLAS, R.; BRANDLE, J. L.; FUSTER, J. M.; HUERTAS, M. J.; PEINADO, M.; PEREZ SOBA, C., y VILLA-SECA, C.

*Bol. Soc. Esp. Mineral.* (1990), vol. 13, núm. 1, 146-147, esp., bibl. ITGE.

\* Granito, Tierra rara, Anomalía, Europeo, Sierra de Guadarrama, Hercínico Centro.

911137. **Geoquímica de elementos traza significativos (Tierras raras, Y y Nb) en las episenitas de la Sierra de Guadarrama (S.C.E.)** CABALLERO, J. M.; CASQUET, C.; PELLICER, M. J., y TORNOS, F.

*Bol. Soc. Esp. Mineral.* (1990), vol. 13, núm. 1, 150-151, esp., bibl. ITGE.

\* Sienita, Alteración hidrotermal, Tierra rara, Itrio, Neodimio, Sierra de Guadarrama, Hercínico Cento.

## ENERGÍA

911159. **Energía para la industria.** ROSS, M. H., y STEINMEYER, D.

*Invest. Cienc.* (1990), núm. 170, 42-50, 4 ref., esp., bibl. ITGE.

\* Energía, Industria, Consumo, Recurso natural, Reciclado, Materia prima.

911160. **Energía para el mundo subdesarrollado.** REDDY, K. N. A., y GOLDEMBERG, J.

*Invest. Cienc.* (1990), núm. 170, 62-71, 2 ref., esp., bibl. ITGE.

\* Energía, Protección medio ambiente, Industria, Combustión, Producción, Consumo, Países en vía de desarrollo, Países industrializados.

911161. **Energía de combustibles fósiles.** FULKERSON, W.; JUDKINS, R. R., y SANGHVI, M. K.

*Invest. Cienc.* (1990), núm. 170, 84-91, 4 ref., esp., bibl. ITGE.

\* Energía, Carbón, Gas natural, Petróleo, Consumo, Contaminación, Efecto invernadero, Combustión, Recuperación, Almacenamiento, Gas anhídrido sulfuroso, Gas carbónico.

911162. **Energía nuclear.** HÄFELE, W.

*Invest. Cienc.* (1990), núm. 170, 94-102, 5 ref., esp., bibl. ITGE.

\* Energía nuclear, Seguridad, Residuo radiactivo, Almacenamiento.

911163. **Energía para la Unión Soviética, Europa del Este y China.** CHANDLER, W. U.; MAKAROV, A. A., y DADI, Z.

*Invest. Cienc.* (1991), núm. 171, 74,81, 3 ref., esp., bibl. ITGE.

\* Energía, Demanda, Producción, Transferencia tecnología, Financiación, Dato económico, Protección medio ambiente, Efecto invernadero, Europa, China, URSS.

911164. **Energía procedente del sol.** WEINBERG, J., y WILLIAMS, R. H.

*Invest. Cienc.* (1990), núm. 171, 104-113, 4 ref., esp., bibl. ITGE.

\* Energía solar, Energía eólica, Biomasa, Producción, Coste, Demanda, Protección medio ambiente.

911165. **La energía en transición.** HOLDREN, J. P.

*Invest. Cienc.* (1990), núm. 171, 114-122, 3 ref., esp., bibl. ITGE.

\* Energía, Estudio impacto medio, Protección medio ambiente, Consumo, Dato económico, Investigación, Mundo.

911172. **Productos energéticos.** ITGE.

*Panorama Minero* (1988), 29-86, esp., SP. ITGE.

\* Antracita, Lignito, Petróleo, Gas natural, Reserva, Mercado, Producción, Valor producción, Valor importación, Valor exportación, España, Mundo.

911308. **Energía y medio ambiente.** AZUARA, J. A.

*Econ. ind.* (1989), núm. 268, 75-83, esp., bibl. ITGE.

\* Protección medio ambiente, Energía, Producción, Consumo, Contaminación, Investigación científica, España.

# INDICE DE MATERIAS

Tomo 103

	Páginas
<b>GEOLOGIA</b>	
ABALOS, A., y EGUILUZ, L.: Geología estructural del Corredor Blastomilonítico de Badajoz-Córdoba ... ..	3
GARCIA-SANSEGUNDO, J.: Estratigrafía y estructura de la Zona Axial pirenaica en la transversal del Valle de Arán y de la Alta Ribagorça (Parte II) ... ..	42
BARNOLAS, A., y GARCIA-SANSEGUNDO, J.: Caracterización estratigráfica y estructural del Paleozoico de Les Gavarres (Cadenas Costero Catalanas, NE de España).	94
RIAZA, GARCIA, A.: Reflectancia en rocas en función de su litología y fábrica interna. I. La interpretación de imágenes de satélite en geología: Estudios estructurales y cartografía de litologías ... ..	195
LOPEZ, G.: Paleontología y Bioestratigrafía de los inocerámidos (Bivalvia) del Cretácico Superior de la Cuenca Navarro-Cántabra y de la Plataforma Norcastellana. Parte I: Situación geológica de las series realizadas y estudio sistemático de los subgéneros <i>Inoceramus</i> Sowerby y <i>Cremnoceramus</i> Cox ... ..	210
GARCIA-SANSEGUNDO, J.: Estratigrafía y estructura de la zona Axial pirenaica en la transversal del Valle de Arán y de la Alta Ribagorça (Parte III) ... ..	253
RIAZA GARCIA, A.: Reflectancia en rocas en función de su litología y fábrica interna. II. Cartografía de rocas ígneas en el Complejo de Burguillos del Cerro en el visible e infrarrojo cercano: reflectancia espectral en laboratorio y evaluación estadística de la misma en relación con imágenes Thematic Mapper ... ..	411
GARCIA-SANSEGUNDO, J.: Estratigrafía y estructura de la Zona Axial pirenaica en la transversal del valle de Arán y de la Alta Ribagorça (Parte IV) ... ..	435
GIL CID, D., y BERNAL BARREIRO, G. M.: Aspectos Paleoecológicos de una comunidad de Calyx del Ordovícico de los Montes de Toledo (España) ... ..	467
LOPEZ, G.: Paleontología y bioestratigrafía de los inocerámidos (Bivalvia) del Cretácico Superior de la Cuenca Navarro-Cántabra y de la Plataforma Norcastellana. Parte II: Estudio sistemático de los subgéneros <i>Mytiloides</i> Brongniart y <i>Magadiceramus</i> Seitz ... ..	478
ESCANDELL, B.; MORAGUES, L., y RAMOS-GUERRERO, E.: Geología de los alrededores de Sineu-Sant Joan: zona central de la isla de Mallorca (Mediterráneo Occidental) ... ..	623
LOPEZ, G.: Paleontología y Bioestratigrafía de los inocerámidos (Bivalvia) del Cretácico Superior de la Cuenca Navarro-Cántabra y de la Plataforma Norcastellana.— Parte III: Estudio sistemático del subgénero <i>Platyceramus</i> Seitz ... ..	643

	Páginas
GOMEZ PALLEROLA, J. E.: Nota sobre los tiburones hybodontos de las calizas litográficas del Cretácico Inferior del Montsec (Lérida) ... ..	783
MARTIN AGUADO, M.: Origen del torno del Tajo en Toledo ... ..	814
LOPEZ, G.: Paleontología y Bioestratigrafía de los Inocerámidos (Bivalvia) del Cretácico Superior de la Cuenca Navarro-Cántabra y de la Plataforma Norcastellana. Parte IV: Estudio sistemático del subgénero Cordiceramus Seitz y Bioestratigrafía.	837
MARTINEZ DIAZ, J. J., y HERNANDEZ EURILE, J. L.: Fracturación y control tectosedimentario neógeno en el borde sureste de la Cuenca de Lorca ... ..	971
ARILLO, A., y BREMOND, C. S.: Nota sobre la presencia de un Tricóptero y un Odonato en el Mioceno Superior de la depresión ceretana ... ..	984
 <b>MINERIA</b>	
GARCIA DEL AMO, D.; LUNAR, R.; SIERRA, J.; OYARZUN, R., y DOBLAS, M.: La franja aurífera de Xallas (Galicia occidental, España): Las mineralizaciones de Albores dentro de un contexto tectónico y metalogénico evolutivo ... ..	109
HIGUERAS, P.; BORRERO, J.; URBANO, R., y ORDOÑEZ, J. L.: Geología y prospección geoquímica para oro, en la zona de Lora del Río (Sevilla) ... ..	291
MELGAREJO, J. C., y AYORA, C.: Mineralizaciones sedex de manganeso en tramos basales de la serie carbonífera del Priorato - Sierra de Miramar (Cataluña) ... ..	544
MIRAS, A., y GALAN, E.: Distribución, características generales y aplicaciones de la Barita del suroeste español (Badajoz y Sevilla) ... ..	893
FERNANDEZ ALONSO, F.; GONZALO CORRAL, F.; FERNANDEZ RUIZ, J. M.; MORCILLO OLIVA, J. S., y SAN MIGUEL TIL, F.: Posibilidades y limitaciones de los métodos geoelectrónicos en la exploración de formaciones caoliníferas (SE de la provincia de Guadalajara) ... ..	989
 <b>AGUAS SUBTERRANEAS</b>	
MURILLO DIAZ, J. M.; GRIMA OLMEDO, J., y ERASO ROMERO, A.: Aplicación del método de predicción de drenaje subterráneo al macizo del Garraf ... ..	120
SANZ PEREZ, E.: Las aguas subterráneas en el Parque Natural del Cañón del río Lobos (Soria - Burgos) ... ..	309
NIETO, P.: Acuíferos, residuos y planes hidrológicos: algunas sugerencias ... ..	551
NAVARRO ALVARGONZALEZ, A.: Miniprogramas (I).—Programas simples para modelado de acuíferos ... ..	702
NAVARRO ALVARGONZALEZ, A.: Miniprogramas (II). Programas simples para modelado de acuíferos ... ..	901

	Páginas
NIETO, P.: Los acuíferos y las aguas residuales urbanas: La infiltración controlada.	914
NAVARRO ALVARGONZALEZ, A.: Miniprogramas (III). Programas simples para modelado de acuíferos ... ..	1001
 <b>INGENIERIA GEOAMBIENTAL</b>	
ALBERRUCHE DEL CAMPO, E.: Cabecera del río Sor. Caracterización de su medio físico ... ..	730
ARRANZ GONZALEZ, J. C., e HIDALGO CASTRO, M. <sup>a</sup> N.: Observaciones sobre la colonización vegetal en taludes excavados de carreteras en la Comunidad Autónoma de Madrid ... ..	921
AYALA CARCEDO, F. J.: La Ingeniería Geológica, Tecnología de la Tierra ... ..	1034
 <b>GEOQUIMICA</b>	
MARTIN RUBI, J. A.; RUBIO NAVAS, J.; ALARCON DE PABLO, P., y VALLE FUENTES, F. J.: Aportación al conocimiento de la composición química de las eflorescencias de Peralta (Navarra) ... ..	129
JIMENEZ-ESPINOSA, R., y CHICA-OLMO, M.: Aplicación del Krigeaje Factorial al estudio de anomalías geoquímicas ... ..	723
RODRIGUEZ, J.; FORT, R., y BUSTILLO, M.: Evolución geoquímica de la salmuera de la laguna de Alcahozo, Pedro Muñoz (Ciudad Real) ... ..	935
SANTOS GARCIA, J. A.: Geoquímica de carbonatos continentales en la cuenca del Júcar (provincia de Albacete) ... ..	1019
 <b>ROCAS INDUSTRIALES Y ORNAMENTALES</b>	
FORT GONZALEZ, R.; BUSTILLO REVUELTA, M.; LOPEZ DE AZCONA, C., y MINGARRÓ MARTIN, F.: Tendencias geoquímicas durante el proceso de alteración de los granitos de la Catedral de Toledo ... ..	136
VERGARA PARDEIRO, A., y VALLE FUENTES, F. J.: Análisis químico de sepiolitas por espectrometría de emisión con fuente de plasma de acoplamiento inductivo.	330
 <b>ESTUDIO DE MINERALES Y ROCAS</b>	
GONZALEZ MINGUELA, E.; MARTIN RUBI, J. A., y VALLE FUENTES, F. J.: Comportamiento térmico de una muestra de eflorescencia. Seguimiento de la formación del CaSO <sub>4</sub> · 3MgSO <sub>4</sub> por DRX ... ..	339
GARCIA, R.; BRELL, J. M., y APARICIO, A.: El metamorfismo del Paleozoico de la isla de Menorca (Islas Baleares) ... ..	564

	Páginas
GONZALEZ DEL TANAGO, J.; PEINADO, M., BRANDLE, J. L.: Turmalinas pegmatíticas y metasomáticas de Sierra Albarrana, Córdoba (España) ... ..	746
BENITO GARCIA, R., y VERGARA PARDEIRO, A.: Mineralogía de sulfosales y sulfuros en los filones de Ateca, Cordillera Ibérica ... ..	1046
 <b>INFORMACION</b>	
CORDOBA PARDO, A., y RODRIGUEZ BOUZA, A.: Oro y despropósitos. La minería en el nuevo Reino de Granada. 1500-1810 ... ..	148
RIOS ARAGÜES, L. M.; CHARLET, J. M.; GALERA FERNANDEZ, J. M.; BARETTINO, FRAILE, D., y BODEGA BARAHONA, F.: Memoria sobre la organización, desarrollo y trabajos realizados en el XXXVII Campamento para Prácticas de Geología «Pirineo Central 1991» ... ..	177
Noticias y Notas bibliográficas (Número 1) ... ..	180
URBANI, F.: Las minas de cobre de Aroa a la luz de la relación de Manuel Gaytán de Torres, 1621 ... ..	348
Presentación del XV Congreso Mundial de Minería en el Club Español de la Minería.	378
DELGADO MENDEZ, M. A., Los materiales cerámicos. Del ayer al mañana ... ..	388
Noticias y Notas bibliográficas (Número 2) ... ..	398
PELAYO, F.: Ensayos sobre los métodos de beneficio de amalgamación y de fundición realizados por Juan José de Elhúyar y José Celestino Mutis en Nueva Granada ... ..	570
MENENDEZ PEREZ, E., y MATEO ALCALA, L.: Condicionantes y posibilidades de uso futuro de los combustibles fósiles en Europa y España ... ..	589
DEL VALLE MENENDEZ, A.: Conferencia de Antonio del Valle Menéndez en el Club Español de la Minería ... ..	601
Noticias y Notas Bibliográficas (Número 3) ... ..	607
LA IGLESIA, A.: Comentario al artículo científico publicado por Louis Proust en 1804 sobre los minerales «platas rojas» ... ..	763
Noticias y Notas bibliográficas (Número 4) ... ..	769
LISO, M. J.; LA IGLESIA, A., y RODRIGUEZ, M. A.: Sobre la caracterización mineralógica de la bismutita de Oliva de la Frontera (Badajoz) ... ..	952
Noticias y Notas bibliográficas (Número 5) ... ..	956
ARAGONES VALLS, E.: Luis Mariano Vidal y la Comisión del Mapa Geológico de España (1873-1900) ... ..	1054
Noticias y Notas bibliográficas (Número 6) ... ..	1074

# INDICE DE AUTORES

Tomo 103

	Páginas
ABALOS, B., y EGUILUZ, L.: Geología estructural del Corredor Blastomilonítico de Badajoz-Córdoba ... ..	3
ALARCON DE PABLO, P.; MARTIN RUBI, J. A.; RUBIO NAVAS, J., y VALLE FUENTES, F. J.: Aportación al conocimiento de la composición química de las eflorescencias de Peralta (Navarra) ... ..	129
ALBERRUCHE DEL CAMPO, E.: Cabecera del río Sor. Caracterización de su medio físico ... ..	730
AYALA CARCEDO, F. J.: La Ingeniería Geológica, Tecnología de la Tierra ... ..	1034
ARAGONES VALLS, E.: Luis Mariano Vidal y la Comisión del Mapa Geológico de España (1873-1900) ... ..	1054
ARILLO, A., y BREMOND, C. S.: Nota sobre la presencia de un Tricóptero y un Odonato en el Mioceno Superior de la depresión ceretana ... ..	984
ARRANZ GONZALEZ, J. C., e HIDALGO CASTRO, M. <sup>a</sup> N.: Observaciones sobre la colonización vegetal en taludes excavados de carretera en la Comunidad Autónoma de Madrid ... ..	921
BARETTINO FRAILE, D.; RIOS ARAGÜES, L. M. <sup>a</sup> ; CHARLET, J. M.; GALERA FERNANDEZ, J. M., y BODEGA BARAHONA, F.: Memoria sobre la organización, desarrollo y trabajos realizados en el XXXVII Campamento para Prácticas de Geología «Pirineo Central 1991» ... ..	177
BARNOLAS, A., y GARCIA-SANSEGUNDO, J.: Caracterización estratigráfica y estructural del Paleozoico de Les Gavarres (Cadenas Costero Catalanas, NE de España) ... ..	94
BENITO GARCIA, R., y VERGARA PARDEIRO, A.: Mineralogía de sulfosales y sulfuros en los filones de Ateca, Cordillera Ibérica ... ..	1046
BERNAL BARREIRO, G. M., y GIL CID, D.: Aspectos Paleocológicos de una comunidad de Calyx del Ordovícico de los Montes de Toledo (España) ... ..	467
BODEGA BARAHONA, F.; RIOS ARAGÜES, L. M. <sup>a</sup> ; CHARLET, J. M.; GALERA FERNANDEZ, J. M., y BARETTINO FRAILE, J. M.: Memoria sobre la organización, desarrollo y trabajos realizados en el XXXVII Campamento para Prácticas de Geología «Pirineo Central 1991» ... ..	177
BORRERO, J.; HIGUERAS, P.; URBANO, R., y ORDOÑEZ, J. L.: Geología y prospección geoquímica para oro en la zona de Lora del Río (Sevilla) ... ..	291
BRANDLE, J. L.; GONZALEZ DEL TANAGO, J., y PEINADO, M.: Turmalinas pegmatíticas y metasomáticas de Sierra Albarrana. Córdoba (España) ... ..	746

	Páginas
BREMOND, C. S., y ARILLO, A.: Nota sobre la presencia de un Tricóptero y un Odonato en el Mioceno Superior de la depresión ceretana ... ..	984
BUSTILLO REVUELTA, M.; FORT GONZALEZ, R.; LOPEZ DE AZCONA, C., y MINGARRRO MARTIN, F.: Tendencias geoquímicas durante el proceso de alteración de los granitos de la Catedral de Toledo ... ..	136
BUSTILLO REVUELTA, M.; RODRIGUEZ, J., y FORT, R.: Evolución geoquímica de la salmuera de la laguna de Alcahozo. Pedro Muñoz (Ciudad Real) ... ..	155
CHARLET, J. M.; RIOS ARAGÜES, L. M.ª; GALERA FERNANDEZ, J. M.; BARETTINO FRAILE, D., y BODEGA BARAHONA, F.: Memoria sobre la organización, desarrollo y trabajos realizados en el XXXVII Campamento para Prácticas de Geología «Pirineo Central 1991» ... ..	177
CHICA-OLMO, M., y JIMENEZ-ESPINOSA, R.: Aplicación del Krigeaje Factorial al estudio de anomalías geoquímicas ... ..	723
CORDOBA PARDO, A., y RODRIGUEZ BOUZA, A.: Oro y despropósitos. La minería en el nuevo Reino de Granada. 1500-1810 ... ..	148
DELGADO MENDEZ, M. A.: Los materiales cerámicos. Del ayer al mañana ... ..	388
DOBLAS, M.; GARCIA DEL AMO, D.; LUNAR, R.; SIERRA, J., y OYARZUN, R.: La franja aurífera de Xallas (Galicia occidental, España): Las mineralizaciones de Albores dentro de un contexto tectónico y metalogénico evolutivo ... ..	109
EGUILUZ, L., y ABALOS, B.: Geología estructural del Corredor Blastomilonítico de Badajoz-Córdoba ... ..	3
ERASO ROMERO, A.; MURILLO DIAZ, J. M., y GRIMA OLMEDO, J.: Aplicación del método de predicción de drenaje subterráneo al macizo del Garraf ... ..	120
ESCANDELL, B.; MORAGUES, L., y RAMOS-GUERRERO, E.: Geología de los alrededores de Sineu-Sant Joan: zona central de la isla de Mallorca (Mediterráneo Occidental) ... ..	623
FERNANDEZ ALONSO, F.; GONZALO CORRAL, F.; FERNANDEZ RUIZ, J. M.; MORCILLO OLIVA, J. S., y SAN MIGUEL TIL, F.: Posibilidades y limitaciones de los métodos geoelectricos en la exploración de formaciones caoliníferas (SE de la provincia de Guadalajara) ... ..	989
FERNANDEZ RUIZ, J. M.; MORCILLO OLIVA, J. S.; SAN MIGUEL TIL, F.; FERNANDEZ ALONSO, F., y GONZALO CORRAL, F.: Posibilidades y limitaciones de los métodos geoelectricos en la exploración de formaciones caoliníferas (SE de la provincia de Guadalajara) ... ..	989
FORT GONZALEZ, R.; RODRIGUEZ, J., y BUSTILLO, M.: Evolución geoquímica de la salmuera de la laguna de Alcahozo. Pedro Muñoz (Ciudad Real) ... ..	935
FORT GONZALEZ, R.; BUSTILLO REVUELTA, M.; LOPEZ DE AZCONA, C., y MINGARRRO MARTIN, F.: Tendencias geoquímicas durante el proceso de alteración de los granitos de la Catedral de Toledo ... ..	136

	Páginas
GALAN, E., y MIRAS, A.: Distribución, características generales y aplicaciones de la Barita del suroeste español (Badajoz y Sevilla) ... ..	893
GALERA FERNANDEZ, J. M.; RIOS ARAGÜES, L. M.ª; CHARLET, J. M.; BARETTINO FRAILE, D., y BODEGA BARAHONA, F.: Memoria sobre la organización, desarrollo y trabajos realizados en el XXXVII Campamento para Prácticas de Geología «Pirineo Central 1991» ... ..	177
GARCIA DEL AMO, D.; LUNAR, R.; SIERRA, J.; OYARZUN, R., y DOBLAS, M.: La franja aurífera de Xallas (Galicia occidental, España): Las mineralizaciones de Albores dentro de un contexto tectónico y metalogénico evolutivo ... ..	109
GARCIA, R.; BRELL, J. M., y APARICIO, A.: El metamorfismo del Paleozoico de la isla de Menorca (Islas Baleares) ... ..	564
GARCIA-SANSEGUNDO, J.: Estratigrafía y estructura de la Zona Axial pirenaica en la transversal del Valle de Arán y de la Alta Ribagorça (Parte II) ... ..	42
GARCIA-SANSEGUNDO, J.: Estratigrafía y estructura de la zona Axial pirenaica en la transversal del Valle de Arán y de la Alta Ribagorça (Parte III) ... ..	253
GARCIA-SANSEGUNDO, J.: Estratigrafía y estructura de la Zona Axial pirenaica en la transversal del valle de Arán y de la Alta Ribagorça (Parte IV) ... ..	435
GARCIA-SANSEGUNDO, J., y BARNOLAS, A.: Caracterización estratigráfica y estructural del Paleozoico de Les Gavarres (Cadenas Costero Catalanas, NE de España) ... ..	94
GIL CID, D., y BERNAL BARREIRO, G. M.: Aspectos Paleoecológicos de una comunidad de Calyx del Ordovícico de los Montes de Toledo (España) ... ..	467
GOMEZ PALLEROLA, J. E.: Nota sobre los tiburones hybodontos de las calizas litográficas del Cretácico Inferior del Montsec (Lérida) ... ..	783
GONZALEZ MINGUELA, E.; MARTIN RUBI, J. A., y VALLE FUENTES, F. J.: Comportamiento térmico de una muestra de eflorescencia. Seguimiento de la formación del CaSO <sub>4</sub> · 3MgSO <sub>4</sub> por DRX ... ..	339
GONZALEZ DEL TANAGO, J.; PEINADO, M., y BRANDLE, J. L.: Turmalinas pegmatíticas y metasomáticas de Sierra Albarrana, Córdoba (España) ... ..	746
GONZALO CORRAL, F.; FERNANDEZ RUIZ, J. M.; MORCILLO OLIVA, J. S.; SAN MIGUEL TIL, F., y FERNANDEZ ALONSO, F.: Posibilidades y limitaciones de los métodos geoelectricos en la exploración de formaciones caoliníferas (SE de la provincia de Guadalajara) ... ..	989
GRIMA OLMEDO, J.; MURILLO DIAZ, J. M., y ERASO ROMERO, A.: Aplicación del método de predicción de drenaje subterráneo al macizo del Garraf ... ..	120
HERNANDEZ ENRILE, J. L., y MARTINEZ DIAZ, J. J.: Fracturación y control tectosedimentario neógeno en el borde sureste de la Cuenca de Lorca ... ..	971
HIDALGO CASTRO, M. N., y ARRANZ GONZALEZ, J. C.: Observaciones sobre la colonización vegetal en taludes excavados de carretera en la Comunidad Autónoma de Madrid ... ..	921

## Páginas

HIGUERAS, P.; BORRERO, J.; URBANO, R., y ORDOÑEZ, J. L.: Geología y prospección geoquímica para oro, en la zona de Lora del Río (Sevilla) ... ..	291
IGLESIA, A. LA: Comentario al artículo científico publicado por Louis Proust en 1804 sobre los minerales «platas rojas» ... ..	763
IGLESIA, A. LA; LISO, M. J., y RODRIGUEZ, M. A.: Sobre la caracterización mineralógica de la bismutita de Oliva de la Frontera (Badajoz) ... ..	952
JIMENEZ-ESPINOSA, R., y CHICA-OLMO, M.: Aplicación del Krigeaje Factorial al estudio de anomalías geoquímicas ... ..	723
LISO, M. J.; LA IGLESIA, A., y RODRIGUEZ, M. A.: Sobre la caracterización mineralógica de la bismutita de Oliva de la Frontera (Badajoz) ... ..	952
LOPEZ, G.: Paleontología y Bioestratigrafía de los inocerámidos (Bivalvia) del Cretácico Superior de la Cuenca Navarro-Cántabra y de la Plataforma Norcastellana. Parte I: Situación geológica de las series realizadas y estudio sistemático de los subgéneros <i>Inoceramus</i> Sowerby y <i>Cremnoceramus</i> Cox ... ..	210
LOPEZ, G.: Paleontología y Bioestratigrafía de los inocerámidos (Bivalvia) del Cretácico Superior de la Cuenca Navarro-Cántabra y de la Plataforma Norcastellana. Parte II: Estudio sistemático de los subgéneros <i>Mytiloides</i> Brongniart y <i>Magadiceramus</i> Seitz ... ..	478
LOPEZ, G.: Paleontología y Bioestratigrafía de los inocerámidos (Bivalvia) del Cretácico Superior de la Cuenca Navarro-Cántabra y de la Plataforma Norcastellana. Parte III: Estudio sistemático del subgénero <i>Platyceramus</i> Seitz ... ..	643
LOPEZ, G.: Paleontología y Bioestratigrafía de los Inocerámidos (Bivalvia) del Cretácico Superior de la Cuenca Navarro-Cántabra y de la Plataforma Norcastellana. Parte IV: Estudio sistemático del subgénero <i>Cordiceramus</i> Seitz y Bioestratigrafía ... ..	837
LOPEZ DE AZCONA, C.; FORT GONZALEZ, R.; BUSTILLO REVUELTA, M., y MINGARRO MARTIN, F.: Tendencias geoquímicas durante el proceso de alteración de los granitos de la Catedral de Toledo ... ..	136
LUNAR, R.; GARCIA DEL AMO, D.; SIERRA, J.; OYARZUN, R., y DOBLAS, M.: La franja aurífera de Xallas (Galicia occidental, España): Las mineralizaciones de Albores dentro de un contexto tectónico y metalogénico evolutivo ... ..	109
MARTIN AGUADO, M.: Origen del torno del Tajo en Toledo ... ..	814
MARTIN RUBI, J. A.; RUBIO NAVAS, J.; ALARCON DE PABLO, P., y VALLE FUENTES, F. J.: Aportación al conocimiento de la composición química de las eflorescencias de Peralta (Navarra) ... ..	129
MARTIN RUBI, J. A.; GONZALEZ MINGUELA, E., y VALLE FUENTES, F. J.: Comportamiento térmico de una muestra de eflorescencia. Seguimiento de la formación del $\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{MgSO}_4$ por DRX ... ..	339
MARTINEZ DIAZ, J. J., y HERNANDEZ ENRILE, J. L.: Fracturación y control tectosedimentario neógeno en el borde sureste de la Cuenca de Lorca ... ..	971

## Páginas

MATEO ALCALA, L., y MENENDEZ PEREZ, E.: Condicionantes y posibilidades de uso futuro de los combustibles fósiles en Europa y España ... ..	589
MELGAREJO, J. C., y AYORA, C.: Mineralizaciones sedex de manganeso en tramos basales de la serie carbonífera del Priorato - Sierra de Miramar (Cataluña) ... ..	544
MENENDEZ PEREZ, E., y MATEO ALCALA, L.: Condicionantes y posibilidades de uso futuro de los combustibles fósiles en Europa y España ... ..	589
MINGARRO MARTIN, F.; FORT GONZALEZ, R.; BUSTILLO REVUELTA, M., y LOPEZ DE LETONA, C.: Tendencias geoquímicas durante el proceso de alteración de los granitos de la Catedral de Toledo ... ..	136
MIRAS, A., y GALAN, E.: Distribución, características generales y aplicaciones de la Barita del suroeste español (Badajoz y Sevilla) ... ..	893
MORAGUES, L.; ESCANDELL, B., y RAMOS-GUERRERO, E.: Geología de los alrededores de Sineu-Sant Joan: zona central de la isla de Mallorca (Mediterráneo Occidental) ... ..	623
MORCILLO OLIVA, J. S.; SAN MIGUEL TIL, F.; FERNANDEZ ALONSO, F.; GONZALO CORRAL, F., y FERNANDEZ RUIZ, J. M.: Posibilidades y limitaciones de los métodos geoelectrónicos en la exploración de formaciones caoliníferas (SE de la provincia de Guadalajara) ... ..	989
MURILLO DIAZ, J. M.; GRIMA OLMEDO, J., y ERASO ROMERO, A.: Aplicación del método de predicción de drenaje subterráneo al macizo del Garraf ... ..	120
NAVARRO ALVARGONZALEZ, A.: Miniprogramas (I).—Programas simples para modelado de acuíferos ... ..	702
NAVARRO ALVARGONZALEZ, A.: Miniprogramas (II). Programas simples para modelado acuíferos ... ..	901
NAVARRO ALVARGONZALEZ, A.: Miniprogramas (III).—Programas simples para modelado de acuíferos ... ..	1001
NIETO, P.: Acuíferos, residuos y planes hidrológicos: Algunas sugerencias ... ..	551
NIETO, P.: Los acuíferos y las aguas residuales urbanas: La infiltración controlada. ... ..	914
ORDOÑEZ, J. L.; HIGUERAS, P.; BORRERO, J., y URBANO, R.: Geología y prospección geoquímica para oro, en la zona de Lora del Río (Sevilla) ... ..	291
OYARZUN, R.; GARCIA DEL AMO, D.; LUNAR, R.; SIERRA, J., y DOBLAS, M.: La franja aurífera de Xallas (Galicia occidental, España): Las mineralizaciones de Albores dentro de un contexto tectónico y metalogénico evolutivo ... ..	109
PEINADO, M.; GONZALEZ DEL TANAGO, J., y BRANDLE, J. L.: Turmalinas pegmatíticas y metasomáticas de Sierra Albarrana, Córdoba (España) ... ..	746
PELAYO, F.: Ensayos sobre los métodos de beneficio de amalgamación y de fundición realizados por Juan José de Elhúyar y José Celestino Mutis en Nueva Granada ... ..	570



	<u>Páginas</u>
RAMOS GUERRERO, E.; ESCANDELL, B., y MORAGUES, L.: Geología de los alrededores de Sineu-Sant Joan: zona central de la isla de Mallorca (Mediterráneo Occidental) ... ..	623
RIAZA GARCIA, A.: Reflectancia en rocas en función de su litología y fábrica interna.—I. La interpretación de imágenes de satélite en geología: Estudios estructurales y cartografía de litologías ... ..	195
RIAZA GARCIA, A.: Reflectancia en rocas en función de su litología y fábrica interna.—II. Cartografía de rocas ígneas en el Complejo de Burguillos del Cerro en el visible e infrarrojo cercano: reflectancia espectral en laboratorio y evaluación estadística de la misma en relación con imágenes Thematic Mapper... ..	411
RIOS ARAGÜES, L. M. <sup>a</sup> ; CHARLET, J. M.; GALERA FERNANDEZ, J. M.; BARETTINO FRAILE, D., y BODEGA BARAHONA, F.: Memoria sobre la organización, desarrollo y trabajos realizados en el XXXVII Campamento para Prácticas de Geología «Pirineo Central 1991» ... ..	177
RODRIGUEZ, J.; FORT, R., y BUSTILLO, M.: Evolución geoquímica de la salmuera de la laguna de Alcahozo, Pedro Muñoz (Ciudad Real) ... ..	935
RODRIGUEZ BOUZA, A., y CORDOBA PARDO, A.: Oro y despropósitos. La minería en el nuevo Reino de Granada. 1500-1810 ... ..	148
RODRIGUEZ, M. A.; LISO, M. J., y LA IGLESIA, A.: Sobre la caracterización mineralógica de la bismutita de Oliva de la Frontera (Badajoz) ... ..	452
RUBIO NAVAS, J.; MARTIN RUBI, J. A.; ALARCON DE PABLO, P., y VALLE FUENTES, F. J.: Aportación al conocimiento de la composición química de las eflorescencias de Peralta (Navarra) ... ..	129
SAN MIGUEL TIL, F.; FERNANDEZ ALONSO, F.; GONZALO CORRAL, F.; FERNANDEZ RUIZ, J. M., y MORCILLO OLIVA, J. S.: Posibilidades y limitaciones de los métodos geoelectrónicos en la exploración de formaciones caoliníferas (SE de la provincia de Guadalajara) ... ..	989
SANTOS GARCIA, J. A.: Geoquímica de carbonatos continentales en la cuenca del Júcar (provincia de Albacete) ... ..	1019
SANZ PEREZ, E.: Las aguas subterráneas en el Parque Natural del Cañón del río Lobos (Soria - Burgos) ... ..	309
SIERRA, J.; GARCIA DEL AMO, D.; LUNAR, R.; OYARZUN, R., y DOBLAS, M.: La franja aurífera de Xallas (Galicia occidental, España): Las mineralizaciones de Albores dentro de un contexto tectónico y metalogénico evolutivo ... ..	109
URBANI, F.: Las minas de cobre de Aroa a la luz de la relación de Manuel Gaytán de Torres. 1621 ... ..	348
URBANO, R.; HIGUERAS, P.; BORRERO, J., y ORDOÑEZ, J. L.: Geología y prospección geoquímica para oro, en la zona de Lora del Río (Sevilla) ... ..	291
VALLE FUENTES, F. J.; MARTIN RUBI, J. A.; RUBIO NAVAS, J., y ALARCON DE PABLO, P.: Aportación al conocimiento de la composición química de las eflorescencias de Peralta (Navarra) ... ..	129

	<u>Páginas</u>
VALLE FUENTES, F. J., y VERGARA PARDEIRO, A.: Análisis químico de sepiolitas por espectrometría de emisión con fuente de plasma de acoplamiento inductivo ... ..	330
VALLE FUENTES, F. J.; GONZALEZ MINGUELA, E., y MARTIN RUBI, J. A.: Comportamiento térmico de una muestra de eflorescencia. Seguimiento de la formación del CaSO <sub>4</sub> · 3MgSO <sub>4</sub> por DRX ... ..	147
VALLE MENENDEZ, A., DEL: Conferencia de Antonio del Valle Menéndez en el Club Español de la Minería ... ..	601
VERGARA PARDEIRO, A., y BENITO GARCIA, R.: Mineralogía de sulfosales y sulfuros en los filones de Ateca, Cordillera Ibérica ... ..	1046
VERGARA PARDEIRO, A., y VALLE FUENTES, F. J.: Análisis químico de sepiolitas por espectrometría de emisión con fuente de plasma de acoplamiento inductivo ... ..	330

# NORMAS DE PUBLICACION PARA LOS AUTORES

Los trabajos inéditos que se reciban para su publicación en el BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO serán revisados por un Comité editorial que decidirá si procede su publicación.

Los autores deberán atenerse a las siguientes normas:

## Texto.

Se entregará paginado y mecanografiado a doble espacio por una sola cara y con amplios márgenes. Este texto se considerará definitivo, deberá venir leído por el autor y perfectamente puntuado y con las correcciones de las erratas de mecanografía que fuesen precisas. En él serán marcadas las fechas de recepción y aceptación.

Cuando en el trabajo se acompañen figuras, tablas y fotografías, el autor deberá dejar un pequeño espacio con indicación del lugar donde han de intercalarse, si es posible. En los originales de las mismas se reseñará el título del trabajo, así como el nombre de los autores.

Todos los trabajos en lengua española irán precedidos de un breve resumen en español e inglés o francés. Los de idiomas extranjeros lo llevarán en su idioma y también en español. Al final de los mismos, y en párrafo aparte, se incluirán las palabras clave, reservándose el último lugar para la localización geográfica, si la hubiere.

En todo momento los autores conservarán una copia del texto original y figuras.

## Idiomas.

Excepcionalmente podrán publicarse trabajos en otros idiomas (preferiblemente inglés o francés), siempre que abarquen temas sobre España y sean de autores extranjeros.

## Referencias.

Se incluirá al final de cada trabajo la relación de las obras consultadas por orden alfabético de autores, empleándose las normas y abreviaturas usuales.

## Parte gráfica.

La parte gráfica vendrá preparada para ser reproducida a las anchuras máximas de 80 mm. (una columna) y 170 mm. (doble columna). Se evitará en lo posible la inclusión de encartes, así como se reducirá a lo indispensable el número de figuras, tablas y fotografías. En las ilustraciones a escala, ésta se expresará solamente en forma gráfica, con objeto de evitar errores en caso de reducir el original. Todas las figuras irán numeradas correlativamente según su orden de inserción.

Las figuras serán originales y nunca copiativos, delineadas con tinta china sobre papel vegetal. Las tablas, bien presentadas para su reproducción fotográfica. Las fotografías serán positivos en blanco y negro sobre papel brillo y excepcionalmente en color (positivo en brillo y transparencia).

## Pruebas.

Serán enviadas a los autores para que realicen las correcciones de erratas de imprenta producidas en la composición, no admitiéndose modificación alguna, adición o supresión al texto original.

Las pruebas serán devueltas por el autor en el plazo máximo de diez días, pasados los cuales la Redacción decidirá entre retrasar el trabajo o realizar ella misma la corrección, declinando la responsabilidad por los errores que pudieran persistir.

Los originales de texto y figuras quedarán en poder de la Redacción.

## Tiradas aparte.

Se asignan 30 tiradas aparte con carácter gratuito por trabajo publicado. Cuando el autor desee un número mayor del indicado deberá hacerlo constar por escrito en las pruebas y abonar el precio de este excedente.

La Redacción del BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO introducirá cuantas modificaciones sean necesarias para mantener los criterios de uniformidad y calidad del mismo. De estas modificaciones se informará al autor.

## TARJETA DE SUSCRIPCION AL BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO

### Boletín Geológico y Minero

Revista bimestral de geología, minería  
y ciencias conexas

### DIRECCION, REDACCION Y PUBLICACION

### Instituto Tecnológico Geominero de España

Ríos Rosas, 23 - 28003-Madrid, España

### ADMINISTRACION, DISTRIBUCION Y SUSCRIPCION

### Centro de Publicaciones del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo

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

Precio suscripción anual (6 números). Año 1993:  
5.280 ptas. Igual precio para años anteriores.  
Números atrasados: 1.000 pesetas el ejemplar.

Nombre .....  
Organismo o Empresa .....  
Dirección ..... Teléfono .....  
Ciudad ..... C. P. ....  
País ..... FIRMA .....  
Fecha .....

## 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  
DATE .....

FIRMA  
SIGNATURE .....

NOMBRE  
NAME  
NOM .....

DIRECCION  
ADDRESS  
ADRESSE .....

ROGAMOS DEVUELVAN ESTE ACUSE DE RECIBO, NECESARIO PARA NUESTRO CONTROL, DIRIGIDO EXCLUSIVAMENTE A AQUELLOS CENTROS QUE RECIBEN ESTA PUBLICACION CON CARACTER GRATUITO EN REGIMEN DE INTERCAMBIO.

Toda la correspondencia referente a las publicaciones  
deberá dirigirse a:

Leopoldo Aparicio Ladrón de Guevara  
Instituto Tecnológico Geominero de España  
Ríos Rosas, 23. 28003-Madrid

# Instituto Tecnológico GeoMinero de España

## Finalidad:

*Investigación, Desarrollo Tecnológico y Asistencia técnica en Geología, Minería y Disciplinas conexas*

### GEOLOGIA Y GEOFISICA



MAPA GEOLOGICO NACIONAL (MAGNA)  
ESTUDIOS GEOLOGICOS Y CARTOGRAFIA TEMATICA  
GEOFISICA Y GEOLOGIA DEL SUBSUELO  
GEOLOGIA MARINA (FONDOS MARINOS)  
TELEDETECCION APLICADA

### RECURSOS MINERALES



METALOGENIA Y CARTOGRAFIA METALOGENETICA  
GEOQUIMICA BASICA Y APLICADA  
YACIMIENTOS MINERALES  
EVALUACION DE RESERVAS E INVENTARIO DE RECURSOS

### AGUAS SUBTERRANEAS



CARTOGRAFIA HIDROGEOLOGICA  
PROTECCION DE RECURSOS HIDROGEOLOGICOS  
EVALUACION Y CONTROL DE ACUIFEROS SUBTERRANEOS  
RECURSOS GEOTERMICOS

### LABORATORIOS Y ENSAYOS



ANALISIS QUIMICOS Y MINERALOGICOS  
ENSAYOS MINERALURGICOS Y GEOTECNICOS  
CARACTERIZACION DE ROCAS MINERALES INDUSTRIALES  
SONDEOS DE INVESTIGACION HIDROGEOLOGICA Y MINERA  
ENSAYOS DE BOMBEO

### INFORMACION, DOCUMENTACION Y BANCO DE DATOS



FONDOS DOCUMENTALES Y BASES DE DATOS  
SISTEMAS DE INFORMACION Y COMUNICACIONES  
CATASTRO MINERO  
PUBLICACIONES

### INGENIERIA GEOAMBIENTAL



RIESGOS GEOLOGICOS  
RESTAURACION DEL MEDIO AMBIENTE MINERO  
GEOTECNIA Y GEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA  
MEDIO AMBIENTE Y ORDENACION DEL TERRITORIO

### DESARROLLO MINERO



PROCESOS Y TECNOLOGIAS  
SEGURIDAD MINERA  
NORMATIVA  
ESTUDIOS DE ECONOMIA MINERA

### MUSEO GEOMINERO

#### Sede Central:

c/ Ríos Rosas, 23. 28003 MADRID  
Tel.: 441 65 00 – Fax: 442 62 16

#### Centro de Laboratorios:

c/ La Calera, 1 28760 TRES CANTOS (MADRID)  
Tel.: 803 22 00



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO  
SECRETARIA GENERAL DE LA ENERGIA Y RECURSOS MINERALES

