



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

boletín

geológico

y minero

VOLUMEN 104

Mayo - Junio 1993

NUMERO 3



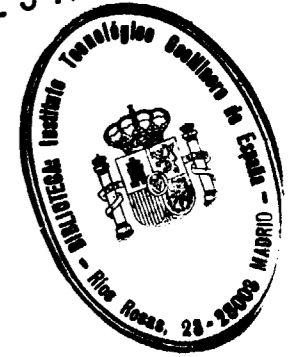
Volumen 104

Número 3

Mayo - Junio 1993

boletín geológico y minero

25 ABR 1994



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

Sumario

Geología	F. J. PALERO: Tectónica pre-hercínica de las series infraordovícicas del anticlinal de Alcudia y la discordancia intraprecámbrica en su parte oriental (Sector meridional de la Zona Centroibérica) 3
	A. BENGOCHEA, L. A. IZQUIERDO, J. M. MARTINEZ, J. L. MOLINERO, D. MONTERO, F. TORCIDA y V. URIEN: Icnitas de Dinosaurios en el sureste de la provincia de Burgos 19
Minería	S. MAROTO ARANDA, J. RAMIREZ COPEIRO DEL VILLAR y F. ROSALES CALVO: Los sondeos mecánicos en la investigación de la masa Valverde. Testificación geofísica de los mismos. Faja Pirítica de Huelva. 35
Aguas subterráneas	A. NAVARRO ALVARGONZALEZ: Miniprogramas (VI) Variogramas y Kriging en hidrogeología 56
Ingeniería geoambiental	J. SIRVENT, G. DESIR, M. GUTIERREZ y C. SANCHO: Datos preliminares de tasas de erosión hídrica en cárcavas del área experimental de Lanaja (Depresión del Ebro) 77
Estudio de minerales y rocas	D. GOMEZ-LIMON, R. ALVAREZ y C. RUIZ: Identificación y caracterización de un mineral oxidado complejo de Estaño, Hierro y Arsénico en la mina «Santa Elisa» (Zamora) 88
Información	O. PUCHE RIART: La contribución de los ingenieros de minas y naturalistas a la Arqueología española: Los inicios de los estudios prehistóricos en España 94
	Noticias y Libros 129

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

Pista de transporte, Cerro Colorado (Riotinto, España)

(Foto: A. Sánchez)

Depósito legal: M. 3.279 - 1958
ISSN 0366 - 0176
NIPO 241 - 93 - 003 - 0

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

Tectónica pre-hercínica de las series infraordovícicas del anticlinal de Alcuía y la discordancia intraprecámbrica en su parte oriental (Sector meridional de la Zona Centroibérica).

Por F. J. PALERO (*)

R E S U M E N

El anticlinal de Alcuía es una importante estructura hercínica de rumbo ONO-ESE. Dentro de él aflora una serie de edad Precámbrico Superior, formada por dos conjuntos litoestratigráficos equivalentes a una parte de las series del Complejo Esquisto-Grauwáquico de Extremadura, Salamanca y Montes de Toledo.

Estos dos conjuntos muestran estilos tectónicos diferentes, poniéndose de manifiesto, sobre todo, mediante el análisis estructural de los elementos más simples, planos de estratificación (S_0), esquistosidad dominante (S_1) y la lineación de intersección de ambos planos (I_1). Los estereogramas muestran que el conjunto inferior se halla bastante verticalizado en la zona y no sigue directrices hercínicas. Por contra, el conjunto superior muestra suave plegamiento siguiendo una pauta hercínica. De ello se deduce que el contacto entre ambos conjuntos es de discordancia angular.

En este trabajo se presentan dos nuevas localidades donde la discordancia es visible, confirmándose la extensión del accidente a la parte oriental del anticlinal de Alcuía. Con ello, tomando en consideración las localidades citadas por diversos autores, se puede afirmar que la discordancia intraprecámbrica aparece, al menos, en todo el sector meridional de la Zona Centroibérica.

Por último, se pone de manifiesto una importante tectónica de bloques pre-ordovícica que afectó conjuntos precámbricos. Esta tectónica fue postulada ya por ORTEGA et al. (1988), habiéndose podido confirmar en el anticlinal de Alcuía, donde se ha encontrado una gran falla con un salto vertical de 800 m, la cual limita una banda de afloramiento del conjunto superior que cruza el anticlinal en diagonal con un rumbo NO-SE.

Palabras clave: Zona Centroibérica, Precámbrico, Alcudense, Complejo Esquisto-Grauwáquico, Valle de Alcuía.

A B S T R A C T

The Alcuía anticline is a large WNW-ESE hercynian structure in the southern Centraliberian Zone within the Hercynian Massif of the Iberian Peninsula. Two lithostratigraphic units of Upper Precambrian age occur along the core. Both sets display different structural styles shown by bedding, cleavage and the corresponding intersection lineation patterns. The lower unit displays a widespread subvertical attitude unlike hercynian directions, whereas the upper unit shows a typical hercynian smooth folding, indicating an angular unconformity between the two units.

Two new locations where the angular unconformity can be seen are described in this paper, confirming the extension of the angular unconformity to the east of the Alcuía anticline. Those occurrences added to prior reports extend the existence of the intraprecambrian unconformity throughout the southern area of the Centraliberian Zone.

The preordovician block-tectonics (Ortega et al., 1988) is shown by a large fault with 800 m of vertical displacement. It limits a belt of the upper unit and cross-cuts the anticline with a NW-SE trend.

Key words: Centraliberian zone, Precambrian, Alcudien, Schistgreywacky Complex, Alcuía Valley.

(*) Dto. de Geología, Minas de Almadén y Arrayanes, S. A. 13400 Almadén, Ciudad Real).

1. INTRODUCCION

El anticlinal de Alcudia es una estructura hercínica situada en el sur de la provincia de Ciudad Real, con rumbo general ONO-ESE de unos 125 Km de largo (fig. 1). Se trata de un macroplicue emblemático en el sector meridional de la Zona Centroibérica de JULIVERT et al. (1972), el cual aparece flaqueado por la Cuarcita Armórica del Arenigiense Inferior. En su núcleo,

bajo el Ordovícico, aparece una serie detrítica considerada, actualmente sin discusión, de edad precámbrica (REDLIN, 1955; BOUYX, 1970; TAMAIN, 1972; MORENO, 1977b; AMOR y ORTEGA, 1987; ORTEGA et al. 1988, y PALERO, 1991).

Dentro de esta serie precámbrica se reconocen dos conjuntos, establecidos por primera vez por BOUYX (1970) y hoy en día ampliamente admitidos, pero cuya relación de contacto ha sido

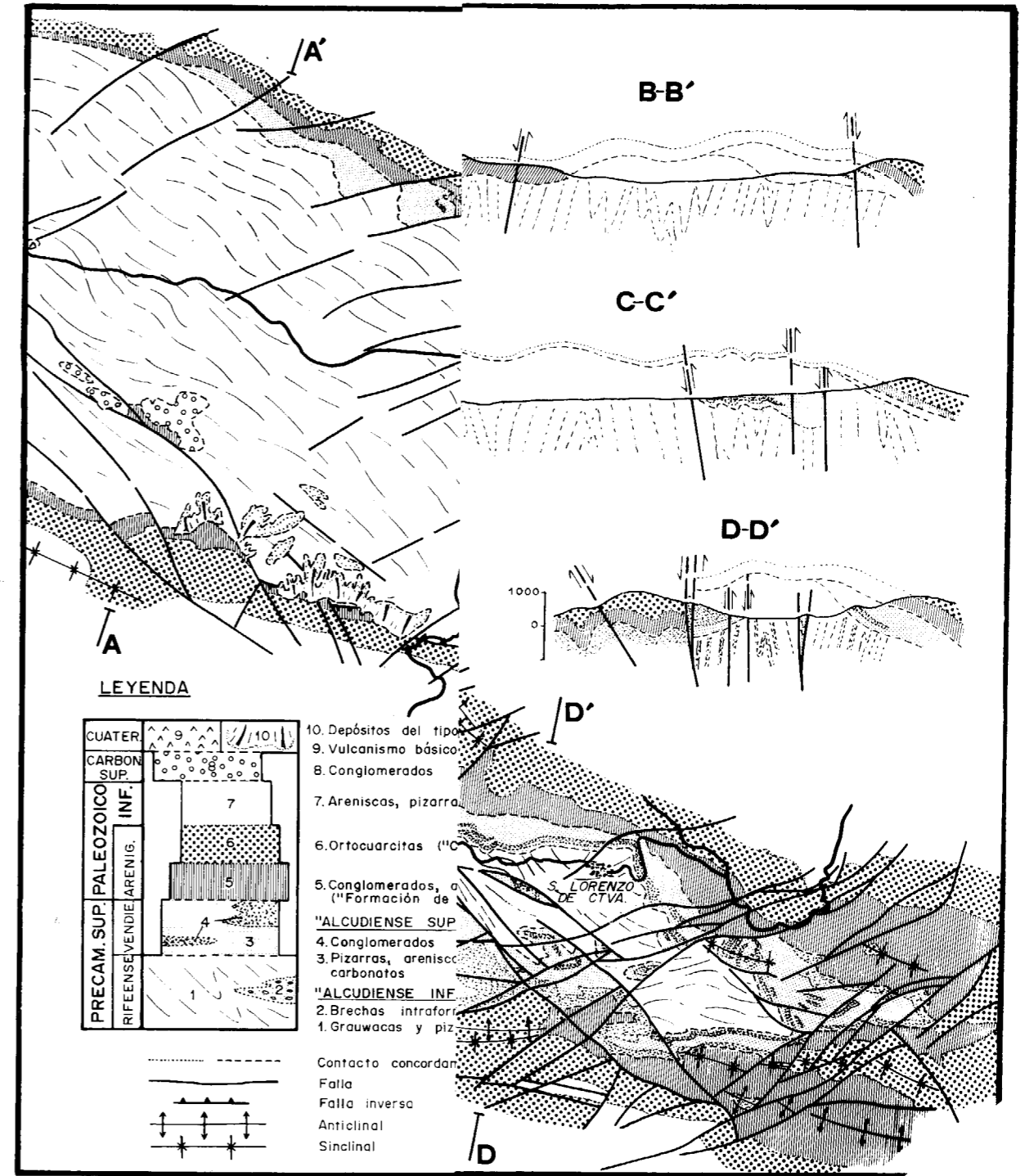
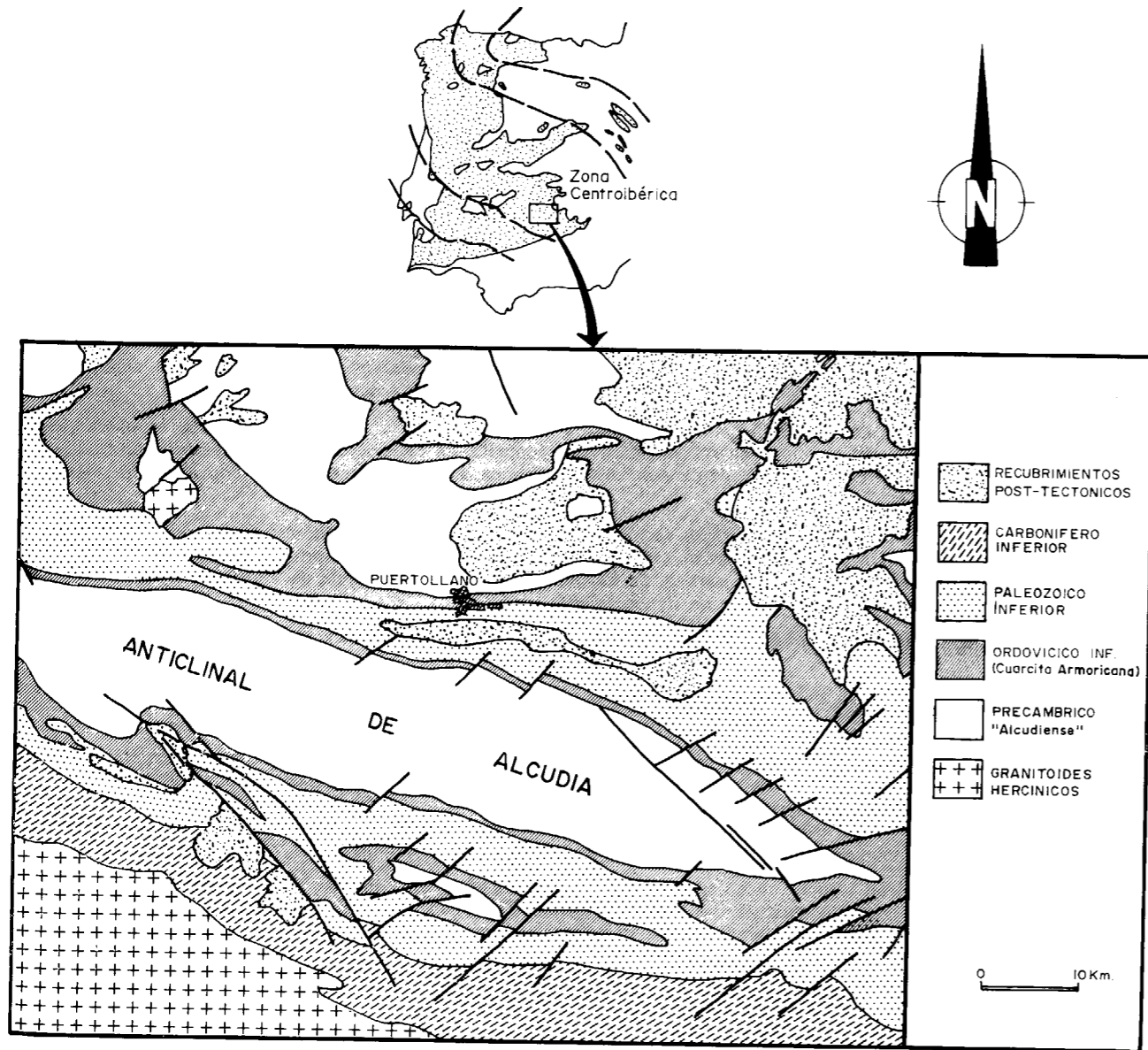
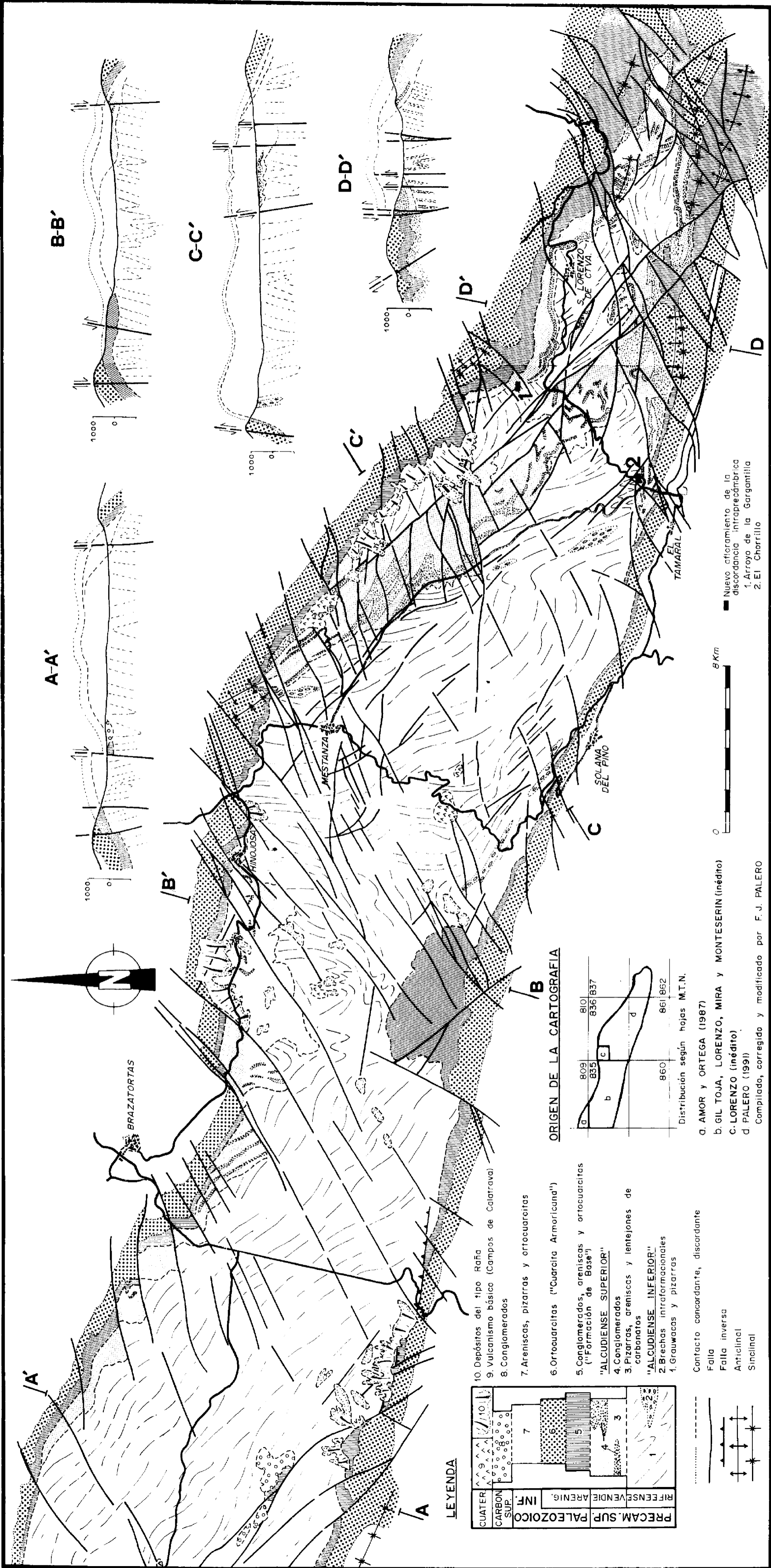


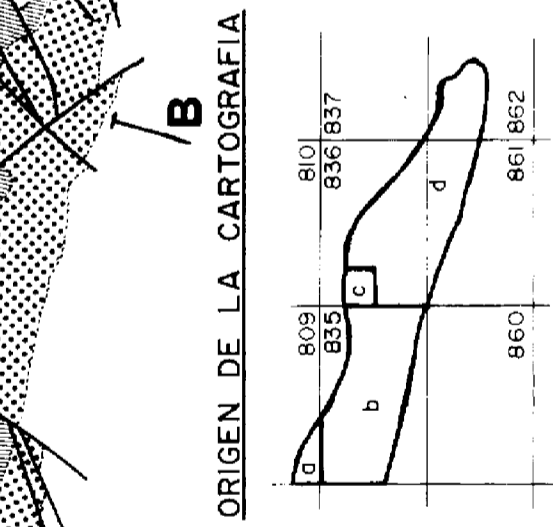
Figura 1.—Situación del anticlinal de Alcudia en el contexto geológico regional del sector meridional de la Zona Centroibérica.



LEYENDA

CUATER	9	10
CARBON SUP.	8	7
PALEOZOICO SUP.	6	5
PALEOZOICO INF.	4	3
RIESENSE	2	1
VENEDIE		
ARENIG.		

10. Depósitos del tipo Raña
9. Vulcanismo básico (Campos de Calatrava)
8. Conglomerados
7. Areniscas, pizarras y ortocuarcitas
6. Ortocuarcitas ("Cuarcita Armoricuna")
5. Conglomerados, areniscas y ortocuarcitas ("Formación de Base")
4. Conglomerados
3. Pizarras, areniscas y lentejones de carbonatos
2. Brechas intraformacionales
1. Grauwacas y pizarras



- Contacto concordante, discordante
- Falla
- Falla inversa
- Anticlinal
- Sinclinal

- a. AMOR y ORTEGA (1987)
 - b. GIL TOJA, LORENZO, MIRA y MONTERERIN (inédito)
 - c. LORENZO (inédito)
 - d. PALERO (1991)
- Compilado, corregido y modificado por F. J. PALERO



- Nuevo afloramiento de la discordancia intraprecámbrica
- 1. Arroyo de la Gargamilla
- 2. El Chorrillo

Figura 2.—Esquema geológico del sector central y oriental del anticlinal de Alcudia.

objeto de acalorada discusión. Estos conjuntos son conocidos localmente como «Alcudiense Inferior» y «Alcudiense Superior» respectivamente (TAMAIN, 1972), nomenclatura que se ha extendido a zonas aledañas. Son equivalentes respectivamente al «Grupo Domo Extremeño» y «Serie Detrítico-carbonatada» o «Grupo Ibor» de ALVAREZ-NAVA et al. (1988).

Estas rocas infraordovíicas han sido afectadas por varios episodios tectónicos, reconociéndose que la deformación hercínica se superpone a otras fases deformativas más antiguas. Las referencias sobre este aspecto son corrientes en la literatura geológica de la región y zonas aledañas. No obstante, al no haber sido reconocida la existencia de una discordancia intracámbrica por la mayor parte de los autores, todos los fenómenos tectónicos han sido considerados de forma global como sárdicos.

La existencia de una tectónica pre-ordovíica en el anticlinal de Alcuía queda patente con una simple mirada al esquema geológico actualizado (fig. 2). No obstante, el estudio de la tectónica pre-hercínica en el campo resulta difícil por diversas causas, entre las que conviene resaltar la monotonía de las series precámbricas, la falta de esquistosidad asociada con esos procesos deformativos, y la superposición de una importante fase de plegamiento hercínico. Todo ello conduce a un notable grado de dificultad en la interpretación de la polaridad tectónica, sobre todo en las rocas del conjunto inferior, por lo que hoy en día resulta casi imposible establecer la geometría de las estructuras intraprecámbricas.

2. ANALISIS ESTRUCTURAL DE LAS SERIES PRECAMBRICAS

Como consecuencia de los problemas comentados, se hace imprescindible el empleo del análisis estructural para determinar si las series infraordovíicas estaban previamente plegadas o no. Así, ORTEGA y SANCHEZ VIZCAINO (1987), AMOR y ORTEGA (1987) y ORTEGA y GONZALEZ LODEIRO (1983) entre otros autores, han utilizado para ello las lineaciones de intersección I_1 producidas entre los planos de estratificación S_0 y los de la esquistosidad hercínica dominante S_1 , la cual puede ser considerada de forma general como constante en dirección y buzamiento

en el anticlinal de Alcuía. En este caso, la distribución de I_1 permite determinar la posición de la estratificación cuando se desarrolló la esquistosidad. Teniendo en cuenta que los planos S_1 son subverticales en la región, cada medida de I_1 en la proyección estereográfica puede aparecer en dos posiciones (fig. 3):

- Próxima al centro de la falsilla. En esta situación la I_1 es subvertical, lo que indica que el plano de estratificación S_0 estaba verticalizado al ser atravesado por la esquistosidad.
- Hacia el borde de la falsilla. Representa a la I_1 subhorizontal, lo que significa que el plano de estratificación S_0 estaba originalmente en posición horizontal o llevaba la misma dirección que los planos de esquistosidad.

Cuando se estudia el comportamiento de las lineaciones I_1 en una zona concreta, el conjunto de proyecciones en la falsilla puede distribuirse de la siguiente forma:

- Si la mayoría de las medidas de I_1 quedan hacia el centro de la falsilla, indica que la serie estaba en conjunto verticalizada, es decir, era una serie monoclinical con fuerte buzamiento antes del desarrollo de la S_1 (fig. 3, C).
- Cuando las proyecciones de I_1 aparecen concentradas en el borde, están indicando que la serie estaba en posición subhorizontal antes de ser afectada por los planos de esquistosidad S_1 . En este caso, las proyecciones de I_1 formarán una nube de puntos en la que se encontrarán las proyecciones de los ejes de los pliegues, es decir, que pliegues y esquistosidad fueron formados contemporáneamente (fig. 3, D).
- Cuando las lineaciones de intersección aparecen tanto en el centro como en el borde de la falsilla, las I_1 se disponen normalmente siguiendo un semicírculo mayor de la falsilla, el cual representa justamente el plano de esquistosidad. Esta distribución corresponde a la existencia de un pliegue anterior cortado por la esquistosidad S_1 , es decir, que la fase de deformación que genera la S_1 se superpone a otra anterior de dirección oblicua (fig. 3, E).

El estudio de las lineaciones de intersección I_1 en las rocas del anticlinal de Alcuía, ha permi-

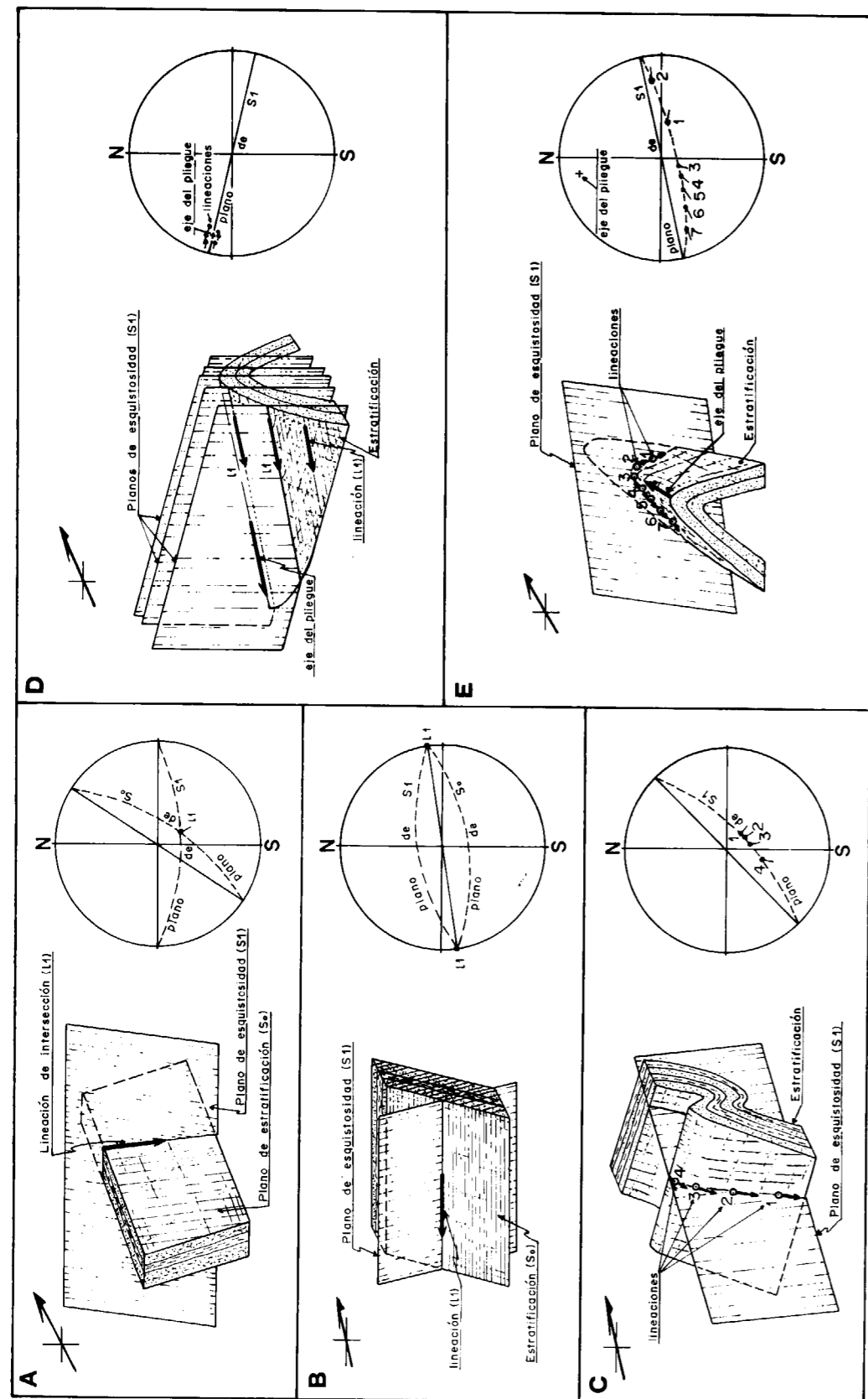


Figura 3.—Relaciones geométricas teóricas entre los planos de estratificación S_0 , esquistosidad S_1 , y su lineación de intersección L_1 en las rocas precámbricas del anticlinal de Alcuia.

tido establecer dos grupos de proyecciones que representan respectivamente a los conjuntos inferior y superior precámbricos. Según estas medidas, el más antiguo presenta por lo general lineaciones subverticales, lo que indica una verticalización previa a la formación de la esquistosidad hercínica. Por contra, este último presenta lineaciones subhorizontales y ligeras dispersiones según planos de S_1 , lo que estaría reflejando suaves ondulaciones a las que se superpone la esquistosidad (fig. 4).

Los estereogramas de los planos de estratificación S_0 del «Alcudiense Inferior», muestran un predominio de las posiciones verticales y subverticales (polos de planos en los bordes de la falda), lo que choca con los buzamientos subhorizontales y suaves del «Alcudiense Superior». Esta verticalización del conjunto rocoso inferior se produjo antes de que tuviera lugar el depósito del conjunto suprayacente, pues de no ser así resultaría imposible explicar que en una misma zona las lineaciones de intersección, que están contenidas en un mismo plano que es la esquistosidad hercínica S_1 , fueran verticales en el primer caso y subhorizontales en el segundo.

En conclusión, el comportamiento de los elementos estructurales estudiados refleja dos estilos tectónicos completamente distintos en ambas formaciones del Precámbrico, lo que es consecuencia de la acción de dos episodios tectónicos diferentes. Este hecho conlleva una relación de contacto entre ambos conjuntos precámbricos de discordancia angular.

3. LA DISCORDANCIA INTRAPRECÁMBRICA

3.1. Evolución histórica del pensamiento: Discusión

La existencia de una discordancia intraprecámbrica ha sido un tema discutido desde que BOUYX (1970) la definiera por primera vez en el valle del río Esteras, situado al NO del anticlinal de Alcuia. Así, en su descripción del afloramiento de la Ribera de Río Frío, ponía de manifiesto que la serie inferior aparecía en el núcleo de un anticlinal de la serie superior, presentando la primera buzamientos verticales que chocaban con las suaves inclinaciones de la segunda.

Posteriormente, CRESPO et al. (1971) y CRESPO

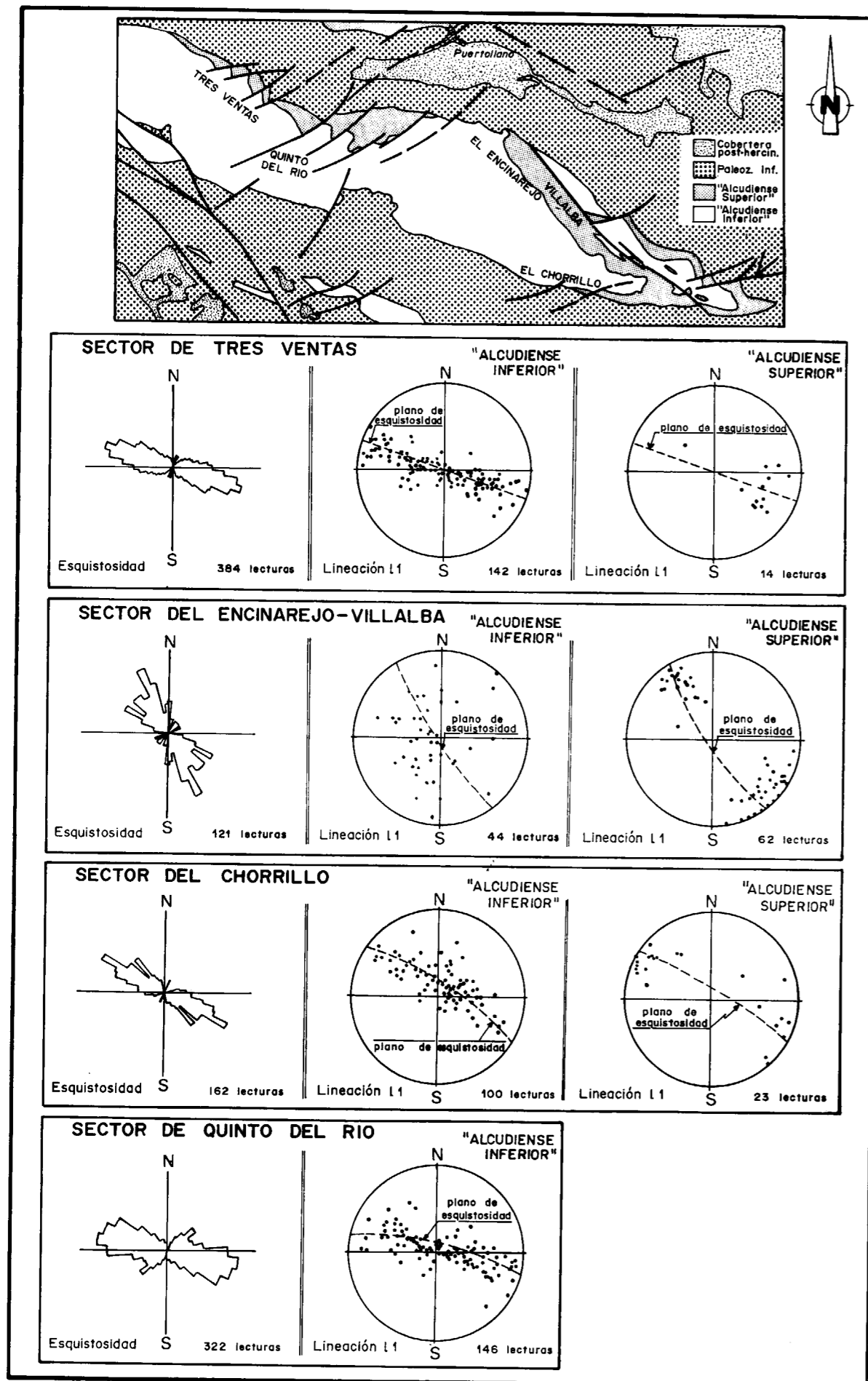
y REY DE LA ROSA (1971) reconocían esta discordancia por primera vez en el valle de Alcuia, concretamente en los arroyos del Tamujar y de Fuente de Guardas, situados al sur de Cabezarrubias del Puerto.

Los trabajos posteriores de TAMAIN (1972), PARGA y VEGAS (1974), CAPOTE et al. (1977), MORENO (1977a), ROIZ (1979), ROIZ y VEGAS (1980) y PIEREN (1985) negaban la existencia de la discordancia, considerando que toda la sedimentación del Precámbrico tuvo lugar durante un mismo ciclo. La falta manifiesta de paralelismo en localidades como las descritas por BOUYX (1970) y CRESPO et al. (1971), era explicada por TAMAIN (1972) como debida a fenómenos de una supuesta tectónica tangencial. MORENO (1977 a y b) y VEGAS et al. (1977) no negaban la posibilidad de discordancias locales debidas principalmente a fenómenos intraformacionales, pero dudaban sobre la continuidad lateral del accidente.

Todos los trabajos citados basaban su apoyo u oposición a la existencia de la discordancia en criterios puramente descriptivos (angularidad) y/o estratigráficos, lo que llevó en la mayor parte de los casos a interpretaciones erróneas. Así, la mayoría de los citados autores consideraron como comienzo de la serie superior a la base de los conglomerados, lo que resulta equivocado en la mayor parte de las ocasiones. En los distintos cortes realizados del conjunto superior en el valle de Alcuia, se ha podido apreciar cómo, en la mayoría de los casos, el comienzo del conjunto superior precámbrico se realiza mediante ortocuarcitas negras masivas o facies listadas pizarroso-arenosas, encontrándose los primeros lentejones de conglomerados a unos metros sobre el contacto.

Otros trabajos realizados en el área se basaron en estudios sedimentológicos detallados, lo que condujo a conclusiones que son sedimentológicamente coherentes, pero erróneas desde el punto de vista geológico general (PUIGDEFABREGAS, 1981; SAN JOSE, 1983). Ello se debe a que dichos trabajos carecen de criterios tectónicos que permitan separar conjuntos litoestratigráficos que tuvieron una historia geológica independiente.

Como se ha podido ver en párrafos precedentes, los criterios tectónicos resultan imprescindibles y definitorios a la hora de determinar la existencia de distintos episodios tectónicos, que son



los responsables de la geometría actual de las series del anticlinal de Alcudia y pueden demostrar o negar la existencia de una discordancia intraprecámbrica.

A este respecto, los trabajos cartográficos de AMOR y ORTEGA (1987), ORTEGA y SANCHEZ VIZCAINO (1987), y GARCIA SANSEGUNDO et al. (1987) pusieron de manifiesto la existencia de una tectónica precámbrica que afectó al conjunto inferior. En base a este hecho, ORTEGA y GONZALEZ LODEIRO (1983) hicieron una revisión de las localidades donde se conocía la discordancia intraprecámbrica, añadiendo una nueva en el Domo de Abenójar. Estos autores señalaron la importancia regional del accidente, a diferencia de lo expuesto por MORENO (1977, a y b) y otros autores, ya que dicha discordancia se observó, al menos, desde el anticlinal del Esteras hasta la parte central del anticlinal de Alcudia.

Más tarde, LORENZO ALVAREZ y SOLE (1988) describieron también esta discordancia en la parte suroriental de Abenójar y SAN JOSE (1984), PIEREN et al. (1987) y NOZAL et al. (1988a) y NOZAL et al. (1988b) lo hicieron en las estructuras anticlinales situadas al NO del anticlinal del Esteras. Esto pone de manifiesto que el accidente intraprecámbrico tiene una extensión mucho mayor, pudiéndose hablar claramente de un fenómeno de ámbito regional.

En el presente trabajo se complementa la extensión del accidente hacia el S y SE, aportándose dos nuevas localidades en la parte oriental del anticlinal de Alcudia donde la discordancia es visible, las cuales fueron descritas por primera vez por PALERO (1991). Dichas localidades son la del paraje del Chorrillo, en la confluencia de los ríos Montoro y Fresnedas, y la del arroyo de la Gargantilla, al oeste de la población de San Lorenzo de Calatrava.

3.2. Afloramiento del paraje de El Chorrillo (Mestanza)

Esta localidad se halla en el flanco meridional

del anticlinal de Alcudia. El afloramiento donde es visible la discordancia se encuentra en la margen occidental del río Fresnedas, muy cerca de su confluencia con el río Montoro. Más concretamente a unos 100 m al N del puente de la carretera de Puertollano a San Lorenzo de Calatrava. La ubicación exacta corresponde a las coordenadas U.T.M.: X = 418.450, Y = 4.256.050, en la Hoja 861 (Solana del Pino) del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000.

La discordancia aparece gracias al corte que realiza el río Fresnedas al atravesar un pequeño anticlinal del conjunto superior (fig. 5). En una primera impresión resulta difícil apreciar la angularidad entre las capas de los dos conjuntos precámbricos, ya que el rumbo de las pizarras y grauwacas del «Alcudiense Inferior» es semejante al que lleva el valle del río. No obstante, una observación detallada permite apreciar claramente la discordancia, pudiéndose ver en el afloramiento cómo los estratos del «Alcudiense Inferior» chocan con los del «Superior».

El corte que se puede realizar en dirección norte por la trinchera de la carretera del San Lorenzo y por la orilla del río Fresnedas, permite observar la siguiente sucesión de techo a muro (fig. 6).

Tomando como inicio un paquete de conglomerado que se halla suavemente plegado y fallado, de unos 20 m de potencia, aparecen en perfecta concordancia bajo él, un tramo de pizarras y areniscas laminadas que en sus primeros 75 metros mantienen un buzamiento muy constante de 45° a 55° al sur. La esquistosidad S₁ muestra una dirección similar a la de la estratificación S₀, pero su buzamiento es de 75° a 80° al norte, dando unas lineaciones de intersección I₁ entre ambos planos que varían de 15° a 20° al ONO.

Nada más salir de la trinchera de la carretera, las pizarras y areniscas laminadas adquieren una posición subhorizontal. Presentan pliegues muy suaves y abiertos que dan lugar a buzamientos de 10° a 20° al N y S. En este tramo, de unos 75 m, la esquistosidad permanece constante y las lineaciones I₁ varían de 5° a 10° hacia el ONO.

Figura 4.—Representación estereográfica de las lineaciones de intersección I₁ en los conjuntos litoestratigráficos precámbricos de varias zonas del anticlinal de Alcudia. Comparar su distribución con el estereograma de polos de planos de esquistosidad S₁.

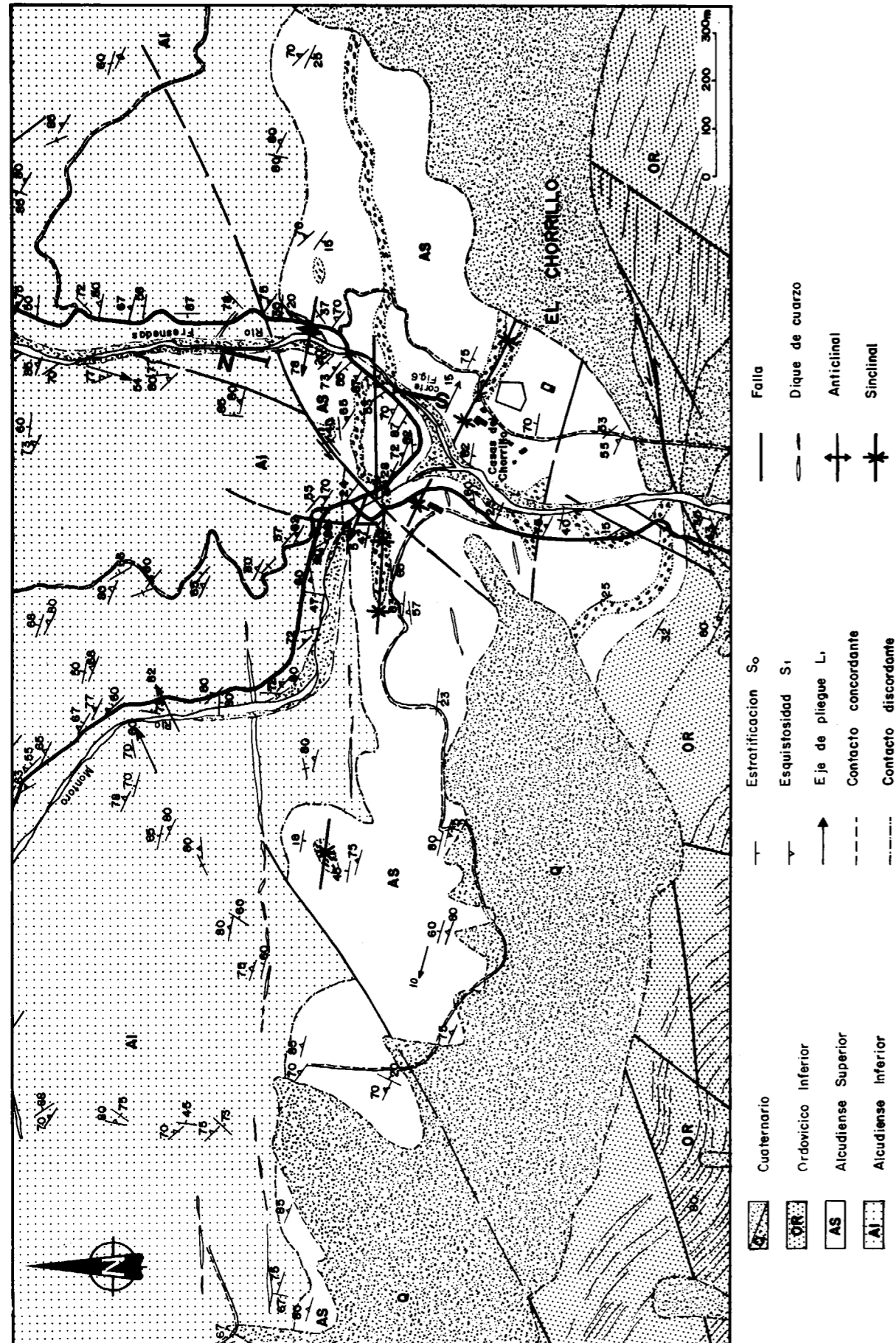


Figura 5.—Esquema geológico de la zona de la confluencia de los ríos Montoro y Fresnedas, paraje de El Chorrillo (Mestanza)

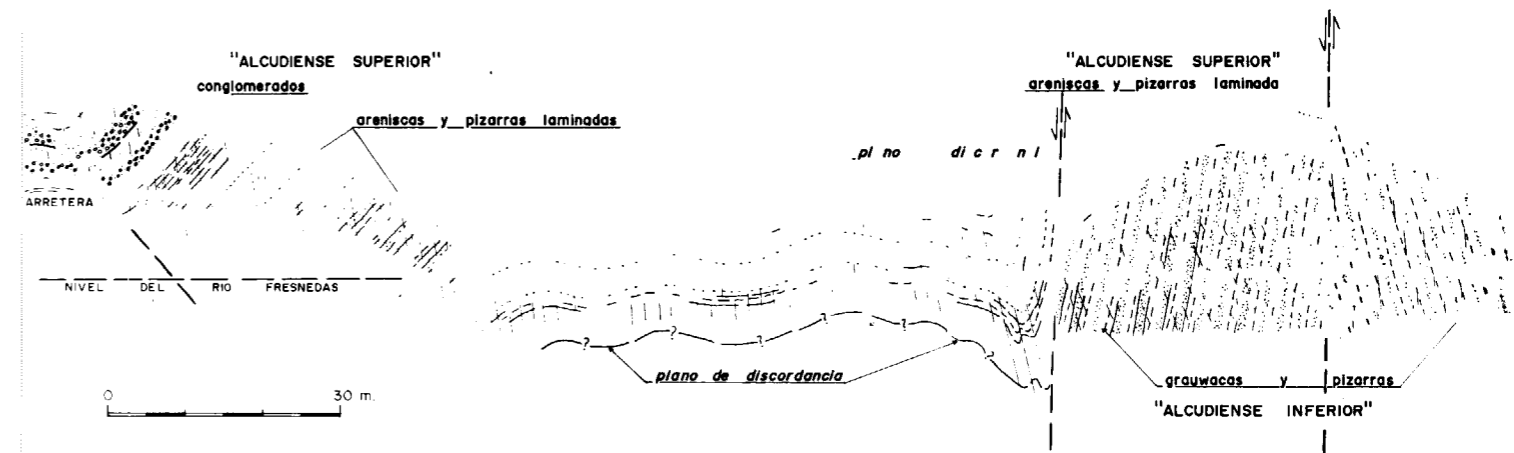


Figura 6.—Corte geológico detallado de la discordancia del paraje de El Chorrillo (Mestanza).

Un poco más adelante, la estratificación del «Alcudienze Superior» adquiere bruscamente buzamiento fuerte al sur, pero recupera la posición horizontal en unos pocos metros y, suavemente, la pendiente de las capas va cambiando hacia el norte, formando un pequeño anticlinal que, a unos 25 m, termina en una falla. La esquistosidad permanece constante, y sólo en la parte alta del pliegue está algo más tumbada. Las lineaciones I_1 siguen siendo subhorizontales.

En el núcleo de ese pequeño anticlinal afloran las pizarras y grauwasas del «Alcudienze Inferior», las cuales llevan dirección $N 20^\circ E$ y buzamiento de 70° a 85° al oeste, que chocan claramente con las pizarras laminadas del «Alcudienze Superior». En este caso, como los planos de esquistosidad permanecen invariables, conservando en general la dirección y buzamiento que tienen en la formación suprayacente, las lineaciones de intersección muestran un fuerte «plunge» que oscila entre 65° y 75° al NO.

Cuando se amplía el estudio del contacto entre los dos conjuntos precámbricos a toda la zona del Chorrillo y se realiza el análisis estructural de los planos S_0 , S_1 y de las lineaciones de intersección I_1 , se obtienen las siguientes interesantes conclusiones (fig. 7):

— Los planos de estratificación del conjunto superior se distribuyen según un círculo mayor que dibuja a los pliegues hercínicos. Por con-

tra, el conjunto inferior muestra una distribución irregular, concentrándose los polos en el borde del estereograma mostrando posición vertical generalizada.

— Las lineaciones de intersección I_1 del conjunto inferior aparecen dispersas según un semicírculo mayor que corresponde al de la esquistosidad hercínica, apareciendo concentradas principalmente en la parte central del estereograma, lo que es propio de un «plunge» verticalizado. En contraposición, las I_1 del Alcudienze Superior aparecen concentradas en el borde del estereograma, indicando un «plunge» subhorizontal. Además, la mayor concentración de puntos se sitúa alrededor de la posición de los pliegues hercínicos.

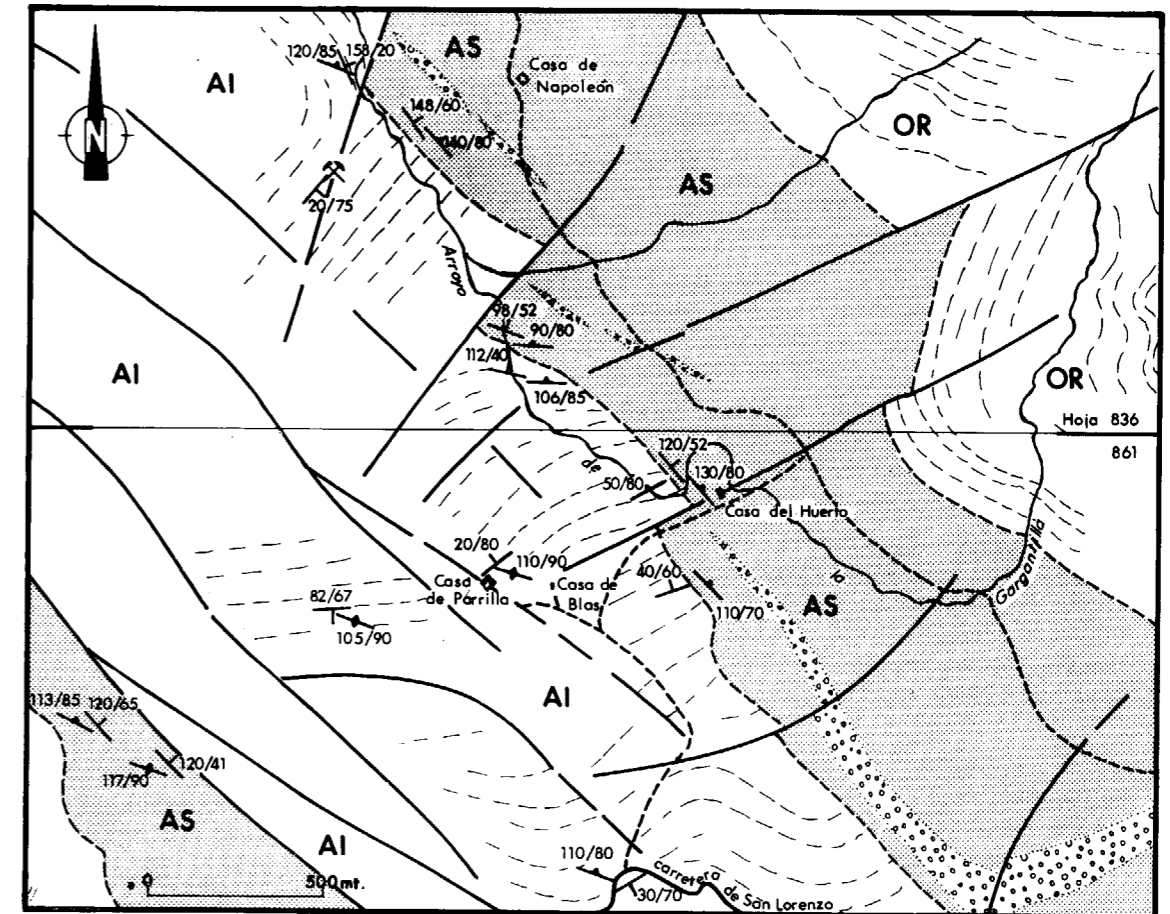
En resumen, resulta evidente que en la zona del Chorrillo el conjunto superior sigue una directriz hercínica, mientras que el inferior no presenta una pauta tectónica definida. Ello se debe a la verticalización previa de la formación subyacente, por lo que el contacto entre ambas formaciones es de discordancia, hecho confirmado en el afloramiento descrito.

3.3. La discordancia en el Arroyo de la Gargantilla (San Lorenzo de Calatrava)

Esta localidad se encuentra en el flanco norte del anticlinal de Alcudia, al pie del cerro Enci-

nas. El punto donde se observa la discordancia se encuentra junto a la Casa de los Huertos, en un pequeño valle excavado por el arroyo de la Gargantilla, también conocido como arroyo de las Casas (fig. 8). La situación exacta corresponde a las coordenadas U.T.M.: X = 422.500; Y = 4.261.550, en la Hoja 861 (Solana del Pino).

Desgraciadamente, al igual que ocurría en el paraje del Chorrillo, la discordancia no se aprecia a primera vista, pues el conjunto inferior está verticalizado y tiene una dirección paralela a la del arroyo. No obstante, las observaciones en el afloramiento permiten apreciar rápidamente el plano que separa ambas formaciones y la angularidad existente entre ellas (fig. 9).



- OR** Ordovícico Inferior
- AS** "Alcudiense Superior"
- AI** "Alcudiense Inferior"

Figura 8.—Esquema geológico del entorno de la discordancia intraprecámbrica en el paraje del arroyo de la Gargantilla (San Lorenzo de Calatrava).

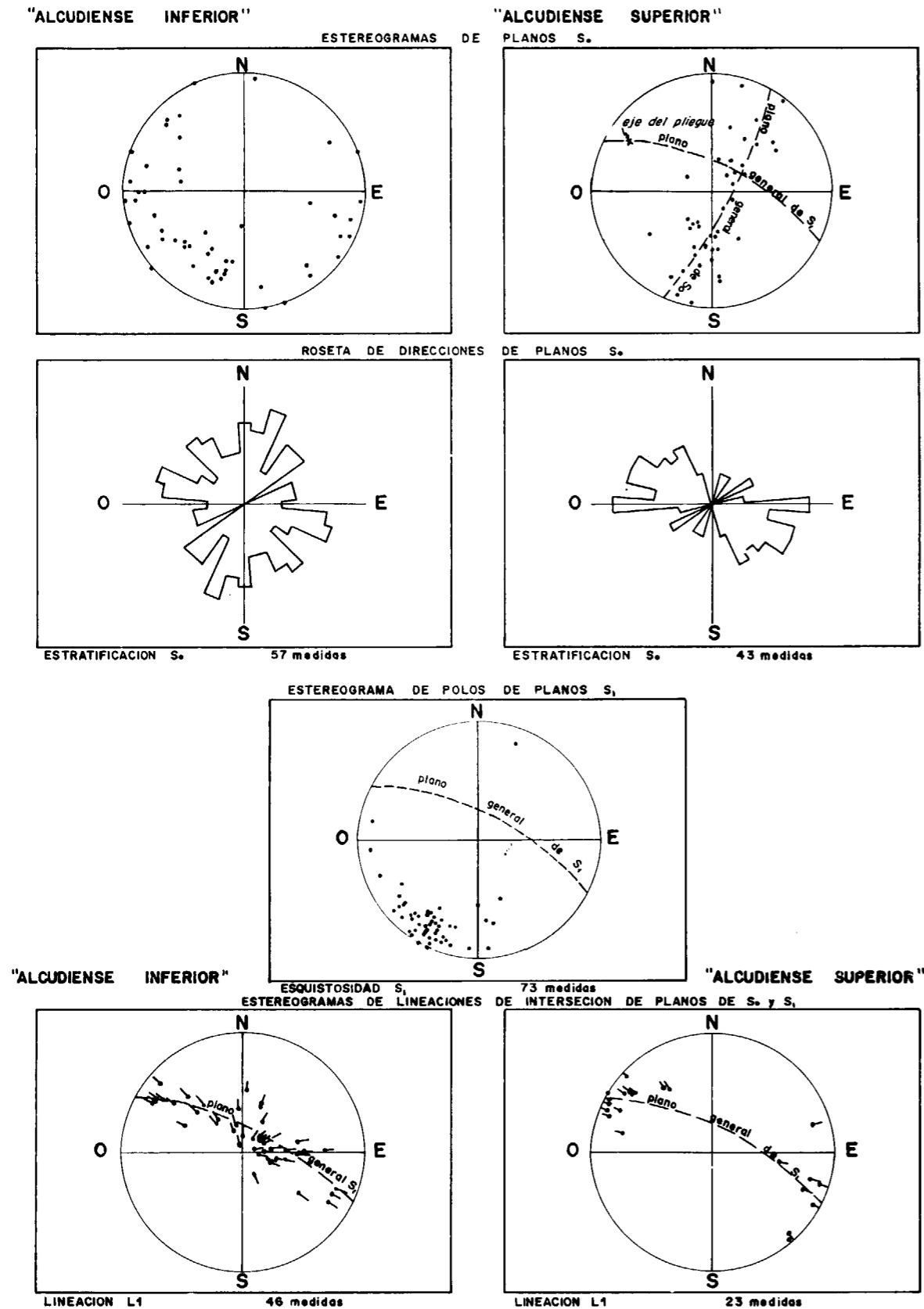


Figura 7.—Esterogramas de polos de planos de estratificación, esquistosidad y lineaciones de intersección en el entorno de la discordancia intraprecámbrica del paraje de El Chorrillo (Mestanza).

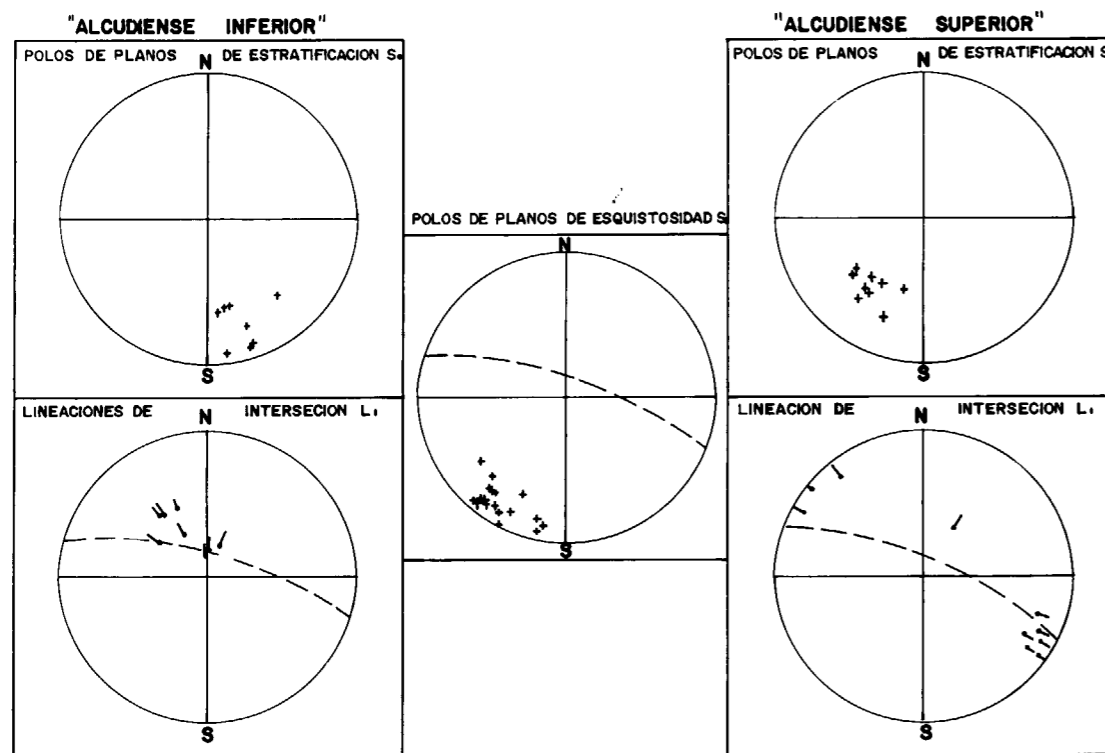
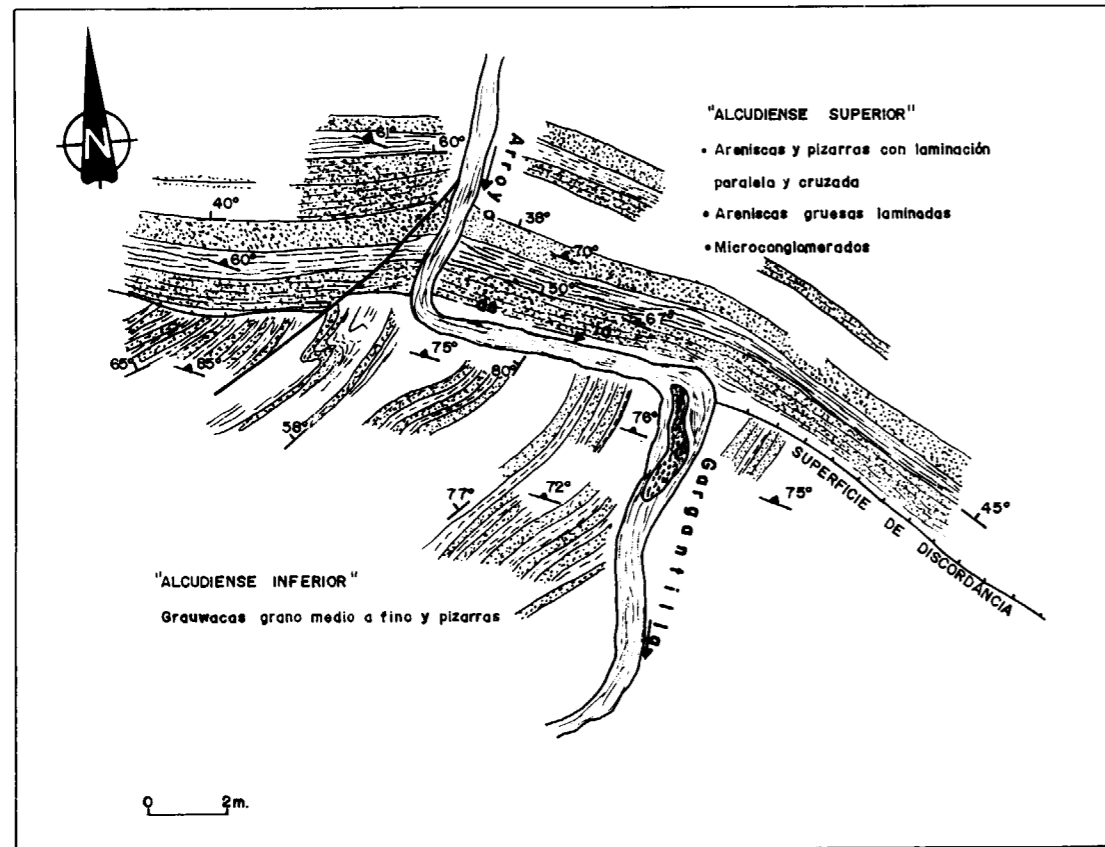


Figura 9.—Croquis en planta del afloramiento de la discordancia intraprecámbrica en el arroyo de la Gargantilla y estereogramas de los planos de estratificación, esquistosidad y lineaciones de intersección en las rocas del entorno.

La base del conjunto superior está formada aquí por areniscas y pizarras con laminación paralela, cuarcitas laminadas, y algunos paquetes de microconglomerados. Presenta direcciones y buzamientos bastante constantes, variando entre N 125°-145° E y buzamiento de 40° - 60° al NE. Por contra, el conjunto inferior está formado por sus típicas alternancias de pizarras y grauwacas, las cuales llevan dirección N 45° E a N 80° E y buzamientos fuertes de 50° a 80° E. Como la esquistosidad permanece invariable en una y otra formación, ello da lugar a lineaciones de intersección I₁ subhorizontales en el «Alcudiense Superior» y subverticales en el «Inferior» (fig. 9).

En resumen, al igual que ocurría en el Chorrillo, el «Alcudiense Inferior» tuvo que verticalizarse antes del depósito del «Alcudiense Superior» para explicar que los planos S₁ sean constantes y las lineaciones de intersección diferentes en ambas formaciones.

4. TECTONICA DE BLOQUES PRE-ORDOVICICA

La distribución de afloramientos del conjunto superior precámbrico en el anticlinal de Alcudia, se realiza según unas bandas de rumbo NO-SE con anchura kilométrica. Estas bandas aparecen limitadas, en buena parte, por fallas subverticales, lo que refleja una importante tectónica de bloques. El Ordovícico Inferior que flankea el anticlinal no muestra señales de haber sufrido esta tectónica y, por ello, las rocas paleozoicas se apoyan indistintamente sobre ambos conjuntos litoestratigráficos precámbricos.

El comportamiento de las lineaciones I₁ en el conjunto superior sigue pautas hercínicas, lo que indica que la tectónica de bloques que le afecta apenas produjo un plegamiento asociado. Consecuencia de ello es que el contacto del Paleozoico Inferior sobre el «Alcudiense Superior» es de discordancia cartográfica, no apreciándose discontinuidad a nivel de afloramiento.

Esta tectónica de bloques no es un hecho aislado en el anticlinal de Alcudia, y más bien parece ser que se halla generalizado en todo el sector meridional de la Zona Centroibérica. A este respecto, ORTEGA et al. (1988) proponen una interesante hipótesis sobre el control de la sedimentación y sobre la situación actual del

conjunto superior y el Cámbrico en una amplia sección comprendida entre los Montes de Toledo al N y NO, y la zona de Alcudia al sur. Así, estos autores proponen la existencia de una tectónica de bloques pre-ordovícica según grandes accidentes de rumbo NO-SE, los cuales habrían dado lugar a umbrales y zonas deprimidas. En un primer momento, habrían existido dos umbrales durante la sedimentación, uno al N de la zona de los Montes de Toledo y otro al S, en la parte occidental de Alcudia y Sierra Madrona. La zona deprimida habría sido un gran surco donde se depositó el «Alcudiense Superior», extendiéndose la zona desde los anticlinales de Ibor y Valdelacasa hasta la parte oriental del de Alcudia. Posteriormente, una reactivación de los antiguos accidentes NO-SE, habría dado lugar a que el «Alcudiense Superior» se fragmentara en varios bloques que quedaron emergidos. A su vez, la región de los Montes de Toledo quedó sumergida, produciéndose la sedimentación del Cámbrico en ese sector.

Estos autores argumentan su hipótesis en numerosos datos de la geología regional, deduciendo la dirección de los accidentes a partir de datos tectónicos indirectos y por ciertos lineamientos apreciables en imágenes de satélite. Uno de estos accidentes ha sido encontrado en el Valle de Alcudia. Se trata de la falla de El Guijo (PALERO, 1991), la cual atraviesa en diagonal el anticlinal de Alcudia en su parte oriental. Esta gran falla tiene dirección NO-SE y buzamiento subvertical, y se le puede calcular un salto vertical de 800 m.

Esta gran falla choca, claramente, contra las ortocuarcitas ordovícicas del flanco norte del anticlinal, no reconociéndose ninguna expresión de ella en dichas rocas paleozoicas.

5. CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES

El análisis estructural muestra de forma inequívoca un estilo tectónico muy diferente en los dos conjuntos litoestratigráficos precámbricos del anticlinal de Alcudia. Los planos de esquistosidad hercínica (S₁), que son muy constantes en dirección y buzamiento en la zona, sirven de referencia para deducir la posición de la estratificación (S₀) antes de su formación. Las lineaciones de intersección entre estos dos planos

(I,) ponen de manifiesto una verticalización generalizada del conjunto inferior anterior al depósito del conjunto superior. Este hecho determina un contacto de discordancia angular entre ambos.

Esta discordancia tiene una gran extensión regional. Ha sido reconocida en todo el sector meridional de la Zona Centroibérica, tal y como han mostrado diversos autores y se ha podido comprobar también en este trabajo.

Este hecho supone la existencia de una etapa deformativa intraprecámbrica, al menos en un amplio sector del Macizo Hespérico, que afectó exclusivamente al conjunto inferior.

La estructura original de dicha serie resulta difícil de determinar, ya que la falta de niveles guías y de una esquistosidad asociada a esa fase tectónica, impiden establecer las relaciones geométricas que permitan su cartografía. La única puntualización que se puede hacer a este respecto es que las relaciones angulares de superposición reconocibles actualmente en el anticlinal de Alcudia, indican una posición ligeramente más norteada que las estructuras hercínicas (probablemente de NO-SE a NNO-SSE), habiendo sido rotadas durante la primera fase hercínica para intentar situarse subperpendicularmente al plano de máximo acortamiento (ORTEGA, 1988; AMOR y ORTEGA, 1987; ORTEGA y SANCHEZ VIZCAINO, 1987).

Diversas estructuras menores de la deformación precámbrica han sido reconocidas en diversos puntos, tanto en el anticlinal de Alcudia como en otros anticlinales de la región (AMOR y ORTEGA, 1987; ORTEGA y SANCHEZ VIZCAINO, 1987; PALERO, 1986 y 1991, y AMOR, 1986). Se trata normalmente de pliegues de pequeño y mediano tamaño, los cuales no deben ser confundidos con los «slump-folds» también presentes. Morfológicamente corresponden a pliegues isopacos, con charnela recta o curva, eje con inclinación variable y plano axial doblado. La proyección de los polos de estratificación en ambos flancos de estos pliegues muestra una geometría cónica (fig. 10), producto de la interferencia con una fase posterior de plegamiento (la hercínica).

La ausencia de esquistosidad asociada a dicha fase tectónica indica que no ha existido una compresión importante. Esto puede deberse a la situación de todo este área en una zona ex-

terna de un frente orogénico precámbrico, o bien, como ha sugerido RIBEIRO (1974), a la adaptación a un zócalo rígido que se fracturó y se movió en la vertical, dando lugar así a la deformación de la cobertera que, en este caso, era el conjunto inferior precámbrico. Esta última hipótesis encajaría en principio con la geometría intuida para las estructuras precámbricas, con amplias zonas verticalizadas.

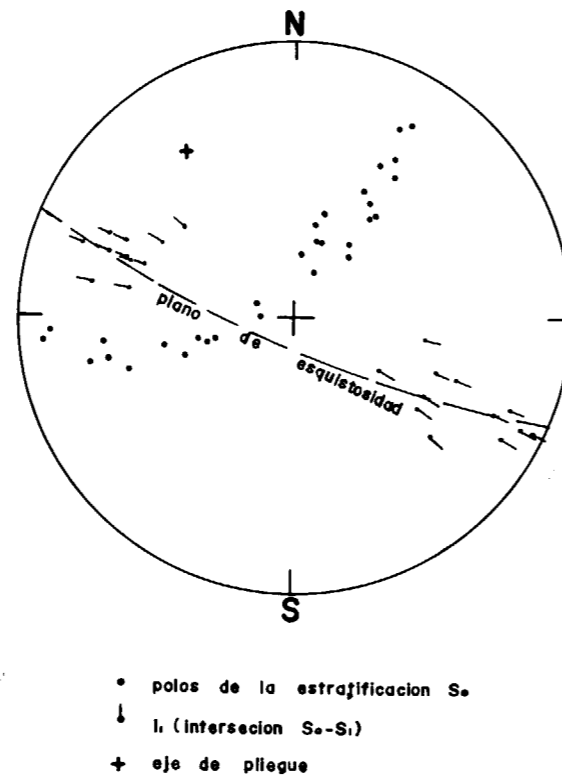


Figura 10.—Estereograma de polos de planos de estratificación de un pliegue pre-hercínico en el «Alcudiense Inferior» del anticlinal de Alcudia.

Por último, una importante tectónica de bloques pre-ordovícica afectó a ambos conjuntos precámbricos, siendo la responsable de la distribución actual de los afloramientos del conjunto superior en el anticlinal de Alcudia, la cual se realiza según bandas NO-SE limitadas por fallas.

La edad de estos dos episodios tectónicos sería, por lo tanto, intraprecámbrica para el que afectó al conjunto inferior, e infra-ordovícica para el que

afectó a ambos conjuntos. En el primer caso, una mayor precisión se puede hacer si se acepta una edad Rifeense Superior en base a los datos de MITROFANOV y TIMOTEIEV (en SAN JOSE, 1983), y puesto que el conjunto superior ha sido datado con cierta garantía como Vendense Superior, el plegamiento intraprecámbrico se habría producido en el Vendense Inferior o Medio.

La tectónica de bloques podría ser atribuida a los movimientos sárdicos, pero si se acepta el modelo de ORTEGA et al. (1988), esta deformación sería más antigua, ya que habría precedido al depósito del Cámbrico. Por ello, resulta más lógico suponer que este juego de bloques se produjo a principios de este período y relacionarlo con los movimientos asinticos.

REFERENCIAS

- ALVAREZ-NAVA, H.; GARCIA CASQUERO, J. L.; GIL TOJA, A.; HERNANDEZ URROZ, J.; LORENZO ALVAREZ, S.; LOPEZ DIAZ, F.; MIRA LOPEZ, M.; MONTERERIN, V.; NOZAL, F.; PARDO, M. V.; PICART, J.; ROBLES, R.; SANTAMARIA, J., y SOLE, F. J. (1988): *Unidades litoestratigráficas de los materiales precámbrico-cámbricos en la mitad suroriental de la Zona Centro-Ibérica*. II Congreso Geológico de España, Granada. Comunicaciones, vol. 1, pp. 19-22.
- AMOR, J. M. (1986): *Informe final, sector El Moto*. Informe interno MAYASA. 41 pp.
- AMOR, J. M., y ORTEGA, E. (1987): *Memoria explicativa de la hoja 809, Tirteafuera*. Mapa Geológico de España, escala 1:50.000. 2.ª serie, plan MAGNA. IGME, 56 pp.
- BOUYX, E. (1970): *Contribution a l'étude des formations anté-Ordoviciennes de la meseta meridionale (Ciudad Real et Badajoz)*. Mem. del Inst. Geol. y Min. de España, t. 73, 263 pp.
- CAPOTE, R.; CASQUET, C.; FERNANDEZ-CASALS, M. J.; MORENO, F.; NAVIDAD, M.; PEINADO, M., y VEGAS, R. (1977): *The Precambrian in the Central Part of the Iberian Massif*. Est. Geol., vol. 33 (4), pp. 343-355.
- CRESPO LARA, V., y REY DE LA ROSA, J. (1971): *Contribución al estudio del Valle de Alcudia*. Bol. Geol. y Min., t. LXXXII-VI, pp. 512-515.
- CRESPO, V.; REY, J.; LOPEZ VILCHES, L., y PAZ, C. (1971): *Memoria sobre la investigación minera estatal en la reserva del Valle de Alcudia*. Jornadas Minero-Metalúrgicas, Cartagena. Secc. III, pp. 131-152.
- GARCIA SANSEGUNDO, J.; LORENZO ALVAREZ, S., y ORTEGA, E. (1987): *Memoria explicativa de la hoja n.º 808, Almadén*. Mapa Geológico de España, escala 1:50.000, 2.ª serie, plan MAGNA. IGME, 60 pp.
- JULIVERT, M.; FONTBOTE, J. M.; RIBEIRO, A., y CONDE, L. (1972): *Memoria explicativa del Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares*. Escala 1:1.000.000. IGME, 113 pp.
- LORENZO ALVAREZ, S., y SOLE, J. (1988): *La discordancia intraprecámbrica y la estratigrafía del precámbrico superior en el sector suroriental del anticlinal de Abenójar-Tirteafuera*. II Congreso Geológico de España, Granada. Comunicaciones, vol. 1, pp. 115-118.
- MORENO, F. (1977a): *Estudio geológico de los Montes de Toledo Occidentales*. Tesis Doctoral. Univ. Complutense de Madrid. 209 pp.
- MORENO, F. (1977b): *Tectónica y sedimentación de las series de tránsito (Precámbrico terminal) entre el anticlinal de Valdelacasa y el Valle de Alcudia*. *Ausencia de Cámbrico*. Stvd. Geol. Salmant., t. 12, pp. 123-126.
- NOZAL MARTIN, F.; GARCIA CASQUERO, J. L., y PICART BOIRA, J. (1988a): *Discordancia intraprecámbrica y series sedimentarias en el sector suroriental de los Montes de Toledo*. Bol. Geol. y Min., t. XVII-IV, pp. 473-489.
- NOZAL MARTIN, F.; ROBLES, R., y SANTAMARIA, J. (1988b): *Estratigrafía de los materiales precámbricos en el sector central del anticlinal de Ibor. Localización de la discordancia «intra-alcudiense»*. II Congreso Geológico de España, Granada. Comunicaciones, vol. 1, pp. 135-138.
- ORTEGA, E., y GONZALEZ-LODEIRO, E. (1983, publ. 1986): *La Discordancia intra-Alcudiense en el dominio meridional de la zona Centroibérica*. Brev. Geol. Astúr., núm. 3-4.
- ORTEGA, E.; HERNANDEZ, J., y GONZALEZ-LODEIRO, F. (1988): *Distribución paleogeográfica y control estructural de los materiales anteordovícicos en la parte suroriental del autóctono de la zona Centroibérica*. II Congreso Geológico de España, Granada. Simposio sobre cinturones orogénicos, pp. 85-89.
- ORTEGA, E., y SANCHEZ VIZCAINO, J. (1987): *Memoria explicativa de la hoja núm. 783, Abenójar*. Mapa Geológico de España, esc. 1:50.000, 2.ª serie, plan MAGNA. IGME. 42 pp.
- PALERO, F. J. (1986): *El campo filoniano de El Hoyo de Mestanza (Ciudad Real). Sobre el origen de las mineralizaciones B.P.G.C. asociadas a zonas de cizalla*. Stvd. Geol. Salmant., t. 23, pp. 265-297.
- PALERO (1991): *Evolución geotectónica y yacimientos minerales de la región del Valle de Alcudia (sector meridional de la Zona Centroibérica)*. Tesis doctoral. Univ. de Salamanca. 827 pp.
- PARGA, J. R., y VEGAS, R. (1974): *El Precámbrico en el cinturón hercínico de la Península Ibérica*. Bol. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.). I cent., pp. 329-345.
- PIEREN, A. P. (1985): *Estudio estratigráfico de los materiales anteordovícicos del anticlinorio de Agudo-Valdemanco y de los materiales paleozoicos del sinclinal de Herrera del Duque (Badajoz)*. Tesis de Licenciatura. Univ. Complutense. 220 pp.
- PIEREN, A. P.; PINEDA, A., y HERRANZ, P. (1987): *Discordancia intraprecámbrica en el anticlinal de Agudo (Ciudad Real-Badajoz)*. Geogaceta, vol. 2, pp. 26-29.

PUIG DE FABREGAS, C. (1981): *Estudio paleogeográfico del precámbrico de la región de Almadén*. informe interno Minas de Almadén.

REDLIN, K. (1955): *Stratigraphie und Tektonik in der Mittleren Sierra Morena im Bereich des Valle de Alcuía (Spanien)*. Diss. Wilhelms-Univers. Münster.

RIBEIRO, A. (1974): *Contribution a l'étude tectonique de Tras-Os-Montes oriental*. Serv. Geol. de Portugal, mem. 24 (Nova serie), pp. 1-168.

ROIZ, J. M. (1979): *La estructura y la sedimentación hercínica, en especial en el Precámbrico Superior, en la región de Ciudad Real-Puertollano*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. 256 pp.

ROIZ, J. M., y VEGAS, R. (1980): *Formaciones ordovícicas y anteordovícicas del Anticlinal de Tirteafuera (Sur de la*

provincia de Ciudad Real). Stvd. Geol. Salmat., vol. 15, pp. 27-36.

SAN JOSE LANCHI, M. A. (1983): *El Complejo sedimentario pelítico-grauwáquico*. En Comba, J. A. (ed.): Libro Jubilar de J. M. Ríos. IGME, vol. 1, pp. 91-99.

SAN JOSE LANCHI, M. A. (1984): *Los materiales anteordovícicos del anticlinal de Navalpino*. Cuadernos Geología Ibérica, núm. 9, pp. 81-117.

TAMAIN, G. (1972): *Recherches Géologiques et minières en Sierra Morena Orientale, Espagne*. Volume I: Stratigraphie. Thèse Doct. Université de Paris Sud. Centre d'Orsay. 369 pp.

VEGAS, R.; ROIZ, J. M., y MORENO, F. (1977): *Significado del Complejo Esquistos-Grauwaquico en relación con otras series «pre-Arenig» de España central*. Stvd. Geol., vol 12, pp. 207-215.

Original recibido: Noviembre de 1992.

Original aceptado: Enero de 1993.

Iconitas de Dinosaurios en el sureste de la provincia de Burgos.

Por A. BENGOCHEA (*); L. A. IZQUIERDO (*); J. M. MARTINEZ (*); J. L. MOLINERO (*); D. MONTERO (*); F. TORCIDA (*), y V. URIEN (*)

RESUMEN

Se describen cuatro afloramientos de iconitas de dinosaurios, localizados en sedimentos del Cretácico Inferior de Burgos: Peña Uñor y Costalomo en Salas de los Infantes, y Zona A y Zona B en Regumiel de la Sierra. El yacimiento de Costalomo era conocido parcialmente (PLATT y MEYER, 1991), y junto con los de Regumiel fueron objeto de elaboración por nuestra parte de dos Memorias inéditas (Colectivo Arqueológico de Salas, 1986 y 1988). Este artículo se basa en una revisión de las Memorias citadas. El total de huellas estudiadas es de 101, clasificadas dentro de los Subórdenes *Theropoda* y *Ornithopoda*. Dentro de este último se analizan dos rastros de dinosaurios en marcha cuadrúpeda, siendo la segunda cita de este tipo en yacimientos españoles. Este trabajo ratifica la importancia en Paleontología de Dinosaurios de los afloramientos burgaleses, añadiendo datos nuevos respecto a trabajos anteriores sobre iconitas y restos óseos.

Palabras clave: Iconitas, Dinosaurios, Cretácico Inferior, Burgos.

ABSTRACT

Four outcrops of dinosaur footprints placed on sediment from the Lower Cretaceous in Burgos are described: Peña Uñor and Costalomo in Salas de los Infantes, and Area A and Area B in Regumiel de la Sierra. The bed in Costalomo was partially known (PLATT & MEYER, 1991) and with those in Regumiel, they were the object of our elaboration of two unpublished Reports (Colectivo Arqueológico de Salas, 1986 y 1988). The present work is on a revision of those Reports. Total numbers of footprints is 101, classified within the Sub-orders *Theropoda* and *Ornithopoda*. In relation with the last one, two trackways of dinosaurs with quadrupedal walk are analyzed, being this one the second quotation of this type in Spanish outcrops. This work ratifies the importance in Paleontology of Dinosaurios from outcrops in Burgos areas, adding new data to previous works on footprints and bony remains.

Key words: Footprints, Dinosaur, Lower cretaceous, Burgos.

INTRODUCCION

En diversas localidades del sureste de la provincia de Burgos, y en sedimentos del Cretácico Inferior, se localizan yacimientos de huesos fosilizados e iconitas de dinosaurios. ROYO Y GOMEZ (1929) dio noticias de restos de «dinosaurios indeterminados» en Castrillo de la Reina (fide SANZ, 1984). WELLE (1982) informó de la existencia de huellas de dinosaurios en Mambriellas de Lara. SANZ (1983) estudió una pieza ósea fosilizada procedente de Salas de los Infantes, identificándola como una espina dérmica

de un Ankylosaurio Nodosáurido. Más tarde el mismo autor cita la existencia de «iconitas de Ornithopoda» en Salas de los Infantes; este último afloramiento se sitúa entre Salas de los Infantes y Castrillo de la Reina, en el lugar conocido como Costalomo. Nosotros elaboramos una Memoria sobre dicho yacimiento (Colectivo Arqueológico de Salas, 1986), a la que siguió otra Memoria sobre el afloramiento icnológico de Regumiel de la Sierra (Colectivo Arqueológico de Salas, 1988). Las dos Memorias inéditas citadas son la base del presente artículo, una vez revisados sus datos y completado el estudio de los yacimientos *in situ*. PLATT (1986) refirió la existencia del yacimiento de Costalomo, y de restos óseos de

(*) Colectivo Arqueológico-Paleontológico de Salas. Plaza Jesús Aparicio, s/n. 09600 Salas de los Infantes (Burgos).

dinosaurios, «probablemente de Saurópodos», cerca de Mambriillas de Lara. PLATT y MEYER (1991) posteriormente publicaron un estudio sobre las icnitas de Costalomo y de Mambriillas de Lara. En contraste con el último trabajo citado, presentamos aquí una reproducción detallada del rastro conocido de Costalomo, así como nuevas icnitas halladas en el mismo afloramiento. Damos a conocer un nuevo afloramiento icnológico en Peña Uñor (Salas de los Infantes).

Los términos utilizados en este artículo para la descripción de las icnitas y de los rastros, son básicamente los descritos en los trabajos anteriores del Colectivo Arqueológico de Salas (1986 y 1988), que a su vez tienen como referencia el artículo de SANZ et al. (1985). Para el estudio de los rastros (cálculo del Paso, Zancada, Angulo de Paso y Distancia Glenoacetabular), se toma como referencia el punto medio (HAUBOLD, 1971). Para la identificación de las huellas nos basamos en HAUBOLD (1971) y CASANOVAS et al. (1989), y en los de ALEXANDER (1976), DEMATHIEU (1984 y 1986) y THULBORN (1984 y 1990) para el cálculo de la velocidad.

LOCALIZACION

Localización geográfica

Los yacimientos paleoicnológicos de Burgos, se hallan en varias localidades del partido judicial de Salas de los Infantes, en el sureste de la provincia (fig. 1). En las cercanías de Salas se si-

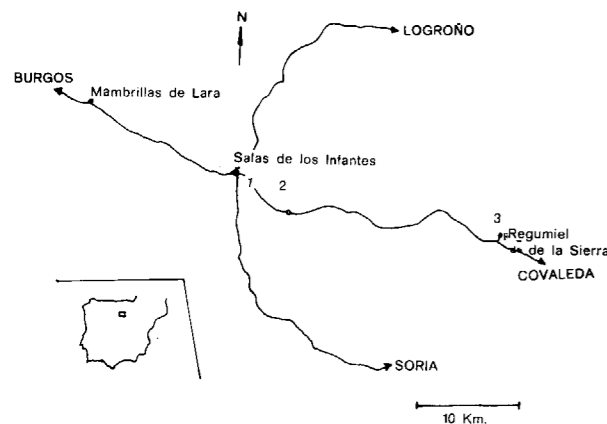


Figura 1.—Localización geográfica del área estudiada. 1, Peña Uñor; 2, Costalomo; 3, Zonas A y B.

túan dos yacimientos. El primero de ellos, se encuentra en el paraje de Peña Uñor, en un afloramiento rocoso estrecho llamado Piedras Planas, situado a unos 250 m al este del pueblo. El segundo, Costalomo o Cuestalomo, se halla en terrenos situados entre Salas y Castrillo de la Reina, al lado de las tenadas de Costalomo, a unos 2,8 km al este de Salas. Las coordenadas de Peña Uñor son: X:633968, Y:524613; las coordenadas de Costalomo son: X:636680, Y:823750.

En Regumiel de la Sierra podemos diferenciar dos afloramientos: el denominado Zona A, en la salida norte del pueblo; sus coordenadas son: X:658380, Y:817870. El segundo afloramiento, Zona B, se sitúa unos 250 m más al norte, y cercano al depósito de aguas.

Localización geológica

Los yacimientos de Peña Uñor y Costalomo se hallan en capas de areniscas grises oscuras en alternancia con arcillas rojas (predominantes), verdes, grises y azuladas, y alguna capa intercalada de margas. Las capas de arenisca sobre las que se encuentran las huellas, alcanzan en Costalomo una potencia de 3 m, presentando una orientación de NO 32 SE, y un buzamiento de 30 SO.

GIL et al. (1978a) sitúan los afloramientos de Salas en el tramo de la Hoja 1:50.000, 277, 20-12, Salas de los Infantes, denominado C₁₂₋₁₃ Cg: «conglomerados, cuarzoarenitas conglomeráticas y arcillas arenosas».

Los afloramientos de Regumiel se hallan en capas de areniscas grises claras con una potencia de 2,7 m en la capa que contiene las huellas. En la base del conjunto aparecen arcillas marrones de 1 m de potencia. La orientación de las capas es aproximadamente NO 15 SO y el buzamiento 18 SO.

QUINTERO et al. (1986) sitúan los afloramientos de Regumiel en el tramo de la Hoja 1:50.000, 316, 21-13, Quintanar de la Sierra, denominado 13: «gravas, arenas y arcillas».

En la estratigrafía elaborada por SALOMON (1982), los afloramientos de Salas y Regumiel quedarían incluidos en el «Megaciclo 2, Ciclo IV».

Los autores citados, y también BEUTHER et al. (1966), están de acuerdo en incluir los yacimien-

tos de Salas y Regumiel en el Grupo Urbión (fig 2).

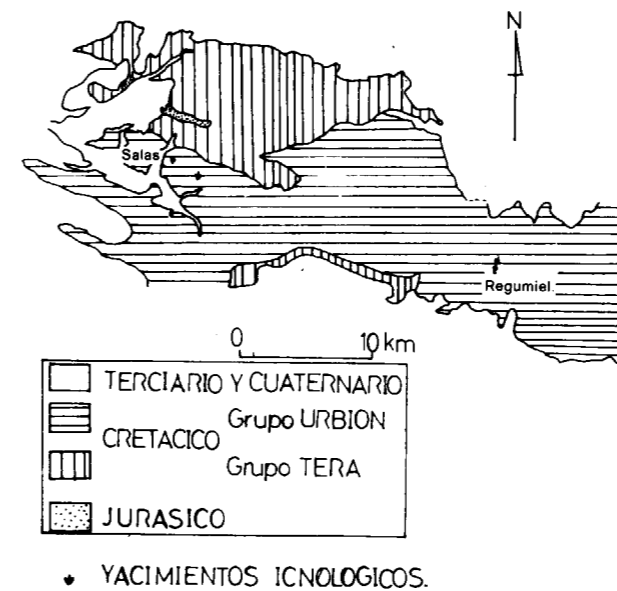


Figura 2.—Esquema geológico de la zona, basado en GIL et al. (1978a); GIL et al. (1978b), y QUINTERO et al. (1986).

EDADES

Los autores consultados no coinciden en la edad a asignar a los sedimentos de la zona estudiada. En el cuadro 1 se indican las asignaciones efectuadas.

En resumen, las asignaciones propuestas quedan enmarcadas en la parte media-alta del Cretácico Inferior.

CUADRO 1
Datación de la zona estudiada, según varios autores

	Edades	
	Salas	Regumiel
	Costalomo y Peña Uñor	Zona A y Zona B
GIL et al. (1978a)...	Hauteriviense.	—
SALOMON (1982)...	Barremiense o posterior.	Barremiense Inferior.
QUINTERO et al. (1986)	—	Aptiense.
SCHUDACK (1987) ...	Barremiense.	Hauteriviense o posterior.
PLATT (1990) ...	Barremiense.	—

Estudio icnológico

— Peña Uñor

En el afloramiento de Peña Uñor aparecen 25 icnitas, la mayoría tridáctilas, y de las que sólo siete forman un rastro definido (rastros números 1 y 2), y el resto se presentan aisladas. Cuatro icnitas se incluyen en el Suborden *Theropoda*, y los dos rastros en el Suborden *Ornithopoda*.

SUBORDEN *THEROPODA* MARSH, 1881.

Superfamilia *Tyrannosauroidea* Walker, 1964.

Par (2-3), (fig. 3). Huellas con el talón saliente y formado por la prolongación de los dedos III y IV. El dedo II dispuesto lateralmente. A la derecha del dedo II de la icnita número 3, aparecen restos de un dedo terminado en uña, de otra icnita, sobrepisada. La configuración del talón y de los dedos permiten la clasificación del par de huellas en la Superfamilia *Tyrannosauroidea*.

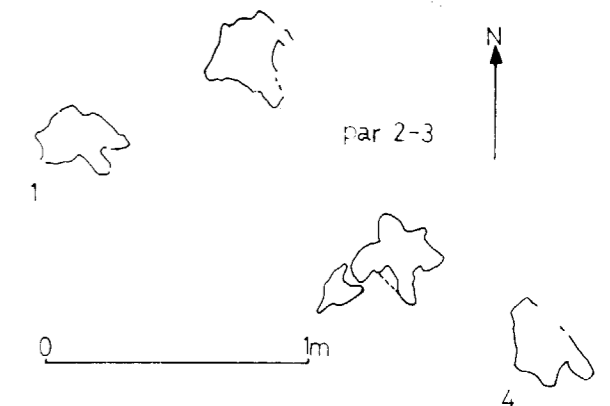


Figura 3.—Icnitas aisladas. Peña Uñor (Salas).

Superfamilia *Megalosauroidea* Nopcsa, 1928.

Icnitas aisladas 11 y 18 (fig. 4). Huellas grandes y con dedos largos, poderosos. Dedo III muy largo respecto a la longitud total de la huella.

SUBORDEN *ORNITHOPODA* MARSH, 1878.

El rastro 1 (fig. 5, tablas 1 y 2), se compone de cuatro icnitas de talón amplio, dedos anchos con uñas cortas y romas. Las huellas son más an-

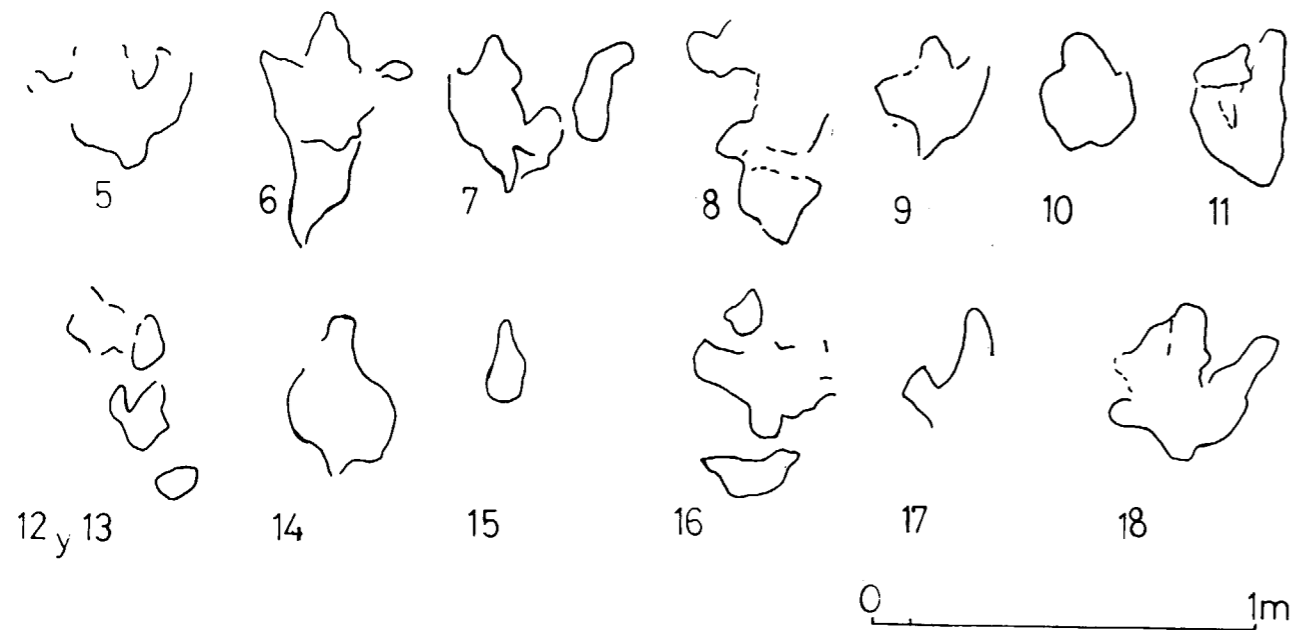


Figura 4.—Icnitas aisladas. Peña Uñor (Salas).



Figura 5.—Rastro núm. 1. Peña Uñor (Salas).

Figura 6.—Rastro núm. 2. Peña Uñor (Salas).

chas que largas. La velocidad estimada es baja: v_1 (ALEXANDER, 1976, y THULBORN, 1990) = 2,9 Km/h, y v_2 (DEMATHIEU, 1984 y 1986) = 3 Km/h. Las asociamos con el grupo O de CASANOVAS et al. (1989) por sus características morfológicas descritas.

El rastro 2 (fig. 6, tablas 1 y 2), consta de icnitas más anchas que largas ($L/a = 0,79$), con dedos cortos, anchos, de aspecto almohadillado, y romos o con uña corta y roma. Presentan una clara

orientación negativa —eje mayor de la huella dirigida hacia la línea media—. La relación $\lambda/L=6,8$ nos da un individuo de patas largas. Incluimos el rastro en el grupo O_1 de CASANOVAS et al. (1989), ornitópodos de la familia *Iguanodontidae*.

Dinosauria indet.

El resto de las icnitas del afloramiento son de

Yacimientos:	Peña Uñor		Costalomo	
Rastros:	1	2	1	2
L	35,4	29,3	35,4	42,1
a	37,1	36,8	29,5	32,5
l_{II}	12,5	12,3	12,5	—
l_{III}	23,1	11,5	17,4	27,4
l_{IV}	10,6	10,6	13,2	—
a_{II}	9,9	7,4	5	4,3
a_{III}	7,9	8,4	7	6,4
a_{IV}	7,5	10,9	5	4,3
α	9°	45°	27°	5°
β	26°	22°	30°	26°
δ	36°	67°	62°	26°
P	94,7	101,8	129,5	171,5
λ	183,7	200	256,7	341,8
A°	173°	159°	151°	144°

Tabla 1.—Datos medios correspondientes a los rastros de Peña Uñor y Costalomo (Salas de los Infantes). L: longitud de icnita; a: anchura de icnita, l_{II} : longitud del dedo interno; l_{III} : longitud del dedo central; l_{IV} : longitud del dedo externo; a_{II} , a_{III} y a_{IV} : anchura de los dedos en su parte media; α : ángulo formado por dedos II y III; β : ángulo formado por dedos III y IV; δ : ángulo formado por dedos II y IV; P: paso; λ : zancada; A° : ángulo de paso. Parámetros métricos en cm, y parámetros angulares en grados.

Yacimientos:	Peña Uñor		Costalomo	
Rastros:	1	2	1	2
L/a	0,95	0,79	1,2	1,29
l_{III}/L	0,58	0,39	0,49	0,65
λ/L	5,1	6,8	7	9,2
AR	42,5	56,2	48,7	92,5
h	229,9	187,8	178,3	206,6
λ/h	0,79	1,06	1,4	1,6
v_1	2,9	4,3	6,9	9,3
v_2	3,3	4	5,3	6,6

Tabla 2.—Relaciones entre parámetros obtenidas a partir de los rastros de Peña Uñor y Costalomo, Salas. Símbolos utilizados como en tabla 1, y además, AR: anchura de rastro; h: altura del acetábulo en cm, según THULBORN (1990); v_1 : velocidad en Km/h, según ALEXANDER y THULBORN; v_2 : velocidad en Km/h, según DEMATHIEU.

clasificación muy dudosa, por no conservar detalles morfológicos suficientes y definitorios. La forma que presenta la icnita 6 es interesante, pues parece plantígrada, aunque creemos que

presenta esa forma alargada por resbalar el animal al apoyar el pie (fig. 4).

— Costalomo

En el yacimiento de Costalomo aparecen 17 huellas, todas tridáctilas y de las que tres son aisladas. Incluimos las huellas en el Suborden *Theropoda*, a excepción de la icnita aislada número 2, sin clasificar (fig. 9).

SUBORDEN THEROPODA MARSH, 1881.

Superfamilia *Megalosauroidea* Nopcsa, 1928.

Rastro 1 (fig 7, tablas 1 y 2). Consta de siete icnitas esbeltas más largas que anchas, y en las que predomina el dedo III sobre los otros dos, más cortos y estrechos. El talón es saliente, estrecho y acuminado, marcado siempre. Dedos de base ancha, más delgados hacia su extremo distal, cuyo contorno es redondeado. El dedo IV es algo más largo que el dedo II. Nuestra atribución anterior del rastro a un ornitópodo (Colectivo Arqueológico de Salas, 1986), la abandonamos al considerar que la esbeltez de las icnitas, el talón saliente y agudo y los dedos largos y fuertes, favorecen la clasificación del rastro dentro del Suborden *Theropoda*. Podría corresponder al grupo M_4 de CASANOVAS et al. (1989), pero siendo las huellas de Salas de dedos más cortos y extremo distal redondeado. PLATT y MEYER (1991) estudiaron el rastro, incluyéndolo también en la Superfamilia *Megalosauroidea*, señalando su estrecha relación con la icnoespecie *Irenosauripus mclearni* Stemberg, 1932, cuyos dedos son más esbeltos y de extremos acuminados. Otros datos indican un animal de patas largas ($\lambda/L = 7$), y la velocidad que llevaba el animal sin iniciar el trote (para un valor de $\lambda/R = 1,4$ (THULBORN, 1982), $v_1 = 6,9$ Km/h, y $v_2 = 5,3$ Km/h).

Rastro 2 (fig. 8, tablas 1 y 2). Situado al sureste del rastro 1 y próximo a él, pero con un sentido de avance distinto. Está formado por cinco icnitas esbeltas y grandes. El dedo III es largo ($l_{III}/L = 0,65$) y aparece marcado siempre. Dedos laterales más estilizados, siendo el dedo II débil y corto, subparalelo al III. Talón saliente y agudo. En la icnita 2 se conserva la marca de

Por lo tanto, no dudamos de la agilidad elevada del autor del rastro. Por las características morfológicas de las huellas, fundamentalmente la esbeltez y la presencia de garras, clasificamos el rastro dentro del Suborden *Theropoda*. De modo aproximado, lo asociamos con el grupo M_3 de CASANOVAS et al. (1989).

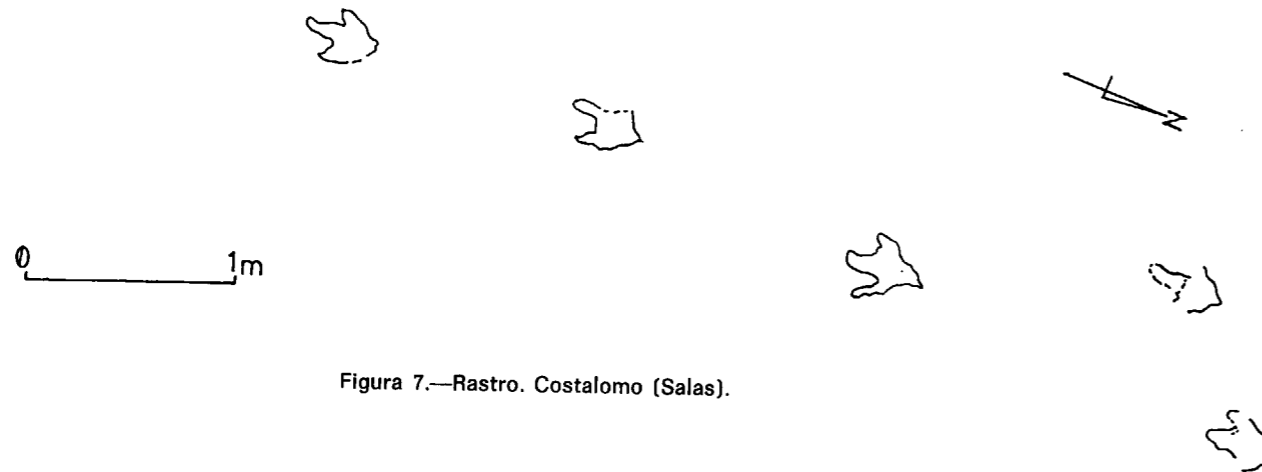


Figura 7.—Rastro. Costalomo (Salas).

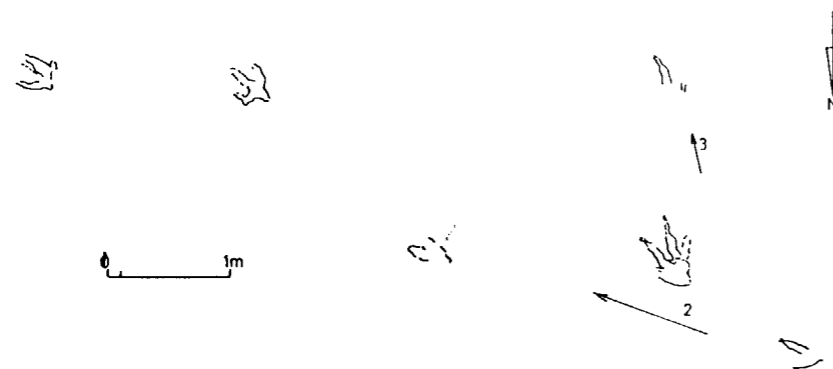


Figura 8.—Rastros 2 y 3. Costalomo (Salas).

una garra, larga y estrecha. Un aspecto resaltable es el valor alto de $AR = 92,5$ cm, que contrasta con la rapidez con que se movía el animal: $v_1 = 9,3$ Km/h, y $v_2 = 6,6$ Km/h. El valor de v_1 está próximo al límite inferior que marca la transición del andar al trote en terópodos: $10,2$ Km/h según THULBORN (1982). No hay duda de que el animal andaba, pues la relación λ/h es menor de 2 (THULBORN, 1982). También es resaltable el valor alto de la relación $\lambda/L = 9,2$, que indica un animal de extremidades posteriores largas.

Rastro 3 (fig. 8). Formado por dos icnitas, sobrepisada la primera por la icnita 2 del rastro número 2. Poseen el dedo III largo, algo curvado hacia la línea media del rastro, y terminado en una garra larga y estrecha.

La icnita aislada 1 (fig. 9), posee un talón saliente, formado por la prolongación del dedo derecho (probablemente el IV) y del III, resultando una huella con forma de uve de ramas desiguales. Esta morfología es característica de huellas

atribuibles a terópodos según CASANOVAS et al. (1989). Además se aprecia la terminación en garra de los dedos.

La icnita aislada 3 (fig. 9) posee los dedos delgados y abiertos, bien separados, siendo más largo el dedo III. El dedo derecho tiene una terminación aguda. Estos caracteres descritos permiten incluir la icnita en el Suborden *Theropoda*.

Por delante del rastro 1 existe otra huella semejante a las descritas de terópodo de Costalomo, cuyo análisis no ha sido posible por hallarse actualmente enterrada.

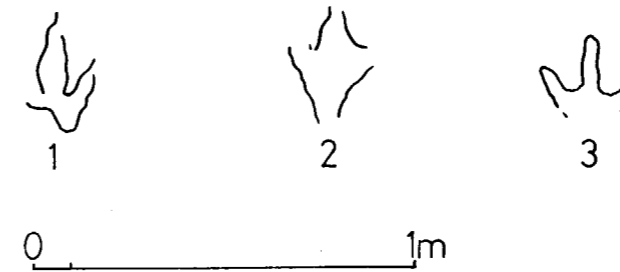


Figura 9.—Icnitas aisladas. Costalomo (Salas).

CONSERVACION DE LAS ICNITAS DE PEÑA UÑOR Y COSTALOMO

Las icnitas de los dos afloramientos de Salas de los Infantes se conservan como epirrelieves convexos —relieves que sobresalen desde el techo del estrato—. No hay indicios de una secuencia invertida de estratos, y se descarta por ello el que sean hiporrelieves convexos —situados en el muro de la capa—. En nuestro trabajo anterior (Colectivo Arqueológico de Salas, 1986) este tipo de conservación de icnitas se explicaba del modo siguiente. Inicialmente se depositaron arenas que formaron una capa primera recubierta posteriormente por una capa delgada de barro arcilloso sobre la que pisa el animal. La depresión originada llegó a alcanzar la capa primera de arenas. Un nuevo depósito de arenas recubrió el conjunto y rellenó las huellas. En esta fase se produciría la consolidación de las arenas que formaban el relleno de las huellas. Un proceso erosivo eliminó posteriormente las capas de barro y arenas superiores, quedando

intactos los rellenos de las huellas. El peso de los depósitos posteriores de barro y arcillas deformó los rellenos, dándoles el perfil redondeado que presentan actualmente. Una explicación similar fue propuesta de modo independiente por PLATT (1986).

— Regumiel de la Sierra

En Regumiel de la Sierra se han localizado dos afloramientos icnológicos de dinosaurios (Colectivo Arqueológico de Salas, 1988), en los que existen al menos 59 huellas. Algunas marcas sedimentarias podrían ser interpretadas como icnitas, y existen huellas actualmente enterradas y que no son analizadas en este artículo.

ZONA A

En este afloramiento aparecen 44 icnitas, en un estado de conservación variable, y conformando un total de ocho rastros (fig. 10), y cuatro icnitas aisladas (fig. 17). Incluimos un rastro en el Suborden *Theropoda* y el resto, en el Suborden *Ornithopoda*.

SUBORDEN THEROPODA MARSH, 1881.

El rastro 1 (figs. 10 y 11, tablas 3 y 4) consta de al menos siete icnitas, de las cuales las números 5, 6 y 7 están actualmente tapadas por tierra. Se han estudiado cuatro, de pequeño tamaño ($L = 27,9$ cm de media). La icnita 1 aparece alejada de las demás, suponiendo borradas por erosión las intermedias. Las huellas son algo más largas que anchas, predominando el dedo III ($I_{III}/L = 0,62$). El dedo II aparece algo desplazado lateralmente, por lo que el talón está formado por las prolongaciones de los dedos III y IV. El valor del ángulo de paso es alto: $A^\circ = 172^\circ$, y la velocidad calculada es de $v_1 = 3,4$ Km/h, y $v_2 = 3,3$ Km/h, para un animal que iba andando: $\lambda/h = 1$ (THULBORN, 1982). Se clasifica dentro del Suborden *Theropoda* por la relativa esbeltez de la huella y la forma alargada y estrecha de los dedos.

SUBORDEN ORNITHOPODA MARSH, 1878.

Rastro 3 (fig. 10, tablas 3 y 4). Formado por tres

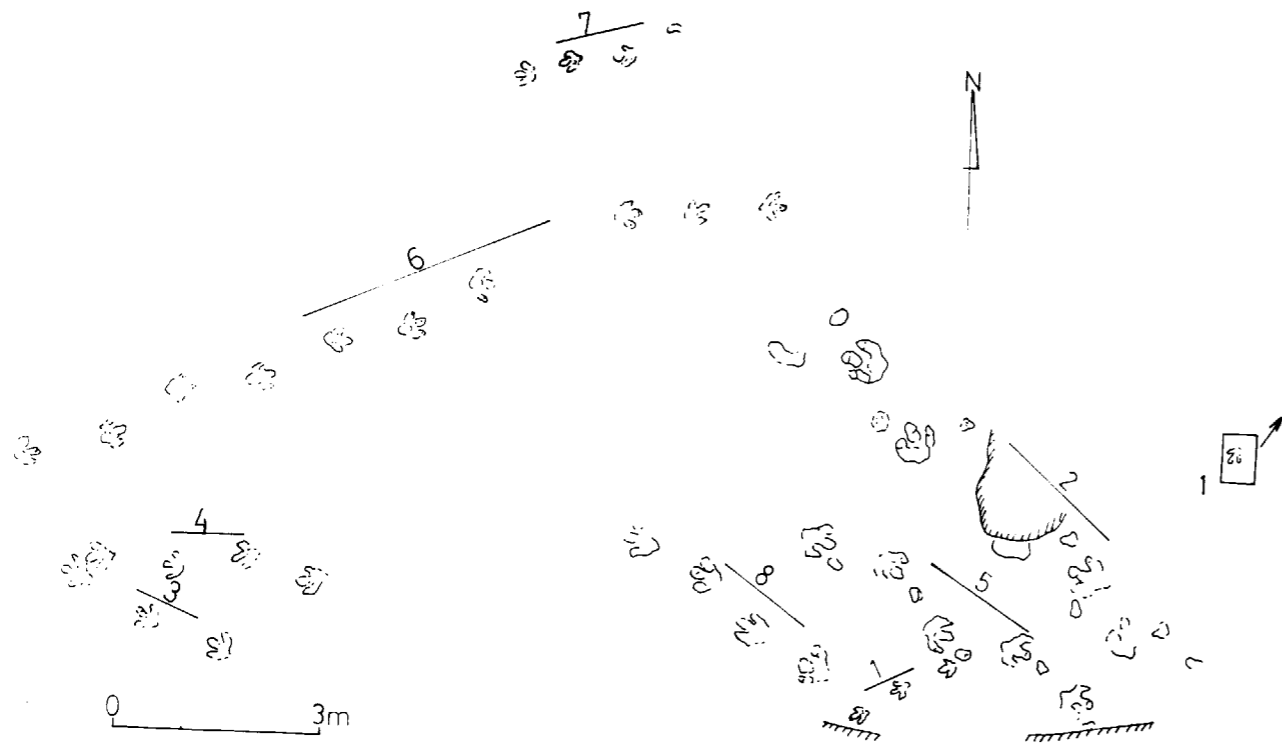


Figura 10.—Zona A. Regumiel de la Sierra.

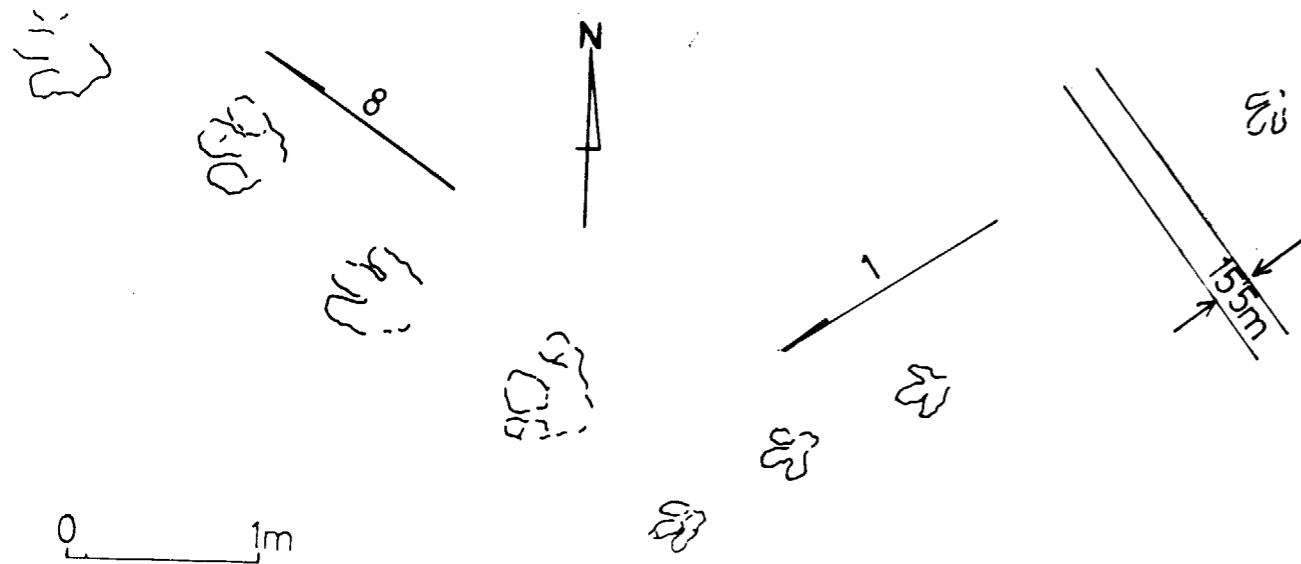


Figura 11.—Rastros 1 y 8. Zona A. Regumiel

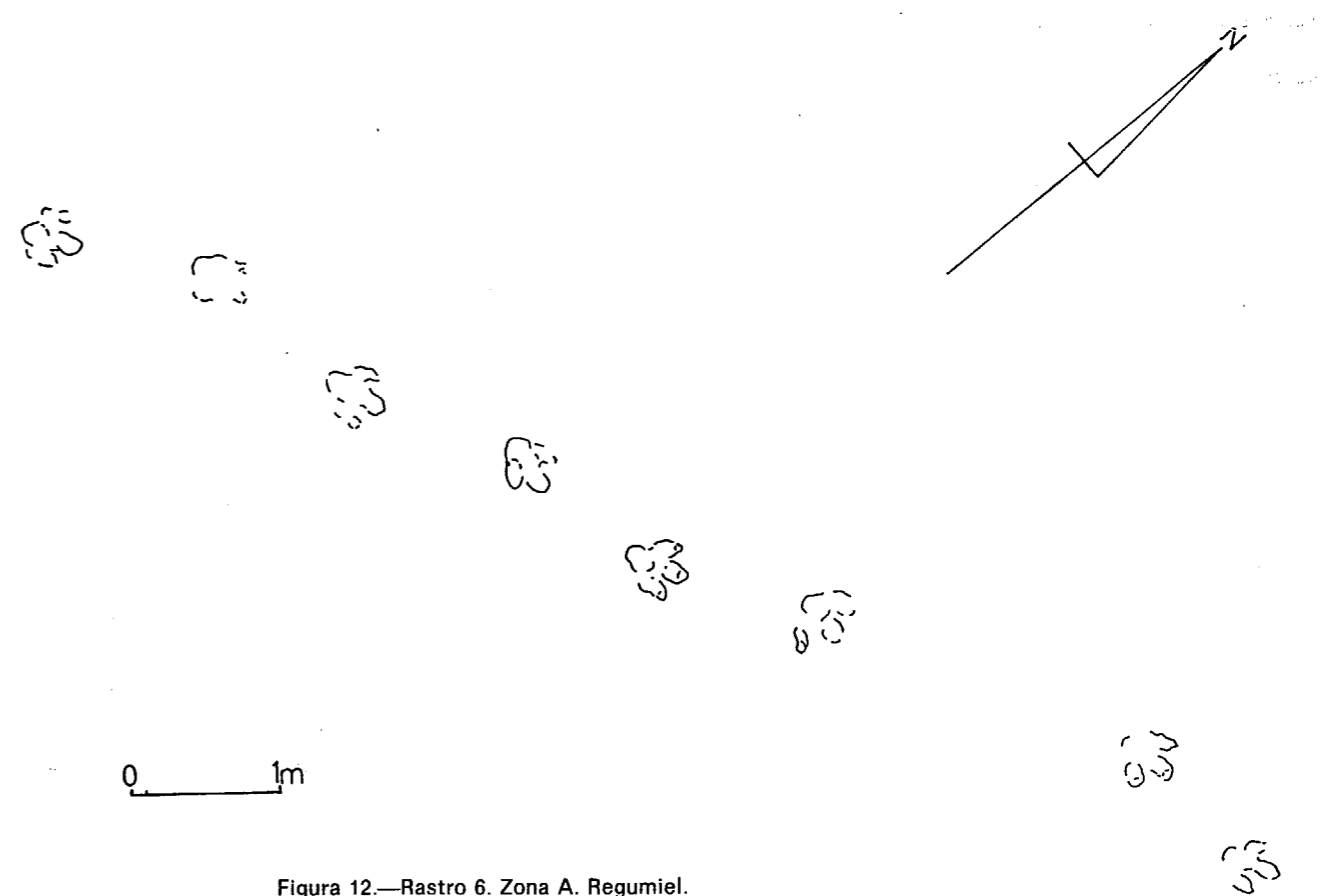


Figura 12.—Rastro 6. Zona A. Regumiel.

icnitas muy erosionadas, más anchas que largas, con dedos redondeados y de apariencia almohadada. Los tres dedos son semejantes en dimensiones, con el dedo IV más largo y ancho que los otros dos. Las huellas presentan orientación negativa. Es resaltable el alto valor de $A^\circ = 169^\circ$. En base a las características morfológicas de dedos y pie, incluimos el rastro en la Familia *Iguanodontidae*. Pertencería al grupo O_1 de CASANOVAS et al. (1989).

El rastro 4 (fig. 10, tablas 3 y 4) consta de cuatro huellas muy semejantes morfológicamente a las del rastro 3, y coincidentes en datos de dimensiones y relaciones entre varios parámetros: L , A° , h , λ/L , L/a , l_{III}/L (tabla 17). Lo clasificamos de forma idéntica al rastro 3.

El rastro 6 (figs. 10 y 12, tablas 3 y 4) consta de 10 icnitas muy erosionadas, tan largas como anchas, con talón saliente y redondeado, y dedos cortos, anchos de contorno distal redondeado, o terminado en uña picuda y corta. El dedo más pequeño es el II, aunque los tres son muy semejantes en dimensiones. En la mayoría de las icnitas, la zona más profunda corresponde a la parte distal de los dedos, marcando de este modo dos almohadillas en cualquiera de los tres dedos. En el área plantar también se aprecia una almohadilla grande y redondeada. Las icnitas presentan una clara orientación negativa. El ángulo de paso da valores altos: $A^\circ = 162^\circ$. La forma de los dedos y el aspecto almohadado de las huellas, permiten clasificar el rastro dentro del Suborden *Ornithopoda*.

Yacimiento:	Zona A, Regumiel de la Sierra					
Rastros:	1	3	4	6	7	8
L	27,9	40,4	40,4	40,9	30,4	47,4
a	26,3	43,7	41,2	40,1	33,3	51
li	23,5	17,8	16,2	16,7	18,5	22
liii	24	20,8	22,6	18,4	16,6	24,1
liiii	24,3	23,7	22	18,3	15,4	21,5
aii	16,7	8,1	9,5	8,7	8,4	11,8
aiii	18,4	9,3	11,2	11,3	10,8	17
aiv	24,3	10,6	11	10,1	9,6	13,2
α	22°	24°	24°	29°	34°	12°
β	21°	38°	31°	22°	14°	15°
δ	37°	67°	55°	51°	48°	27°
P	72,4	115,6	104,9	114	74	105,2
λ	145,6	230	206,5	225,5	147,5	206,8
A°	172°	169°	169°	162°	166°	162°

Tabla 3.—Datos medios correspondientes a rastros de Zona A (Regumiel de la Sierra). Símbolos y unidades como en tabla 1.

Yacimiento:	Zona A, Regumiel de la Sierra					
Rastros:	1	3	4	6	7	8
L/a	1	0,9	0,9	1	0,9	0,9
lii/L	0,62	0,51	0,56	0,45	0,54	0,5
λ/L	5,2	5,6	5,1	5,5	4,8	4,3
AR	31,8	53,7	62,5	55,6	38,7	65,6
h	145,6	264,8	264,8	268,3	195,3	314,2
λ/h	1	0,8	0,7	0,8	0,7	0,6
v_1	3,4	3,6	3	3,4	2,4	2,4
v_2	3,3	3,9	3,5	3,8	2,9	3,2

Tabla 4.—Relaciones entre parámetros obtenidos a partir de rastros de la Zona A, Regumiel. Símbolos y unidades como en tablas 1 y 2.

Rastro 7 (fig. 10, tablas 3 y 4). Formado por cuatro icnitas, algo más largas que anchas, de talón redondeado y dedos almohadillados, anchos y de contorno distal redondeado. Los tres dedos son de dimensiones parecidas, y poco separadas entre sí. La orientación de las icnitas es negativa. Incluimos el rastro en el Suborden *Ornithopoda*, Familia *Iguanodontidae*, grupo O₁ de CASANOVAS et al. (1989).

El rastro 8 (figs. 10 y 11, tablas 3 y 4) consta de

cuatro icnitas tridáctilas poco profundas pero de gran tamaño: L=47,4, a=51. La morfología de las huellas es la característica de ornitópodos: son más anchas que largas, de área plantar extensa, aspecto almohadillado de los dedos, anchos y romos. Los tres dedos aparecen muy próximos entre sí, subparalelos en alguna icnita, de modo que los ángulos interdigitales son de valores bajos: $\delta = 27^\circ$. En alguna icnita se distinguen dos almohadillas, presentes en cualquiera de los tres dedos. Clasificamos el rastro dentro de la Familia *Iguanodontidae*, grupo O de CASANOVAS et al. (1989).

La icnita aislada número 3 (fig. 17), se incluye en el Suborden *Ornithopoda* por tener los dedos cortos, anchos y romos, próximos entre sí y con pocas almohadillas.

La icnita aislada número 4 (fig. 17) está algo deformada. Posee dedos cortos, anchos, de extremo distal redondeado y almohadillas. Su talón es ancho y redondeado, con una gran almohadilla plantar. Estas características permiten su inclusión dentro del Suborden *Ornithopoda*.

ORNITHOPODA semibipedos

El rastro 2 (figs. 10 y 13, tablas 5, 6 y 7), está formado por trece icnitas correspondientes a pies y manos de un individuo de gran envergadura (h=426,7 cm) que se desplazaba cuadrupedamente. Las huellas de los pies son tridáctilas, de talón amplio, algo saliente y redondeado, y área plantar almohadillada; son huellas algo más largas que anchas y con orientación negativa muy acusada. Los dedos son de dimensiones semejantes entre sí, con ángulos interdigitales de valores bajos: $\alpha = 6^\circ$, $\beta = 11^\circ$. Tienen cada uno de ellos, al menos dos almohadillas. Las huellas de las manos se sitúan por delante de los pies correspondientes, enfrentadas —mano izquierda— o bien algo laterales —mano derecha— al dedo IV del pie. Su forma es ovalada o redondeada, aparentemente con una prolongación corta hacia la línea media del rastro (manos 1, 2 y 3). No hemos apreciado detalles anatómicos de los dedos, a excepción de la mano 5, que posee la marca de dos dedos englobados en el contorno oval de la huella.

No se ha podido calcular la Distancia Glenoacetabular (HAUBOLD, 1971) al no haber la continuidad necesaria de tres manos y tres pies. Los valores de paso y zancada son variables, pero bajos; lo mismo ocurre con las velocidades calculadas: $v_1 = 1,7$ Km/h, y $v_2 = 2,9$ Km/h (aplicando las fórmulas de ALEXANDER, 1976, y DEMATHIEU, 1984, aunque pueda no ser válida su aplicación para semibipedos).

Los rastros cuadrúpedos atribuidos a ornitópodos son escasos en la bibliografía: NORMAN (1980), CURRIE (1983), LEONARDI (1984), LOCKLEY (1987), GIERLINSKI (1990), MORATALLA et al. (1990) y CURRIE et al. (1991). El rastro cuadrúpedo atribuido por NORMAN (1980) a *Iguanodon*, consta de icnitas de pies redondeadas y ovaladas, diferentes a las de Regumiel. Los rastros descritos por CURRIE (1983), se incluyeron en el icnogénero *Ambliodactylus*, atribuidos a hadrosáuridos; poseen dedos muy cortos y las huellas son de dimensiones variadas, siendo generalmente su longitud y anchura de valores altos. La apariencia masiva del pie de *Ambliodactylus* difiere notablemente de los pies marcados en Regumiel, más esbeltos. Los rastros atribuidos por LEONARDI (1984) y LOCKLEY (1987) al icnogénero *Caririchnium* —probable-

mente correspondiente a hadrosáuridos— están formados por huellas semejantes a las burgalesas en: disposición de los dedos, próximos y subparalelos; relación L/a igual o menor de 1; relación AR/a entre 1,6 y 1,8. Las diferencias son varias: en el rastro de Regumiel los ángulos de pasos de manos y pies tienen valores menores, lo mismo que las relaciones λ/L y λ_m/L_m ; el tamaño de sus icnitas es considerablemente mayor que el de las huellas de Colorado (LOCKLEY, 1987), y las dos almohadillas de los dedos de las huellas de Regumiel no las poseen las huellas asignadas a *Caririchnium*. Las icnoespecies descritas por GIERLINSKI (1990) constan de manos tridáctilas o tetradáctilas, y de huellas de pies más pequeñas y esbeltas que las de Regumiel; además la edad de los yacimientos difiere notablemente: Jurásico Inferior y Cretácico Inferior. El artículo presente es la segunda cita de rastros cuadrúpedos de ornitópodos de yacimientos españoles, si consideramos la cita de MORATALLA et al. (1990) de un rastro de Cabezón de Cameros (La Rioja), en sedimentos del Cretácico Inferior. Algunos rastros estudiados por CURRIE et al. (1991) asignados a *Caririchnium* poseen huellas menos esbeltas y de dedos más cortos en comparación con los de Regumiel; aparecen en sedimentos de diferente edad a los de Regumiel: Cretácico Medio.

En conclusión, no asignamos el rastro 2 de la Zona A de Regumiel a ninguna familia ni icno-

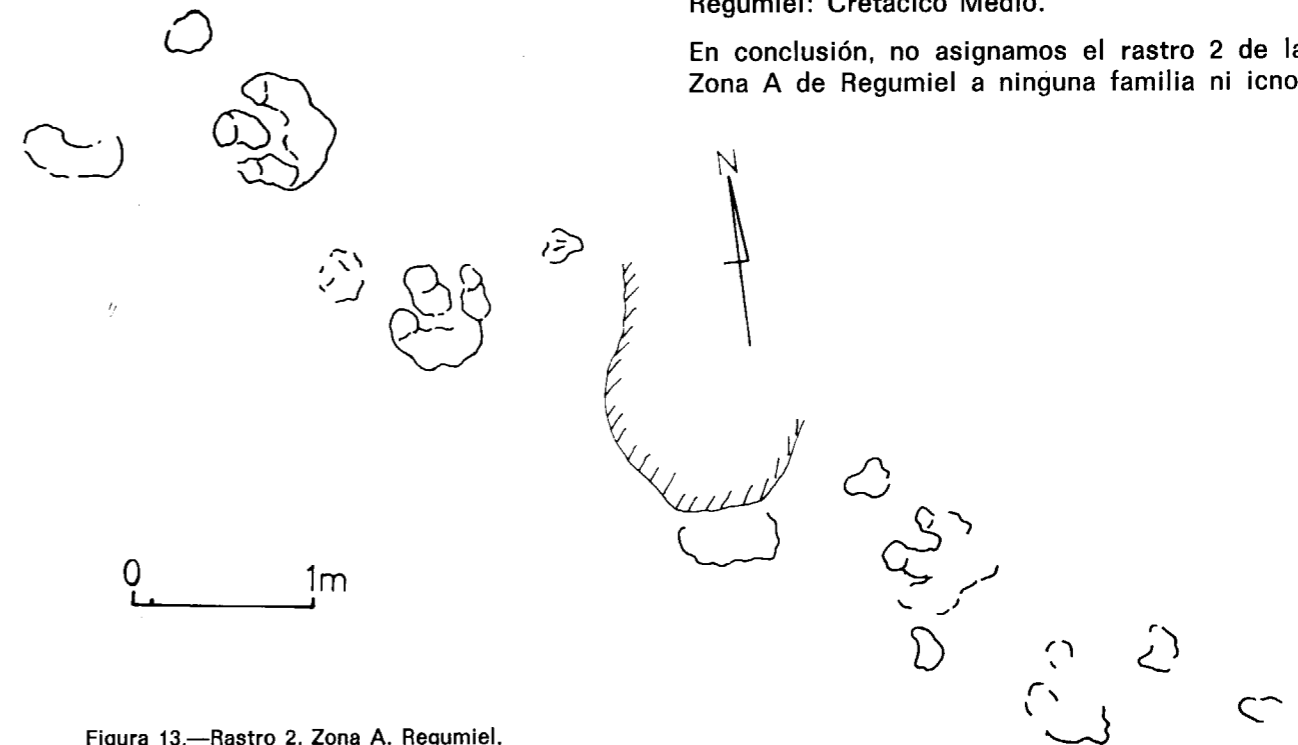


Figura 13.—Rastro 2. Zona A. Regumiel.

género determinados. Una asignación semejante es muy arriesgada al no conservar el rastro detalles anatómicos suficientes en las huellas de las manos. Lo interpretamos como el rastro de un ornitópodo adulto de gran envergadura andando muy despacio y cuadrupedalmente.

El rastro 5 (figs. 10 y 14, tablas 5, 6 y 7) está formado por 10 icnitas de pies y manos de un individuo de gran tamaño ($h=316,3$ cm) desplazándose cuadrupedalmente. Las huellas de los pies son tridáctilas, más anchas que largas ($L=47,5$ cm, $a=52,3$ cm), de talón saliente y redondeado, y con orientación negativa. Los tres dedos son de tamaño semejante, algo mayor el dedo III, abiertos, y con ángulos interdigitales de valores bajos ($\delta=34^\circ$). Se han observado dos almohadillas en los dedos II y IV. Las huellas de las manos se disponen por delante de los pies correspondientes, enfrentadas al dedo IV del pie correspondiente —mano derecha— o enfrentadas al dedo III del pie —mano izquierda—. Su forma es ovalada y con orientación negativa. Parece marcarse un saliente corto hacia la línea media del rastro (mano 4). La longitud de la mano respecto a la del pie, es mayor que en el rastro 2: $L/L_m = 3/1$, y $L/L_m = 2/1$, respectivamente (tabla 7). Tampoco en este rastro las huellas conservan detalles anatómicos de las manos como número de dedos o forma de éstos. Se ha calculado la Distancia Glenoacetabular (HAUBOLD, 1971), resultando un valor medio de 159,3 cm (fig. 14). Los valores de velocidad hallados son bajos: $v_1 = 2,7$ Km/h y $v_2 = 3,4$ Km/h.

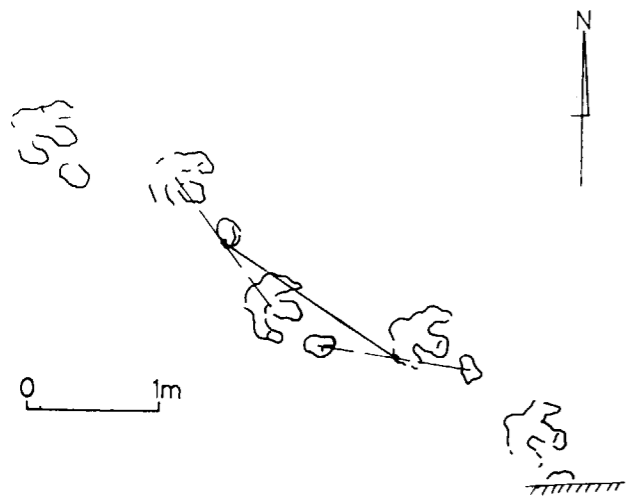


Figura 14.—Rastro 5. Zona A. Regumiel.

Las características del rastro tales como: ángulo de paso menor de 150° , relación λ/L menor de 6, ángulo interdigital II-IV de valores bajos, y de las huellas del pie como el ser más anchas que largas, con dedos romos y presencia de pocas almohadillas, favorecen su inclusión dentro de la Familia *Iguanodontidae*. De los trabajos citados anteriormente sobre rastros de ornitópodos en marcha cuadrúpeda, pueden establecerse semejanzas con el rastro de iguanodóntido situado en Lamar (Colorado, USA), descrito por LOCKLEY (1987). La forma de sus huellas de manos y pies son semejantes a las de Regumiel: forma del talón y dedos, disposición de éstos en los pies y forma ovalada de las manos.

Yacimiento:	Zona A, Regumiel de la Sierra	
Rastros:	2	5
L	63,1	47,7
a	59,9	52,3
l _{II}	30,5	21,4
l _{III}	31	24,3
l _{IV}	32,3	22,3
a _{II}	12,9	11,2
a _{III}	15,6	13,6
a _{IV}	17	11,2
α	6°	19°
β	11°	15°
δ	18°	34°
P	117,1	113,8
λ	209,1	218,7
A°	138°	147°

Tabla 5.—Datos medios correspondientes a los rastros cuadrúpedos (pies) números 2 y 5 de Zona A (Regumiel de la Sierra). Símbolos y medidas como en tabla 1.

Yacimiento:	Zona A, Regumiel de la Sierra	
Rastro:	2	5
L _m	20,9	22,1
a _m	23,8	17,4
P _m	127	116
λ_m	210,1	217,5
A° _m	109°	143°

Tabla 6.—Datos medios correspondientes a los rastros cuadrúpedos (manos) números 2 y 5 de Zona A, Regumiel. Unidades como en tabla 1. L_m: longitud de manos. a_m: anchura de manos. P_m: paso entre manos. λ_m : zancada entre manos. A°_m: ángulo de paso de manos.

Yacimiento:	Zona A, Regumiel de la Sierra	
Rastros:	2	5
L/a	1	0,9
l _{III} /L	0,49	0,5
L/L _m	3	2,1
λ/L	3,3	4,6
λ_m/L_m	10	9,8
AR	103,2	89,9
ga	—	159,3
λ/ga	—	1,37
h	426,7	316,3
ga/h	—	0,5
λ/h	0,5	0,7
v ₁	1,7	2,7
v ₂	2,8	3,4

Tabla 7.—Relaciones entre parámetros obtenidos a partir de los rastros cuadrúpedos números 2 y 5 de Zona A, Regumiel. Símbolos y unidades como en tablas 1, 2 y 6. Además, ga: distancia glenoacetabular, en cm.

ZONA B

En este otro afloramiento de Regumiel, hemos analizado un total de 15 icnitas agrupadas en dos rastros. Entre ambos aparecen en la misma capa, marcas sedimentarias que pudieran ser interpretadas también como icnitas de dinosaurios, aunque nosotros no las hemos estudiado.

SUBORDEN ORNITHOPODA MARSH, 1878.

El rastro 1 (fig. 15, tablas 8 y 9) presenta un buen estado de conservación, a pesar de situarse sobre una roca muy disgregable. Consta de

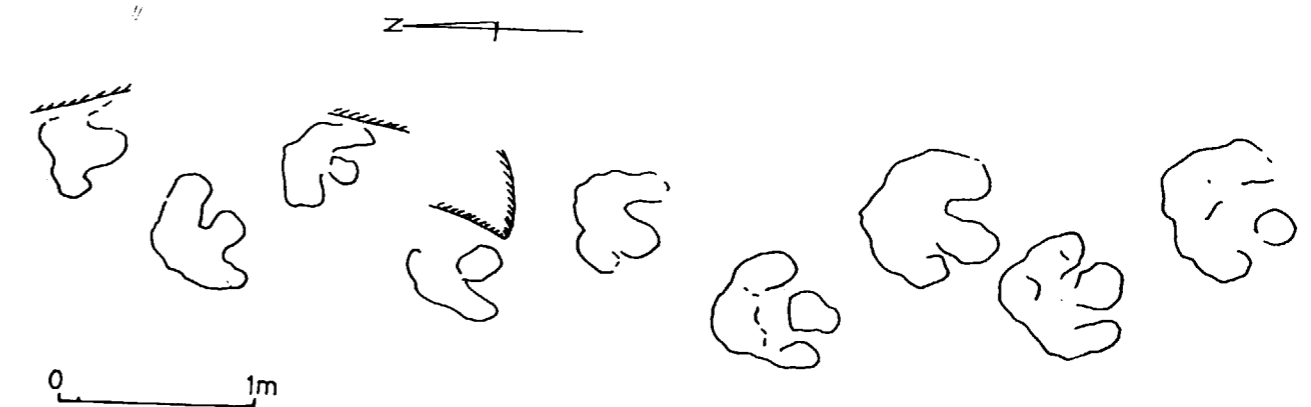


Figura 15.—Rastro 1. Zona B. Regumiel.

nueve icnitas tridáctilas, de gran tamaño y más anchas que largas: $L = 55,5$ cm, $a = 64,6$ cm. Las huellas son de talón amplio y redondeado, coincidente con una almohadilla plantar extensa. Los dedos son cortos y anchos, de contorno distal romo y almohadillados. La orientación de las huellas es negativa. Las cinco primeras huellas difieren de las cuatro últimas en que aquéllas son de dimensiones menores, tienen una continuidad nítida entre el área plantar y los dedos y sus ángulos interdigitales son de valores más altos (dedos más abiertos). Este hecho puede explicarse por la diferente resistencia del sustrato a la pisada del animal, debido quizá al pasar sobre un suelo con diferentes grados de consolidación. De cualquier modo, el área afectada, por el paso del animal aparece muy deformada y ondulada, con acúmulos de barro desplazado. El efecto es más evidente en la primera mitad del rastro, formado por icnitas más profundas (las números 1, 2, 3 y 4). La velocidad del animal era muy baja: $v_1 = 1,1$ Km/h y $v_2 = 2$ Km/h, y las huellas se sitúan muy próximas entre sí, resultando unos valores bajos de ángulos de paso: $A^\circ = 111^\circ$. El rastro lo clasificamos dentro de la Familia *Iguanodontidae* por sus características: área plantar y talón extensos, ángulos interdigitales de valores bajos, presencia de cuatro almohadillas (tres digitales y una plantar), y la gran anchura de las huellas. El rastro es semejante en la morfología de las huellas y sus dimensiones a algunos de los estudiados en yacimientos de La Rioja, dentro del complejo sedimentario de Cameros. Uno de ellos es el descrito por CASANOVAS y SANTAFAE (1971) en Cuesta de Andorra, formado por huellas de mayor tamaño, dedos más cortos y angulación interdigi-

tal diferente; sin embargo su morfología general es muy semejante. También pueden señalarse similitudes con el rastro de La Magdalena, estudiado por MORATALLA et al. (1988), correspondiente a un iguanodóntido de gran talla, graviportal y con una gran robustez en los elementos autopodiales. En el rastro de Regumiel encontramos huellas más esbeltas, de dedos más largos que anchos, y valores de angulación interdigital algo más bajos.

El rastro 2 (fig. 16, tablas 8 y 9) consta de seis icnitas —habiéndose borrado por erosión la número 3— acompañadas de orlas de barro desplazado. No tiene una forma definida, siendo su contorno irregular, más o menos ovalado o redondeado. Su gran tamaño permite identificarlas como icnitas de dinosaurios: L = 50,2 cm, a = 51,8 cm. Una clasificación más exacta es difícil, pero considerando el valor alto de AR = 117,8 cm, y el valor bajo de A° = 98°, incluimos el rastro —con bastantes reservas— dentro del Suborden *Ornithopoda*. NORMAN (1980) atribuye a *Iguanodon* un rastro que posee huellas de pies ovaladas o redondeadas, semejantes a las de Regumiel.

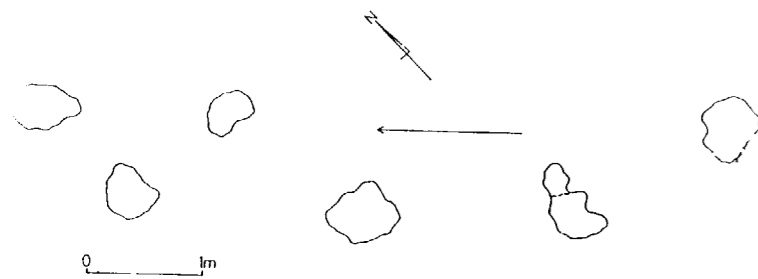


Figura 16. Rastro 2. Zona B. Regumiel.

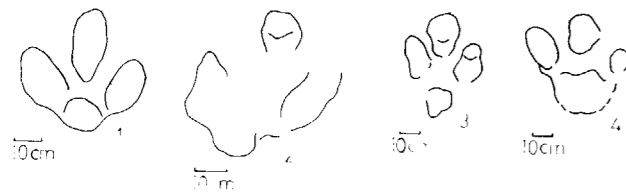


Figura 17.—Icnitas aisladas. Zona A. Regumiel.

Yacimiento:	Zona B, Regumiel de la Sierra	
Rastros:	1	2
L	55,3	50,2
a	64,6	51,8
l _{II}	23,5	—
l _{III}	24	—
l _{IV}	24,3	—
a _{II}	16,7	—
a _{III}	18,4	—
a _{IV}	15,6	—
α	22°	—
β	21°	—
δ	37°	—
P	88,9	130,7
λ	146,5	179,9
A°	111°	98°

Tabla 8.—Datos medios correspondientes a los rastros de la Zona B (Regumiel de la Sierra). Símbolos y unidades como en tabla 1.

Yacimiento:	Zona B, Regumiel de la Sierra	
Rastros:	1	2
L/a	0,85	0,9
l _{III} /L	0,43	—
λ/L	2,6	3,6
AR	101,2	117,8
h	370,5	340,7
λ/h	0,4	0,5
v ₁	1,1	1,7
v ₂	2	2

Tabla 9.—Relaciones entre parámetros obtenidas a partir de los rastros de la Zona B de Regumiel. Símbolos y unidades como en tablas 1 y 2.

CONCLUSIONES

Se han estudiado 101 huellas de dinosaurios en localidades del sureste de la provincia de Burgos. La variabilidad en la morfología y dimensiones de las icnitas descritas sugiere la existencia de tipos diferentes de dinosaurios en la región, que deberá ser apoyada por estudios futuros de restos óseos recogidos en yacimientos locales.

En Peña Uñor (Salas de los Infantes) aparecen 25 huellas de terópodos y ornitópodos desplazándose a velocidades bajas y con sentidos de avance diferentes.

El afloramiento de Costalomo (Salas de los Infantes) contiene 17 huellas, la mayoría de ellas de terópodos desplazándose en direcciones diferentes y con velocidades relativamente altas. Las características de los terópodos de Costalomo son: dedos largos y abiertos; el dedo III predominante; presencia de garras largas y estrechas; relación λ/L alta, superior a 7; huellas más largas que anchas: L/a igual o superior a 1,2.

La conservación de las icnitas de Salas como epirrelieves convexos se explica por un particular proceso de preservación de los moldes o rellenos de las huellas originales.

En los dos afloramientos de Regumiel, Zona A y Zona B, se conservan huellas de dinosaurios en marcha bípeda y cuadrúpeda. La mayor parte de los rastros de la Zona A, excepto uno clasificado dentro del Suborden *Theropoda*, son asociados al Suborden *Ornithopoda*, presentando como características: dedos redondeados, anchos y sin uñas claras; talón redondo, pie más ancho o tan ancho como largo, con pocas almohadillas, y valores bajos de velocidad. Hay dos rastros de individuos marchando cuadrúpedamente, identificados como ornitópodos de gran tamaño. Esta es la segunda cita de rastros de ornitópodos en marcha cuadrúpeda en afloramientos españoles. Los sentidos de avance no coincidentes no permiten hablar de gregarismo, a pesar de la atribución sistemática realizada. En la Zona B de Regumiel se han estudiado dos rastros, asignados al Suborden *Ornithopoda*.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Félix Pérez-Lorente por su asesoramiento y la revisión del artículo. A Jochen Welle por su interpretación sobre la conservación de las icnitas de Salas. A Rosario Hernando por las traducciones realizadas. A los Ayuntamientos de Salas de los Infantes y Regumiel de la Sierra por su ayuda económica.

REFERENCIAS

ALEXANDER, R. M. (1976): *Estimates of speed of dinosaurs*. Nature, 261,129-131.
 BEUTHER, A.; KNEUPER-HAACK, F., y TISCHER, G (1966):

Der Jura und Wealden in Nordost Spanien. Beith. Geol. Jb., 44.

CASANOVAS, M. L., y SANTAFA, J. V. (1971): *Icnitas de reptiles mesozoicos en la provincia de Logroño*. Act. Geol. Hisp., 5, 139-142.

CASANOVAS, M. L.; FERNANDEZ, A.; PEREZ-LORENTE, F., y SANTAFA, J. V. (1989): *Huellas de dinosaurios de La Rioja. Yacimientos de La Senoba, La Virgen del Campo y Valdecevilla*. Ediciones del Instituto de Estudios Riojanos, Ciencias de la Tierra, 12, 190 pp.

COLECTIVO ARQUEOLOGICO DE SALAS (1986): *Icnitas de dinosaurios en Salas de los Infantes (Burgos)*. Ayuntamiento de Salas de los Infantes, 32 pp.

COLECTIVO ARQUEOLOGICO DE SALAS (1988): *Icnitas de dinosaurios en Regumiel de la Sierra (Burgos)*. Ayuntamiento de Regumiel de la Sierra, 44 pp.

CURRIE, P. J. (1983): *Hadrosaur trackways from the lower Cretaceous of Canada*. Act. Palaeontol. Polonica, 28, 63-73.

CURRIE, P. J.; NADON, G. C., y LOCKLEY, M. G. (1991): *Dinosaur footprints with skin impressions from the Cretaceous of Alberta and Colorado*. Can. J. Earth Sci., 28, 102-115.

DEMATHIEU, G. R. (1984): *Utilisation de lois de la mécanique pour l'estimation de la vitesse de locomotion des Vertébrés Tétrapodes du passé*. Geobios, 17, 439-446.

DEMATHIEU, G. R. (1986): *Nouvelles recherches sur la vitesse des vertébrés auteurs des traces fossiles*. Geobios, 19, 327-333.

GIERLINSKI, G. (1990): *New dinosaur ichnotaxa from the early Jurassic of the Holy Cross Mountains, Poland*. Palaeogeog., Palaeoclimatol., Palaeoecol., 85, 137-148.

GIL, G., y ZUBIETA, J. M. (1978a): *Hoja geológica 1:50.000 número 277 (Salas de los Infantes)*. IGME, 38 pp.

GIL, G.; JIMENEZ, S., y ZUBIETA, J. M. (1978b): *Hoja geológica 1:50.000 número 278 (Canales de la Sierra)*. IGME, 44 pp.

HAUBOLD, H. (1971): *Ichnia Amphibiorum et Reptiliorum fossilium*. In: Handbuch der Paläoherpetologie. Ed. O. Kuhn, 18, 124 pp.

LEONARDI, G. (1984): *Le impronte fossili di dinosauri*. In: Sulle orme di dinosauri. Venezia Erizzo, 161-186.

LOCKLEY, M.G. (1987): *Dinosaur footprint from the Dakota Group of Eastern Colorado*. The Mountain Geologist, 4 (24), 107-122.

MORATALLA, J. J.; SANZ, J. L., y JIMENEZ, S. (1988): *Nueva evidencia icnológica de dinosaurios en el Cretácico Inferior de La Rioja (España)*. Est. Geol., 44, 119-131.

MORATALLA, J. J.; SANZ, J. L., y JIMENEZ, S. (1990): *Naturaleza y significado de las icnitas de dinosaurios*. Estrato, 2, 25-30.

NORMAN, D. B. (1980): *On the Ornithischian Dinosaur Iguanodon bernissartensis of Bernissart (Belgium)*. Memor. Inst. Roy. Scienc. Nat. Belgique, 178, 105 pp.

PLATT, N. H. (1986): *Sedimentology and tectonics of the western Cameros Basin, Province of Burgos, Northern Spain*. Thesis of Univ. Oxford, 250 pp.

PLATT, N. H. (1990): *Basin evolution and fault reactivation in the western Cameros Basin, Northern Spain*, J. Geol. Soc. London, 147, 165-175.

PLATT, N. H. (1991): *Dinosaur footprints of the lower Cretaceous of Northern Spain: their sedimentological and palaeoecological context*. Palaeogeog., Palaeoclimat., Palaeoecol., 86, 321-333.

QUINTERO, I.; MANSILLA, H., y MARTINEZ, C. (1982): *Hoja geológica 1:50.000, número 315 (Santo Domingo de Silos)*. IGME, 40 pp.

QUINTERO, I., y MANSILLA, H. (1986): *Hoja geológica 1:50.000, número 316 (Quintanar de la Sierra)*. IGME, 52 pp.

ROYO Y GOMEZ, M. (1929): *Les vertèbres du faciès wealdien espagnol*. Compt. Rend. XIV Cong. Geol. Int., 3-6.

SALOMON, J. (1982): *Les formations continentales du Jurassique supérieur - Crétacé inférieur (Espagne du Nord, Chaînes Cantabriques et NW Ibérique)*. Mem. Géol. Univ. Dijon, 6, 228 pp.

SANZ, J. L. (1983): *A nodosaur Ankylosaur from the lower*

Cretaceous of Salas de los Infantes (Burgos, Spain). Geobios, 15, 615-621.

SANZ, J. L. (1984): *Las faunas españolas de Dinosaurios. I Congreso Español de Geología (I)*, 497-506.

SANZ, J. L.; MORATALLA, J. J., y CASANOVAS, M. L. (1985): *Traza icnológica de un dinosaurio iguanodóntido en el Cretácico Inferior de Cornago (La Rioja, España)*. Est. Geol., 41, 85-91.

SCHUDACK, N. (1987): *Charophytenflora und fazielle Entwicklung der Grenzsichten mariner Jura/Wealden in den Nordwestlichen Iberischen Ketten (mit Verleichen zu Asturien und Kantabrien)*. Palaeontographica Abt. B., 204, 180 pp.

THULBORN, R. A. (1982): *Speed and gaits of dinosaurs*. Palaeogeog., Palaeoclimat., Palaeoecol., 38, 227-256.

THULBORN, R. A. (1984): *Preferred and gaits of bipedal dinosaurs*. Alcheringa, 8, 242-252.

THULBORN, R. A. (1990): *Dinosaur tracks*. Chapman and Hall Ed., 410 pp.

WELLE, J. (1982): *Geologische untersuchungen südlich der Sierra de La Demanda (provinz Burgos, Spanien)*. Universität Münster, 134 pp.

Original recibido: Junio de 1992.
Original aceptado: Febrero de 1993.

Los sondeos mecánicos en la investigación de la masa Valverde. Testificación geofísica de los mismos. Faja Pirítica de Huelva.

Por S. MAROTO ARANDA (*), J. RAMIREZ COPEIRO DEL VILLAR (**) y F. ROSALES CALVO (***)

RESUMEN

El descubrimiento de la masa Valverde, un nuevo yacimiento de sulfuros masivos polimetálicos de gran potencia y situado a más de 400 m de profundidad fue realizado en julio de 1986. Su estudio y estimación de reservas ha supuesto hasta el momento presente la ejecución de 25 sondeos profundos con un total de 20.000 m perforados.

Se describen los sistemas y diámetros de perforación utilizados, tipos de corona, control de desvío durante la perforación, empleo de lodos y evacuación de detritus, entubación final con P.V.C., testificaciones geofísicas en los sondeos y características de las distintas sondas empleadas, aportando un mejor conocimiento de las técnicas de perforación y una metodología de trabajo para la conservación y posterior uso de los pozos de sondeos.

ABSTRACT

The discovery of Valverde mass, a new thick polymetallic ore body located at a depth of more than 400 m was carried out in July 1986. Up today, 25 boreholes with a total of 20.000 m have been drilled for the study and evaluation of ore reserves.

The systems and drilling diameters, core bit types, control of deviation during perforation, the use of sludges and detritus evacuation, final P.V.C. tubes, geophysic loggings and characteristics of the different sondes are described, contributing a better understanding of the drilling techniques and the work methods for the conservation and later reuse of the drilling holes.

1. INTRODUCCION

En julio de 1986 tuvo lugar por la Empresa Nacional ADARO el descubrimiento de la masa Valverde, una nueva masa de sulfuros polimetálicos de gran potencia y situada a más de 400 m de profundidad. A raíz de este hallazgo se planificó una campaña de sondeos mecánicos, que hasta el 31 de mayo de 1992 lleva realizados 25 sondeos con un total de 20.000 m perforados.

La ejecución de estos sondeos con profundidades entre 582 y 1.015 m ha supuesto, durante estos años de investigación, la obtención de una

metodología de trabajo que se ha ido perfeccionando poco a poco, habiéndose conseguido mejorar notablemente los bajos rendimientos y los desvíos importantes producidos en los primeros sondeos.

Esta publicación pretende aportar un mejor conocimiento sobre la metodología de perforación en la Faja Pirítica, con la experiencia adquirida en seis años de sondeos profundos.

La zona sondeada se ubica entre el extremo sur-oriental del Bloque 25 de la Reserva de Huelva y el Permiso de Investigación «Autonomía», incluidos a su vez en las Hojas núm. 959 (Calañas) y núm. 960 (Valverde del Camino) del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000 (fig. 1).

(*) Ingeniero Técnico de Minas. E. N. Adaro.
(**) Dr. Ingeniero de Minas. E. N. Adaro.
(***) Geofísico. E. N. Adaro.

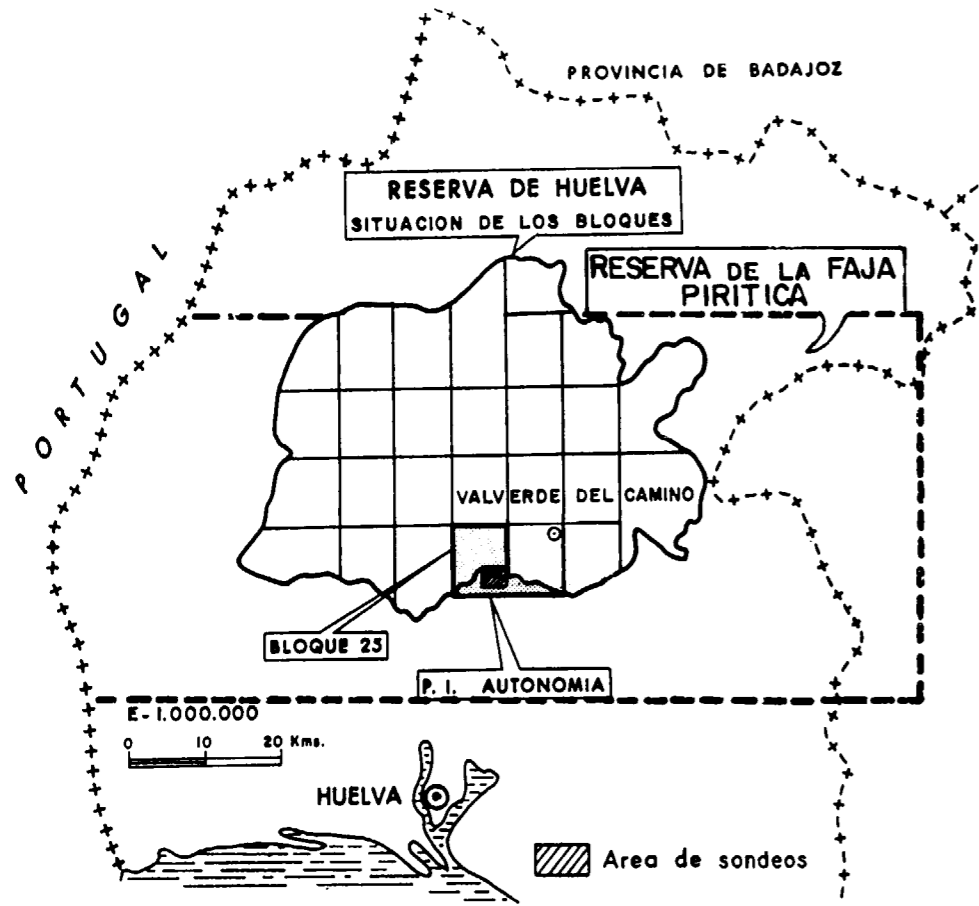


Figura 1.—Situación de la Reserva del Estado y zona de sondeos en el Bloque 25 y P. I. «Autonomía».

La zona investigada está situada geológicamente en la Faja Piritica Ibérica, franja de 230 Km de largo por 40-60 Km de ancho, que desde la provincia de Sevilla llega hasta la costa oeste de Portugal, una de las provincias metalogénicas mundiales de mayor interés, con más de 60 minas de sulfuros y cerca de 300 de manganeso (fig. 2).

La columna estratigráfica tipo de este cinturón pirítico abarca de muro a techo tres unidades:

- Una formación pizarroso-cuarcítica (P-Q) de edad Devónico Superior.
- Una potente serie volcano-sedimentario (Complejo volcánico sedimentario) constituida por rocas volcánicas submarinas, ácidas, intermedias y básicas con intercalaciones detríticas conteniendo todos los yacimientos de sulfuros y de manganeso de la provincia. Su edad sería Carbonífero Inferior.

— Una serie turbidítica constituida por una alternancia de pizarras y grauwacas (grupo Culm) con fauna de Posidonomyas y Goniatites de edad Viseense Superior.

Todos estos materiales fueron intensamente plegados durante la orogenia hercínica, originando una esquistosidad de flujo y una serie de fracturas que juegan un papel importante en el desvío de los sondeos.

Desde el punto de vista de la perforación, los distintos terrenos a atravesar estarían constituidos (fig. 3) por:

- Lavas y tobas de textura porfídica, matriz cristalina, generalmente silicificadas. Son en consecuencia abrasivas y producen un desgaste importante en las coronas.
- Tufitas, pizarras tufíticas y cineritas de granulometría fina. Producen sedimentos tan finos que llegan a tapizar las salidas de agua.

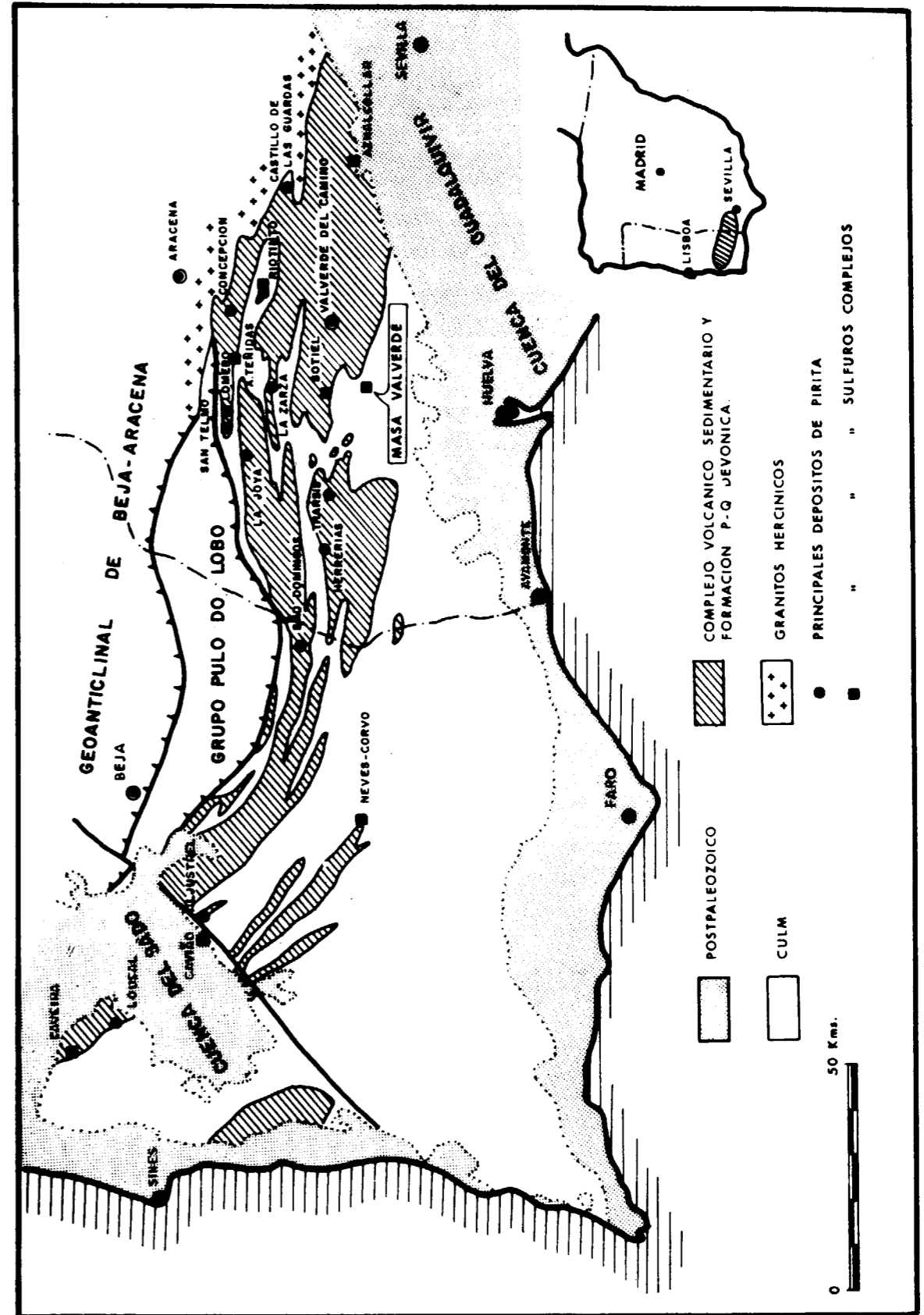


Figura 2.—La Faja Piritica Ibérica: Geología general y situación de las principales minas

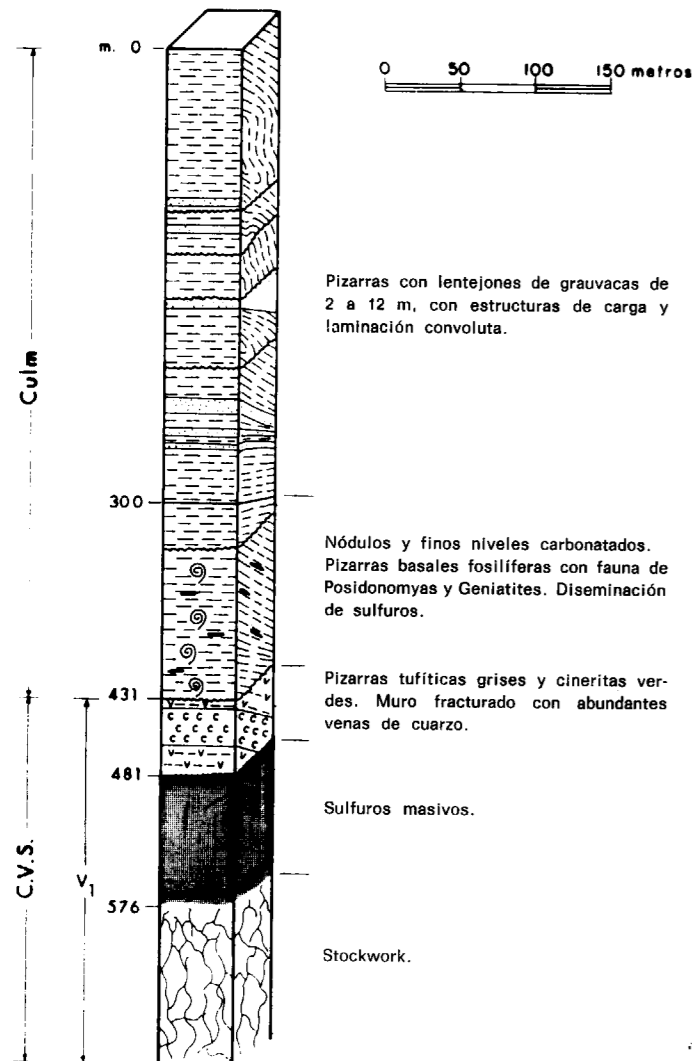


Figura 3.—Columna esquemática del sondeo A-3.

- Pizarras arcillosas de composición pelítica: Los sedimentos también llegan a tapizar las salidas de agua.
- Grauvacas de grano fino a grueso con fragmentos líticos y cristalinos. Normalmente se encuentran diaclasadas y por este motivo se acuan obstaculizando la entrada del resto del testigo.
- Piritas y sulfuros complejos con cobre, plomo, cinc y otros elementos menores. Producen sedimentos de alta densidad ($4,5 \text{ gr/cm}^3$), exigiendo un fuerte control sobre el pH de los lodos para mantenerlos básicos.

— Stockwork formado por una red de venas de sulfuros atravesando lavas y/o tobas. Presenta problemas mixtos de desgaste de corona y sedimentos de densidad $3,5$ a 4 gr/cm^3 .

2. SONDEOS

Las profundidades a las que ha habido que llevar los sondeos (fig. 4), así como la exigencia de utilizar diámetros grandes, han condicionado la ejecución de los mismos.

2.1. Necesidad de utilización de diámetros grandes

Son varios los factores que exigen un diámetro grande para la perforación de una masa de sulfuros.

- Geomecánicos: Para los ensayos de esfuerzos cortantes y medidas de R.Q.D. necesarios en el diseño de una futura explotación minera.
 - Químicos y Mineralúrgicos: Para el análisis de leyes y ensayos de molienda y flotación actuando sobre la mitad del testigo obtenido.
 - Geológicos: Para estudio de láminas delgadas, probetas pulidas, etc. sobre la mitad restante del testigo.
 - Geofísicos: Para la introducción de determinadas sondas geofísicas en el pozo del sondeo y para la introducción de la tubería de P.V.C. que actuará de protección de otras sondas geofísicas y del propio sondeo.
 - Desvíos: Para que el impacto programado a una determinada profundidad alcance su objetivo con el menor desvío posible. El uso de diámetros grandes favorece la verticalidad del sondeo.
- ### 2.2. Parámetros a tener en cuenta en el desvío de los sondeos
- Coronas y diámetros de perforación: Utilizando el sistema de perforación convencional no sólo se dispone de una amplia gama de diá-

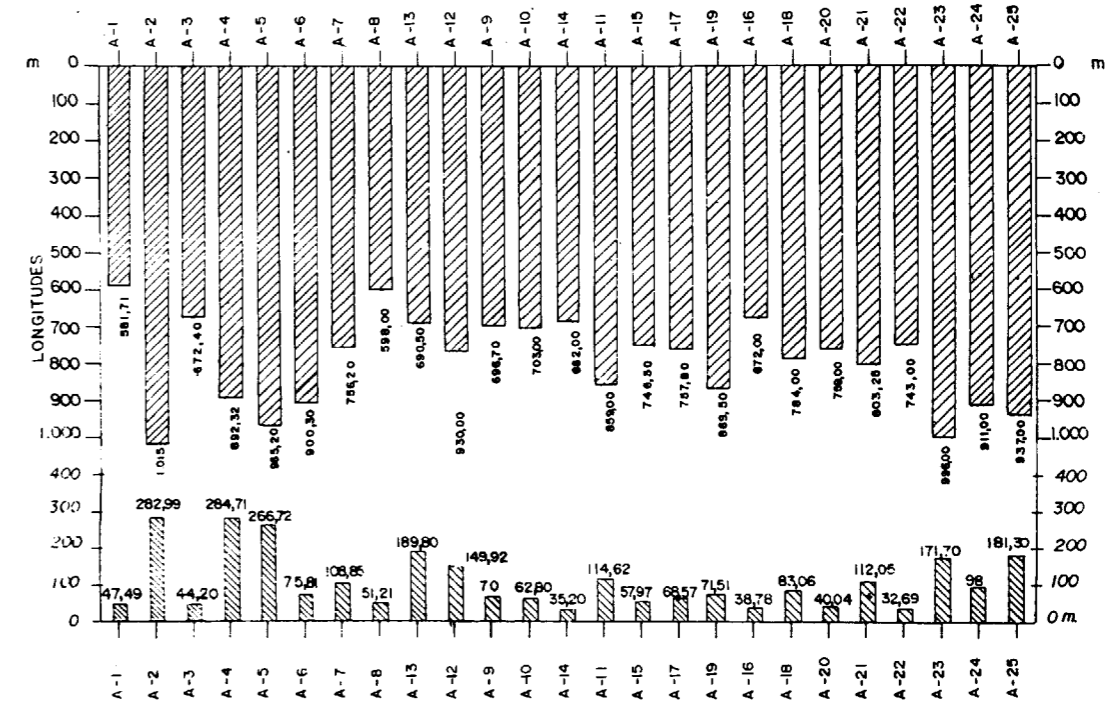


Figura 4.—Longitud de los sondeos y desvíos finales producidos.

metros de perforación (116 mm, 101 mm, 86 mm y 76 mm) sino que permite además tener en las coronas menor sección de corte, con lo que la tendencia al desvío es mucho menor. Se puede, no obstante, utilizar un sistema mixto de batería con corona tipo convencional y varillaje «wire line» tipo HQ (88,9 mm) que debido a su espesor (5,55 mm) crea una mayor rigidez.

Los distintos tipos de terrenos atravesados tienen una resistencia similar al corte, lo que permite utilizar el mismo tipo de corona. Normalmente se han usado coronas de concreción que tan sólo ocasionan ligeros problemas al cortar la masa de sulfuros o terrenos de granulometría muy fina (cineritas), por el tapizado en las salidas de agua, pero es subsanable con los lodos. Aunque al principio de la campaña se usaron dos tipos de corona de grano para \varnothing NQ, como eran la cóncava interior y la cóncava interior escalonada con rendimientos óptimos y desvíos mínimos, su excesivo coste y el hecho de que el desvío viniera ya producido por el anterior \varnothing desaconsejaron su empleo. En la figura 5 se apre-

cian las profundidades hasta las que se han utilizado los distintos diámetros.

- Estabilizadores: Su uso se considera necesario en la batería y en el varillaje adyacente a ella, evitando así una incitación al desvío. Ahora bien, no conviene abusar de su número porque frenaría la rotación y habría que aumentar la presión del agua para el desalojo de detritus.
- Peso sobre corona: Una actuación sobre el peso en corona dándole empuje ocasiona también fuertes desvíos. Se considera fundamental llevar la maniobra colgada.
- Máquinas de perforación: No ha sido tan importante el tipo de torre utilizada ni el sistema de montaje de la maquinaria (patines o camión) como las propias máquinas utilizadas. Así, de las tres máquinas empleadas Diamant Boart 1200, Long Year 44 y Neptuno 2000, desaconsejamos el uso de la última por considerar que tiene poca potencia en sondeos profundos y por carecer de una torre adecuada para soportar el peso del varillaje de estos sondeos. La Long Year 44 ha demos-

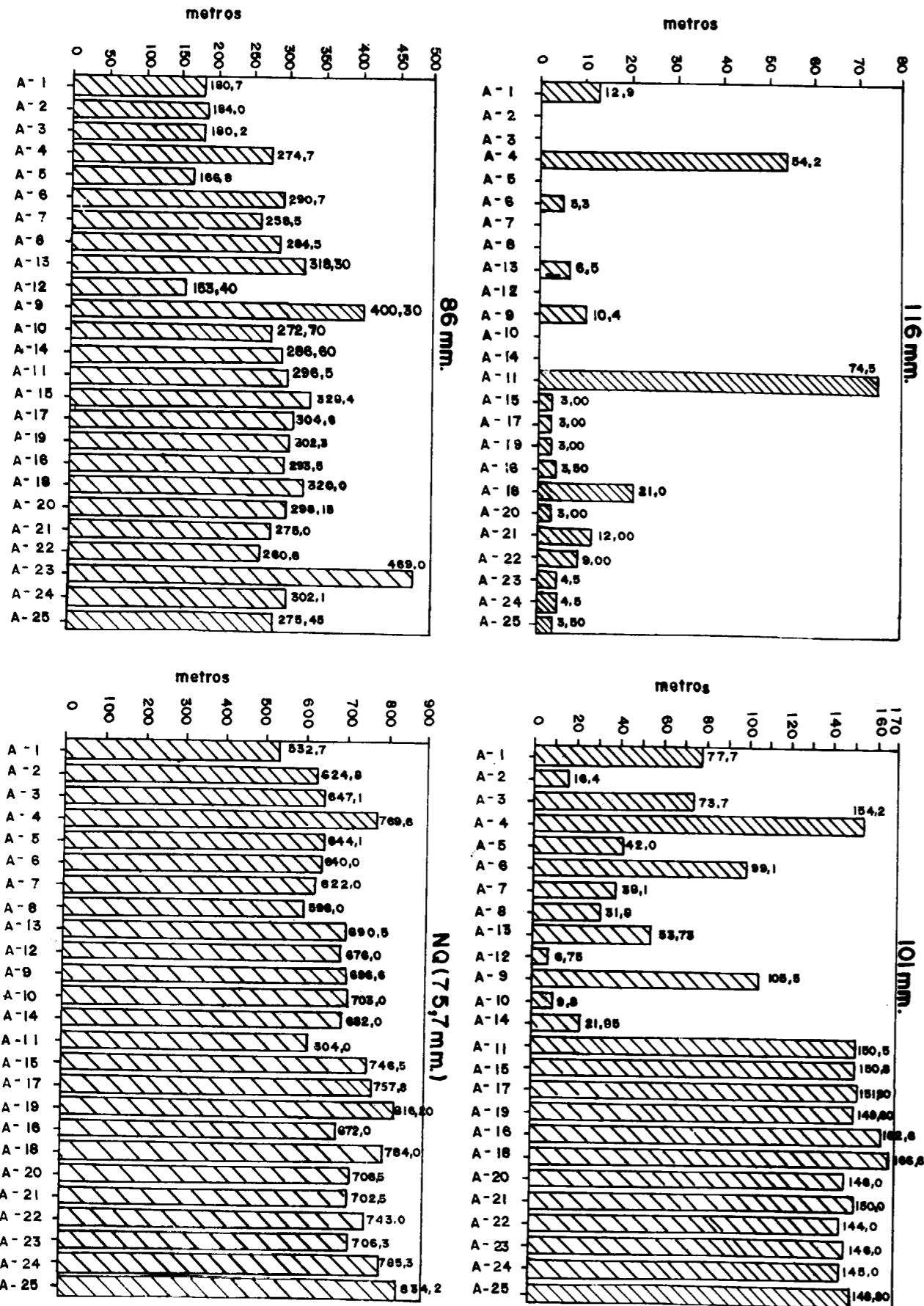


Figura 5.—Profundidades alcanzadas con los distintos diámetros de perforación utilizados

trado su eficacia a estas profundidades y la modificación en el motor, intercalando un convertidor de par, ha mejorado la seguridad de la perforación, ya que cualquier problema que surja en el avance o en la rotación haría que la transmisión patinase y se evitaría el agarre.

- Longitud de los tubos interiores en la perforación: En uno de los sondeos, ubicado por motivos topográficos a 50 m al norte del punto ideal, se intentó provocar el desvío utilizando un tubo interior de 1,5 m. La figura 6 muestra el efecto provocado. El uso de tubos de más de 3 m no es aconsejable por posibles acuñes y caídas del testigo debido a su peso.
- Lodos de perforación: Se han utilizado dos tipos de lodos a lo largo de la investigación: bentonita y polímeros. El primero se utilizó al principio y cumplió bien con el sostenimiento de las paredes del sondeo, pero hubo problemas con la evacuación de los detritus de la masa por su profundidad y densidad (4,5 gr/cm³). Fue necesario usar polímeros de tipo GS-550 que elevaban bien los sedimentos desde el fondo. La evacuación correcta de detritus permite trabajar con presiones aceptables tales como 15 Kg/cm² a 700 m con NQ y 20 Kg/cm² a 900 m en BQ. El uso de la taladrina es fundamental para lubricar el corte de la corona.

En el corte de la masa de sulfuros se ha de trabajar a «aguas tiradas», para evitar volver a introducir en el pozo sedimento no decantado; conviene controlar el pH del agua para que su salida por la boca del sondeo sea 10-12, con lo que se evita el ataque sobre las paredes del mismo. El trabajar a «aguas tiradas» supone disponer de 60.000 litros/día en vez de los 24.000 litros de agua diarios usados normalmente. Esto hubiera supuesto un elevado coste de no haber cortado un acuífero con agua surgente en dos de los sondeos, con un caudal de 30 litros/minuto. Se pensó aprovechar este agua y para ello se construyeron dos balsas de hormigón para un total de 100.000

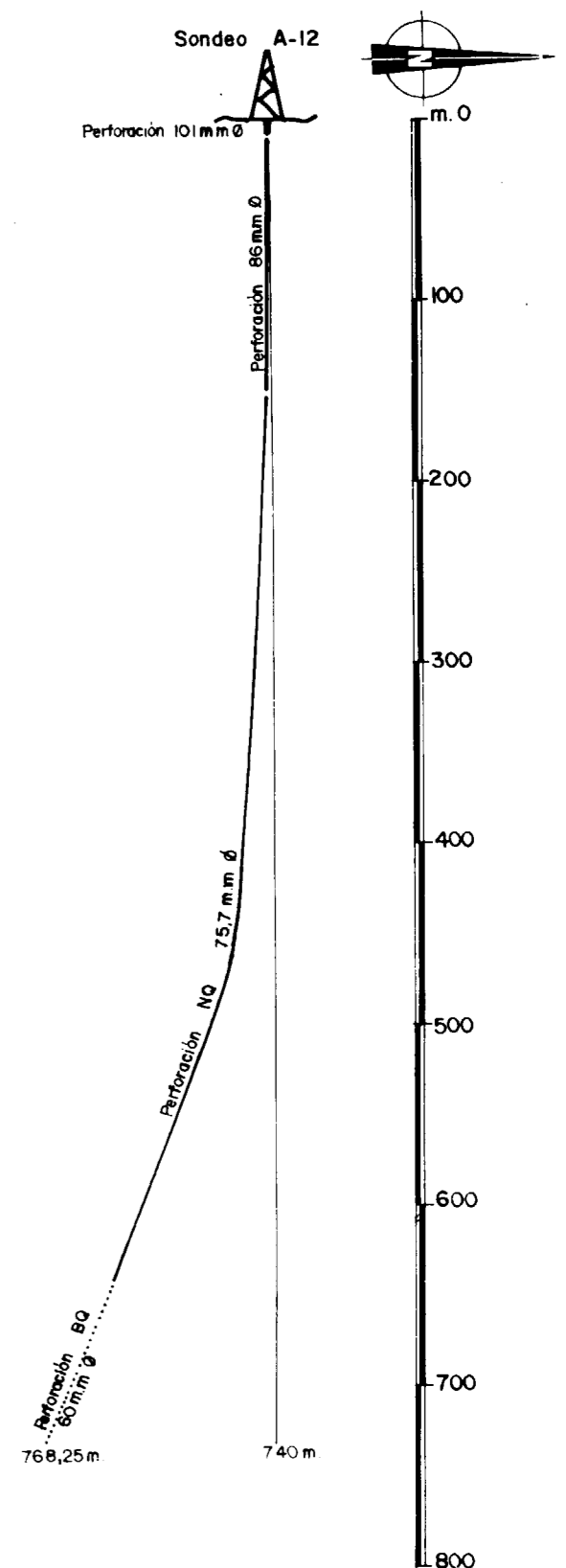


Figura 6.—Desvío producido por efecto del tubo interior corto (1,5 m).

litros, por lo que teniendo en cuenta que la masa de sulfuros tarda en cortarse unos cuatro días, no se produjo déficit alguno de agua.

2.3. Control de desvíos

Existe en la Faja Pirítica una tendencia generalizada a que los sondeos se desvíen en contra de la esquistosidad principal S₁ de rumbo ONO-ESE y buzamiento norte (fig. 7). Los primeros sondeos realizados sufrieron un fuerte desvío, lo que obligó en los siguientes a mantener a pie de obra un aparato fotográfico Eastman para con-

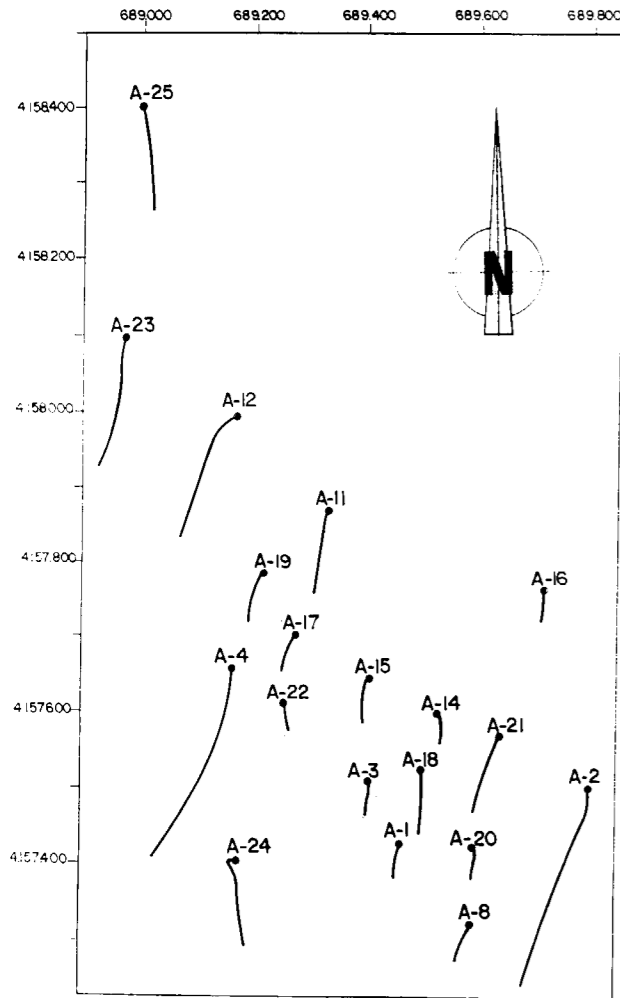


Figura 7.—Sondeos ejecutados en la zona central del área. Desvíos en planta.

rol de los mismos. Dicho control se efectúa cada 50 m midiendo la inclinación y el rumbo del desvío, aunque en terrenos con fuerte fracturación es conveniente hacerlo cada 25 m.

La medición del rumbo del sondeo se tendría que realizar con la maniobra sacada, sin el varillaje, para evitar que su magnetismo actuara sobre la brújula, con la consiguiente falta de seguridad al bajar el equipo a pozo descubierto. Esto se evita intercalando entre la barra de bronce del equipo de medidas y el cable que le sustenta, una pieza que permite su movilidad por dentro de cualquier diámetro de wire line, permitiendo que la barra de bronce se asome por fuera de la corona lo suficiente como para evitar el efecto magnético del varillaje. La única operación a realizar sería sacar previamente el tubo interior.

Los datos estadísticos que se exponen a continuación confirman la disminución de los desvíos en los restantes sondeos (fig. 8).

En la figura 9 se pueden apreciar los desvíos medios obtenidos en la campaña de sondeos en relación con los desvíos máximos permitidos.

2.4. Cementaciones y desvíos

Por motivos de desvío hubo que proceder en tres sondeos a efectuar unas cementaciones. En el primero de ellos se efectuaron dos cementaciones, la primera fracasó y la segunda, realizada con cemento aluminoso, curiosamente fraguó, pero las realizadas en los otros dos sondeos fracasaron. Se cree que fue debido al pH del agua que adquirió carácter ácido por la presencia de sulfuros diseminados en muchos de los niveles litológicos cortados, lo que impidió que se produjera una cementación óptima, aparte de la dificultad de controlar el tiempo de fraguado.

Defendemos el empleo de cuñas recuperables y dirigidas aún a costa de que esto suponga la pérdida de un diámetro de perforación y la dificultad que supone orientarla. Para no perder diámetro de perforación conviene recortar el diámetro anterior hasta donde vaya puesta la cuña. Una vez guiada la cuña desde la superficie y colocada en su posición, se introduce el varillaje correspondiente y se inicia la perforación. Cuando se lleven perforados 7 m conviene tomar una medida con el equipo de desvío para comprobar

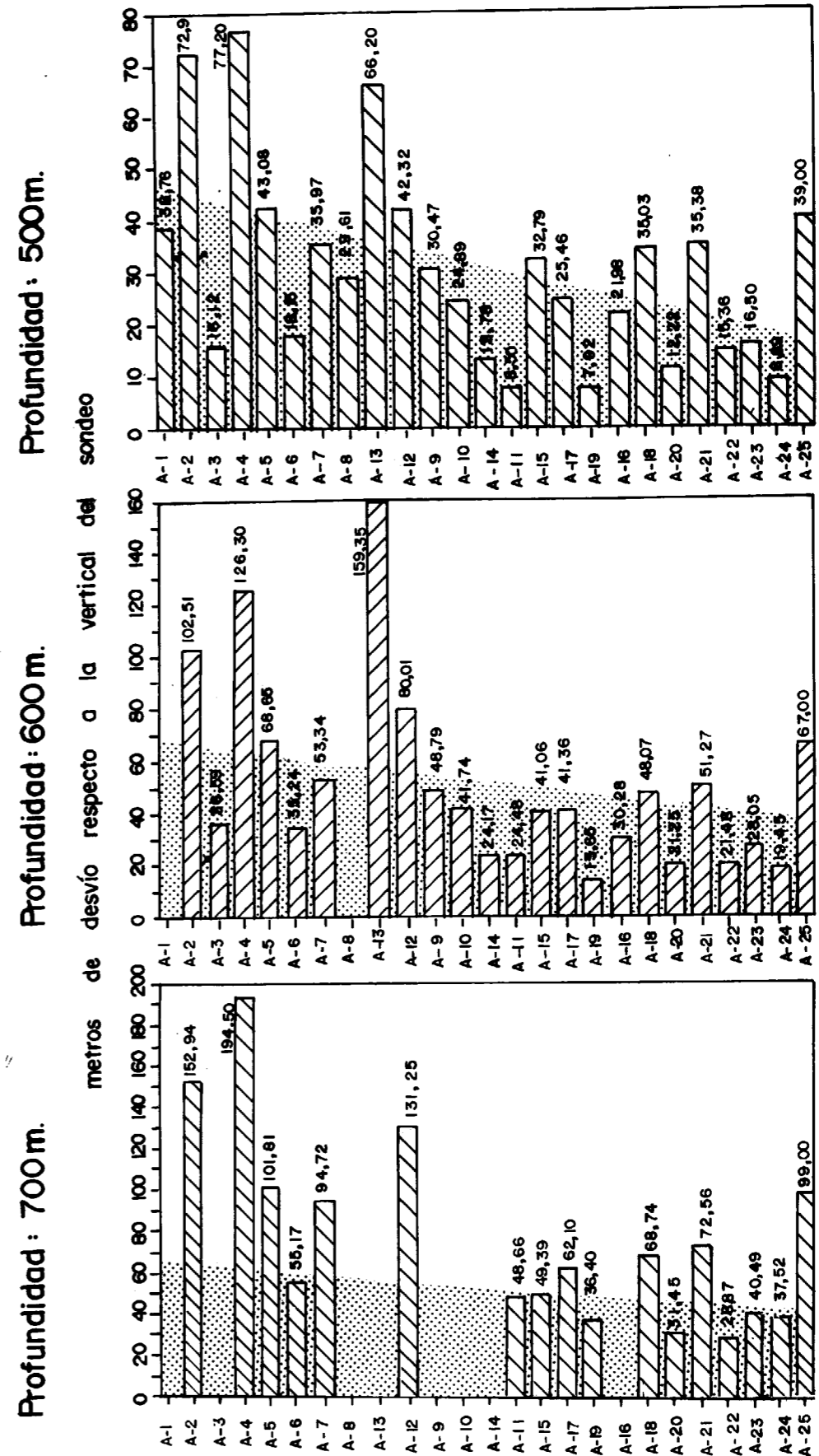


Figura 8.—Desvíos alcanzados a distintas profundidades.

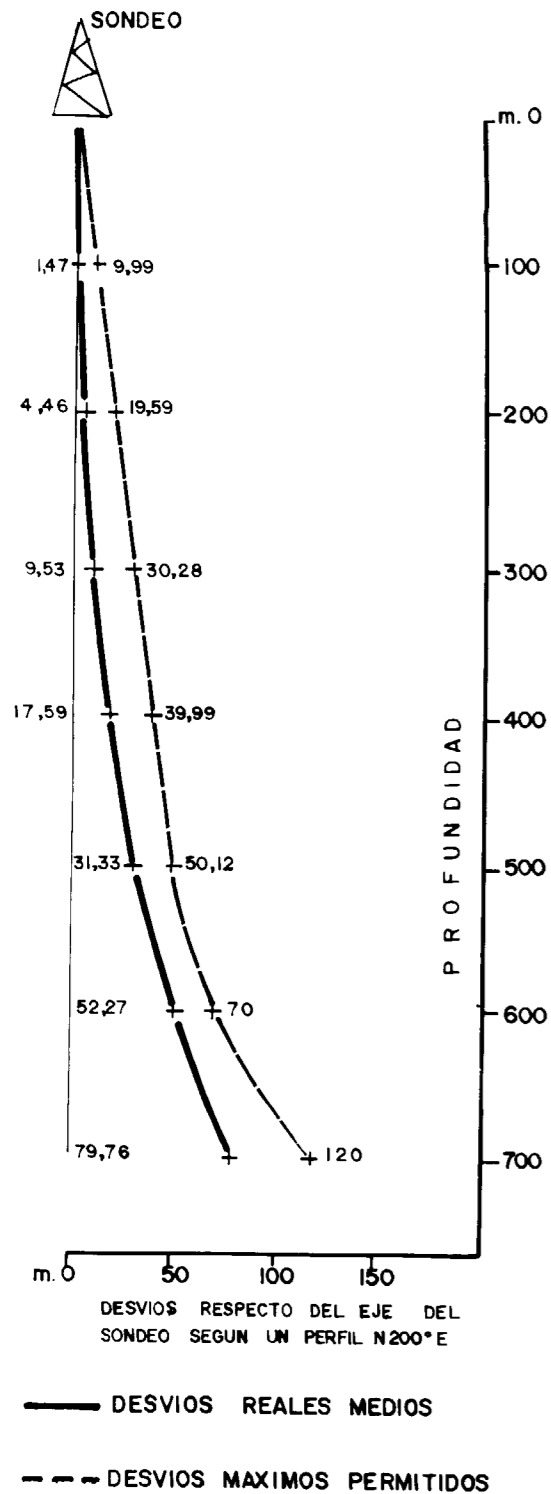


Figura 9.—Desvíos reales medios y desvíos máximos permitidos.

la dirección e inclinación del nuevo pozo a la salida de la cuña. Caso de que la inclinación y/o la dirección no sea la adecuada, se puede actuar girando la tubería desde la superficie los grados necesarios. Estas cuñas se fabrican con 1° 30' en una longitud de 3 m y han de funcionar apoyadas.

Durante la fase de evaluación del yacimiento, la experiencia adquirida con las cuñas permitirá aprovechar la caña de un sondeo para realizar más de un impacto sobre la masa de sulfuros.

2.5. Material de salvamento

Aparte del material de «pesca» y salvamento convencional, que normalmente se necesita en cada campaña de perforación (distintos tipos de machos, arpones, etc.), se ha usado en esta campaña de investigación este otro material adicional:

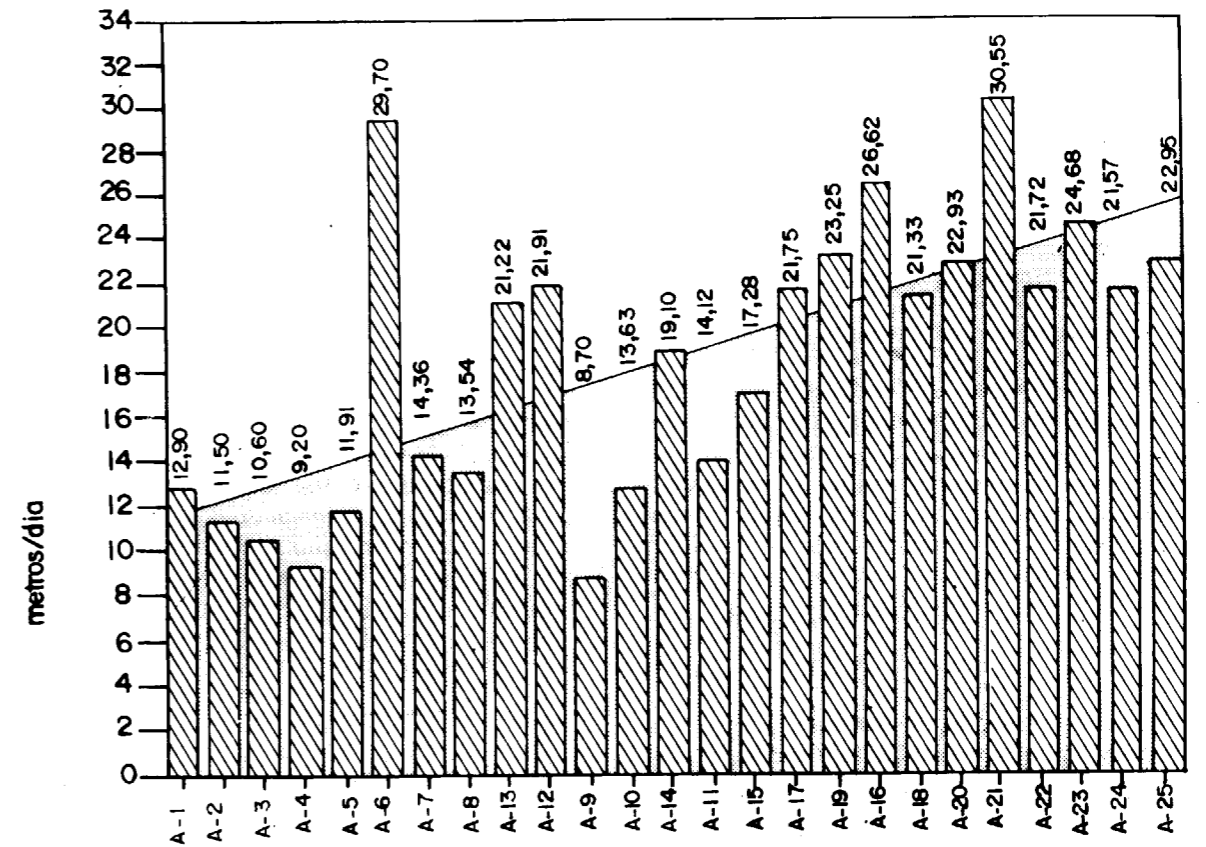
- Cortatubos.
- Obturadores.
- Machos especiales.

El uso de cortatubos ha sido necesario para recuperar la mayor cantidad posible de tubería de revestimiento de Ø NQ. Se han utilizado cortatubos de cuchillas retráctiles que abren con presión de agua de 10 Kg/cm², habiéndose dado el caso de no poder cerrarlas y tener que romperlas una vez cumplida su misión.

El uso de obturadores para recuperar tubería de P.V.C. en sondeos ya ejecutados (que se intentaban reperforar) y que por diferentes motivos se había desprendido y caído al fondo del pozo, no ha sido eficaz por el escaso margen existente entre los diámetros del P.V.C. y de BQ. Así, el «macarrón» por el que se inyecta fluido a presión para hinchar el obturador se rompía con frecuencia por los pellizcos producidos por la similitud de ambos diámetros.

En cambio fue mejor el uso de un macho especial ideado para la recuperación del P.V.C. El ingenio consistía en la utilización de la parte superior de un tubo portatestigos soldada a una varilla de BQ, que se introducía por dentro del P.V.C. que se quería sacar. Una vez atravesado el P.V.C., al salir del mismo los muelles hacían abrir unas aletas y al tirar del mecanismo se arrastraba todo el P.V.C. hacia la superficie.

RENDIMIENTOS MEDIOS OBTENIDOS POR DIA DE TRABAJO, CON SISTEMA CONVENCIONAL



RENDIMIENTOS MEDIOS TOTALES OBTENIDOS POR DIA DE TRABAJO

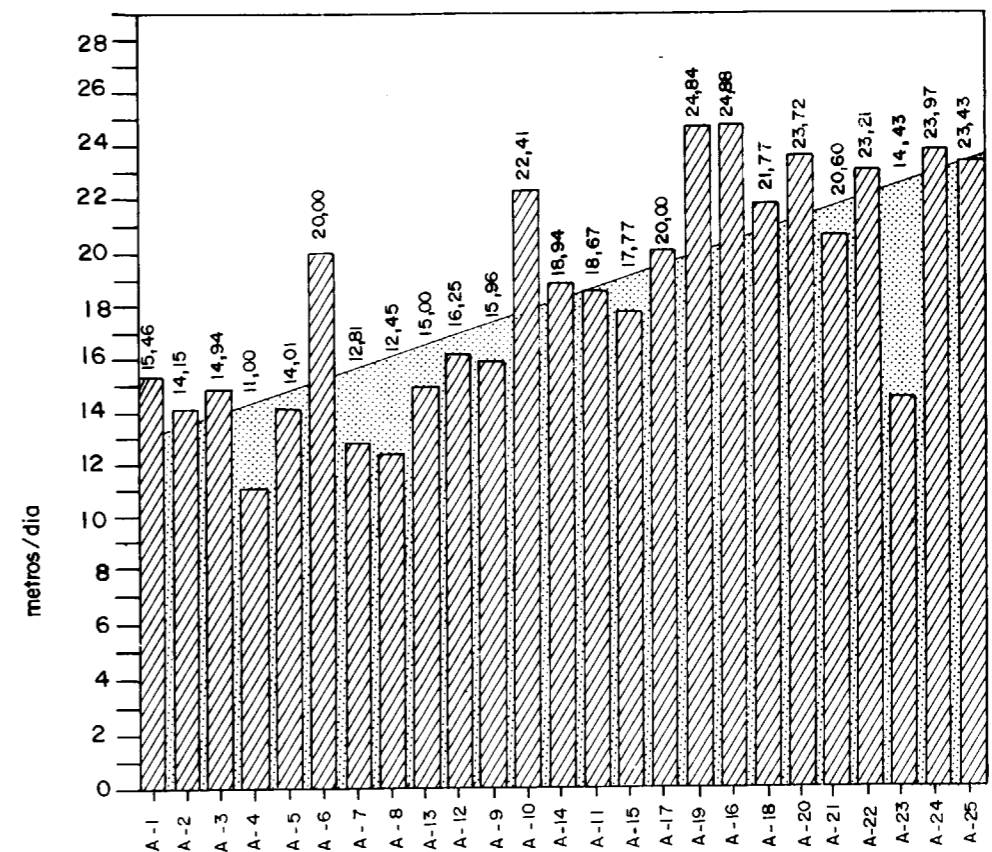


Figura 10.—Rendimientos medios por día de trabajo.

2.6. Rendimientos

En la figura 10 se observa que los rendimientos de los últimos sondeos han mejorado notablemente respecto a los primeros. Se hace notar que los rendimientos se encuentran contabilizados desde el primero al último día de perforación, incluidos los días sin avance alguno por motivos varios.

Un análisis individual de cada sondeo revela que, aparte de que los avances con perforación convencional sean ligeramente más bajos que con wire line, la mayor pérdida se produce a profundidades superiores a 500 m, donde un simple cambio de corona implica sacar la maniobra y volverla a introducir, con una pérdida en avance de los dos relevos implicados.

2.7. Operaciones de fin de sondeo: Testificaciones y entubaciones con P.V.C.

En el momento de finalizar un sondeo es conveniente que el equipo de testificación esté presente en la obra, ya que se necesitan realizar algunas testificaciones antes de extraer la tubería de revestimiento. Se introduce en primer lugar la sonda eléctrica para testificar desde el fondo hacia la superficie, pero al ser los sondeos profundos y por motivos de seguridad la testificación eléctrica se debe realizar en dos fases: la primera en el tramo perforado con BQ, en pozo descubierto, y la segunda en el resto del sondeo habiendo sacado previamente la tubería de NQ. Como la parte superior entubada con 84 mm, 98 mm y 113 mm no conviene tocarla, no se testifica eléctricamente esta zona.

Luego se emplea la sonda sónica (por su diámetro no se puede introducir en el tramo BQ), testificando el resto del sondeo aprovechando que se ha sacado la tubería de NQ.

La testificación con la sonda de neutrones y/o con la sonda combinada se puede ejecutar en dos momentos distintos según los casos. Si el sondeo finaliza con diámetro BQ, la testificación se debe realizar una vez haya concluido la primera fase de la testificación eléctrica y desde el fondo hasta la superficie, con lo que el pozo permanece protegido con la tubería de revestimiento, que no afecta a las medidas obtenidas. Si el sondeo finaliza con diámetro NQ, la testi-

ficación se puede realizar por el interior de la tubería de revestimiento por motivos de seguridad, retirando posteriormente la tubería de NQ y procediendo luego a la testificación eléctrica.

En caso excepcional de que la tubería de NQ se encontrara agarrada y no se pudiera sacar, es conveniente —debido a la cantidad de metros introducidos— usar un cortatubos para recuperar la mayor cantidad posible de la misma.

Seguidamente se procede a la introducción de la tubería de P.V.C. Se ha utilizado en esta investigación P.V.C. de 63,5 mm de Ø exterior, 59,2 mm de Ø interior y 6 atmósferas de presión, uniendo un tubo a otro con seis remaches de aluminio de 4 x 6 mm (fig. 11) El tiempo de introducción del P.V.C. a 700 m de profundidad

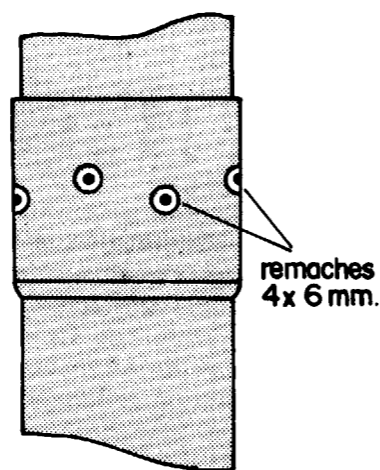
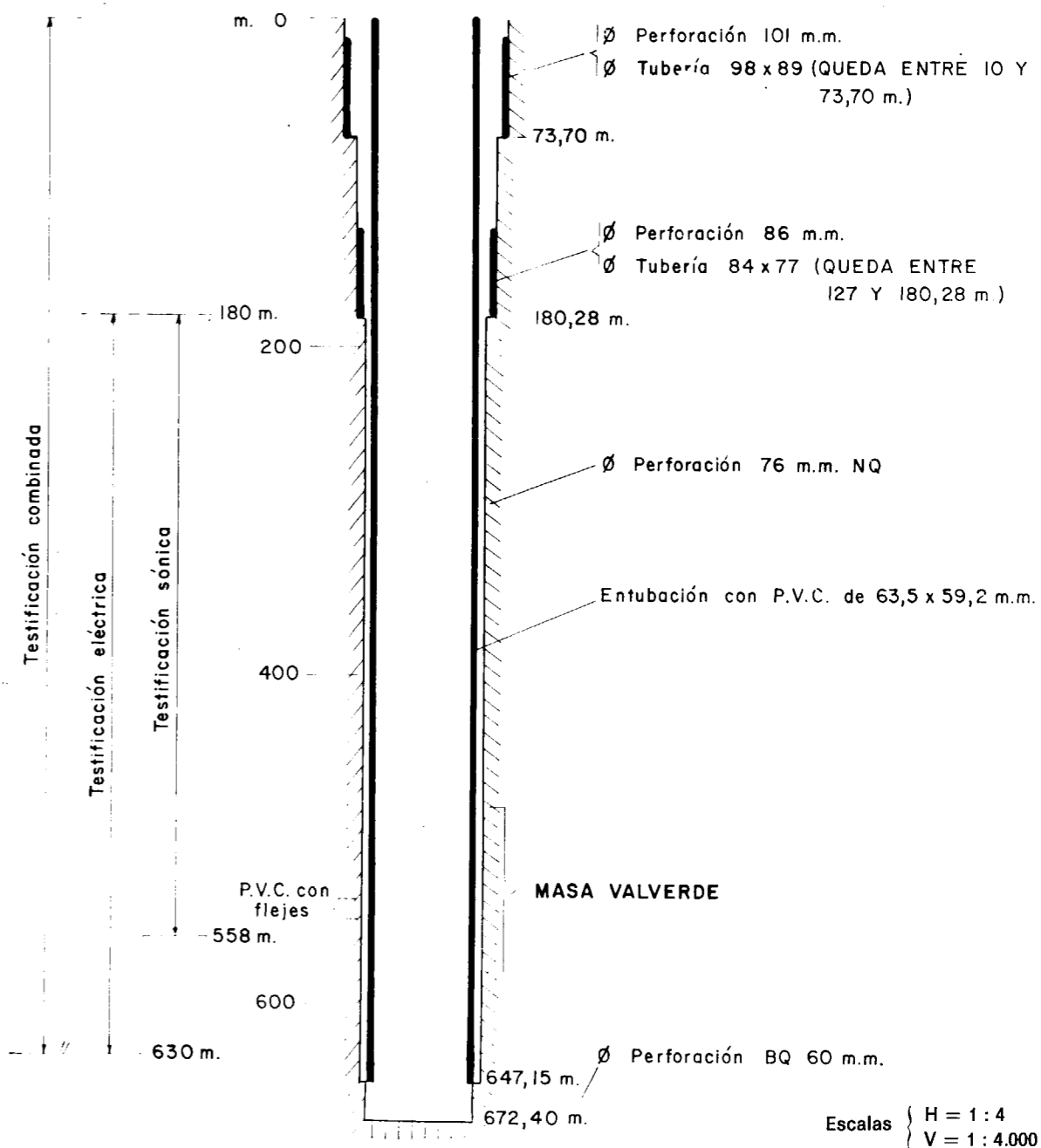


Figura 11.—Sistema de unión de los tubos de P.V.C.

suele ser de tres a cuatro horas. Por último se procede a la extracción de la tubería de revestimiento (84 mm, 98 mm y 113 mm), abandonando en el pozo la que no salga por estar desenroscada o parta durante la operación (fig. 12).

En sondeos donde no se ha perforado con BQ se introduce el P.V.C. con un primer tubo provisto de un tapón de madera de bajo índice de hinchamiento y de forma cónica para ayudar a apartar cualquier pequeño obstáculo que se halle en el pozo. Si se ha sondeado con BQ se baja el P.V.C. sin protección en la boca, al objeto de poder utilizar todo el pozo en futuros trabajos geofísicos.



SONDEO A-3 (AUTONOMIA)
Figura 12.—Entubaciones y testificaciones realizadas en el pozo.

Si por determinadas causas, el P.V.C. no baja a partir de una cierta profundidad, se procede a sacar los tubos introducidos (con el sistema de remaches se pueden recuperar fácilmente) y a limpiar el sondeo con el varillaje de hierro. En el caso de que el P.V.C. no bajara de nuevo, exis-

te la posibilidad de introducir P.V.C. de 50 mm por 45,2 mm y 10 atmósferas de presión por dentro de la tubería de NQ que habría de ser introducida previamente (la única sonda geofísica que se podría introducir en este caso, sería la de Tomografía axial de 32 mm de Ø).

Una de las modificaciones realizadas en esta campaña fue combinar el P.V.C. con un sistema de flejes acerados durante su utilización en una investigación de Puesta a Masa. En este tipo de testificación la duración de la prueba es de varios días y el pozo no debe quedar al descubierto. Como se necesita tener contacto con la masa de sulfuros, al tener el pozo protegido con P.V.C. no existiría tal contacto, pero si el P.V.C. lleva el

sistema de flejes el sondeo no sólo está protegido sino que además la masa hace contacto. El ingenio se puede apreciar en la figura 13. Su introducción no ofrece dificultad ya que los tubos de P.V.C., previamente preparados, se intercalan con los restantes tubos a la profundidad que se estime hacer contacto con la masa; en el momento de introducir los tubos de P.V.C. hay que poner unos hilos de cobre de 6 mm de grosor

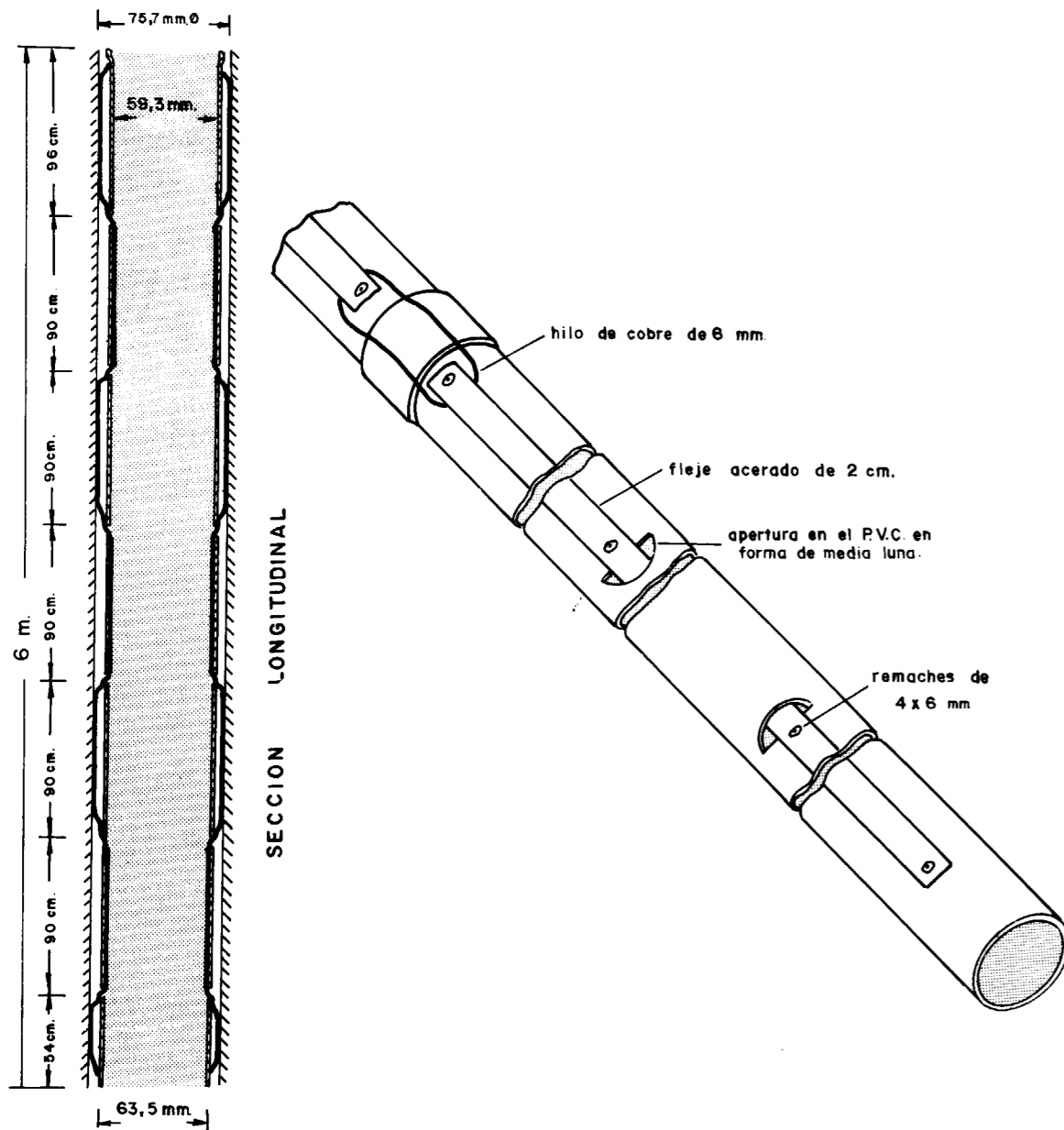


Figura 13.—Disposición de los flejes en el P.V.C. y corte longitudinal por la caña del pozo

para conectar los flejes de un tubo con los del siguiente.

Finalizadas todas estas operaciones se procede a proteger la boca del sondeo con una arqueta metálica, anclada y cerrada con un candado. La tubería de 113 m se deja para proteger la boca del sondeo. De esta forma queda el pozo disponible para futuras investigaciones.

3. TESTIFICACIONES GEOFISICAS

Las testificaciones geofísicas realizadas en los distintos sondeos han sido de dos tipos: unas de tipo paramétrico, midiendo los parámetros físicos de la formación atravesada (densidad, resistividad, porosidad, velocidad de propagación del sonido, etc.) con las diferentes sondas que se introducen en el sondeo; y otras de tipo combinado, para detectar cuerpos conductores en el entorno del sondeo, interpretando las medidas obtenidas entre sondeo-superficie y sondeo-sondeo.

3.1. Testificaciones paramétricas. Características de las sondas

Se han empleado regularmente cuatro tipos de sondas en las testificaciones paramétricas:

- Testificación con la sonda de neutrones: Esta sonda lleva una fuente de Americio 241 con una actividad de 1 Curio y realiza dos medidas, una de largo espaciado con medida cuantitativa de porosidad y otra de corto espaciado de mejor resolución de potencia. Se usa para correlacionar litologías (fig. 14).
- Testificación con la sonda eléctrica focalizada: Permite conocer la resistividad real de la formación al estar calibrada en Ω m y utilizar un dispositivo electródico de pequeña longitud (fig. 14).
- Testificación con la sonda sónica: Mide el tiempo que tardan las ondas del sonido en atravesar la formación, es por tanto una medida de compactación y sus resultados son útiles a efecto de uso de coronas en los sondeos y del comportamiento geomecánico del yacimiento. Utiliza cuatro canales, el primero

tiene buena resolución vertical; el segundo buena resolución para diámetros pequeños; el tercero es de largo espaciado y mide el incremento de tiempo o bien su inversa (la velocidad de propagación del sonido en la formación); el cuarto es muy útil para estudiar fracturación (fig. 14).

— Testificación con la sonda combinada (gamma-densidad-calibre): Esta sonda mide tres parámetros (fig. 15):

- La radiactividad natural del terreno (rayos gamma naturales), expresada en unidades API internacionales.
- La densidad de la formación, utilizando como emisor una fuente de Cesio 137 de 100 m Ci y dos receptores a distintos espaciados. El largo espaciado mide la densidad real de la formación, al convertir las cuentas/segundo a gr/cm^3 en función del diámetro del sondeo. El corto espaciado es útil para situar los contactos entre las distintas densidades
- El calibre del sondeo, que mide variaciones de diámetro entre 3" y 12"

3.2. Conclusiones obtenidas con las testificaciones paramétricas

Las principales conclusiones obtenidas en la zona investigada son:

- Sonda de neutrones: Util para la correlación, al definir muy bien los paquetes pizarrosos, tobáceos y lávicos. Debe emplearse en caso de realizar sondeos destructivos.
- Sonda eléctrica focalizada: Se ha constatado el carácter conductor de la formación pizarrosa en la base del Culm (2 a 10 Ω m) a techo de la masa, que produce un efecto de pantalla en la respuesta de otros métodos eléctricos de superficie (sondeos eléctricos verticales, sondeos magnetotéluricos, puesta a masa), limitando por este motivo el uso de los mismos. También indica muy bien los niveles de sulfuros complejos dentro de la masa (por la presencia de blenda) aunque los niveles sean inferiores a 10 cm (fig. 16).
- Sonda sónica: De los valores obtenidos, 180-200 μ seg/m en las pizarras, 170-188 μ

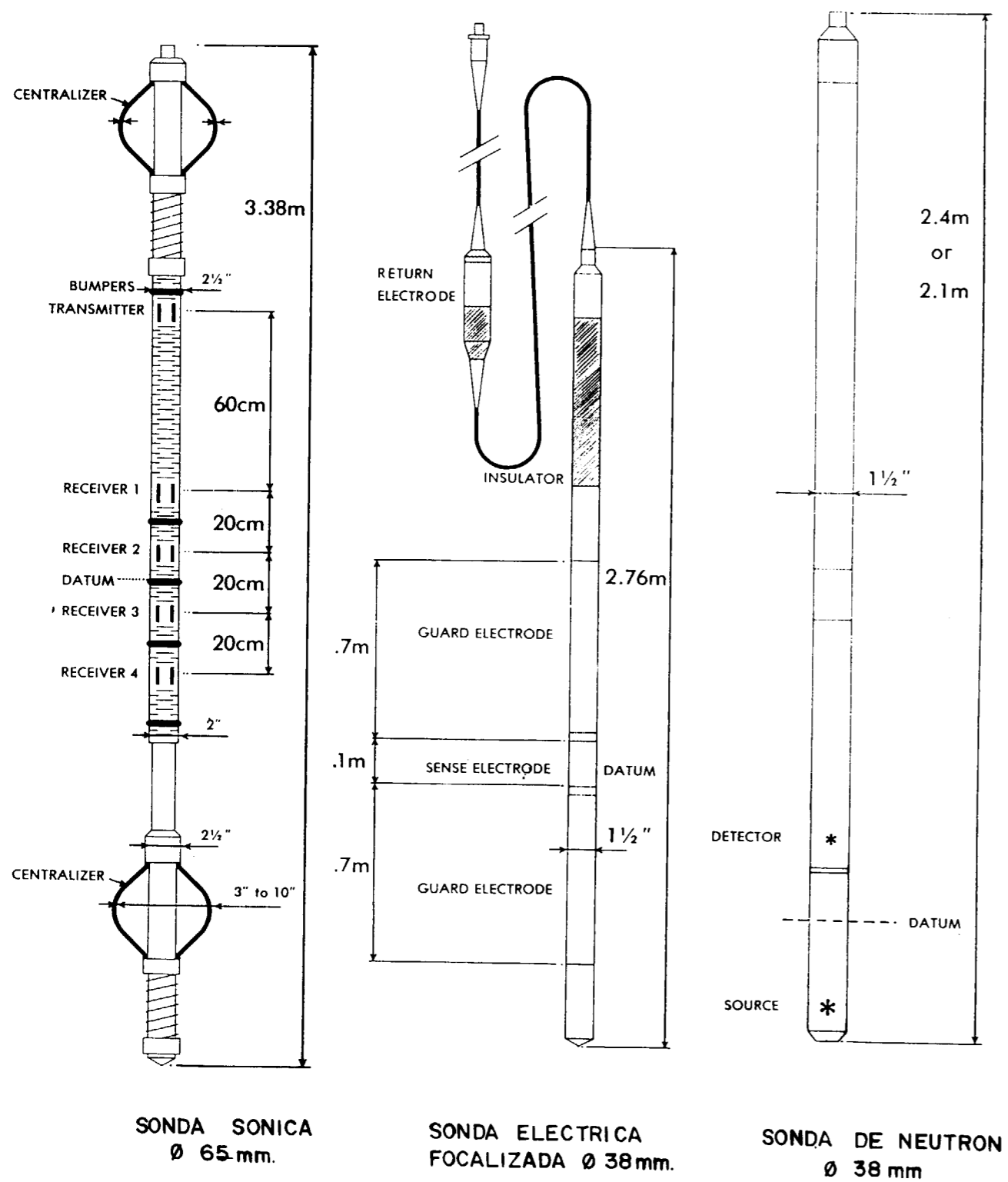


Figura 14.—Distintos tipos de sondas.

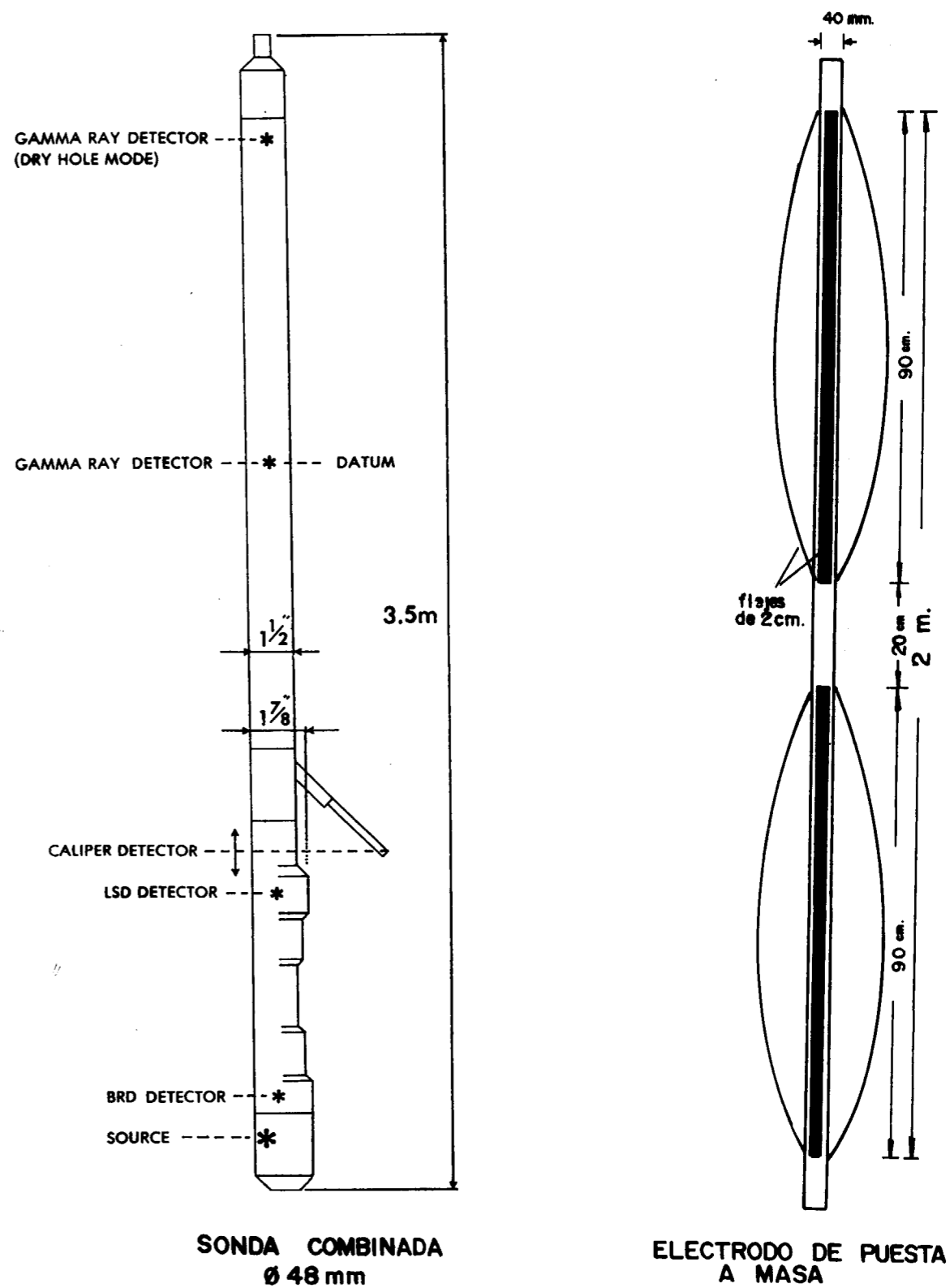


Figura 15.—Sonda combinada y electrodo de puesta a masa con el diseño del sistema de flejes.

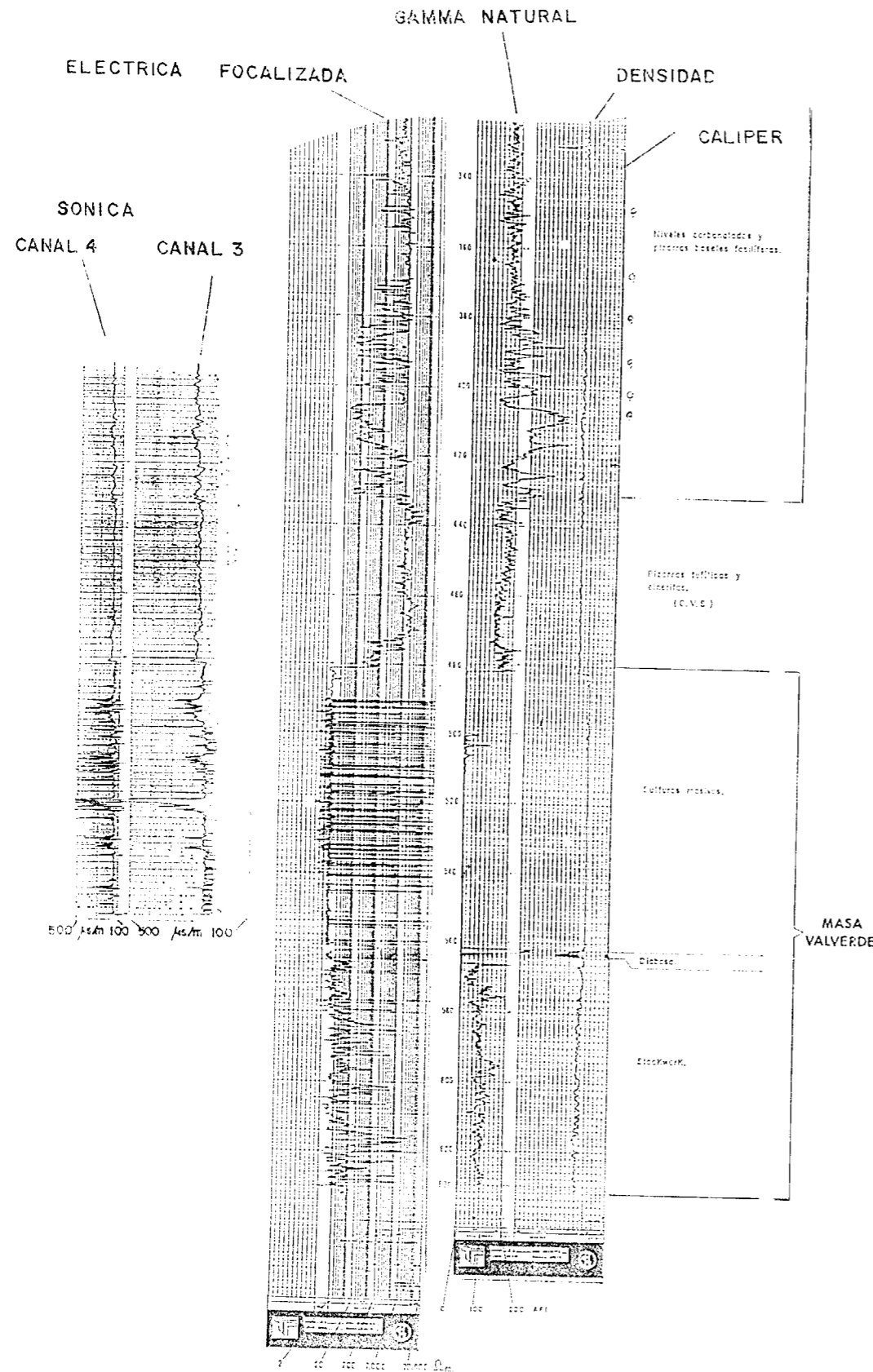


Figura 16.—Algunas diagrafiyas de las testificaciones paramétricas

seg/m en las rocas volcánicas y $140 \mu \text{ seg/m}$ en la masa de sulfuros, se deduce la diferencia de compactación existente entre las distintas litologías. Define muy bien las zonas de fracturación (fig. 16).

- Sonda combinada: Respecto a la medida de rayos gamma naturales, la presencia de restos orgánicos en las pizarras basales del Culm, con el consiguiente aumento de radiactividad, supone un buen nivel guía de correlación. Confirma además la casi nula radiactividad de la masa de sulfuros, la existencia de zonas estériles dentro de ella y define muy bien el stockwork. En cuanto a la densidad, una vez corregida con los valores del diámetro del sondeo suministrados por el calibre, aporta datos de importancia para la evaluación de la anomalía gravimétrica, como el aumento de densidad de las pizarras en profundidad ($2,62$ a $2,78 \text{ gr/cm}^3$), los valores elevados del stockwork ($3,2 \text{ gr/cm}^3$) y de la mineralización (fig. 16).

3.3. Testificaciones combinadas. Características de las sondas

Se han utilizado tres modalidades de testificaciones combinadas, dos del tipo sondeo-superficie y una del tipo sondeo-sondeo:

- Puesta a masa: Para poder utilizar este método es necesario que el sondeo haya cortado una masa de sulfuros. Un electrodo en el «infinito» y otro en el cuerpo mineralizado dentro del sondeo (fig. 15), constituyen el circuito de corriente que energiza la masa, midiendo la diferencia de potencial sobre los perfiles de superficie. Este conjunto de lecturas nos permite dibujar las líneas equipotenciales producidas. Los parámetros de una de las puestas a masa realizadas son: 110Ω de resistencia total del circuito de corriente, de los cuales 8Ω son de la toma a «tierra» situada a $5,5 \text{ Km}$ del sondeo, $93,5 \Omega$ la resistencia del cable propiamente dicho y $8,5 \Omega$ del contacto entre la masa de sulfuros y el sistema de flejes colocado en el P.V.C. Con un generador de 400 voltios se trabajó holgadamente para una intensidad fija de 2 amperios. Los valores de potencial en superficie

se midieron cada 50 m en perfiles separados 100 m .

- Melis: Se utiliza cuando el sondeo no corta mineralización pero debe estar próxima. En superficie se introduce corriente a través de un bucle de dimensiones $300 \times 300 \text{ m}$ (fig. 17) con un emisor alimentado por un grupo electrógeno de 2 a 3 KVA y se miden los valores del campo secundario creado en el cuerpo

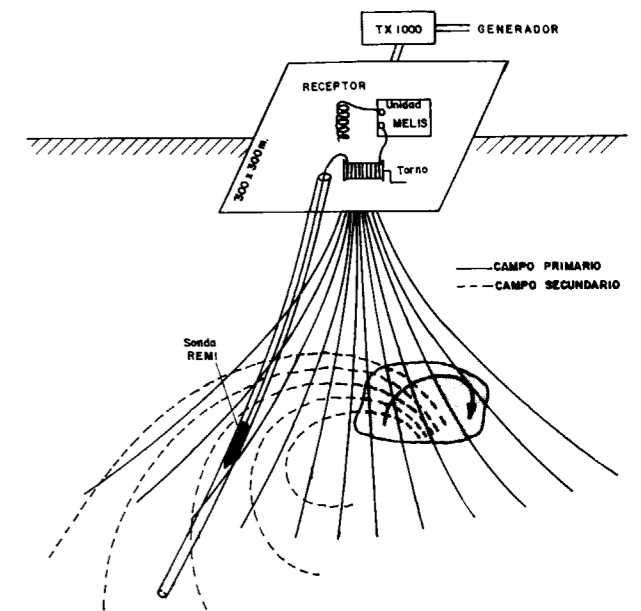


Figura 17.—Método electromagnético Melis entre sondeo y superficie.

conductor mediante dos receptores, uno situado en la cabeza del sondeo (mide el campo magnético en la superficie, normaliza las amplitudes y da la referencia de fase) y otro magnético (solenoides axial) situado dentro del sondeo (mide el campo magnético en el eje del sondeo). Las características de ambos receptores son análogas. Moviendo la posición del bucle respecto al sondeo se toman nuevas medidas que ayudarán mejor a definir la masa de sulfuros. Este método utiliza el dominio de frecuencias.

- Tomografía axial: Se ha utilizado en su moda-

lidad sondeo-sondeo (fig. 18) aunque es igualmente válido en sondeo-superficie y sondeo único. Se basa en la utilización de las ondas de radio para estudiar en puntos progresivamente distantes las peculiaridades del campo electromagnético producidas por un emisor. Del análisis de la distribución del campo se extraen conclusiones sobre la heterogeneidad eléctrica del terreno.

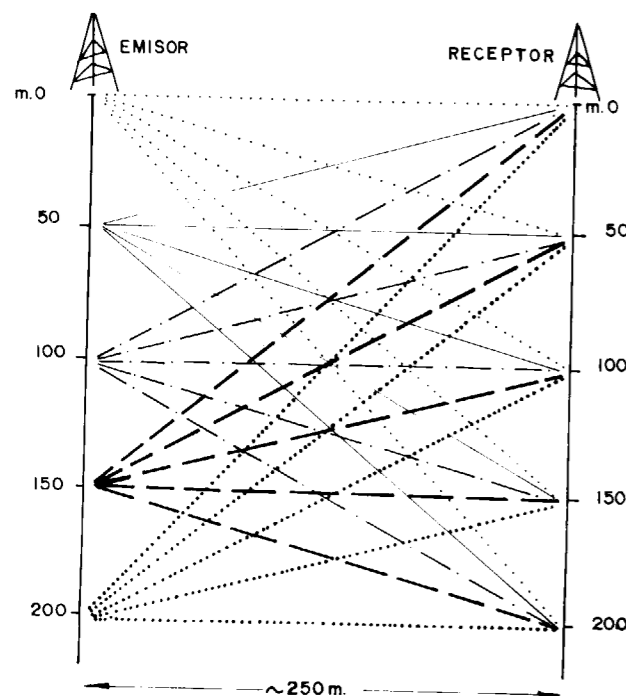


Figura 18.—Tomografía axial entre sondcos.

La toma de datos se realiza introduciendo en un sondeo el emisor a una determinada profundidad y en el otro sondeo un receptor que va tomando medidas a intervalos constantes. El emisor se va bajando también a intervalos constantes y con el receptor se vuelven a tomar medidas a las mismas profundidades anteriores. Tanto el receptor como el emisor tienen 11 frecuencias intercambiables, el rango de las mismas varía entre 0,02 y 36 MHz y en superficie se usa un lector analógico.

3.4. Conclusiones obtenidas con las testificaciones combinadas

Estas son las principales conclusiones obtenidas en la zona investigada:

- Puesta a masa: Aunque no ha definido ni la forma ni la profundidad de la masa de sulfuros (al afectar e influir el propio nivel portador o encajante que es conductor y las pizarras basales del Culm), sí que ha detectado bien las fracturas transversales (discontinuidades eléctricas) al cuerpo mineralizado.
- Electromagnético Melis: Válido cuando la distancia de la masa de sulfuros al sondeo está comprendido entre 50 y 150 m. Las distintas configuraciones de los bucles descentrados respecto al sondeo contribuyen a obtener información sobre la dirección del cuerpo mineralizado.
- Tomografía axial: De interés para sondeos separados una distancia entre 250 m y 500 m siempre que el conductor tenga potencia superior a 25 m. En distancias menores se pueden usar frecuencias más altas (156-312 KHz) con las que se podrían detectar incluso los contactos entre el cuerpo masivo y el stockwork. También se detectan los saltos de falla con un error de ± 15 m.

4. CONCLUSIONES GENERALES

La experiencia adquirida en seis años de investigación sobre la masa Valverde ha servido para marcar unas pautas en los métodos de perforación y en la utilización de las técnicas geofísicas en los sondeos.

En primer lugar, con el control sobre los diámetros de perforación, coronas, estabilizadores, lodos, etc., se consigue un desvío mínimo en los sondeos a estas profundidades y un mejor rendimiento en la perforación. Sería deseable el poder realizar un esfuerzo de mejora tecnológica por parte de las grandes empresas de fabricación de maquinaria de sondeos, para lograr abaratar los materiales de perforación a la vez que idear sistemas mixtos de perforación detritus-testigo, con los mismos desvíos que las testigueras; con ello se reducirían los costes de perforación y se

conseguirían abaratar los proyectos de investigación siempre tan faltos de recursos.

En segundo lugar, la utilización de las técnicas geofísicas en sondeos, bien en testificaciones paramétricas con las que se obtienen valores que sirven de apoyo a la geofísica de superficie, bien en testificaciones combinadas (sondeo-superficie o sondeo-sondeo) que ayudan no sólo a detectar la presencia de cuerpos conductores próximos a los sondeos sino como I + D para el desarrollo de nuevos equipos y metodología geofísica, se consideran fundamentales en la investigación.

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos dejar constancia de nuestro agradecimiento a Guillermo Ortuño*, Julio Faura*, Francisco Latorre*, Joaquín Armengot*, Mariano Araus*, Manuel del Campo*, Juan Pandolfi**, Emilio Heredia**, Gobain Ovejero**, Jaime Bellamy**, Pelayo Pizarro***, Tomás Trenado***, así como a Fernando Vázquez y Fernando Portugal

de la Dirección General de Minas, por su estímulo y ayuda durante la investigación.

REFERENCIAS

- B.P.B. Instruments (1983): *Wire line logging services*.
- FAURA MORON, J.; RAMIREZ COPEIRO DEL VILLAR, J., y ROSALES CALVO, F. (1991): *Bloques 25 y 26. Una experiencia de investigación de yacimientos ocultos bajo el Culm*. Simposium sobre los sulfuros complejos del suroeste de España. Club Español de la Minería. Sevilla.
- MAROTO ARANDA, S., y RAMIREZ COPEIRO DEL VILLAR, J. (1991): *Investigación de masas de sulfuros ocultas, sondeos previos y su utilización*. 4.ª Jornadas Mineras. Escuela Universitaria Politécnica de La Rábida (Huelva).
- RAMIREZ COPEIRO DEL VILLAR, J., y NAVARRO VAZQUEZ, D. (1982): *Memoria explicativa de la Hoja Geológica de Valverde del Camino* (núm. 960). I.G.M.E.
- RAMIREZ COPEIRO DEL VILLAR, J.; ROSALES CALVO, F.; MAROTO ARANDA, S., y BELLAMY, J. (1988): *Metodología de la investigación que ha dado lugar al descubrimiento de una nueva masa de sulfuros al SO de Valverde del Camino (Faja Pirítica de Huelva)*. Estado actual de conocimientos. VIII Congreso Internacional de Minería y Metalurgia. Oviedo.
- Y el uso de diversos informes internos de la E. N. Adaro de Investigaciones Mineras, S. A.
- Original recibido: Enero de 1993.
Original aceptado: Junio de 1993.

* E. N. Adaro.
** Sociedad Peñarroya.
*** Minas de Almadén y Arrayanes.

AGUAS SUBTERRANEAS

MINIPROGRAMAS (VI)

Variogramas y Kriging en hidrogeología

Por A. NAVARRO ALVARGONZALEZ (*)

RESUMEN

Se define el concepto de «variograma» para el análisis de variables regionalizadas en general, e hidrogeológicas en particular. Se identifican los posibles modelos de variogramas aplicables a magnitudes hidrogeológicas y se muestran algunos ejemplos de programas sencillos de ordenador donde se aplica esa metodología.

Se describe a continuación el «kriging», como una técnica para estimar valores de una variable regionalizada en función de una serie de observaciones disponibles. El método se basa en asignar a dichos datos unos pesos óptimos y en minimizar la varianza del error estimado, lo cual resulta en una estimación óptima no sesgada. Se dan programas sencillos de ordenador conjuntamente con algunos ejemplos del procedimiento.

Palabras clave: Acuífero, Hidrogeología, Geoestadística, Variograma, Kriging.

ABSTRACT

The concept of «variogram» is defined, for the analysis of regionalized variables in general, and for hydrogeology in particular. Diverse possible models for variograms related with hydrogeological magnitudes are identified, and several simple computer programs are described together with examples of this methodology.

Then, the kriging technique is described, as a way of estimate values of a regionalized variable dependent on a number of field observations of that variable. Kriging methodology is based on the best linear unbiased estimator, minimizing the error variance. Simple computer programs to perform the kriging calculations are described, with examples of this technique.

Key words: Aquifer, Hydrogeology, Geostatistics, Variogram, Kriging.

1. INTRODUCCION

El presente artículo, a semejanza del resto que le han precedido en esta serie llamada «Miniprogramas», no pretende mostrar programas para profesionales especializados en el tratamiento de los problemas que aborda. La intención general, por el contrario, es animar a los que nunca han tratado estos temas, o los consideran demasiado complicados, a entrar en ellos, por lo menos a enterarse de en qué consisten en el fondo, despojados de los accesorios con que se suelen engalanar cuando se ofrecen como productos de mercado. Al mismo tiempo, a través de esta comprensión básica de lo que ofrecen estos procedimientos, puede evitarse lo que ocurre con

cierta frecuencia en la vida profesional: el desconocimiento de los límites verdaderos de aplicabilidad del programa o de la metodología.

El uso de ordenadores en problemas de cálculo, y en hidrogeología especialmente, se presta mucho a juegos dudosos, que a la larga desprestigian la propia profesión. El hecho de que un procedimiento sea fácil de manejar y que sea llamativo y artísticamente atrayente no nos debe hacer olvidar que lo que se maneja es sólo un cálculo, un proceso matemático, y que por mucho que incluya gráficos y procesos visuales, si el desarrollo matemático y los parámetros introducidos no son los correctos físicamente, los resultados reales serán desechables.

Es un deber del profesional entender el funcionamiento del instrumento que maneja, y no fiar-

se ciegamente de su producto. El profesional ha de evitar las posturas extremas, es decir, ni negar en redondo la utilidad de estos procedimientos de ordenador, ni tomar cualquier resultado de ordenador como artículo de fe.

En las cinco entregas anteriores y también en la actual se da un repaso a la «raíz» del procedimiento, para tratar de entender qué es lo que exactamente hace, y lo que puede y no puede alcanzar, el proceso matemático de «modelización».

En las páginas que siguen se va a examinar una técnica que se ha comenzado a utilizar hace pocos años en hidrogeología y en otras ciencias de la tierra. Los orígenes son más antiguos. Se refieren a las actividades de prospección minera para valorar contenidos de mineral en yacimientos, especialmente de oro en Sudáfrica, desde donde se extendió a campos muy diversos. En conjunto se llama geoestadística.

1.1. Conceptos generales

Procurando emplear el lenguaje más sencillo posible, una observación o un conjunto de observaciones sobre un ente físico, se interpreta en estadística (KRIGE, 1981), entre todas las que se puedan haber hecho del mismo tipo, como «muestra» de un «universo» o «población». La observación se refiere generalmente a una característica (a veces numérica) que es la «variable» que se quiere estudiar, dentro de un entorno o espacio material.

El universo que se examina puede ser «continuo» o «discreto», y también «finito» o «infinito» en el sentido de que sea numerable o no: El «universo» formado por los habitantes de una ciudad, por ejemplo, es «finito» o «discreto» pues los habitantes pueden ser individualizados (numerados) todos ellos. En cambio, el nivel piezométrico de un acuífero en un momento dado forma un universo «infinito» o «continuo», ya que cada uno de los infinitos puntos del acuífero tiene su nivel piezométrico.

Una variable con una cierta estructuración, extendida a una región o superficie de terreno se llama «regionalizada». Si $F(x)$ designa el valor en un punto x de una característica del fenómeno, se dice que $F(x)$ es una «variable regionalizada», abreviadamente VR. Una VR no si-

que generalmente una ley matemática, pero tampoco es una variable aleatoria o de azar. Los distintos valores que se obtienen, mantienen un punto intermedio de coherencia entre sí, y eso es lo que califica este tipo de variable.

1.2. Muestreo de poblaciones o universos

La «probabilidad» de un suceso (p.e. que un nivel piezométrico esté entre los 145 y 146 metros sobre el nivel del mar) se define como la «frecuencia relativa» con la que el suceso ocurre en la población o universo. Cuando no se conoce, o no se puede conocer toda la población (p. e. por ser infinita) la frecuencia relativa de un suceso no se conoce exactamente y puede sólo aproximarse a partir de las muestras obtenidas. Evidentemente, la frecuencia relativa o probabilidad estimadas estarán más cerca de las verdaderas cuanto mayor tamaño tenga la muestra.

El muestreo (en sentido estadístico), es decir, la selección de parte de una población para representar a la población total es una práctica largo tiempo establecida. Cuando la población consiste en unidades que están bien «mezcladas» y que no difieren mucho unas de otras (p.e. los granos de maíz en un saco) cualquier muestreo, incluso pequeño, tiene todas las posibilidades de ser realmente «representativo» del total.

Cuando las unidades difieren entre sí y no están bien mezcladas, una muestra de pequeño tamaño puede diferir mucho de la población. El método de muestreo también puede contribuir a que la muestra sea más o menos representativa, introduciendo una «distorsión o sesgo» (bias). El «sesgo» a veces no puede evitarse aumentando el tamaño de la muestra, por lo que un mal método de muestreo puede ser especialmente peligroso. Incluso cuando la distorsión se elimina, todavía hay errores inevitables de muestreo debidos a diferencias entre los miembros de la población incluidos en la muestra y los no incluidos. En resumen, los «errores de muestreo» dependen del tamaño de la muestra, de la variabilidad del material, de la estructura de esa variabilidad, del procedimiento de muestreo y del método de calcular los resultados.

Una «muestra al azar» (random sample) se obtiene cuando la obtención de cada unidad de la

(*) ITGE.

muestra se hace de tal modo que cualquier individuo del universo tenga igual probabilidad de ser incluido. Una «muestra al azar estratificada» (stratified random sample) se tiene cuando se divide el universo en clases, con unidades dentro de cada clase lo más parecidas posibles y luego se muestrea cada clase al azar.

1.3. Parámetros estadísticos

Los más frecuentemente utilizados son:

MEDIA = Se llama media aritmética de una población, y corresponde al centro de gravedad de la distribución de frecuencias, al valor

$$m(F) = (1/n) * [SUMA(x=1...n) de F(x)] \quad [1]$$

donde $F(x)$ incluye a TODOS los miembros de la población o universo. Según casos, «n» es un número finito, o bien $n = \infty$. En este último caso, puede ocurrir que no pueda conocerse la media con exactitud y haya que conformarse con una estimación de la misma. También ocurre lo mismo en el caso de ser universo discreto, cuando por razones físicas la muestra no pueda extenderse a todos los individuos.

VARIANZA = La varianza de una función $F(x)$, designada corrientemente como «sigma²», o también «Var», es la medida más importante de dispersión estadística y nos da idea de lo diferentes que son los valores individuales de una función regionalizada respecto a su valor medio $m(F)$. Tiene la expresión

$$\begin{aligned} \text{Var}(F) &= \sigma^2(F) = \\ &= \text{SUMA}(x=1...n) p(F) * [F(x) - m(F)]^2 \quad [2] \end{aligned}$$

en donde $p(F)$ es la probabilidad de que ocurra $F(x)$. Si el muestreo se reduce a «n» individuos igualmente probables, $p(F) = 1/n$, y la fórmula anterior toma la forma más usual:

$$\begin{aligned} \text{Var} &= \sigma^2 = \\ &= (1/n) \text{SUMA}(x=1...n) [F(x) - m(F)]^2 \quad [3] \end{aligned}$$

Siempre en el caso de una sola función, su varianza puede expresarse además de otra forma, a menudo útil. Basándose en la definición de media «m» se deduce que:

$$\begin{aligned} \text{SUMA} [F(x) - m]^2 &= \text{SUMA} F(x)^2 - \\ &- 2 * m * \text{SUMA} F(x) + n * m^2 = \\ &= \text{SUMA} F(x)^2 - 2 * m * (n * m) + n * m^2 = \\ &= \text{SUMA} F(x)^2 - n * m^2 = \text{SUMA} F(x)^2 - \text{SUMA} m^2 \end{aligned}$$

por lo que la varianza puede expresarse también como

$$\begin{aligned} \text{Var}(F) &= \sigma^2(F) = \\ &= (1/n) * \text{SUMA}(x=1...n) [F(x)^2 - m^2] \quad [4] \end{aligned}$$

En el caso de dos funciones que se comparan, $F(x)$ y $G(x)$, o de la comparación de dos valores, en sitios diferentes (x y $x+h$), de una misma función, $F(x)$ y $F(x+h)$, su varianza se define como el promedio de sus desviaciones cuadráticas respecto a lo que sería su identidad: [$F(x) = G(x)$, o $F(x) = F(x+h)$]:

$$\begin{aligned} \text{Var}(F, G) &= \sigma^2(F, G) = \\ &= (1/2n) \text{SUMA}(x=1...n) [F(x) - G(x)]^2 \quad [5] \end{aligned}$$

Si cada uno de los pares de valores se toma como un punto sobre un plano cartesiano, esa desviación representaría (JOURNEL, A. G., 1988) el cuadrado de la distancia de ese punto a una línea bisectriz en la que $F(x) = G(x)$ y $F(x) = F(x+h)$. En efecto, el cuadrado de la distancia del punto a la bisectriz es:

$$\begin{aligned} d^2 &= (1/2) [F(x) - G(x)]^2 \\ \text{ó } d^2 &= (1/2) [F(x) - F(x+h)]^2 \quad [6] \end{aligned}$$

COVARIANZA = Se llama «covarianza» («Cov» o simplemente «C») de dos funciones, F, G , o de dos valores de una misma función $F(x)$, $G = F(x+h)$ a la expresión:

$$\begin{aligned} \text{Cov}(F, G) &= C(F, G) = (1/n) * \text{SUMA} \\ &[F(x) * G(x) - m(F) * m(G)] \quad [7] \end{aligned}$$

que también puede expresarse (en virtud de que por definición de media, $(1/n) \text{SUMA} F(x) * m(G) = m(F) * m(G) = (1/n) \text{SUMA} G(x) * m(F)$) como:

$$\begin{aligned} \text{Cov}(F, G) &= (1/n) * \text{SUMA} \\ &[F(x) - m(F)] * [G(x) - m(G)] \quad [8] \end{aligned}$$

Según esto, la covarianza de una función consigo misma es su varianza:

$$\text{Cov}(F, F) = \text{Var}(F) \quad [9]$$

RELACION ENTRE VARIANZA Y COVARIANZA DE DOS FUNCIONES = Hay una expresión estadística clásica importante, que se deduce de la propia formulación en sumatorias de varianza y covarianza. Si se tienen dos funciones F, G o dos valores de una misma función $F(x), G = F(x+h)$, la varianza de la DIFERENCIA entre valores de esas funciones, $\text{Var}(F-G)$ se puede expresar así:

$$\begin{aligned} \text{Var}(F-G) &= \text{VAR}(F) + \text{VAR}(G) + \\ &+ [m(F) - m(G)] - 2 * C(F, G) \quad [10] \end{aligned}$$

DESVIACION TIPO = Es la raíz cuadrada de la varianza

$$s(F) = \text{SQR}[\text{var}(F)] \quad [11]$$

CORRELACION = Con frecuencia, se tiene que tratar con dos funciones variables aleatorias o regionalizadas diferentes, F, G , e interesa conocer el «grado de relación mutua» o «correlación» que pueden tener. Esta correlación, «ro», se expresa por:

$$\begin{aligned} \text{ro}(F, G) &= (1/n) * \text{SIGMA} \{ [F(x) - m(F)] / s(F) \} * \\ &* \{ [G(x) - m(G)] / s(G) \} \quad [12] \end{aligned}$$

donde ro = coeficiente de correlación.

$F(x), G(x)$ = funciones (variables) dependientes del punto x .

n = número de pares de muestras comparados.

$m(F), m(G)$ = medias de $F(x), G(x)$.

$s(F), s(G)$ = desviaciones tipo de $F(x), G(x)$.

De la definición de ro y de la de Cov [8], se deduce también que el coeficiente de correlación entre $F(x), G(x)$, puede expresarse:

$$\text{ro}(F, G) = \text{Cov}(F, G) / [s(F) * s(G)] \quad [13]$$

2. APLICACIONES DE LA GEOESTADISTICA

Aunque son muchas, únicamente se hablará en lo que sigue de dos problemas bien definidos, que se aplican con frecuencia a la hidrogeología.

a) Estudiar la estructura espacial de una función regionalizada.

La distribución, dentro de un cierto espacio, de una función regionalizada puede estudiarse de muchas maneras. La que se elige ahora consiste en tomar varios pares de valores de la función, en puntos separados entre sí por un vector libre «h», y hallar y analizar la varianza de su diferencia. El resultado gráfico de esta operación es una curva llamada «variograma» (MATHERON, 1971, y otros), la cual relaciona los módulos de los vectores «h» con las varianzas indicadas.

b) Inferir el valor de la función en un punto en base a los datos limitados del muestreo.

La geoestadística sirve también para medir la precisión de una predicción o estimación hecha a través de datos fragmentarios, es decir, debe facilitar una teoría de la estimación. Esto se hace a través del «KRIGING». En su expresión más simple (WEBSTER y OLIVER, 1990) es sólo un método de promedios ponderados de valores de una función en un entorno.

Estos dos objetivos están ligados por una sola operación: un muestreo de campo, que proporcionará un mayor o menor error en la estimación según, entre otros factores, la mayor o menor irregularidad o discontinuidad de la función regionalizada considerada y las condiciones del muestreo, tal como se mencionó más arriba.

3. VARIOGRAMAS

3.1. Introducción

Si tenemos pares de valores de una función $F(x)$ en puntos distintos, x y $x+h$, el valor de la expresión

$$\begin{aligned} (1/n) \text{SUMA}(x=1...n) [F(x) - F(x+h)]^2 &= \\ &= 2\gamma(h) \quad [14] \end{aligned}$$

se denomina « $2\gamma(h)$ » o «variograma», y es equivalente a la «varianza» [5] de las funciones. La mitad, « $\gamma(h)$ », se denomina «semi-variograma» y es equivalente a la semi-varianza entre las funciones ($F(x), G=F(x+h)$). Puede producir confusión el que ambos nombres, varianza y variograma, comiencen por «Var». Baste recordar que la función variograma, $2\gamma(h)$, corresponde a la varianza «de los pares de funciones», $F(x), G=F(x+h)$.

Siendo F, G variables regionales estructuradas, tienen (en teoría, y en mayor o menor grado en la práctica) la propiedad llamada «estacionariedad», que consiste en que la diferencia no depende de los puntos «x», sino de las distancias «h». Por ello se escribe gamma como función de «h», $\gamma(h)$. Para cada conjunto de funciones F, G, tendremos una sola función variograma, dependiendo de la separación «h» entre los puntos x.

Una vez elegido el entorno y la variable regional, F, se identifican una serie de pares de puntos «x» sobre el terreno, separados «h» (en distancia y dirección), y se anotan los valores de las funciones $F(x), F(x+h)$ en cada uno de estos pares de sitios. Se calcula la varianza de las diferencias entre pares de funciones $F(x), F(x+h)$, de este conjunto de valores, tal como se indica en [14] y el resultado es un valor para 2γ . Se repite la operación con un vector «h» diferente, y se obtiene otro valor para 2γ . Volviendo a realizar la operación un determinado número de veces se tiene un conjunto de «hs» y de « 2γ s», que puede representarse gráficamente, en abscisas los valores de las «h» (su módulo), y en ordenadas los valores de las « 2γ s». La curva así obtenida se llama «VARIograma». Por descontado que la curva que relaciona las «hs» y las « γ s» se llama consecuentemente «semi-variograma». Ya se ha indicado que a veces se confunden ambas denominaciones.

3.2. Clases

El variograma, como familia de funciones de un fenómeno especial, puede tener orígenes diferentes. Según cómo se obtenga se califica de:

— «Observado» o «experimental», que es el construido a partir del muestreo de campo y por tanto el único realmente conocido.

- «Verdadero» o real del dominio físico, siempre desconocido (pues se supone este dominio físico infinito o muy numeroso).
- «Teórico» de referencia. Hay modelos teóricos de funciones que se ajustan mejor o peor al variograma experimental u observado, de forma que a partir del modelo teórico se pueden hacer inferencias sobre el variograma verdadero.

3.3. Variograma experimental

Para establecer el llamado «variograma» o «semi-variograma», se requiere un muestreo relativamente abundante, de forma que se tengan bastantes puntos de observación sobre el universo considerado. Por ejemplo, una red de calicatas geoquímicas, unas cuadrículas de sondeos de investigación minera sobre un yacimiento, unos pozos piezométricos sobre un acuífero, etc. Del conjunto de observaciones se seleccionan pares de ellas, con la condición de que aproximadamente estén separados por un mismo vector (una misma distancia y en la misma dirección). Para cada «vector h» se obtiene un conjunto de pares (dos, tres, cincuenta mil...). En la fórmula [14], h es el módulo del vector $\text{vec}(h)$, pero al hacer el cálculo, la elección de parejas de emplazamientos «x» ha de hacerse en distancia y en dirección.

3.4. Un ejemplo de variograma experimental

Para aclarar todo lo dicho más arriba, nada mejor que un ejemplo, aunque sea éste un ejemplo teórico.

Se suponen tres galerías paralelas, (A), (B) y (C), en las que se han tomado una serie de muestras de mineral en puntos a lo largo de su trazado. Estos puntos de muestreo son las «x» de la fórmula [14]. Los puntos de muestreo dentro de cada galería distan «h» metros entre sí. Unos ciertos valores de concentración medidos en cada «X» de cada galería son:

$$\begin{array}{l} \text{(A)} \quad 1 \quad 7 \quad 3 \quad 6 \quad 2 \quad 9 \quad 4 \quad 8 \quad 5 \\ \text{(B)} \quad 1 \quad 3 \quad 5 \quad 7 \quad 9 \quad 8 \quad 6 \quad 4 \quad 2 \\ \text{(C)} \quad 31 \quad 33 \quad 35 \quad 37 \quad 39 \quad 38 \quad 36 \quad 34 \quad 32 \end{array} \quad [15]$$

De acuerdo con las fórmulas indicadas antes,

las medias y varianzas serían en cada galería las siguientes:

$$\begin{array}{l} m(A)=5 \quad \sigma^2(A) = 7,5 \\ m(B)=5 \quad \sigma^2(B) = 7,5 \\ m(C) = 35 \quad \sigma^2(C) = 7,5 \end{array} \quad [16]$$

Pese a ser los valores en la galería (A) mucho más erráticos que los de la (B), tienen igual media y varianza, y por tanto la misma desviación tipo, y desde el punto de vista estadístico serían idénticas. En la (C), pese a ser la varianza igual que antes, la media es mucho más elevada. En ningún momento se consideró estadísticamente la separación entre observaciones.

En las alineaciones anteriores, si se consideran los puntos de muestreo separados por la distancia «h», resulta, para cada una de las galerías:

$$\begin{array}{l} \text{A: } 2\gamma(h)=22 \quad \text{B: } 2\gamma(h)=3,63 \\ \text{C: } 2\gamma(h)=3,63 \end{array} \quad [17]$$

Los tres valores $2\gamma(h)_A, 2\gamma(h)_B, 2\gamma(h)_C$ pueden combinarse en uno solo, tomando la media ponderada de todos ellos:

$$2\gamma(h) = \frac{[n_A(h) \cdot 2\gamma(h)_A + n_B(h) \cdot 2\gamma(h)_B + n_C(h) \cdot 2\gamma(h)_C]}{[n_A(h) + n_B(h) + n_C(h)]} \quad [18]$$

siendo n_A, n_B, n_C el número de pares sobre cada alineación, separados por «h». En este ejemplo, $n_A=n_B=n_C=8$ y resulta

$$\frac{\text{(A)} + \text{(B)} + \text{(C)}}{3} \quad 2\gamma(h)=9,76 \quad [19]$$

Si se considera otra serie diferente de pares, por ejemplo, los puntos que distan entre sí «2h», resulta

$$\text{(A)} \quad 2\gamma(2h)=12,86 \text{ etc.}$$

y para el conjunto

$$\frac{\text{(A)} + \text{(B)} + \text{(C)}}{3} \quad 2\gamma(2h)=38,58 \quad [20]$$

Si se toman las observaciones entre puntos que distan 3h, 4h, etc., se obtienen los valores correspondientes de $2\gamma(3h), 2\gamma(4h)$, etc.

Los valores calculados para la función gamma o 2γ se pueden representar gráficamente (fig. 1), poniendo en abscisas las distancias «h», «2h», «3h», etc., y en ordenadas los correspondientes valores de la función semi-variograma $\gamma(h), \gamma(2h), \gamma(3h)$, etc.

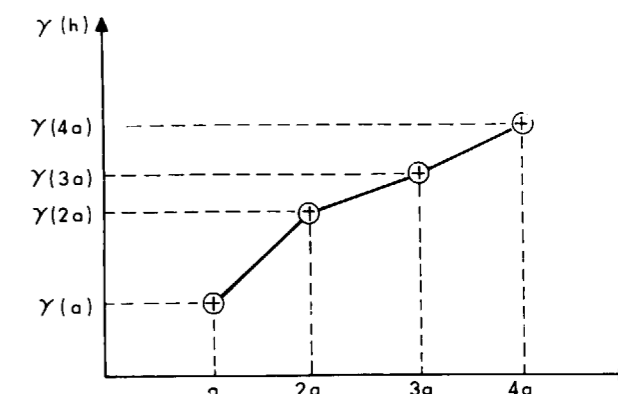


Figura 1.

Generalmente, la distribución espacial de observaciones no es tan ordenada o regular como la de la figura 1. Hay todo tipo de formas e irregularidades, como se verá a continuación. A veces todos los pares de observaciones pueden unirse en un sólo variograma, otras veces producen varios variogramas diferentes. En general se tiende a agrupar por clases o por zonas las muchas observaciones, de manera que se obtengan agrupaciones de ellas en cada variograma.

3.5. Características estructurales que refleja el variograma

En general, el variograma es una función creciente de «h», visto que los valores tomados en dos puntos diferentes suelen ser más diferentes cuanto más alejados están los puntos, lo que parece de sentido común.

La función $\gamma(h)$ puede representar ciertas características especiales de una variable regionalizada. Las principales que se comentan a continuación son el comportamiento en el origen, las anisotropías, las tendencias y las imbricaciones. Hay otras también relacionadas con los variogramas, pero sobrepasan el alcance de este artículo.

Comportamiento de la curva cerca del origen (fig. 2):

- Una F(x) o característica física variable que tenga continuidad estricta (p.e. espesor de un sedimento) da una curva parabólica, tipo figura 2a.
- Una variable que tenga continuidad media (p.e., ley de un mineral) da una curva que pasa por el origen tipo figura 2b.
- Una curva como la figura 2c, con ordenada en el origen refleja una discontinuidad llamada «efecto de pepita» (nugget effect) por ser el caso que presentan algunos minerales de distribución errática, como los depósitos de oro.
- La figura 2d representa una variable totalmente aleatoria (efecto pepita puro). En este caso, las muestras podrían analizarse por pura estadística. Sin embargo este efecto es prácticamente imposible que ocurra con las funciones regionalizadas y más bien puede deberse, cuando aparece, a que la malla de muestreo utilizada es inapropiada para la variable elegida.

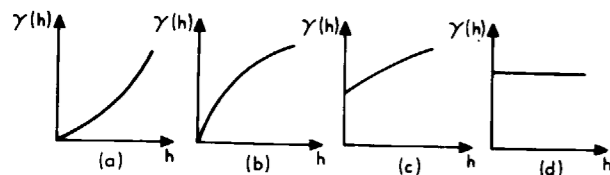


Figura 2.

Fenómenos de transición (comportamiento de la curva a distancias grandes): En general, el variograma es una función creciente de «h», pero a veces, a partir de cierto valor, llamado ALCANCE («range»), la curva tiende a ponerse horizontal y llegar a un valor umbral o techo («sill») que corresponde a la idea de límite de influencia de la muestra. Marca la distancia a partir de la cual un punto (inicial del vector) de la característica variable en estudio no tiene influencia sobre el punto vecino (final del vector), y el fenómeno se convierte, pues, en puramente aleatorio (recuérdese fig. 2d).

Si se llama «Co» al valor de la ordenada en el origen, y «C+Co» el valor umbral o techo (sill),

C+Co marca el valor de la varianza total de la variable en estudio, y «C» se denomina «varianza de dispersión». En la figura 3, la zona 1 representa la parte más importante de la estructura de la función F(x) variable regionalizada; la zona 2 representa errores debido a defectos de muestreo o efecto «pepita»; la zona 3 representa la parte donde la relación entre dos observaciones es puramente aleatoria.

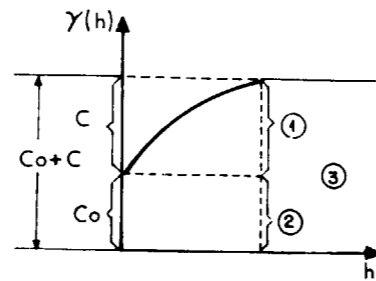


Figura 3.

Anisotropía. La abscisa «h» (fig. 4) representa el módulo del vector que separa los pares de puntos con los que se va obteniendo el variograma. La dirección de dicho vector no importa si la variable regionalizada pertenece a un universo «isótropo», pero si el universo es fuertemente anisótropo, con el vector «h» en dirección OX, p.e., se puede obtener un variograma que sea muy diferente del obtenido con el vector «h» en dirección OY. Sin embargo, ambos variogramas deben de tener igual dimensión de umbral o techo («c» en la figura 4), ya que éste depende sólo de la varianza.

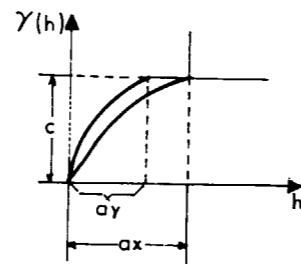


Figura 4.

Para llegar a obtener un variograma isótropo, como se debe, hay que corregir las distancias en función de la anisotropía del medio. Así, si

se conoce que la anisotropía del medio corresponde a una elipse, habría que corregir la distancia real por el valor del semieje correspondiente de la elipse, es decir, convertir la elipse en circunferencia. En la práctica, la anisotropía se detecta porque un variograma alcanza el techo a una distancia «ax» y otro variograma en dirección diferente alcanza el mismo techo a una distancia «ay». El cociente de los alcances «ax», «ay» se llama «factor de anisotropía».

$$fa = ax/ay \quad [21]$$

La corrección de distancias entre los puntos 1 y 2 de haría:

$$d = \text{SOR} \{ (x1 - x2)^2 + (fa)^2 (y1 - y2)^2 \} \quad [22]$$

Presencia de tendencias o derivas. A veces, la variable tiene una cierta tendencia en una dirección definida (p.e., profundidad de un fondo marino al alejarse de la costa). Los valores del variograma serían entonces continuamente crecientes ya que al comparar valores más distantes las discrepancias serían mayores.

Estructuras imbricadas. Dan variogramas con forma parecida a los ensayos de bombeo escalonados de caudal variable. Se deben a la mezcla de universos diferentes en el mismo muestreo.

3.6. Variogramas teóricos

La necesidad de disponer de una función gamma(h) para cualquier valor de «h» ha llevado al desarrollo de los variogramas teóricos. Los variogramas experimentales son discontinuos, irregulares y fragmentarios de manera que no ofrecen valores para todas las posibles «hs».

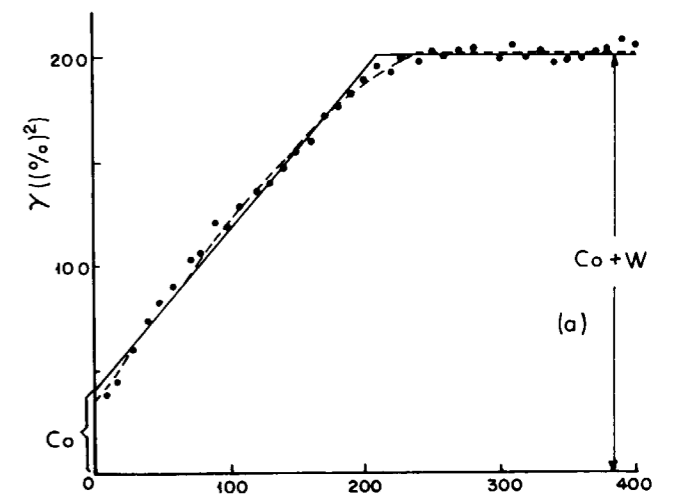
Los modelos teóricos de variogramas que existen en la literatura no han surgido arbitraria o espontáneamente sino que corresponden a diferentes regionalizaciones que se presentan en la naturaleza.

Los diferentes modelos teóricos se clasifican en primer lugar como modelos con «techo» o «umbral» y modelos continuamente crecientes. En ambos casos puede o no existir el efecto de «pepita». Entre los primeros sobresalen los mo-

delos «lineal», «esférico», «exponencial» y «parabólico». Entre los segundos el «potencial» y el «logarítmico». Se describen brevemente a continuación.

— Variograma «lineal» o «transitivo». El modelo más simple de variogramas con techo es aquel en el que la varianza aumenta linealmente a partir de una cierta cantidad hasta un valor de «h» y luego permanece constante (fig. 5):

$$\begin{aligned} \text{gamma}(h) &= Co + w \cdot (h/a) & \text{para } h < a \\ \text{gamma}(h) &= Co + w & \text{para } h > a \end{aligned} \quad [23]$$



VARIOGRAMA LINEAL. EJEMPLO DE CONTENIDO EN ARCILLA EN UN SUELO, CON UN MODELO LINEAL AJUSTADO.

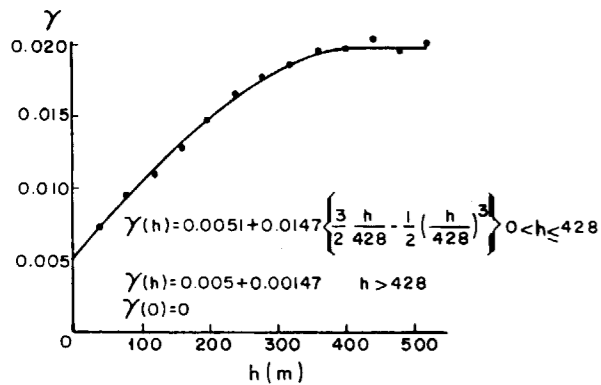
Figura 5.

— Variograma «esférico» (Matheron). Se deriva de una imagen geométrica de dos esferas de radio «a» con centros separados «h». Representa un crecimiento rápido en el origen (fig. 6). Es de los más frecuentemente utilizados y consiste en las expresiones:

$$\begin{aligned} \text{gamma}(h) &= Co + \\ &+ C [3h/2a - 0,5(h/a)^3] & \text{para } 0 < h \leq a \\ \text{gamma}(h) &= Co + C & \text{para } h > a \end{aligned} \quad [24]$$

gamma(0)=0

La inclinación de la tangente en origen (h=0) es 3C/2a.



VARIOGRAMA ESFERICO. POTASIO EN BROOM'S BARN (WEBSTER Y Mc. BRATNEY, 1987)

Figura 6.

— Variograma exponencial (Formery) (fig. 7a).

Representa un comportamiento lineal en el origen:

$$\gamma(h) = C_0 + C(1 - \exp(-w))$$

$$w = h/a \text{ para } 0 < h \leq a$$

$$\gamma(h) = C_0 + C \text{ para } h > a \quad [25]$$

$$\gamma(0) = 0$$

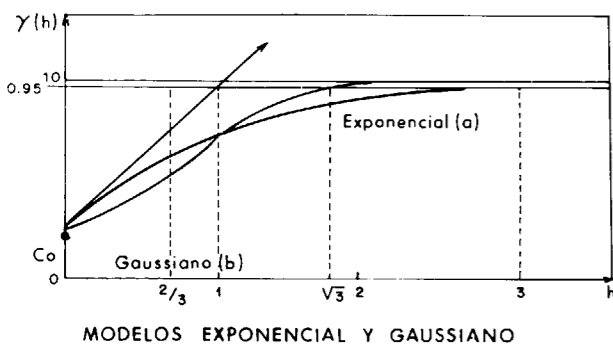


Figura 7.

— Variograma parabólico (Gauss). Igual que el anterior, con $w = (h/a)^2$ (fig. 7b).

— Variograma potencial. Se emplea en prospección geofísica para petróleo y en hidrogeología (fig. 8). Se basa en la fórmula:

$$\gamma(h) = C_0 + W(h^z)$$

(C₀ vale a menudo 0) [26]

Si z=1 se obtiene un modelo lineal. «W» es la tangente para h=0. Debe ser 0 < z < 2.

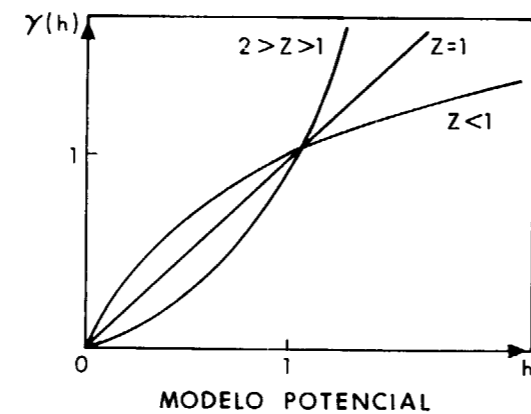


Figura 8.

— Variograma «logarítmico» o de «Wijs». Este modelo (fig. 9) fue estudiado exhaustivamente durante los primeros trabajos geoestadísticos (KRIGE, MATHERON, FORMERY, CARRIER, etc.). Hasta 1966 fue casi el único modelo usado, debido quizá a que las primeras aplicaciones geoestadísticas se realizaron

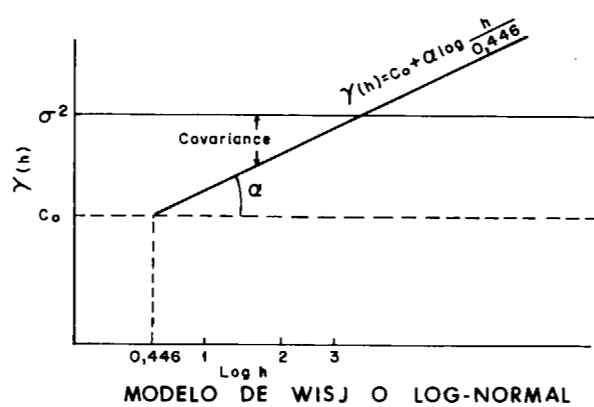
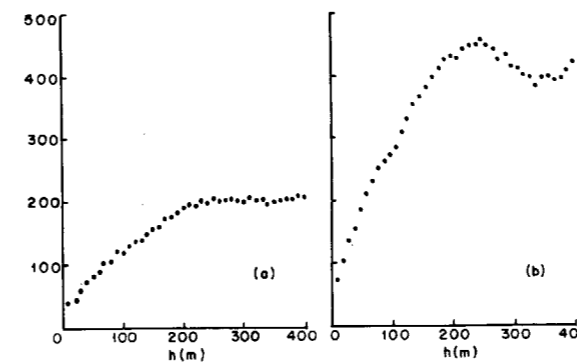


Figura 9.

para depósitos de oro y de uranio (histogramas de distribución log-normal), donde se utiliza preferentemente. Tiene como expresión:

$$\gamma(h) = C_0 + \alpha \ln(h) \quad [27]$$

El ajuste de variogramas experimentales a estos modelos es casi siempre un proceso de tanteos y aproximaciones sucesivas. Como ilustración, se representan en la figura 10 dos ejemplos de variogramas reales, no excesivamente complejos.



EJEMPLOS DE VARIOGRAMAS REALES (CONTENIDO EN ARCILLA EN SUELO (a) Y SUBSUELO (b))

Figura 10.

3.7. Relación entre variogramas y covarianza

Con frecuencia se emplean covarianzas en lugar de variogramas. Gráficamente se comparan en la figura 11 (véase también fig. 9).

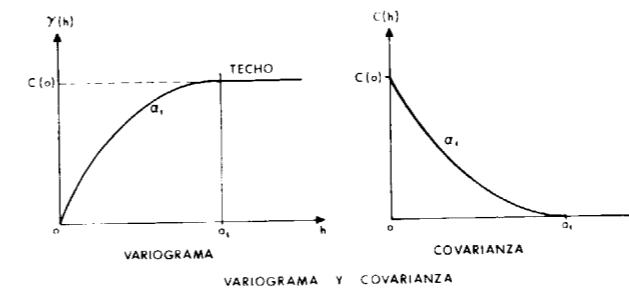


Figura 11.

En base a la fórmula [10] que relaciona varianza de dos funciones F(x), G(x), al considerar pares de funciones del tipo F(x) y F(x+h), ambas tienen igual media e igual varianza individual. La varianza conjunta (de su diferencia) es lo que se ha llamado «variograma», de manera que puede escribirse la relación (llamando «C» o «Cov» a la covarianza):

$$2\gamma(F, G) = 2*\text{Var}(F) - 1*C(F, G)$$

es decir, poniendo las variables según su dependencia de «h»:

$$2*\gamma(h) = 2*\text{Constante} - 2*\text{Cov}(h)$$

y finalmente:

$$C(h) = \text{Constante} - \gamma(h) \quad [28]$$

El valor de la constante es igual al valor «umbral» en los variogramas que lo tengan (para $h \rightarrow \text{grande}$, $C(h) \rightarrow 0$ y Constante $\rightarrow \gamma(h)$).

3.8. Programa de ordenador para cálculo del variograma

El título común de los artículos de esta serie ha sido el de «Miniprogramas», ya que se han ofrecido programas cortos de utilidad general. En el caso de la Geoestadística, resulta imposible ofrecer un miniprograma que cubra en general al variograma y el kriging, debido especialmente al número de modelos teóricos que pueden adaptarse al variograma experimental o real. Un programa que los tuviese en cuenta tendría que tener unas dimensiones del tipo de los programas comerciales corrientes.

En lugar de ello se ofrecen dos programas, uno para determinar el variograma experimental, y el otro, una vez definido el modelo teórico a aplicar, para utilizarlo en el kriging.

Ambos programas, lo mismo que los anteriores de esta serie, están escritos en el BASIC del sistema GWBASIC de Microsoft, compatible con otros BASIC normales, como el de IBM, etc. Para los archivos de datos se ha utilizado un editor ASCII, tipo «Norton Editor», o similar.

El subprograma para el cálculo del variograma (VAR.BAS) se expone a continuación (fig. 12). Brevemente, lo que se hace en cada línea el programa es:

1.—Color, nombre.

2.—Introduce el nombre del archivo.

3.—Abre el archivo para leer y lee:

ND = Número de datos.

NH = Número de vectores H que se van a utilizar.

H1 = Módulo del primer H [m].

DH = Incremento entre los módulos de cada H que se use [m].

4.—Dimensión de las variables:

X, Y, Z = Coordenadas del punto de observación y valor de la misma.

NUMN = Número de pares de puntos asociados al vector «h».

GAMMA = Valor del variograma.

MEDIA = Media aritmética.

5-6.—Escritura eco de datos generales, ND, NH, H1, DH.

7-8-9.—Lectura, y en su caso escritura, de las coordenadas X, Y, de los puntos de observación y del valor, Z, de la observación (S variable «dummy»). Lectura, y en su caso escritura, del

número de pares de puntos asociados a los diversos vectores «H», por ejemplo, 29 pares para h=500 m, 16 pares para h=1000 m, 9 pares para h=1500 m, etc.

10.—Se inicia un ciclo para cada uno de las magnitudes «h» elegidas en la práctica, que termina con el cálculo de las gamma y medias correspondientes. Inicialización a cero de las variables gamma(j) y media(j).

11.—Para cada uno de los pares NUMN asociados a cada «h», se identifican sus números, D1 y D2.

12.—Se calcula la diferencia de las observaciones Z en cada par. En su caso, se escriben los pares que se han identificado para cada valor de «h».

13.—Cálculo de gamma(h), es decir de la varianza (6), de los pares de valores Z(D1), Z(D2), distantes (en dirección y distancia, valga la redundancia) «h». Se calcula también, como dato adicional su valor medio (1) de las diferencias Z(D1)-Z(D2).

14-15.—Escritura de los resultados del cálculo de gamma(h) y media(h), para las diferentes «h» que se habían seleccionado.

16.—Fin del cálculo del variograma.

Como se ve, es un programa sumamente simple.

```

1 COLOR 15,11,11:CLS:'Nombre=var.bas Cálculo variograma, A. Navarro, Ene.1993
2 INPUT"Archivo de datos=";AR$:AR$=AR$+".dat":INPUT"¿Escribir datos (s/n)";C$
3 OPEN AR$ FOR INPUT AS #1:INPUT #1,ND,NH,H1,DH:X=ND+1
4 DIM X(ND),Y(ND),Z(ND),NUMN(NH),GAMMA(NH),MEDIA(NH)
5 PRINT:PRINT "Número de datos=";ND:PRINT "Num.H=";NH:B$="#####"
6 PRINT "H1=";H1:PRINT "Increm.H=";DH:PRINT
7 FOR I=1 TO ND:INPUT #1,S,X(I),Y(I),Z(I):NEXT I:IF C$<>"s" THEN 9
8 FOR I=1 TO ND:PRINT I;" X=";X(I);" Y=";Y(I);" Z=";Z(I):NEXT I:PRINT
9 FOR J=1 TO NH:INPUT #1,NUMN(J):IF C$="s" THEN PRINT NUMN(J);
10 NEXT J:PRINT:PRINT:FOR J=1 TO NH:GAMMA(J)=0:MEDIA(J)=0
11 FOR I=1 TO NUMN(J):INPUT #1,D:D1=INT(D/100):D2=D-D1*100
12 DIF=ABS(Z(D2)-Z(D1)):IF C$="s" THEN PRINT"h=";H1+(J-1)*DH;" ";D1;"-":D2
13 GAMMA(J)=GAMMA(J)+DIF*DIF/NUMN(J):MEDIA(J)=MEDIA(J)+DIF/NUMN(J)
14 NEXT I:PRINT"h=";H1+(J-1)*DH;" gamma=";
15 PRINT USING B$;GAMMA(J);:PRINT " Media=";:PRINT USING B$;MEDIA(J):NEXT J
16 PRINT:PRINT "Fin. Programa=var.bas Archivo=";AR$:END
    
```

Figura 12.

3.9.—Ejemplo

Para comprender el manejo del anterior programa se expone a continuación una aplicación del mismo. Se considera un acuífero dentro del cual hay una serie de puntos de observación situados según muestra la figura 13. Se elige un sistema de ejes coordenados rectangulares X, Y, con origen coincidente con uno de los puntos de observación. Ello permite reunir en una tabla las coordenadas de dichos puntos y el valor de la función variable regional que se mide en cada uno de esos puntos, en este ejemplo, la piezometría en un momento dado (aunque podría ser cualquier otro parámetro hidrogeológico o físico).

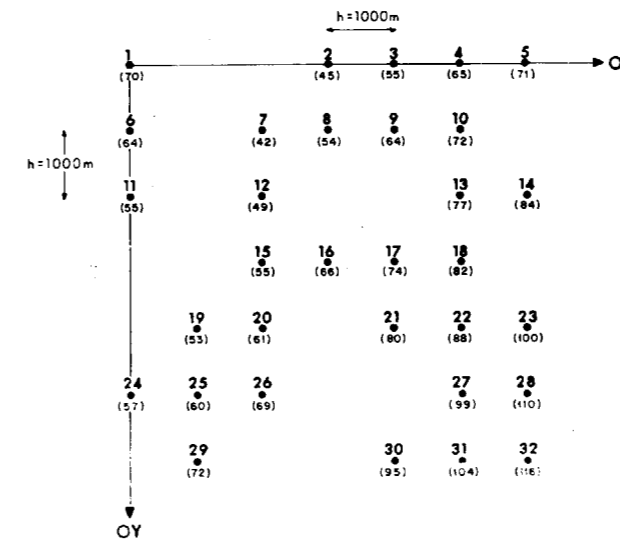


Figura 13.

En primerá aproximación, se considera que el universo es isótropo en las direcciones X, Y, con lo cual daría idéntico o parecido variograma al elegir la dirección del vector «h» hacia cualquier lado. Suponiendo que esto sea así, se considera que el vector «h» tiene la dirección del eje O-Y.

Después de estudiar la distribución de los puntos de observación se concluye que pueden agruparse tomando para «h» los valores 1.000, luego 2.000, 3.000, 4.000, 5.000 y hasta 6.000. Se tiene, pues, seis «h», con un valor para la primera «h» de 1.000 y un incremento entre cada «h» de otros 1.000 metros. Con ello se completan los datos iniciales que pide el programa.

ND = Número de datos: 32.

NH = Número de «hs» diferentes que se van a considerar: 6.

H1 = Magnitud de la primera «h»: 1.000 [m].

DH = Incremento de cada «h»: 1.000 [m].

El correspondiente archivo tendría en la primera línea los datos

32 6 1000 1000

Tras esta línea, el archivo de datos requiere la identificación de los puntos de observación y de los valores de su piezometría, es decir una tabla similar a la mencionada unas líneas más arriba, es decir:

Punto	X	Y	Medida(Z)
1	0	0	70
2	3000	0	45
3	4000	0	55
...
30	4000	6000	95
31	5000	6000	104
32	6000	6000	116

Cuando se toma h=1000 se identifican las siguientes parejas de localizaciones sobre el terreno (fig. 13):

1-6, 6-11, 19-25, 25-29, 7-12, ..., 5-14,

14-23 y 23-32 [29]

En conjunto, 19 pares. Si se mantiene la misma dirección, el eje O-Y, pero se toma el módulo de h igual a 2.000 metros, resultan los pares:

1-11, 19-29, 7-15, 12-20, ..., 5-14, 14-23

y 23-32 [30]

En conjunto, 15 pares. Tomando h=3.000 resultan 11 pares. Con h=4.000, 7 pares, 5 pares con h=5.000, con h=6.000, tres pares: 3-30, 4-31, 5-32.

En el archivo de datos se entra ahora esta información, el número de parejas de cada «h»:

19 15 11 7 5 3

Finalmente se entra secuencialmente la identi-

cación de estas parejas, en un número de cuatro cifras para cada pareja, dos primeras cifras para uno de los puntos, las otras dos cifras para el otro punto. Por ejemplo, se comienza con las parejas para h=1000 [28]:

0106 0611 1925 2529 2731 2328 2832

se sigue con las correspondientes a h=2000 [30]:

0111 1929 1432 2332

luego con las de h=3000, 4000, 5000, y al fin las de h=6000:

0330 0431 0532

Con lo cual queda completado el archivo de datos. Un volcado de este archivo se ofrece en la figura 14.

```

32 6 1000 1000
1 0 0 70
2 3000 0 45
3 4000 0 55
4 5000 0 65
5 6000 0 71
6 0 1000 64
7 2000 1000 42
8 3000 1000 54
9 4000 1000 64
10 5000 1000 72
11 0 2000 55
12 2000 2000 49
13 5000 2000 77
14 6000 2000 84
15 2000 3000 55
16 3000 3000 66
17 4000 3000 74
18 5000 3000 82
19 1000 4000 53
20 2000 4000 61
21 4000 4000 80
22 5000 4000 88
23 6000 4000 100
24 0 5000 57
25 1000 5000 60
26 2000 5000 69
27 5000 5000 99
28 6000 5000 110
29 1000 6000 72
30 4000 6000 95
31 5000 6000 104
32 6000 6000 116
19 15 11 7 5 3
0106 0611 1925 2529 0712 1215 1520 2026 0208 0309
1721 0410 1013 1318 1822 2227 2731 2328 2832
0111 1929 0715 1220 1526 0816 2130 0413 1018 1322
1827 2231 0514 1423 2332
0720 1226 0216 0317 0921 1730 0418 1022 1327 1831
1428
0726 0321 0422 1027 1331 0523 1432
0124 0930 0427 1031 0528
0330 0431 0532
    
```

Figura 14.

En el ejemplo presente, el resultado de estos primeros cálculos es:

h=1000 gamma= 58 media= 7
h=2000 gamma=204 media=14
h=3000 gamma=404 media=20
h=4000 gamma=744 media=27
h=5000 gamma=966 media=30
h=6000 gamma=1715 media=41

Se ve que la varianza entre los pares de valores de la función variable regionalizada Z van siendo cada vez más diferentes al ir aumentando la distancia «h». Ello indica que incluso las parejas distantes influyen en el conjunto, y por lo tanto deben ser tenidas en cuenta en cualquier interpolación.

La siguiente operación para definir el variograma, del que ya se conocen experimentalmente los puntos anteriores, consiste en elegir un modelo teórico entre todos los posibles. Tras examinar las diferentes alternativas se ha optado por un modelo «potencial» [26] dada la similitud de curvas (véanse figs. 15 y 8). Realizando el ajuste de una gráfica de este tipo a los puntos experimentales se obtiene como ecuación del modelo de variograma la siguiente:

$$\text{gamma}(h) = .0001735 * h^{1.837744} \quad [31]$$

En la figura 15 se puede ver la correspondencia entre la curva del modelo y los puntos experimentales (A). Obtenido el variograma experimental y definido el modelo teórico de variograma a aplicar podría terminar este ejemplo.

Sin embargo, es ilustrativo ir más adelante. El universo o espacio físico de la figura 13 también puede agruparse en pares según la dirección O-X. Siguiendo parecidos pasos a los antes, y tomando también como magnitud inicial h=1000, luego 2000, 3000, etc., resultan 18 parejas con h=1000:

2-3, 2-4, 4-5, 7-8, ... 27-28, 30-31, 31-32

Con h=2000 se obtienen 12 pares, 9 con h=3000, 8 con h=4000, 7 con h=5.000 y por último, 3 con h=6.000:

1-7, 15-21, 36-41

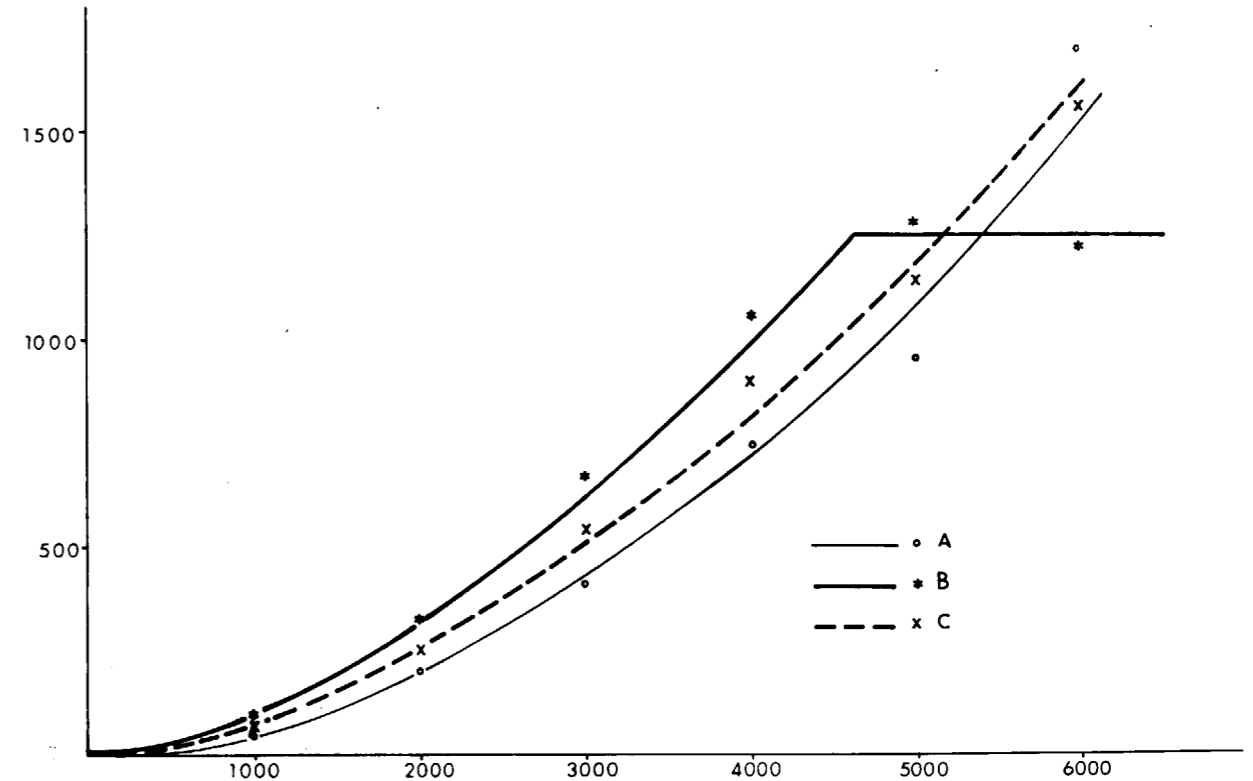


Figura 15

Utilizando el mismo programa de la figura 12, con el nuevo archivo de datos se obtiene:

h=1000 gamma= 86 media= 9
h=2000 gamma= 329 media=18
h=3000 gamma= 675 media=25
h=4000 gamma=1053 media=30
h=5000 gamma=1283 media=31
h=6000 gamma=1217 media=28

La representación de estos puntos se da en la figura 15 (B). Si bien la tónica general es parecida a la gráfica (A), para valores de «h» hay un pequeño descenso. Se puede interpretar esto como que el variograma correspondiente tiene un umbral o techo para valores de «h» desde cerca de 5.000 a mayores. Puede tomarse igualmente el modelo potencial y ajustarlo para valores de h<=4000. El resultado sería el siguiente modelo de variograma:

$$\text{gamma}(h) = .0006406 * h^{1.719943}$$

para h < 4.500

$$\text{gamma}(h) = 1.250$$

para h >= 4.500

[32]

El grado de ajuste del modelo de variograma a las observaciones se puede ver igualmente en la misma figura 15.

Por último, aunque entre los variogramas (A) y (B) hay ciertas diferencias, el tipo y la forma general de la curva son de características similares de manera que se podría considerar el universo que se muestrea como verdaderamente isótropo, y en este caso reunir todas las observaciones separándolas en grupos únicamente en función de la distancia relativa y sin considerar las diferentes direcciones.

Si se quiere operar el programa de la figura 12 con estos datos conjuntos, hay que considerar

para cada una de las «hs» el siguiente número de pares:

h=1000	37 pares (19 pares O-Y + 18 pares O-X)
h=2000	27 pares (15+12)
h=3000	20 pares (11+9)
h=4000	15 pares (7+8)
h=5000	12 pares (5+7)
h=6000	6 pares (3+3)

El resultado de estos nuevos datos es:

h=1000	gamma= 78	media=87
h=2000	gamma= 259	media=16
h=3000	gamma= 526	media=22
h=4000	gamma= 909	media=28
h=5000	gamma=1151	media=31
h=6000	gamma=1466	media=35

Los puntos se ven en la figura 15 como (C). También toman la forma adecuada para un modelo potencial de variograma, el cual, ajustado toma la expresión:

$$\text{gamma}(h) = .0008425 * h^{1.661764} \quad [33]$$

La curva correspondiente está también dibujada en la figura 15, en donde evidentemente adopta valores intermedios entre los de las dos primeras pasadas.

De una forma o de otra (y aquí se ve que en este tratamiento entra cierta dosis de interpretación personal, a la hora de elegir el modelo) se termina con un modelo de variograma correspondiente al muestreo de campo. En conjunto parece que el último variograma es el más representativo del universo físico.

La forma del variograma, la presencia o ausencia de «efecto de pepita» y de «techo» la propia forma de la curva en su tramo general intermedio, todo da una información apreciable sobre la naturaleza del fenómeno físico que se investiga. Una aplicación adicional del variograma se verá al tratar del kriging.

4. KRIGING

4.1. Introducción

En su noción más sencilla, kriging es sólo un

método de promediar ponderadamente una serie de valores observados de la función regionalizada F en un entorno B.

Se le llama también «krigeage», denominación que parece doblemente distorsionada, ya que si se adopta un término sajón, el «kriging» (derivado de quien primero lo usó consciente e intensamente, D. G. Krige) no debería haber razón de darle una pasada por el francés, de donde proviene la terminación «...age». En la práctica, ambas denominaciones se usan indistintamente.

El nombre de kriging fue acuñado en 1960 por Matheron para un procedimiento de «regresión múltiple» para llegar a la mejor estimación de un promedio, ponderado linealmente, a base de asignar unos pesos óptimos a todos los datos disponibles y relevantes dentro del dominio físico de la población, y de minimizar la varianza del error estimado. Se llama también en la literatura técnica «BLUE», por «Best Linear Unbiased Estimator».

La popularidad de su utilización se debe a sus dos ventajas principales: evitar los errores de sesgo («bias») y la de minimizar el error estadístico de la estimación.

4.2. Matemáticas

Se tiene una población o dominio físico B, dentro del cual se sitúan una serie de «n» puntos «x(i)». En estos puntos se realizan una serie de observaciones de una función variable F(x). Se quiere estimar el valor de la función variable F(x) en un punto x0 de B, en función de la situación relativa de x0 respecto a los puntos x(i) y de los valores F[x(i)] (i=1...n).

Del valor desconocido F(x0) se hace una estimación, \$F(x0), mediante una combinación lineal de los «n» datos:

$$\$F(x0) = \text{SUMA}(i=1...n) \text{landa}(i) * F[x(i)] \quad [34]$$

Los landa(i) son los pesos asignados a los puntos de muestreo. Una propiedad que se busca es la de que la estimación esté libre de sesgo, para lo cual ha de ser

$$\text{SUMA}(i=1...n) \text{landa}(i) = 1 \quad [35]$$

La varianza de la estimación (llamada varianza del kriging o Var(SK)) es:

$$\text{Var}(SK) = E \{ \{ \$F(x0) - F[x(i)] \}^2 \}$$

la cual, recordando la expresión [10] puede escribirse:

$$\begin{aligned} \text{Var}(SK) &= \sigma^2 < F[x(j)], \$F[x0] > = \\ &= 2 * \text{SUMA}(j=1...n) \text{landa}(j) * \text{gamma} < F[x(j)], \\ &F[x0] > - \text{SUMA}(i=1...n) \text{SUMA}(j=1...n) \\ &\text{landa}(i) * \text{landa}(j) * \\ &* \text{gamma} < F[x(i)], F[x(j)] > \quad [36] \end{aligned}$$

Esta varianza (SK), sujeta a la condición de no-bias [35] es mínima cuando para cada «j» es:

$$\begin{aligned} &\text{SUMA}(i=1...n) \text{landa}(i) * \\ &* \text{gamma} < F[x(i)], F[x(j)] > + \\ &+ \text{phi} = \text{gamma}(F[x(j)], F[x0]) \quad [37] \end{aligned}$$

Se ha introducido un multiplicador de Lagrange, phi, para conseguir la minimización de la varianza(SK). El sistema de ecuaciones [37], más la ecuación [35] proporciona n+1 ecuaciones (las llamadas ecuaciones del kriging) para calcular los «n» valores de las landa(i) y el valor de phi.

La resolución de este sistema por ordenador no presenta problemas. La matriz de coeficientes [A] es de dimensiones (n+1) * (n+1) y tiene la forma:

$$\begin{matrix} A(1,1) & A(1,2) & \dots & A(1,n) & 1 \\ A(2,1) & A(2,2) & \dots & A(2,n) & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A(n,1) & A(n,2) & \dots & A(n,n) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{matrix} \quad [38]$$

siendo A(i,j) = gamma < F[x(i)], F[x(j)] >

El vector del término independiente es:

$$\begin{matrix} \text{gamma} < F[x(1)], F[x0] > \\ \text{gamma} < F[x(2)], F[x0] > \\ \dots & \dots & \dots \\ \text{gamma} < F[x(n)], F[x0] > \\ 1 \end{matrix} \quad [39]$$

Y el sistema se resuelve por cualquier programa estándar de ordenador, para sistemas de ecuaciones lineales.

Una vez resuelto el sistema y obtenidos los landa(i) y phi, el valor de una estimación F(x0) cualquiera se tiene de inmediato, así como el valor de la varianza mínima o varianza del kriging, mediante la fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Var}(SK) &= \text{phi} - \text{gamma} < [x0], F[x0] > + \\ &+ \text{SUMA}(i=1...n) \text{landa}(i) * \text{gamma} < F \\ &[x(i)], F[x0] > \quad [40] \end{aligned}$$

4.3. Programa de ordenador para el kriging

El programa (KRIL.BAS) se muestra en la figura 16. Una explicación somera de lo que realiza línea a línea es la siguiente:

- 1.—Color. Nombre.
- 2.—Abrir archivo de datos. Decidir si se escriben o no los datos.
- 3.—Leer el número de puntos donde hay observaciones.
- 4.—Dimensionar las variables, de acuerdo con el número de puntos existentes. Las variables que se usan son muy pocas:

X, Y = Coordenadas del punto de observación.

Z = Observación o medida.

P = Contador del número de puntos de observación que van a intervenir en la estimación de la variable en el nuevo punto XI,YI. El mayor o menor número P depende de la magnitud de la variable E (ENTORNO) que limita la distancia máxima entre un punto de observación y el nuevo punto a estimar.

Q = Identificador de cuáles puntos existentes van a intervenir en la estimación.

A,B,C, = Matriz (A) [38], matriz inversa (B) y vector (C) [39] del término independiente en el sistema de ecuaciones para obtener la estimación en el nuevo punto XI,YI.

Landa = Valor del peso ponderado [34] de cada

```

1 COLOR 14,17,17:CLS:'Nombre=kril.bas Kriging. A. Navarro, Ene.1993
2 INPUT"Archivo de datos=";AR$:AR$=AR$+".dat":INPUT"¿Escribir datos (s/n)";C$
3 OPEN AR$ FOR INPUT AS #1:INPUT #1,ND:X=ND+1
4 DIM X(ND),Y(ND),Z(ND),P(ND),Q(ND),A(X,X),B(X,X),C(X),LANDA(X)
5 LPRINT:LPRINT "Número de datos=";ND:LPRINT:B$="#####"
6 FOR I=1 TO ND:INPUT #1,S,X(I),Y(I),Z(I):NEXT I:IF C$<>"s" THEN 8
7 FOR I=1 TO ND:LPRINT I;" X=";X(I);" Y=";Y(I);" Z=";Z(I):NEXT I:LPRINT
8 '
9 FOR F=1 TO ND:FOR C=1 TO ND:A(F,C)=0:B(F,C)=0:NEXT C:C(F)=0:NEXT F
10 LPRINT:INPUT "XI,YI=";XI,YI:INPUT"ENTORNO=";E
11 LPRINT:LPRINT "XI,YI=";XI,YI:LPRINT"ENTORNO=";E:LPRINT
12 FOR I=1 TO ND:P(I)=0:IF (XI-X(I))^2+(YI-Y(I))^2 <= E*E THEN P(I)=1
13 NEXT I:W=0:FOR I=1 TO ND:IF P(I)=0 THEN 16
14 V$="Interviene dato ## XI=#### YI=#### ZI=####.#"
15 W=W+1:Q(W)=I:LPRINT USING V$;Q(W);X(I);Y(I);Z(I)
16 NEXT I:X=W+1:A(X,X)=0:C(X)=1
17 '
18 FOR M=1 TO W:I=Q(M):H=SQR((X(I)-XI)^2+(Y(I)-YI)^2)
19 'IF H<AAA THEN GAMMA=CO :GOTO 180
20 'IF H>BBB THEN GAMMA=TECHO :GOTO 180
21 GAMMA=.0008425*H^1.661764 :GAMMA=F(H)
22 C(M)=GAMMA
23 FOR N=1 TO W:J=Q(N):H=SQR((X(I)-X(J))^2+(Y(I)-Y(J))^2)
24 'IF H<AAA THEN GAMMA=CO :GOTO 230
25 'IF H>BBB THEN GAMMA=TECHO :GOTO 230
26 GAMMA=.0008425*H^1.661764 :GAMMA=F(H)
27 A(M,N)=GAMMA
28 A(X,N)=1:NEXT N:A(M,X)=1:NEXT M:LPRINT
29 '
30 FOR J=1 TO X:B(J,J)=1:NEXT J
31 FOR J=1 TO X : FOR I=J TO X : IF A(I,J)<>0 THEN 33
32 NEXT I :LPRINT "Matrix singular":END
33 FOR K=1 TO X:S=A(J,K):A(J,K)=A(I,K):A(I,K)=S:S=B(J,K):B(J,K)=B(I,K)
34 B(I,K)=S:NEXT K:T=1/A(J,J):FOR K=1 TO X:A(J,K)=T*A(J,K)
35 B(J,K)=T*B(J,K):NEXT K:FOR L=1 TO X:IF L=J THEN 37
36 T=-A(L,J):FOR K=1 TO X:A(L,K)=A(L,K)+T*A(J,K):B(L,K)=B(L,K)+T*B(J,K):NEXT K
37 NEXT L:NEXT J:LPRINT
38 '
39 FOR I=1 TO X:LANDA(I)=0:FOR K=1 TO X:LANDA(I)=LANDA(I)+B(I,K)*C(K)
40 NEXT K : NEXT I : ZI=0:FOR L=1 TO W:I=Q(L):ZI=ZI+LANDA(L)*Z(I):NEXT L
41 F$="####.#":LPRINT:LPRINT "ZI=";:LPRINT USING F$;ZI:LPRINT
42 VK=LANDA(X):FOR L=1 TO W:VK=VK+LANDA(L)*C(L):NEXT L:IF VK<0 THEN VK=0
43 LPRINT"Var. mín. estimación=";:LPRINT USING B$;VK:LPRINT:S=0
44 FOR L=1 TO W:S=S+LANDA(L):NEXT L:LPRINT"Suma landa=";S:LPRINT
45 INPUT "¿Otro punto (s/n)";Q$:IF Q$="s" THEN 9
46 LPRINT:LPRINT "Fin. Programa=kril.bas Archivo=";AR$:END

```

Figura 16.

punto de observación en el cálculo de la nueva estimación.

5.—Escritura-eco del número de datos, X,Y.

6-7.—Lectura del archivo de datos y escritura en su caso, de los datos de las coordenadas X(I), Y(I) de los puntos de observación y del valor de la misma Z(I).

8.—Línea de comentarios para escribir la fórmu-

la del modelo de variograma que se había adoptado, después de la operación del programa de la figura 12. Esta línea necesita ser reescrita para cada modelo de variograma diferente que se vaya a usar, y se coloca en ella la fórmula del modelo de variograma seleccionado y calibrado. En la figura 16 se ha escrito de forma genérica:

gamma=Co	para h= <aaa
gamma=F(h)	para aaa<h<bbbb
gamma=Techo	para h>=bbb

pero en cada caso habría que especificarlo, por ejemplo:

gamma=100	para h<=200
gamma=366.66+1.33*h	para 200<h<4.100
gamma=3.200	h>4.100

en un caso hipotético con efecto «pepita» y «techo».

9-10-11.—Inicialización a 0 de las matrices A y B y del vector C. Entrada y escritura de las coordenadas del nuevo punto XI,YI donde se quiere realizar la estimación de la función F(x). Elección del valor máximo de entorno, E, valor que delimita los puntos que se van a usar en la estimación (aquellos que disten de XI,YI menos de «E»).

12-13.—Se averigua si el punto X(I),Y(I) entra [P(I)=1] en la estimación, o no [P(I)=0]. Se inicializa a cero un contador «W» de los puntos que van a entrar en el cálculo de la estimación.

14-15-16.—Se asigna un número secuencial a cada uno de los puntos X(I),Y(I) que van a intervenir en la estimación del valor de F en el lugar XI,YI. Se escriben estos puntos. Se hace cero el valor inferior derecho de la matriz [38] de coeficientes, y se hace 1 el valor inferior del vector [39] del término independiente.

17.—Comienza la asignación de valores a la matriz del sistema y al vector del término independiente.

18.—Para cada uno de los puntos X(I),Y(I) que intervienen, se calcula su distancia (h) al punto XI,YI donde se va a estimar la variable, con el fin de calcular después el valor de gamma en el variograma correspondiente.

19-20-21.—Se escribe la ecuación del modelo de variograma adoptado. Estos tres términos han de reescribirse para cada modelo diferente que se utilice.

22.—Se asigna al gamma correspondiente el vector del término independiente (C) del sistema.

23.—Para cada uno de los puntos que intervienen X(I),Y(I) se calcula su distancia (h) mutua,

con el fin de calcular después el valor de gamma en el variograma correspondiente.

24-25-26.—Se escribe la ecuación del modelo de variograma adoptado. Estos tres términos han de reescribirse para cada modelo diferente que se utilice.

27.—Se asigna el gamma correspondiente al término de la matriz del sistema.

28.—Se asignan los valores 1 a los términos de la última fila y última columna de la matriz, menos al de la esquina inferior derecha [38], que en la línea 16 había ya recibido el valor 0.

29-30-31-32-33-34-35-36-37.—El sistema puede resolverse por cualquier método de ecuaciones lineales. Aquí se ha elegido el matricial, con lo cual hay que calcular la matriz B(X,X) inversa de la A(X,X), que es lo que se hace ahora.

38-39-40.—Se multiplica la matriz inversa por el vector del término independiente, lo que equivale a la ecuación [34], que nos da el valor resuelto de la estimación buscada \$F(x0).

41.—Se escribe el valor de la estimación.

42-43-44.—Como información adicional se calcula y escribe el valor de la varianza del kriging, y el de la suma de los pesos landa, que debe ser 1.

45-46.—Se pregunta si se quiere otra estimación en un nuevo punto y en caso contrario se termina el programa.

4.4. Ejemplo

Se considera el mismo conjunto físico y número de puntos de observación que se utilizaron al hablar de variogramas (fig. 13). Se considera también que aquel conjunto era isótropo y se reunían los pares de puntos de orientación O-Y y O-X. Al hablar de variogramas se llegó a un modelo de variograma para este universo, en la ecuación [33].

En el listado de programa de la figura 16, por tanto, habría que modificar algunas líneas, y poner en ellas el nuevo texto siguiente:

— 8 ' gamma=.0008425*h^{1.661764}.

— 19, 20, 24 y 25 se suprimen, por no haber en este modelo valores del efecto «nódulo» ni «techo» (no hay valores constantes de gamma por debajo de un cierto «h0» ni por arriba de otro «h(techo)»).

— 21 y 26 se hacen iguales a la 8, pero sin el (').

Con lo cual queda listo para ser operado. El archivo de valores recoge el número de puntos de observación y el valor de la observación en cada punto, es decir:

```

32
1 0 0 70
2 3000 0 45
3 4000 0 55
.....
30 4000 6000 95
31 5000 6000 104
32 6000 6000 116
    
```

Al correr el programa (fig. 17), se pide el punto en el que se quiere la estimación del valor Z, y el valor de la variable ENTORNO. Esta variable indica la máxima distancia permitida entre el punto de estimación y los puntos existentes que son tomados en cuenta para la estimación.

Si el valor para ENTORNO se elige tan reducido que no hay ningún punto de observación a me-

Número de datos= 32

XI,YI= 2345 3421
ENTORNO= 1500

```

Interviene dato 12 XI=2000 YI=2000 ZI= 49.0
Interviene dato 15 XI=2000 YI=3000 ZI= 55.0
Interviene dato 16 XI=3000 YI=3000 ZI= 66.0
Interviene dato 19 XI=1000 YI=4000 ZI= 53.0
Interviene dato 20 XI=2000 YI=4000 ZI= 61.0
    
```

ZI= 61.2

Var. mín. estimación= 13

Suma landa= 1

Fin. Programa=krix.bas Archivo=kri.dat

Figura 17.

nos de esa distancia, el programa produce el mensaje «Matriz singular» y aborta.

El tiempo que toma el programa en realizar la estimación es, sobre todo, el de resolución del sistema de ecuaciones, y este depende del número de incógnitas (landas), el cual a su vez depende del número de puntos de observación que intervienen, el cual aumenta a medida que aumenta la magnitud de la variable ENTORNO.

Si por ejemplo, se elige como punto a realizar la estimación el XI=3125, YI=2893, y varios valores de ENTORNO, se tiene:

Entorno	Núm. puntos que intervienen	ZI	Tiempo de ordenador
		(matriz sing.)	—
100	0	67	26
1.000	2	66.4	104
2.000	8	66.5	508
2.500	14	65.6	1000
3.000	18	66.5	4200
10.000	32		

Al aumentar el valor del ENTORNO aumenta el número de puntos que intervienen en la estimación, y aumenta muy rápidamente el tiempo requerido de ordenador. El valor de la estimación varía poco, así como el de la varianza del kriging, dependiendo de la regularidad o irregularidad del universo físico.

De ser posible, lo más completo es hacer entrar en la estimación TODOS los puntos de observación (el último caso anterior), pero ello depende de la disponibilidad de tiempo de ordenador.

El programa de la figura 16, y el archivo de datos podría modificarse para dar entrada a los datos de forma diferente, por ejemplo, una tabla de filas y columnas, y también producir una salida de ese tipo, para tratar un conjunto de estimaciones que llene todos los vacíos de la red de puntos de observación de campo. Es una modificación simple del programa, pero que lo complica sin añadirle generalidad. Debe hacerse sólo cuando un uso concreto del programa lo justifique. Aquí, usando el mismo ejemplo se da un programa (KRIX.BAS, fig. 18) que calcula la variable para TODOS los puntos de este caso.

```

1 COLOR 15,5,5:CLS:'Nombre=krix.bas Kriging. A. Navarro, Ene.1993
2 INPUT'Archivo de datos=';AR$:AR$=AR$+'.dat':INPUT'¿Escribir datos (s/n)';C$
3 OPEN AR$ FOR INPUT AS #1:INPUT #1,ND:F=ND+1:C=F+1
4 DIM X(ND),Y(ND),Z(ND),P(ND),Q(ND),A(F,C),LANDA(F)
5 PRINT:PRINT 'Número de datos=';ND:PRINT:B$='#####'
6 FOR I=1 TO ND:INPUT #1,S,X(I),Y(I),Z(I):NEXT I:IF C$<>'s' THEN 8
7 FOR I=1 TO ND:PRINT I;' X=';X(I);' Y=';Y(I);' Z=';Z(I):NEXT I:PRINT
8 ' h<=AAA,gamma=CO aa<h<bbb gamma=F(h) h>=bbb,gamma=TECHO
9 E=10000:FOR YI=0 TO 6000 STEP 1000:FOR XI=0 TO 6000 STEP 1000
10 FOR FI=1 TO F:FOR CO=1 TO C:A(F,C)=0:NEXT CO:NEXT FI
11 W=0:FOR I=1 TO ND:P(I)=0:IF (XI-X(I))^2+(YI-Y(I))^2 >= E*E THEN 13
12 W=W+1:Q(W)=I
13 NEXT I:F=W+1:C=W+2:A(F,F)=0:A(F,C)=1
14 ' Coefs.matriz cov. A(x,x) y term. indep. (A(x,y)
15 FOR M=1 TO W:I=Q(M):H=SQR((X(I)-XI)^2+(Y(I)-YI)^2)
16 'if h<=aaa then gamma=co goto 200
17 'if h>=bbb then gamma=techo:goto 200
18 GAMMA=.0008425*H^1.661764 :'GAMMA=F(H)
19 A(M,C)=GAMMA
20 FOR N=1 TO W: J=Q(N):H=SQR((X(I)-X(J))^2+(Y(I)-Y(J))^2)
21 ' IF H<1 THEN GAMMA=CO :GOTO 230
22 ' IF H>=BBB THEN GAMMA=TECHO:GOTO 230
23 GAMMA=.0008425*H^1.661764 :'GAMMA=F(H)
24 A(M,N)=GAMMA
25 A(F,N)=1:NEXT N:A(M,F)=1:NEXT M
26 ' Resolución del sistema A(f,c)
27 M=F:N=C:I1=1
28 I3=I1:SUM=ABS(A(I1,I1)):FOR I=I1 TO M
29 IF SUM<ABS(A(I,I1)) THEN I3=I:SUM=ABS(A(I,I1))
30 NEXT I:IF I3=I THEN 32
31 FOR J=1 TO N:SUM=-A(I1,J):A(I1,J)=A(I3,J):A(I3,J)=SUM:NEXT J
32 I3=I1+1:FOR I=I3 TO M:A(I,I1)=A(I,I1)/A(I1,I1):NEXT I
33 J2=I1-1:I3=I1+1:IF J2=0 THEN 36
34 FOR J=I3 TO N:FOR I=1 TO J2:A(I1,J)=A(I1,J)-A(I1,I)*A(I,J)
35 NEXT I:NEXT J:IF I1=M THEN 39
36 J2=I1:I1=I1+1:FOR I=I1 TO M:FOR J=1 TO J2
37 A(I,I1)=A(I,I1)-A(I,J)*A(J,I1):NEXT J:NEXT I:IF I1=M THEN 33
38 GOTO 28
39 FOR I=1 TO M:J2=M-I:I3=J2+1:A(I3,N)=A(I3,N)/A(I3,I3):IF J2=0 THEN 41
40 FOR J=1 TO J2:A(J,N)=A(J,N)-A(I3,N)*A(J,I3):NEXT J
41 NEXT I
42 ZI=0:FOR L=1 TO W:I=Q(L):ZI=ZI+A(L,C)*Z(I):NEXT L
43 Q$='#####. ':PRINT USING Q$;ZI;:NEXT XI:PRINT:NEXT YI
44 PRINT:PRINT 'Fin. Programa=krix.bas Archivo=';AR$:END
    
```

Figura 18.

Este programa utiliza un método algebraico para resolver el sistema de ecuaciones, en lugar del matricial que es excesivamente lento para grandes números. En la figura 19 se ofrece el resultado, que puede compararse con los datos de la figura 13.

70.0	55.8	44.9	45.0	55.0	65.0	71.0
64.0	51.1	42.0	54.0	64.0	72.0	77.8
55.0	49.2	49.0	59.2	69.3	77.0	84.0
51.7	50.2	55.0	66.0	74.0	82.0	91.1
52.2	53.0	61.0	71.2	80.0	88.0	100.0
57.0	60.0	69.0	78.4	87.9	99.0	110.0
66.4	72.0	78.3	86.3	95.0	104.0	116.0

Fin. Programa=krix.bas Archivo=kri.dat

Figura 19.

5. CONCLUSION

Con estas páginas se da fin a la serie que se

ha denominado «Miniprogramas». Se ha tratado en ella los temas siguientes:

- Elementos finitos. Monocapa. Transitorio y permanente.
- Diferencias finitas. Monocapa. Transitorio y permanente. Malla regular cuadrada.
- Diferencias finitas. Monocapa. Transitorio y permanente. Malla poligonal irregular. Condición río y manantial. Recarga/descarga variable en el intervalo.
- Diferencias finitas. Monocapa costero. Transitorio y permanente. Malla regular cuadrada.
- Modelo hidroquímico de advección. De advección y dispersión. Descargas puntuales y continuas.
- Estimación geoestadística (kriging).

De todos ellos se ha procurado simplificar al máximo los programas y explicarlos en detalle. Algunas de las explicaciones y desarrollos matemáticos teóricos son inevitablemente largos y engorrosos, pero el lector, en una primera lectura puede limitarse a copiar los programas y a seguir los ejemplos que se han ofrecido.

Esto asimilado podrá entrar con mayor soltura en el campo de la justificación matemática y del entendimiento de las VENTAJAS y LIMITACIONES de estos procesos de ordenador.

REFERENCIAS

KRIGE, D. G. (1981): *Lognormal-de Wijsian Geostatistics for Ore Evaluation*. South African Institute of Mining and Metallurgy, Kelvin House, 2 Hollard Street, Johannesburg, 51 pp.

GARCIA GUERRA, P. A. (1988): *Geoestadística Operacional*. Dept. Nacional da Produção Mineral, Ministério das Minas e Energia, Rep. Fed. do Brasil, 145 pp.

CHICA OLMO, M. (1988): *Análisis geoestadístico en el estudio de la explotación de los recursos minerales*. Dept. de Geodinámica, Universidad de Granada, 387 pp.

MATHERON, G. (1971): *The Theory of Regionalised Variables and its Applications*. Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau, num. 5. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.

WEBSTER, R., y OLIVER, M. A. (1990): *Statistical Methods in Soil and Land Resource Survey*. Oxford University Press, 290 pp.

Original recibido: Julio de 1992.
Original aceptado: Julio de 1992.

Datos preliminares de tasas de erosión hídrica en cárcavas del área experimental de Lanaja (Depresión del Ebro).

Por J. SIRVENT (*), G. DESIR (*), M. GUTIERREZ (*) y C. SANCHO (*)

RESUMEN

En las cercanías de la localidad de Lanaja (sector central de la Depresión del Ebro) se han instrumentado dos parcelas experimentales sobre materiales arcillosos miocenos, desprovistos de vegetación, en los que la intensidad de los procesos erosivos de erosión hídrica ha desarrollado un paisaje acaravado. En la producción de sedimentos y escorrentía se identifica un umbral de precipitación total (12-20 mm.) y otro de intensidad máxima (50 mm/h) por debajo de los cuales los procesos de reguización son poco activos. Cuando se superan estos umbrales tanto las cantidades de escorrentía como de sedimentos son mayores en la parcela de mayor pendiente (Lanaja 2). Volumétricamente, mientras el rebajamiento superficial en Lanaja 1 es de 2,7 mm. y coincide con los regueros, en Lanaja 2 el rebajamiento es de 4,2 mm. y se observa una repartición similar en las áreas de regueros e interregueros. La comparación de datos dinámicos y volumétricos indica valores de tasas de erosión (Tm/Ha/año) de 66 y 74, respectivamente, para Lanaja 1 y valores de 143 y 112-180 para la parcela Lanaja 2.

Palabras clave: Cárcavas, Tasas de erosión, Métodos dinámicos y volumétricos, Umbral geomorfológico, Depresión del Ebro.

ABSTRACT

In the surroundings of Lanaja (central Ebro Basin), two experimental plots have been monitored on Miocene clays, bare of vegetation, on which the erosion processes have developed a badland landscape. Rilling processes showed low activity for rainfall events below 12-20 mm of total precipitation and maximum rainfall intensity under 50 mm/h. When those thresholds were exceeded both runoff and the sediments yield were greater in the steeper plot (Lanaja 2). Volumetric measurements showed that, while the average ground lowering in Lanaja 1 was 2.7 mm and mainly within the rills, in Lanaja 2 the mean lowering was 4.2 mm, which was recorded in rill and interrill areas. In Lanaja 1 the dynamic and volumetric techniques recorded erosion rates of 66 and 74 Tn/Ha/year, respectively whereas in Lanaja 2 were obtained values of 143 and 112-180 Tn/Ha/year.

Key words: Badlands, Erosion rates, Dynamic and volumetric techniques, Geomorphological threshold, Ebro basin.

INTRODUCCION

En las depresiones presomontanas oscenses del sector central de la Cuenca del Ebro aparecen extensos afloramientos de materiales arcillosos. Además en esta región las condiciones climáticas son semiáridas. Ambos aspectos favorecen la existencia de áreas fuertemente acaravadas en las que los procesos de erosión hídrica son muy intensos.

(*) Departamento de Ciencias de la Tierra (Geomorfología). Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza.

Para cuantificar estos procesos y determinar las tasas de materiales erosionadas en estas áreas de cárcavas arcillosas han sido instrumentadas dos parcelas experimentales en las cercanías de la localidad de Lanaja.

Hasta el momento, los datos sobre tasas de erosión hídrica en materiales arcillosos del centro de la Depresión del Ebro se reducen a los deducidos empíricamente por LOPEZ CARDENAS et al. (1987) aplicando el método U.S.L.E., para toda la cuenca, y los obtenidos por BENITO (1989) y BENITO et al. (1991; 1992) utilizando

varillas de erosión y perfiladores microtopográficos, en la Hoya de Huesca.

Además de obtener valores de erosión hídrica en esta región de la Depresión del Ebro en este trabajo se pretende comparar los datos obtenidos mediante métodos volumétricos y dinámicos (DE PLOEY y GABRIELS, 1980) en cada parcela, así como realizar una primera aproximación al papel que juegan las diferentes variables que intervienen en los procesos de erosión.

AREA DE ESTUDIO Y MATERIALES

Las parcelas experimentales se ubican, en la comarca de Los Monegros, 2 Km. al E de la población de Lanaja, cerca de la carretera que une esta localidad con Sariñena.

Las características climáticas de la zona son las propias del medio semiárido dentro de un clima mediterráneo continental. Así, la precipitación media anual es de 320 mm., repartidos principalmente en dos máximos (primavera y otoño), durante los cuales las principales lluvias son de tipo tormentoso. La temperatura media anual es de 14,3° C aunque existen grandes contrastes, tal y como indica la amplitud térmica de 20,1° C.

Geomorfológicamente, la estación experimental se halla situada en la depresión presomontana de Sariñena (fig. 1). Esta región se caracteriza por el extenso desarrollo de un sistema de glacis encajados que arrancan de las plataformas carbonatadas de la Sierra de Alcubierre y enlazan con los niveles de terrazas del río Flumen. Este piedemonte aparece incidido por un conjunto de valles de fondo plano que discurren de SO a NE paralelos a la pendiente de los glacis. Las parcelas aparecen en la ladera de empalme del escarpe de un nivel de glacis con uno de estos valles de fondo plano, en su margen izquierda.

Desde el punto de vista geológico las parcelas experimentales están emplazadas sobre materiales miocenos de la Fm. Sariñena (QUIRANTES, 1978), representados por arcillas rojas con hiladas centimétricas de areniscas grises asociados a un paleoambiente de llanura de fangos, propios de áreas distales de sistemas de abanicos aluviales.

Las propiedades físico-químicas de estas arcillas van a ejercer un importante control tanto en las tasas totales de erosión como en los procesos intervinientes. En general estos materiales presentan un escaso contenido en materia orgánica, elevado pH y baja conductividad eléctrica. El contenido en Na⁺ es muy alto, lo que se traduce en índices de SAR y de dispersión elevados. El análisis granulométrico revela contenidos bajos en arena y altos de limo y arcilla, teniendo en cuenta que la fracción arcillosa está integrada mayoritariamente por illita y clorita. Los ensayos edométricos indican una capacidad de hinchamiento baja. Estas características son similares a las indicadas por BENITO et al. (1992) para materiales similares en la Hoya de Huesca.

METODOLOGIA

En el área de estudio anterior se ha instalado el campo experimental compuesto por dos parcelas muy próximas, separadas unos 50 m., denominadas Lanaja 1 (LN1) (foto 1) y Lanaja 2 (LN2) (foto 2). Ambas se localizan en zonas acarreadas y desprovistas de vegetación, con orientación meridional, características físico-químicas del material similares y sujetas a condiciones meteorológicas prácticamente idénticas. Mientras que la parcela LN1 tiene una pendiente media de 5° y una superficie total de 257 m² la parcela LN2 presenta una pendiente media de 23° y una superficie total de 128 m².

Con el fin de tener un conocimiento detallado de las condiciones ambientales a las que están expuestos los materiales estudiados y cuál es la respuesta de los mismos frente a dichas condiciones, se ha instalado en las propias parcelas experimentales una estación meteorológica compuesta por un pluviógrafo y un sensor de temperatura y humedad relativa del aire. Todos ellos están conectados a un *data logger* donde se recogen los datos en intervalos de dos minutos. Además para conocer, de modo semicuantitativo, el estado de saturación en agua del regolito arcilloso antes, durante y después de cada precipitación, se han instalado dos bloques de yeso también conectados al *data logger*.

De cara a cuantificar la erosión hídrica se ha procedido a la instrumentación dinámica y vo-

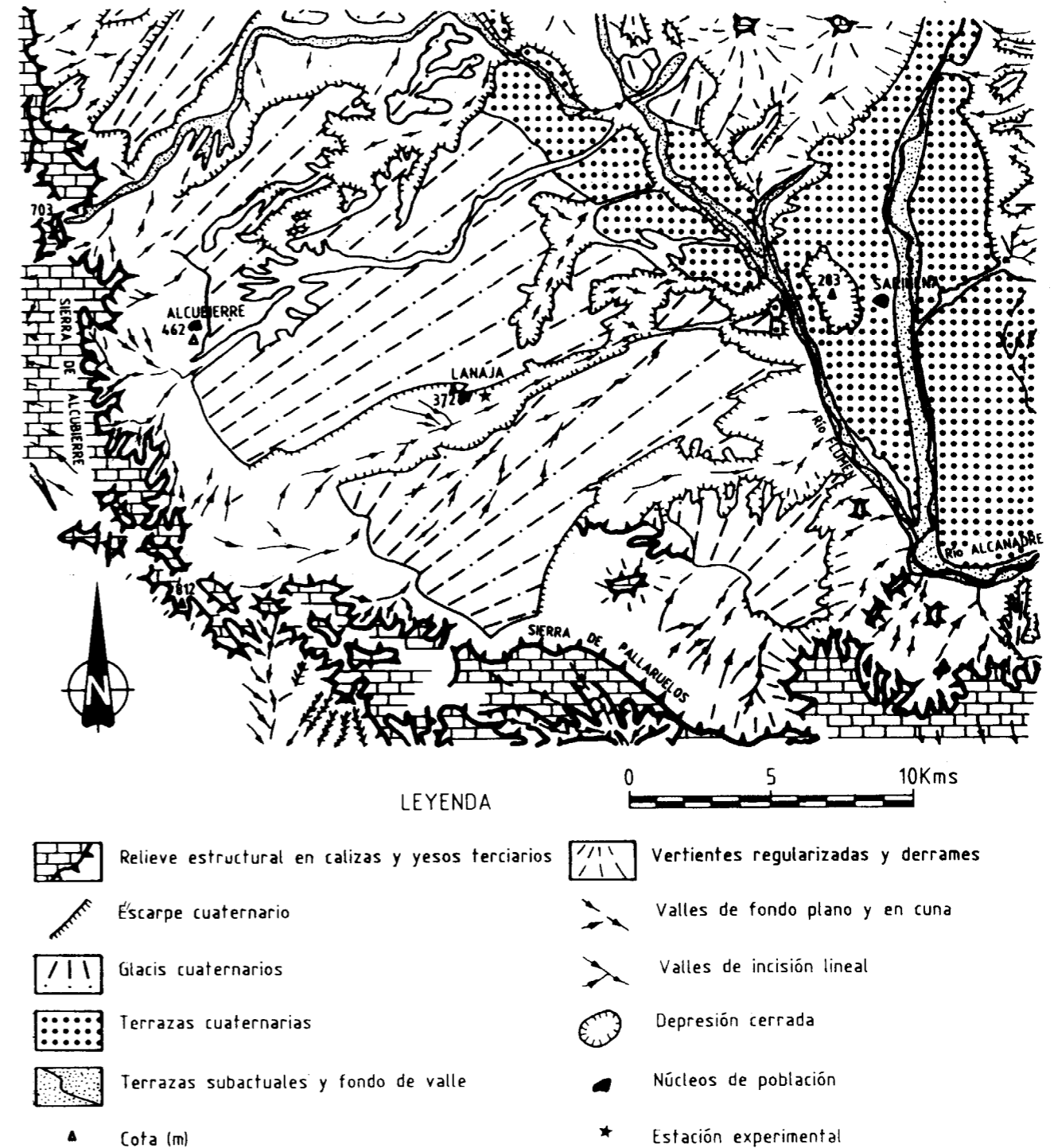


Figura 1.—Contexto geomorfológico y localización del área experimental de Lanaja (ALBERTO et al., 1984)



Foto 1

Parcela experimental Lana-ja 1, en la que se observa la red de regueros y el sistema de colectores y divisores.

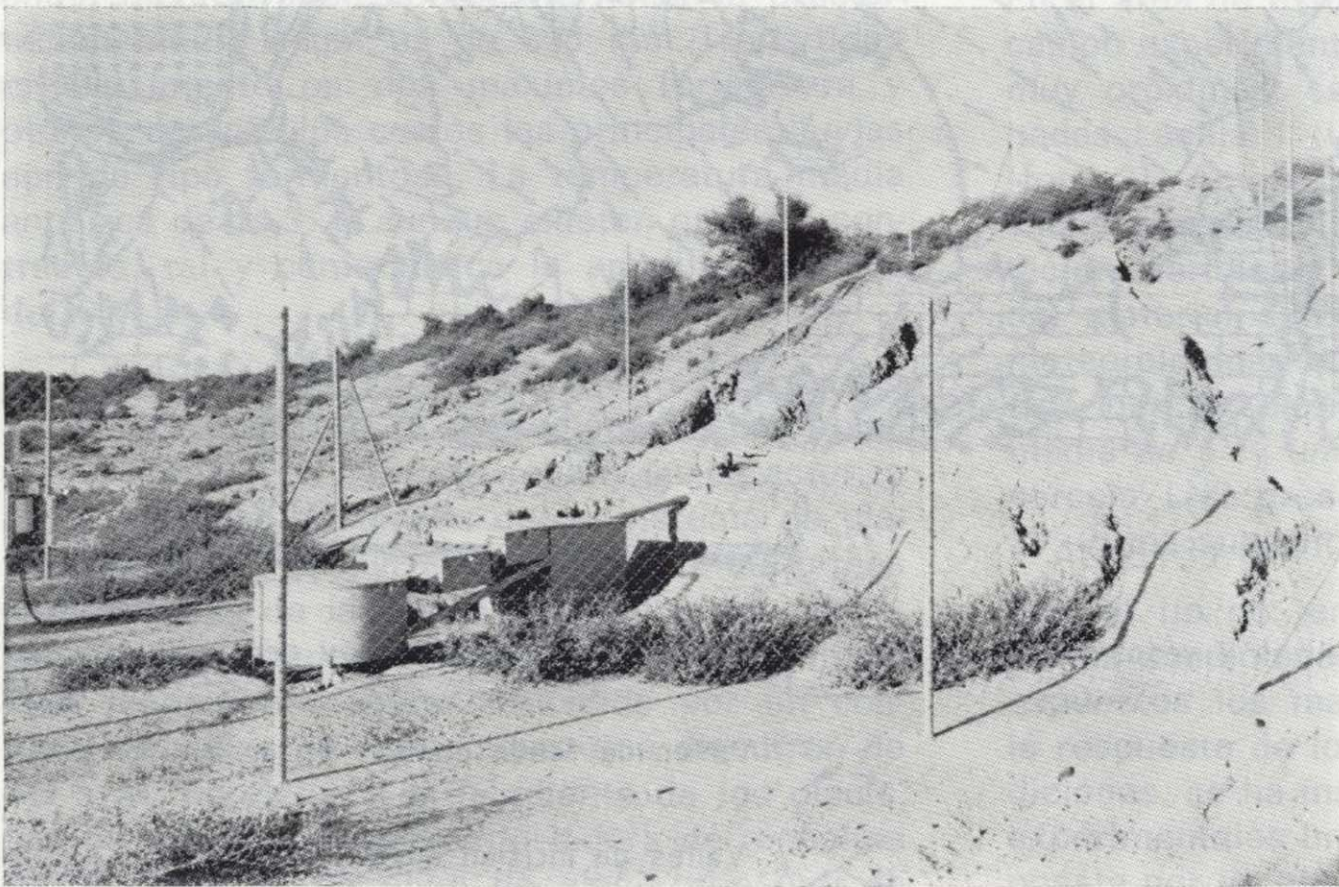


Foto 2

Parcela experimental Lana-ja 2, que incluye la estación meteorológica y la batería de colectores y divisores.

lumétrica de cada una de las parcelas experimentales.

Para la obtención de medidas dinámicas, dentro de cada una de las parcelas, se ha seleccionado microcuencas con divisorias naturales. La correspondiente a LN1 tiene una superficie de 57,18 m², mientras que la perteneciente a LN2

es de 23,86 m². En la salida de cada microcuencia, y unido al reguero principal mediante un emboque triangular, se ha instalado un tren de colectores (ALBADALEJO, 1990, y DESIR et al., 1992) que consta de un primer tanque (decantador) capaz de albergar más de 400 dm³ de agua y sedimento, dos divisores de escorrentía

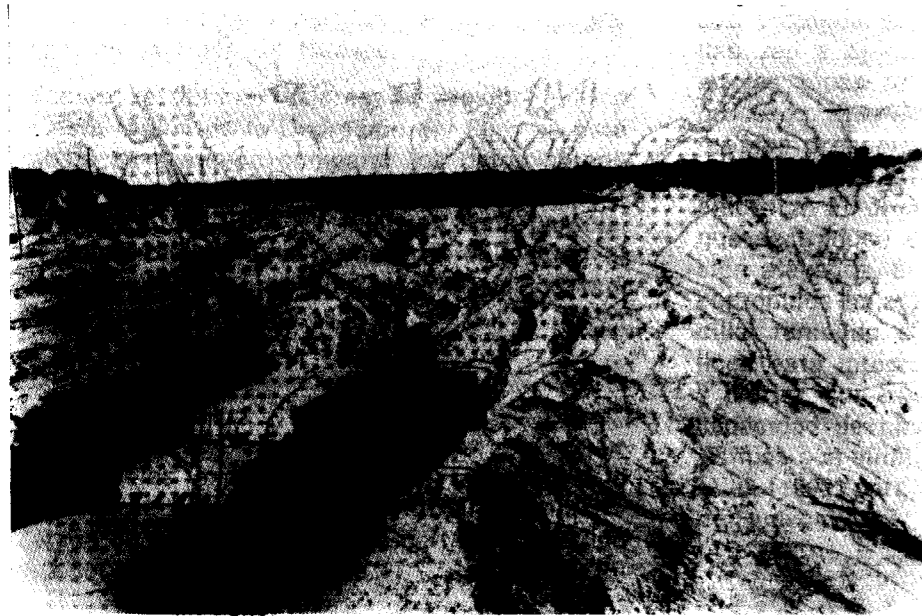


Foto 1

Parcela experimental Lanaja 1, en la que se observa la red de regueros y el sistema de colectores y divisores.



Foto 2

Parcela experimental Lanaja 2, que incluye la estación meteorológica y la batería de colectores y divisores.

lumétrica de cada una de las parcelas experimentales.

Para la obtención de medidas dinámicas, dentro de cada una de las parcelas, se ha seleccionado microcuencas con divisorias naturales. La correspondiente a LN1 tiene una superficie de 57,18 m², mientras que la perteneciente a LN2

es de 23,86 m². En la salida de cada microcuena, y unido al reguero principal mediante un emboque triangular, se ha instalado un tren de colectores (ALBADALEJO, 1990, y DESIR et al., 1992) que consta de un primer tanque (decantador) capaz de albergar más de 400 dm³ de agua y sedimento, dos divisores de escorrentía

de tipo Geib modificados, previamente calibrados, que permiten que la cantidad de escorrentía que llega al último depósito (colector), con capacidad para 430 dm³, sea 1/15 del total desbordado en el decantador.

Tras cada evento con producción de escorrentía se procede a la medición de la altura del agua y sedimentos del decantador, con el fin de conocer el volumen total de escorrentía generada y sedimentos arrastrados. A continuación se toman dos muestras representativas del agua más sedimentos almacenadas en los depósitos. Para ello se homogeniza el contenido con un bastón a modo de remo, lo cual resulta suficientemente efectivo debido a que el depósito decantador lleva instalada una bandeja metálica cincada, con una luz de malla de 1 mm., ideada para impedir el paso del material grosero al fondo del tanque, lo que dificultaría enormemente la homogenización de su contenido y, por tanto, restaría representatividad a las muestras.

En el laboratorio se procede al secado de un litro de muestra en una estufa a 105° C, obteniéndose el peso de sedimento seco por litro de escorrentía para cada evento. Asimismo, otro litro de muestra se somete a filtrado, obteniéndose el peso de material sólido en suspensión y, por diferencia, el peso de material en disolución. Los iones mayoritarios presentes en el alícuota obtenido del filtrado de cada muestra son determinados mediante diversas técnicas analíticas (electrodos selectivos, espectrofotómetro, ...).

Para la obtención del registro volumétrico de tasas de erosión se han instalado varillas de erosión (SANCHO et al., 1991) de hierro acerado y cincadas para atenuar los procesos de oxidación de las mismas. Las agujas tienen una longitud de 30, 40 ó 50 cm. y un diámetro de 4 ó 6 mm., lo cual asegura un buen anclaje a la vez que permite una fácil penetración causando la mínima distorsión posible alrededor de las mismas.

En la parcela LN1 se han instrumentado 321 agujas de erosión en 257 m² de superficie y en LN2 el total de agujas utilizadas ha sido de 197 para una superficie de 128 m². Estas varillas están dispuestas formando una malla de un metro de lado que, además de ofrecer datos de rebajamiento superficial con los que confeccio-

nar mapas de isorrebajamiento, son muy útiles para la realización de la cartografía geomorfológica de detalle del área estudiada. Para su colocación se ha utilizado un marco metálico de 1 m. de lado, lo cual facilita y aumenta la exactitud de la instalación de las mismas. Un segundo tipo de agujas son las que se han situado en puntos de especial interés geomorfológico (fondos y cabeceras de rills), que suponen una eficaz herramienta de apoyo para la correcta elaboración de los mapas de isorrebajamiento.

Las medidas de rebajamiento (o acreción) son tomadas cada seis meses con un calibrador, haciendo uso de una arandela metálica colocada sólo en el momento de realizar la medida.

RESULTADOS

Datos de precipitaciones

Los datos de pérdida de suelo analizados en este trabajo corresponden a 22 eventos de lluvia registrados en la estación experimental de Lanaja desde julio de 1991 hasta mayo de 1992 (tabla 1). Durante este período, tiempo próximo al año, la precipitación total ha sido de 246,3 mm., repartida cuantitativamente y cualitativamente, de manera diferencial a lo largo del año.

Así, durante los meses de julio, septiembre y octubre la precipitación fue de 150,6 mm., con un valor medio por evento cercano a los 13,5 mm y un episodio máximo de 49,2 l/m². Durante este intervalo la media de las intensidades es de 15,26 mm/h. con un valor máximo de 52,5 mm/h. No obstante, si dividimos el evento en intervalos de 2 minutos la intensidad máxima alcanzada fue de 132 mm/h.

Las características anteriores de lluvias abundantes e intensas dan paso desde noviembre hasta mayo a otro tipo de precipitaciones menos importantes cuantitativamente y de mucha menor intensidad. Durante estos meses la precipitación total ha sido de 95,7 mm., con valores de precipitación media por evento de 7,36 mm., y un valor máximo de 30,7 mm. Por lo que se refiere a las intensidades, el valor medio es de 4,7 mm/h., con un valor máximo de 7,2 mm/h. Por intervalos de dos minutos la intensidad máxima es de 30 mm/h.

TABLA 1

Fecha muestreo	Precipitación (l/m ²)	Intensidad máxima (mm/h)	Intensidad media (mm/h)	Escurrentía LN1 (l/m ²)	Escurrentía LN2 (l/m ²)	Sedimentos LN1 (g/m ²)	Sedimentos LN2 (g/m ²)
23/7/91	7	132	52.5	4.7	2.7	494.3	477.9
29/8/91	2.8	18	12	0.9	0.6	72.8	84.51
4/9/91	36.8	72	16	15.8	19.1	1604.3	3082.2
6/9/91	3	12	< 0.1	0	0	0	0
12/9/91	49.2	114	17.8	11.6	23.9	1962.8	7521.9
26/9/91	10.6	42	8.1	3.1	1.8	174.7	127
30/9/91	11.6	12	6.3	4.5	1.5	173.4	84.8
25/10/91	7	78	19.1	2.4	4	315.5	902.3
29/10/91	22.6	49	5.5	6.5	10.1	962.9	2816.4
14/11/91	4.2	6	6	0	0	0	0
18/11/91	6.8	24	7.2	0.5	0.1	0.03	28.5
19/11/91	0.8	6	6	0	0	0	0
2/12/91	30.7	12	6.4	7.8	7.2	554.8	227.5
3/12/91	0.4	6	6	0	0	0	0
4/12/91	0.2	6	6	0	0	0	0
5/12/91	0.2	6	6	0	0	0	0
20/1/92	12*	**	**	2.1	1	84.9	79.5
13/2/92	1.6	12	0.6	0.02	0.03	0.1	1.3
10/3/92	7.6	24	6.7	0.7	2.5	0.8	2.6
6/4/92	11.4	24	< 0.1	0.1	0	0.5	0
4/5/92	9.4	12	2.8	5.8	2.6	163.5	143.8
22/5/92	10.4	30	3	1.4	0.2	130.2	57.8

* Dato recogido de la estación meteorológica de Lanaja, dependiente del Servicio Meteorológico de Aragón.
** Sin datos.

Datos de precipitación, escurrentía y sedimentos recogidos durante 22 eventos en las parcelas experimentales Lanaja 1 y Lanaja 2.

Datos dinámicos

Los datos dinámicos de tasas de erosión hídrica se han obtenido mediante un sistema de colectores y divisores situado a la salida de uno de los diversos regueros de cada parcela experimental.

Los mayores valores de escurrentía obtenidos en un evento son de 15,8 l/m² para la parcela LN1 y de 23,9 l/m² para la parcela LN2. En seis de ellos no hubo generación de escurrentía en ninguna de las parcelas, correspondiendo con valores bajos tanto de precipitación como de intensidad de lluvia. Las mayores tasas de producción de sedimentos se alcanzan para ambas parcelas en el evento registrado el 12-9-91, con valores en torno a 2 y 7 Kg/m² para las parcelas LN1 y LN2 respectivamente (tabla 1). En general, los sistemas de colectores y divisores arrojan tasas de erosión hídrica de 66 Tm/Ha/año para la parcela LN1 y 143 Tm/Ha/año para LN2.

Sin embargo, estas tasas de erosión se reparten diferencialmente en función de la precipitación total y de la intensidad máxima del evento.

En la figura 2A se puede observar que para una determinada precipitación, la producción de sedimentos (en g/m²) guarda una relación directa con la cantidad de lluvia y que los valores de pérdida de suelo son más altos en la parcela con mayor gradiente topográfico. Esta generalidad sólo se incumple en el evento del 2-6-91, que es el único en el cual la cantidad de precipitación es relativamente alta (30,7 mm.) a la vez que la intensidad máxima de la misma puede considerarse baja (12 mm/h). También se advierte la existencia de un umbral situado aproximadamente entre los 12 y 20 mm. de precipitación, por debajo del cual la producción de sedimentos es mínima. No obstante, la cantidad de datos disponibles es aún demasiado pequeña para poder situar este umbral con mayor precisión.

Del mismo modo, la cantidad de escurrentía que se genera en cada evento (medida en l/m²) está en relación directa con la cantidad de precipitación registrada durante cada lluvia (fig. 2B). Al igual que en el caso de la producción de sedimentos la escurrentía es nula por debajo de precipitaciones totales de 5 mm. y mínima para valores comprendidos entre 5 y 15 mm., por lo cual podemos hablar, al igual que en la producción de sedimentos, de un umbral a partir del cual se incrementa considerablemente la generación de escurrentía. Por otro lado, el análisis de la escurrentía proporciona otro resultado interesante relacionado con la pendiente de las microcuencas. Por regla general, para cada evento el valor de escurrentía generada en la parcela de mayor pendiente (LN2) es superior al que se obtiene para la microcuenca más llana (LN1), salvo para las lluvias situadas antes del umbral indicado previamente. Por tanto, para valores inferiores a 15 mm. de precipitación se produce más escurrentía en la parcela con menos pendiente, mientras que para lluvias que superen este valor se invierte esta tendencia.

Por último, hemos analizado la evolución que sigue la relación sedimentos/escurrentía en función de la precipitación total (fig. 2C). Esta relación va aumentando gradualmente al incrementarse la lluvia total para la parcela LN1, lo

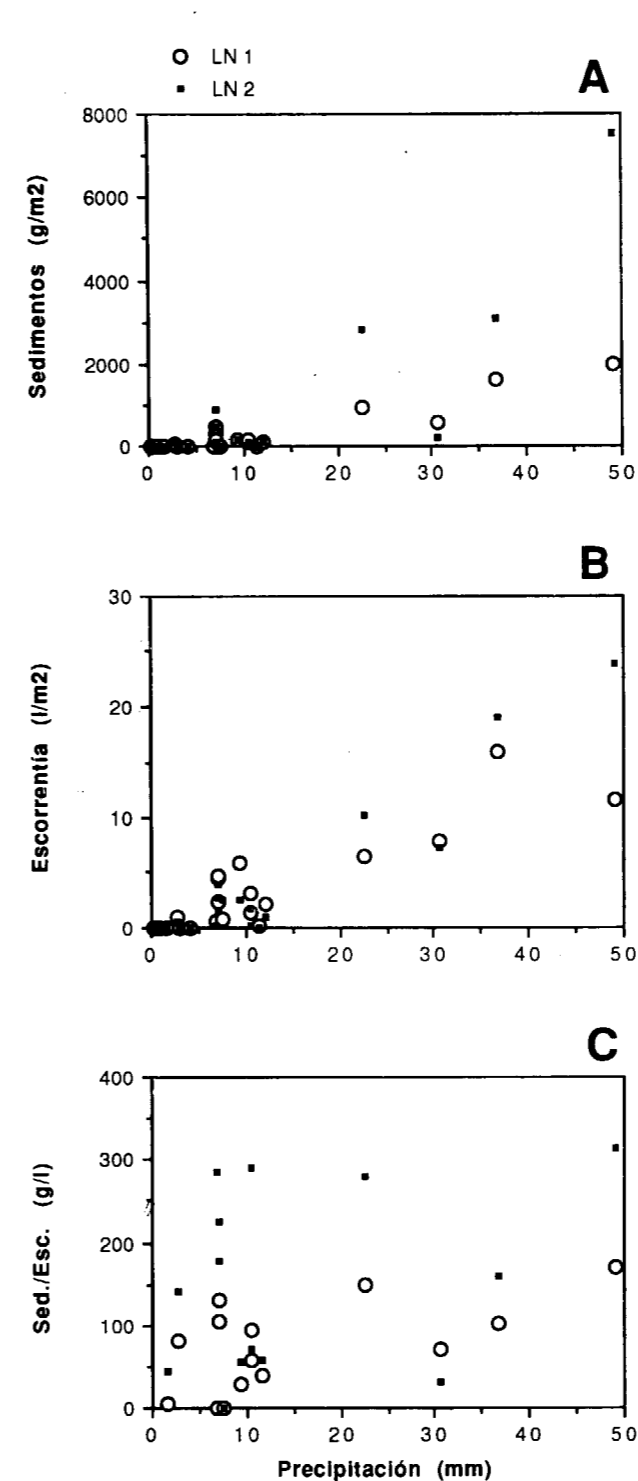


Figura 2.—Relaciones existentes entre la producción de sedimentos (A), generación de escurrentía (B) y relación sedimentos/escurrentía (C) con respecto a la precipitación total de cada evento de lluvia para las dos estaciones.

que significa que la concentración de sedimentos en la escurrentía es menor para eventos de baja precipitación, mientras se incrementa para lluvias mayores. Sin embargo, la parcela de mayor pendiente (LN2) se comporta de manera diferente. Mientras que para precipitaciones importantes la relación sedimentos/escurrentía siempre tiende a valores altos, para lluvias de poca relevancia la concentración de sedimentos en la escurrentía es muy variable, oscilando entre valores nulos y los máximos observados para lluvias importantes. Finalmente siempre aparece una concentración de sedimentos superior en la parcela LN2 con pendiente de 23° que en la parcela LN1 con pendiente de 5°.

Por otro lado, es posible analizar tanto la producción de sedimentos y escurrentía, como la relación sedimentos/escurrentía referidos a la intensidad máxima de lluvia en dos minutos para cada uno de los eventos registrados. Así en la figura 3A observamos una relación directa entre la producción de sedimentos y la intensidad máxima. Además, para intensidades inferiores a 50 mm/h. esta producción tiende a ser mínima, por lo que sería necesario sobrepasar este umbral de intensidad para activar la erosión del regolito. Por último la cantidad de sedimentos movilizados es mayor en la parcela LN2 (23° de pendiente) que en LN1 (5°). Conviene indicar la existencia de un evento con intensidad máxima de 132 mm/h. que generó muy pocos sedimentos debido a que la precipitación total fue muy pequeña (7 mm.).

La relación escurrentía/intensidad máxima es directamente proporcional (fig. 3B), exceptuando la particularidad del evento anteriormente indicado. Pero además se deduce que el umbral anterior (50 mm/h.) marca un cambio en la escurrentía generada en una y otra parcela, ya que para valores inferiores a esta intensidad, la parcela LN1 de menor pendiente genera más escurrentía que la parcela LN2 de mayor pendiente. Tras pasado este umbral la parcela LN2 genera mucho mayor volumen de escurrentía.

Por lo que se refiere al análisis de la relación sedimentos/escurrentía en función de la intensidad de la lluvia (fig. 3C) los resultados indican que para la parcela LN1 la relación es directa, mientras que para la parcela LN2 se observa un valor variable de la relación para intensidades máximas bajas y sólo valores altos cuando

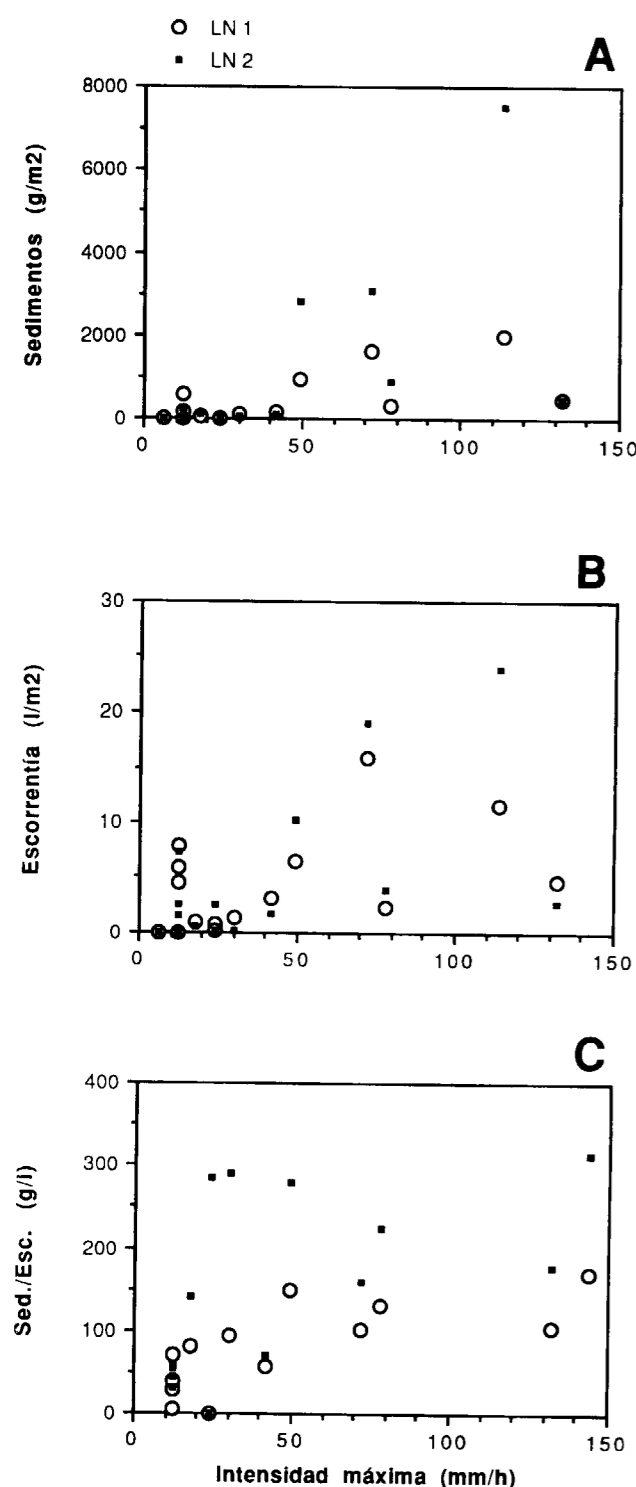


Figura 3.—Relaciones existentes entre la producción de sedimentos (A), generación de escorrentía (B) y relación sedimentos/escorrentía (C) con respecto a la intensidad máxima de cada evento de lluvia para las dos estaciones.

la intensidad máxima aumenta. Es decir, la concentración de sedimentos en la escorrentía es alta cuando las intensidades también lo son, pero puede variar mucho cuando esta intensidad es baja. También se observa una tendencia a que la parcela LN2 presente mayor concentración de sedimentos que LN1 independientemente de la intensidad.

Datos volumétricos

Los datos volumétricos de tasas de erosión hídrica se han obtenido a partir del rebajamiento superficial medio deducido de la medición de las varillas de erosión implementadas en cada parcela experimental. Las medidas corresponden al intervalo de 3-10-91 a 7-5-92.

Dichos datos reflejan que en la parcela LN1, utilizando 321 agujas de erosión, el rebajamiento medio durante el período de estudio ha sido de 2,7 mm., lo que supone una tasa de erosión de 74 Tm/Ha/año al utilizar una densidad media de la litología erosionada de 2,65 gr/cm³. En el mapa de isólinas de rebajamiento de LN1 (fig. 4), confeccionado a partir de los datos obtenidos de cada varilla de erosión, se observa

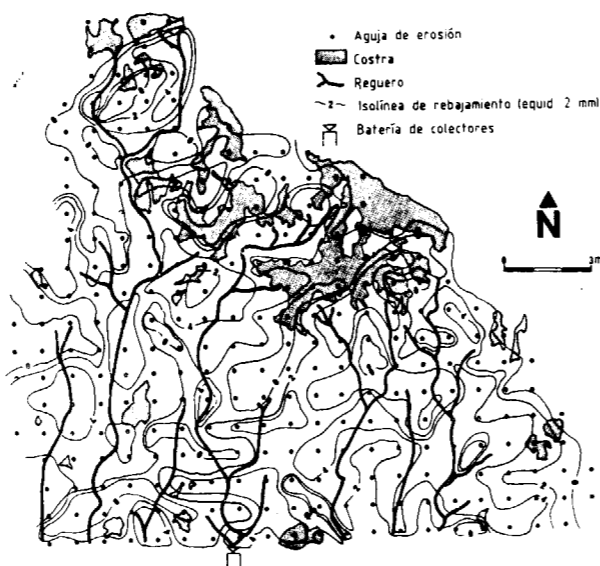


Figura 4.—Mapa de isólinas de rebajamiento superficial de la parcela Lanaja 1 durante el período octubre-91 a mayo-92.

que los mayores valores de rebajamiento corresponden a zonas de regueros y a los límites de la costra carbonatada (1-2 cm. de espesor), esto último debido a los desplomes puntuales de la misma fruto del retroceso de las cabeceras de los propios rills. En cambio los valores más bajos o, incluso, nulos se encuentran en las zonas de interregueros y sobre la propia costra.

La distribución de los valores de rebajamiento superficial obtenidos en la parcela LN2 es más compleja ya que, además de las zonas de regueros e interregueros, es necesario considerar la presencia de intercalaciones de areniscas en la ladera arcillosa, que rompen la homogeneidad de la pendiente. En general se observa un rebajamiento superficial generalizado en la ladera exceptuando la parte superior de los escalones resistentes arenosos, en los que es frecuente encontrar valores neutros o acreciones puntuales.

De este modo en la parcela LN2, se diferencian 123 varillas en las que existe rebajamiento y 74 en las que este valor es nulo o incluso puede existir acreción. Considerando el total de las 197 agujas se obtiene un valor de rebajamiento superficial para el período de estudio de 4,2 mm. y la consiguiente tasa de erosión resultante se cifra en 112 Tm/Ha/año.

Sin embargo, y de cara a la comparación con los datos dinámicos ofrecidos por esta parcela, hay que puntualizar que la microcuenca seleccionada para la instalación de colectores carece de niveles arenosos, por lo que el rebajamiento superficial es general en toda la superficie. De este modo, si se consideran las 123 agujas que presentan rebajamiento superficial en la parcela LN2 los datos indican 6,8 mm. de media, lo que proporciona la tasa de erosión hídrica, calculada en 180 Tm/Ha/año.

En cualquier caso, además de los datos medios, en el mapa de isólinas de rebajamiento (fig. 5) se observa en general una distribución de las curvas en la que predomina el paralelismo entre ellas con una orientación perpendicular a la máxima pendiente de la ladera, lo que indica valores de rebajamiento superficial similares en las zonas de rills o interrills.

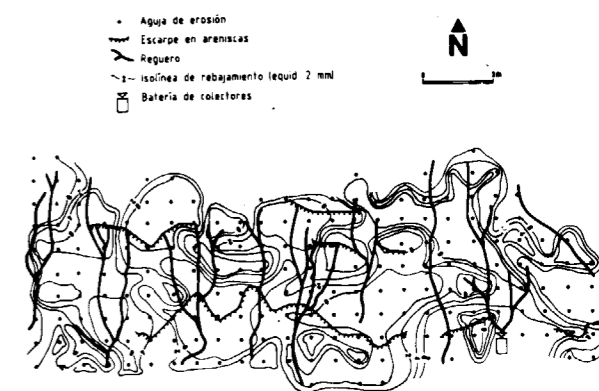


Figura 5.—Mapa de isólinas de rebajamiento superficial de la parcela Lanaja 2 durante el período octubre-91 a mayo-92.

DISCUSION

La discusión y conclusiones derivadas de los datos ofrecidos anteriormente se puede centrar en tres apartados fundamentales relativos a las tasas dinámicas, volumétricas y la comparación entre ambas.

Por lo que se refiere a los datos dinámicos, en primer lugar, existe mayor producción en Lanaja 2 que en Lanaja 1 para un mismo evento de lluvia debido, lógicamente, a la mayor pendiente en la primera que en la segunda. Esta influencia de la pendiente en la respuesta de las laderas es indicada por numerosos autores. La mayor producción de sedimentos está ligada al incremento de la energía del flujo superficial capaz de superar la fuerza de cohesión de las partículas arcillosas (TORRI et al., 1987).

Por otro lado, se identifican un umbral de precipitación (12-20 mm.) y otro de intensidad máxima en 2 minutos (50 mm/h.) en la producción de sedimentos y de escorrentía. Aunque la intensidad crítica para producir erosión varía de modo muy notable según las condiciones del área de estudio (MORGAN, 1986), los datos anteriores se aproximan comparativamente a los indicados por diversos autores para ambientes similares al nuestro. En áreas mediterráneas, y con porcentajes de cobertura vegetal del 35 por 100, ROMERO et al. (1988) indican la carencia de erosión con lluvias inferiores a 4 mm. Estos umbrales de intensidad se relacionan con

la energía cinética necesaria para movilizar el material en función del diámetro de las gotas de lluvia (HUDSON, 1981).

También es posible añadir que estos umbrales de lluvia total e intensidad marcan un cambio en el comportamiento de la producción de escorrentía, de manera que por debajo de ellos la escorrentía es mayor en la parcela de menor pendiente y por encima sucede lo contrario.

Finalmente, la relación sedimentos/escorrentía se incrementa gradualmente con la precipitación y la intensidad en el caso de Lanaja 1, mientras que para Lanaja 2 cuando la lluvia tiene un valor bajo la concentración de sedimentos en la escorrentía es muy variable y cuando la precipitación es importante la concentración de sedimentos siempre es alta. Nunca con lluvias fuertes se obtiene una relación baja sedimentos/escorrentía.

El análisis de los datos volumétricos revela claras diferencias entre las dos parcelas. En Lanaja 1 (5°) la erosión es alta en zonas de rills y en las partes de contacto con la costra y baja en las zonas de interrills y costra.

Por otro lado en Lanaja 2 (23°) la erosión es alta y con valores similares en zonas de rills e interrills y baja en la parte superior de los escalones areniscosos.

El papel de la costra se centra en la reducción del impacto de las gotas de lluvia por tener una mayor estabilidad estructural (LE BISSONNAIS, 1990), en la impermeabilización del regolito (LE BISSONNAIS, 1990; MOORE y SINGER, 1990) y en la dificultad de aparición de flujos turbulentos sobre ella (DE PLOEY, 1985). La erosión predominante en las zonas de regueros, dentro de la parcela Lanaja 1, está en relación con la energía que el flujo adquiere en áreas de reguero e interreguero cuando se trabaja con una pendiente (5°) que supera ligeramente el umbral necesario para el comienzo de la reguerización (SAVAT y DE PLOEY, 1982; GOVERS, 1985), ya que mientras en los regueros se supera el umbral energético necesario no sucede lo mismo en los interregueros. En las zonas de contacto entre los rills y la costra se producen tasas de erosión importantes debido a procesos de socavamiento basal y colapsos que se traducen en un retroceso de las superficies con costra.

Cuando la pendiente aumenta, tal y como sucede en Lanaja 2, la energía del flujo supera el umbral de reguerización tanto en zonas de regueros como de interregueros (BENITO et al, 1991). Por otro lado los escalones en arenisca provocan modificaciones importantes del flujo y de los índices de infiltración a lo largo de la ladera, lo que se traduce en una diferencia marcada del rebajamiento superficial entre las zonas superior e inferior del escalón, tal y como demuestran experimentalmente (POESEN y BRYAN, 1989-90).

Finalmente, si comparamos los datos obtenidos por ambos métodos (tabla 2) las tasas de ero-

TABLA 2

Tasas (Tm/Ha/año)	Dinámicas	Volumétricas
LN1	66	74
LN2	143	112-180

Comparación de tasas de erosión obtenidas mediante métodos dinámicos y volumétricos.

sión hídrica obtenidas mediante los sistemas de colectores y divisores son sensiblemente menores que las obtenidas, para las mismas parcelas experimentales, mediante varillas de erosión. Estas consideraciones han sido también indicadas por ROGOWSKI et al. (1985) y SALA (1988).

NOTA: Agradecemos el soporte económico recibido de la C.I.C.Y.T. (Proyecto NAT89-1010), I.C.O.N.A. y C.O.N.A.I. de la Diputación General de Aragón.

REFERENCIAS

- ALBADALEJO, J. (1990): *Metodologías para la Evaluación Experimental de Pérdida de Suelo*. En Erosión del Suelo en Condiciones Ambientales Mediterráneas. Univ. Menéndez Pelayo. Seminarios y Encuentros, 21 pp. Valencia.
- ALBERTO, F.; GUTIERREZ, M.; IBAÑEZ, M. J.; MACHIN, J.; PEÑA, J. L.; POCIVI, A., y RODRIGUEZ, J. (1984): *El Cuaternario en la Depresión del Ebro en la región aragonesa:*

cartografía y síntesis de los conocimientos existentes. Universidad de Zaragoza-Estación experimental Aula Dei, 217 pp.

BENITO, G. (1989): *Geomorfología de la cuenca baja del río Gállego*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias, 764 pp. Zaragoza (inédito).

BENITO, G.; GUTIERREZ, M., y SANCHO, C. (1991): *Erosion patterns in rill and interrill areas in badlands zones of the middle Ebro Basin (NE-Spain)*. En SALA, M.; RUBIO, J. L., y GARCIA RUIZ, J. M. (Eds.). *Soil erosion studies in Spain*. Geofoma Ediciones, 41-54.

BENITO, G.; GUTIERREZ, M., y SANCHO, C. (1992): *Erosion rates in badlands areas of the Central Ebro Basin (NE-Spain)*. *Catena*, 19, 269-286.

DE PLOEY, J. (1985): *Experimental data on runoff generation*. En: EL-SWAIFI, S. A.; MOLLDENHANER, W. C., y ANDREW, L. (Eds.). *Soil erosion and conservation*, 528-539. Soil Conservation Society of America

DE PLOEY, J., y GABRIELS, D. (1980): *Measuring soil loss and experimental studies*. En: KIRKBY, M. J., y MORGAN, R. P. C. (Eds.). *Soil Erosion*. John Willey, 63-108.

DESIR, G.; SIRVENT, J.; GUTIERREZ, M., y SANCHO, C. (1992): *Primeros datos sobre procesos y tasas de erosión en laderas sobre materiales yesíferos, sector central de la Depresión del Ebro*. En: LOPEZ, F.; CONESA, C., y ROMERO, M. A. (Eds.). *Estudios de Geomorfología en España*, 45-54. Murcia.

GOVERS, G. (1985): *Selectivity and transport capacity of thin flows in relation to rill erosion*. *Catena*, 12, 35-49.

HUDSON, N. (1981): *Soil conservation*. Ed. Batsford, 324 pp. London.

LE BISSONNAIS, Y. (1990): *Experimental study and modelling of soil surface crusting processes*. *Catena Suppl.*, 17, 13-38.

LOPEZ CADENAS, F.; PEREZ-SOBA, A.; AGUILO, J.; MARGISTER, M.; LOPEZ, F.; RABADE, J. M.; COPANO, C.;

ROLDAN, M.; GOMEZ, J.; NAVARRO, J.; GARCIA, J. L., y GARCIA, A. (1987): *Mapas de estados erosivos*. *Cuenca Hidrográfica del Ebro*. I.C.O.N.A., 87 pp.

MOORE, D., y SINGER, M. (1990): *Crust Formation Effects on Soil Erosion Processes*. *Soil Science Society American Journal*, 54, 1117-1123.

MORGAN, R. (1986): *Soil erosion and conservation*. Longman, 298 pp.

POESEN, J. W. A., y BRYAN, R. B. (1989-90): *Influence de la longueur de pente sur le ruissellement: rôle de la formation de rigoles et de croûtes de sédimentation*. *Cahiers ORSTOM*, XXV, 71-80.

QUIRANTES, J. (1978): *Estudio sedimentológico y estratigráfico del Terciario Continental de los Monegros*. Institución Fernando el Católico, 200 pp. Zaragoza.

ROGOWSKI, A. S.; KHANBILVARDI, R. M., y DEANGELIS, R. J. (1985): *Estimating erosion on plot, field, and watershed scales*. En EL-SWAIFI, S. A.; MOLLDENHANER, W. C., y ANDREW, L. (Eds.). *Soil erosion and conservation*, 149-166. Soil Conservation Society of America.

ROMERO, M. A.; LOPEZ, F.; THORNES, J. B.; FRANCIS, C. F., y FISHER, G. C. (1988): *Variability of overland flow erosion rates in a semi-arid mediterranean environment under matorral cover (Murcia, Spain)*. *Catena Suppl.*, 13, 1-11.

SALA, M. (1988): *Slope runoff and sediment production in two mediterranean mountain environments*. *Catena Suppl.*, 12, 13-29.

SANCHO, C.; BENITO, G., y GUTIERREZ, M. (1991): *Agujas de erosión y perfiladores microtopográficos*. Cuadernos Técnicos de la S.E.G., 2, 28 pp. Geofoma Ediciones.

SAVAT, J., y DE PLOEY, J. (1982): *Sheetwash and rill development by surface flow*. En: BRYAN, R., y WAIR, A. (Eds.). *Badland Geomorphology and Piping*. *Geo Abstracts*, 113-126. Norwich.

TORRI, D.; SFALANGA, M., y CHISCI, G. (1987): *Threshold conditions for incipient rilling*. *Catena Suppl.*, 8, 97-105.

Original recibido: Noviembre de 1992.

Original aceptado: Diciembre de 1992.

ESTUDIO DE MINERALES Y ROCAS

Identificación y caracterización de un mineral oxidado complejo de Estaño, Hierro y Arsénico de la mina «Santa Elisa» (Zamora).

Por D. GOMEZ-LIMON, R. ALVAREZ y C. RUIZ (*)

RESUMEN

Se ha descrito la presencia de minerales del tipo óxido-hidróxido de estaño y hierro en varias minas del mundo, también conocidos bajo la antigua denominación de varlamofita. En la mina de «Santa Elisa» se ha detectado la presencia de este mineral, que contiene tres elementos principales: estaño, hierro y arsénico. El estaño es el elemento mayoritario, con contenidos aproximados del 70 por 100 expresado como SnO_2 , y que es similar a los registrados en las otras localidades donde se ha descrito anteriormente este mineral. El arsénico está presente en menor cantidad que el estaño y el hierro, con contenidos en As_2O_3 del 2,5 por 100. Su densidad es más alta que la dada en las referencias existentes, con una media de $3,7 \text{ g/cm}^3$, y es prácticamente amorfa. Su origen es probablemente debido a la alteración de la casiterita, como muestra el estudio en el microscopio electrónico de barrido.

Palabras clave: Oxido-hidróxido de estaño y hierro, Varlamofita, Propiedades físicas, Composición química.

ABSTRACT

The existence of tin and iron oxide-hydroxide minerals, also known as «varlamoffite» have been discovered from several mines in the world. In Santa Elisa mine this mineral contains three main elements: tin, iron and arsenic. The tin is the one which appears in a smaller quantity than the iron and the iron do. The varlamoffite's density, average of $3,7 \text{ g/cm}^3$, is higher than the other ones which are reported from the bibliography, and it's practically amorphous. It's a weathering product of cassiterite as the scanning electron microscopic study shows.

Key words: Tin-iron oxide-hydroxide, Varlamoffite, Physical properties, Chemical composition.

1. INTRODUCCION

El mineral óxido-hidróxido de estaño y hierro fue descrito por primera vez por VARLAMOFF (1948) (16) en el Congo Belga (actual Zaire), de ahí que se le conozca también con el nombre de varlamofita. Este tipo de mineral se ha descrito en Cornwall, (U. K.), según recoge RUSSEL (14); en Malaya, según BRADFORD (5) y ALEXANDER et al. (1); en Francia, por BONNICI et al. (4), y en Australia por TAYLOR et al. (15).

En España se han encontrado indicios de la presencia de este mineral en la mina del Trasquilón

y en el Cerro San Cristóbal, según reflejan GONZALEZ (8) y GUIJARRO (9), respectivamente, ambas en la provincia de Cáceres.

No existía ningún antecedente sobre la presencia de este mineral en la mina de Santa Elisa en Arcillera (Zamora) hasta que se ha realizado esta investigación.

2. LOCALIZACION

La mina de Santa Elisa está situada en un yacimiento de estaño del tipo stockwork en el cual las vetas de cuarzo mineralizadas atraviesan las pizarras del Paleozoico, que fueron estructuralmente deformadas durante la orogenia Hercíni-

ca. Se han publicado numerosas referencias geológicas sobre esta zona, entre las cuales se pueden destacar: el Estudio de Santa Elisa realizado por DENVER (6), y el Inventario Nacional de Recursos Minerales del Estaño del IGME (11).

Las vetas tienen en general una dirección N 60° - 90° E y un buzamiento 80° S. El contenido en estaño en la zona estudiada es del 0,4 por 100, estando un 4,9 por 100, aproximadamente, de él bajo forma de óxido-hidróxido de estaño, hierro y arsénico. Este último mineral aparece en granos de muy pequeño tamaño, menores de 1-2 mm, no habiéndose encontrado tamaños superiores. Existe también pirita y en menos cantidad arsenopirita y óxidos de hierro.

3. CARACTERISTICAS DEL MINERAL

El descubrimiento de este mineral en una muestra de Santa Elisa fue realizado utilizando un microscopio electrónico de barrido, pero para un mejor estudio con objeto de determinar sus propiedades fue necesario aislar cierta cantidad del mismo. En un estudio previo de concentración de la casiterita de esta mina, realizado por ALVAREZ et al. (2) se encontró que el tamaño de liberación de este mineral complejo era de aproximación 0,2 mm.

La mena se ha molido a menos de 1 mm, tratándose posteriormente en mesa de sacudidas tipo Wilfley. El concentrado se refinó en líquidos densos (bromoforno e ioduro de metileno). Por tratamiento magnético de los concentrados más pesados en un separador Frantz Isodynamic bajo condiciones adecuadas, se obtuvo un concentrado de propiedades magnéticas intermedias, donde se concentró el mineral considerado junto con óxidos de hierro y manganeso, turmalina y otros minerales en menores cantidades.

Para conseguir un mayor aislamiento de este mineral complejo fue necesario realizar un estrío manual bajo lupa binocular del concentrado menor de 0,25 mm. Puesto que los tamaños superiores contienen este mineral complejo formando mixtos con cuarzo, casiterita, óxidos de hierro, etc., que distorsionan sus propiedades.

Los granos de este mineral presentan un aspecto variable entre dos casos extremos: uno es amarillo pálido y poroso, y el otro es compacto

y está formado por bandas o vetas alternas de color amarillo pálido y naranja. Ambas variedades son blandas, pero la porosa lo es más.

La densidad media obtenida utilizando el método del picnómetro fue de $3,7 \text{ g/cm}^3$, que está de acuerdo con el hecho de que no se encuentran granos liberados flotando en ioduro de metileno (densidad $3,32 \text{ g/cm}^3$). Este valor es mayor que los obtenidos por otros autores, probablemente debido a una mayor pureza del mineral aislado (VARLAMOFF y GASTELLIER (16, 7) dan un valor para el mineral del Zaire de 3 g/cm^3 , el mismo que el que da ALEXANDER (1), para RUSSELL (14) $3,13 \text{ g/cm}^3$ y para BONNICI (4) desde 2,52 hasta 3 g/cm^3).

Este mineral es paramagnético, con una susceptibilidad magnética aproximada de $8,10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$, calculada usando el gráfico de HESS (10) con las condiciones empleadas en el separador Frantz Isodynamic (15° de inclinación lateral y 9.500 Gauss). Este valor coincide con los de algunos óxidos de hierro y manganeso. No se ha encontrado ningún dato de esta propiedad en la bibliografía.

El índice de refracción medio es de 1,83 determinado por el método de inmersión en líquidos de diferentes índices, y que es muy similar al dado por ALEXANDER (1), 1,81.

El microscopio óptico por luz transmitida muestra su carácter criptocristalino con una prácticamente nula birrefringencia con prismas de Nicol cruzados. Con prismas de Nicol paralelos el color varía del amarillo verdoso - dorado al marrón rojizo. Estando las zonas más marrones enriquecidas en hierro y las amarillas en estaño.

4. COMPOSICION QUIMICA

Debido a la variabilidad de composición, los análisis químicos fueron realizados por microsonda electrónica sobre diferentes granos.

La mayoría de los granos muestran contenidos en estaño del orden del 70 por 100 (como SnO_2), mostrándose tres casos diferentes en la tabla 1. Estos resultados concuerdan bien con los obtenidos por VARLAMOFF y GATELLIER de un 78,45 por 100, y por RUSSELL de un 68,80 por 100, pero no tan bien con los análisis hechos por BONNICI de un 62 por 100 y por TAYLOR del 60 por 100

(*) Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid.

SnO₂, probablemente debido a las impurezas de arcillas en las muestras de estos dos últimos autores.

El contenido en arsénico en la muestra de «Santa Elisa» es del 2,5 por 100 (expresado como As₂O₃), mayor que el dado por TAYLOR (15) de 0,97 por 100, pero menor que el de RUSSELL (14) de un 7,13 por 100. Este contenido en arsénico es debido probablemente a la absorción de este elemento por la fase de gel durante la alteración de la casiterita. La posible presencia del arsénico necesario para la absorción está confirmada por la existencia de arsenopirita.

Los bajos totales de los análisis mostrados en la tabla 1 se deben a la imposibilidad de analizar el oxígeno y el hidrógeno con la microsonda. Estos totales concuerdan bien con las pérdidas por calcinación, que son de aproximadamente un 15 por 100, aunque fueron realizadas con un conjunto de granos, y por lo tanto es un valor medio y no excluye que algún grano no fuese totalmente puro.

TABLA 1

Análisis en microsonda electrónica de tres granos del mineral complejo (del tipo más frecuente)

	% peso	% peso	% peso
MnO	0,084	0,185	0,016
Fe ₂ O ₃	7,89	9,74	11,70
CuO	0,031	0,025	0,84
As ₂ O ₃	2,38	2,66	2,95
Al ₂ O ₃	1,53	1,35	1,37
Ta ₂ O ₅	0,090	0,036	0,065
WO ₃	0,072	0,257	0,062
ZrO ₂	0,009	0,018	0,148
Bi ₂ O ₃	0,047	0,014	0,026
SnO ₂	74,88	70,89	70,88
BaO	0,042	0,00	0,012
TiO ₂	0,009	0,00	0,032
SiO ₂	0,496	0,118	0,093
TOTAL	87,560	85,293	87,438

Hay otros granos, mucho menos frecuentes, que tienen un considerable mayor o menor contenido en estaño. Como el ejemplo mostrado en la tabla 2, donde el contenido en estaño expresado como SnO₂ es del 32,63 por 100, menor

que el contenido en hierro. Este análisis se realizó en la microsonda electrónica sobre un grano homogéneo.

TABLA 2

Ejemplo de un análisis en microsonda electrónica sobre un grano del posible mineral complejo con bajo contenido en estaño (% peso)

MnO	(0,025)	Fe ₂ O	(40,01)	CuO	(0,140)	As ₂ O ₃	(1,69)
Al ₂ O ₃	(0,70)	Ta ₂ O ₅	(0,109)	WO ₃	(0,611)	ZrO ₂	(0,045)
Bi ₂ O ₃	(0,021)	SnO ₂	(32,63)	BaO	(0,003)	TiO ₂	(0,021)

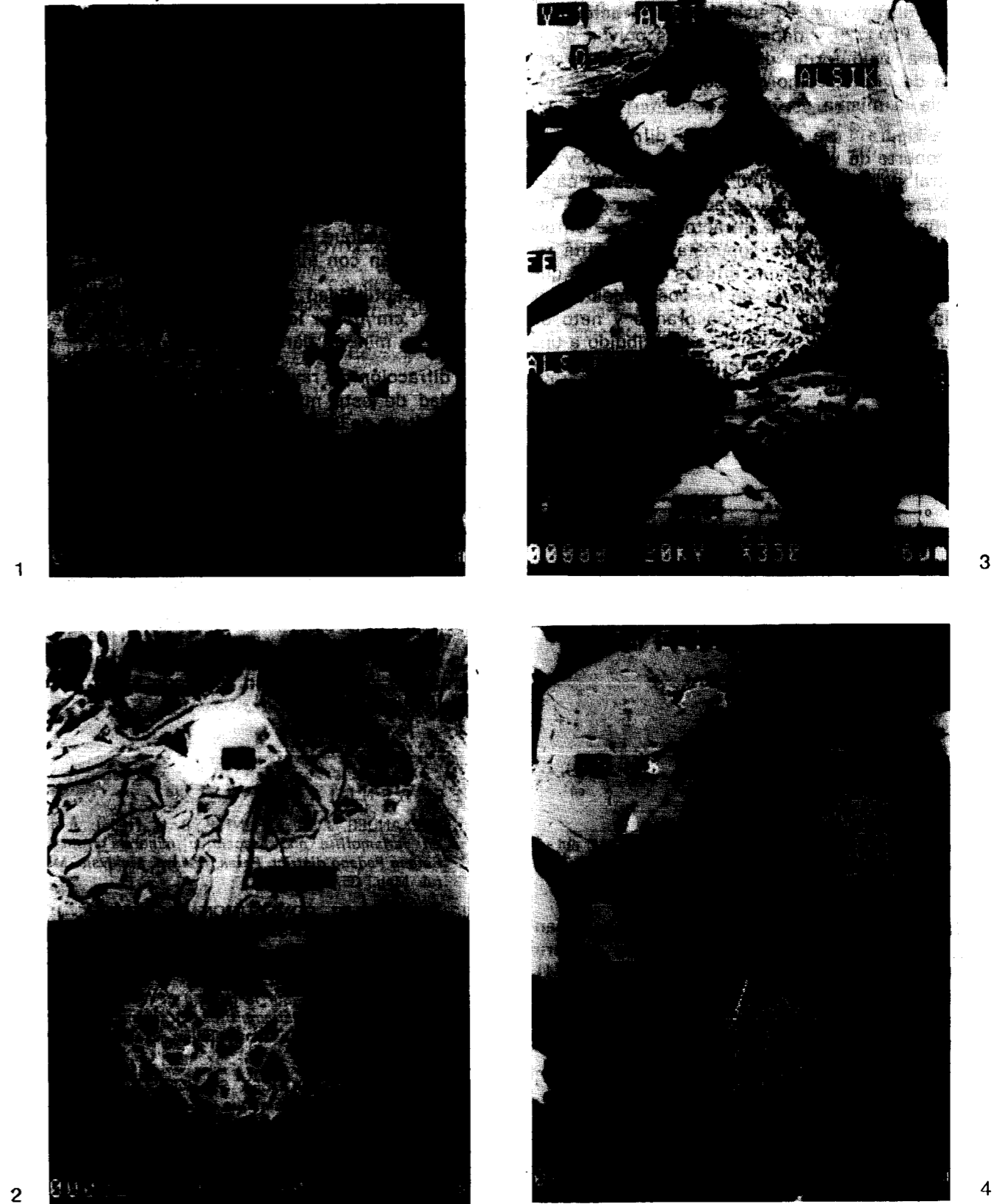
5. GENESIS DEL MINERAL

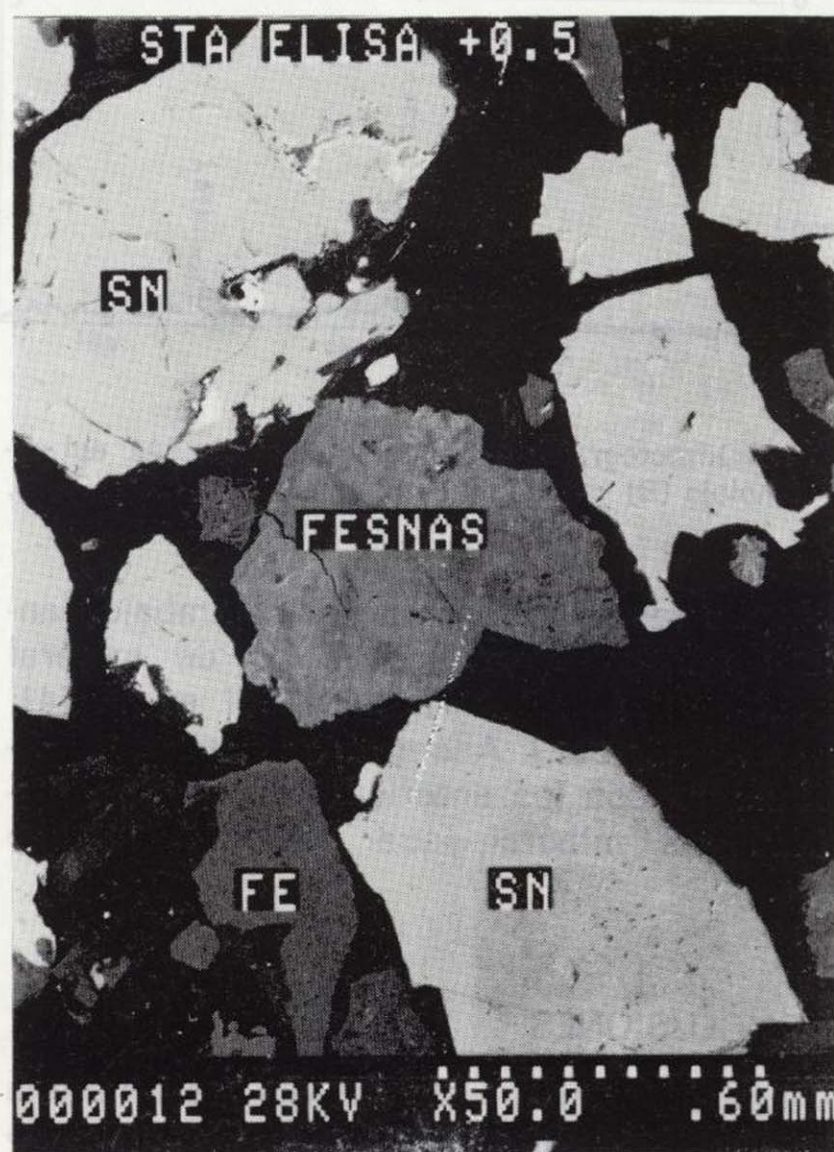
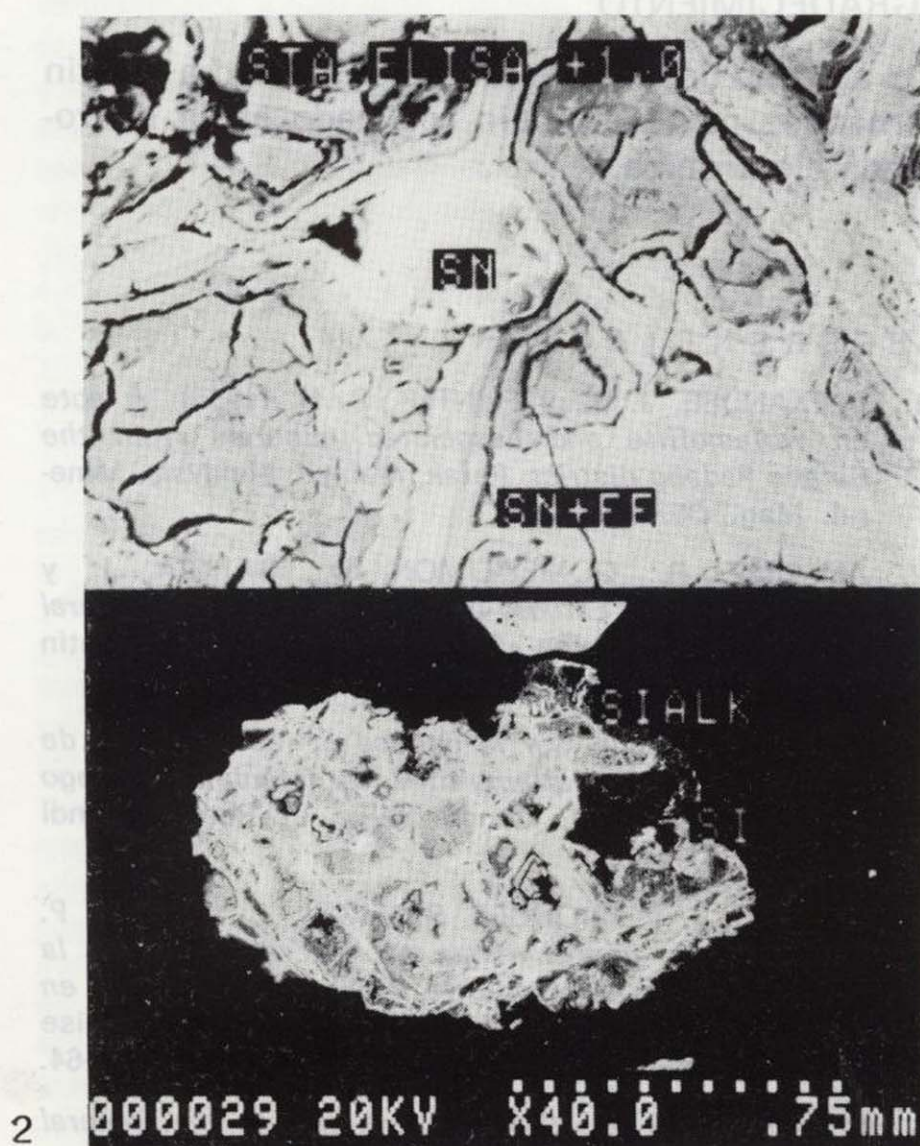
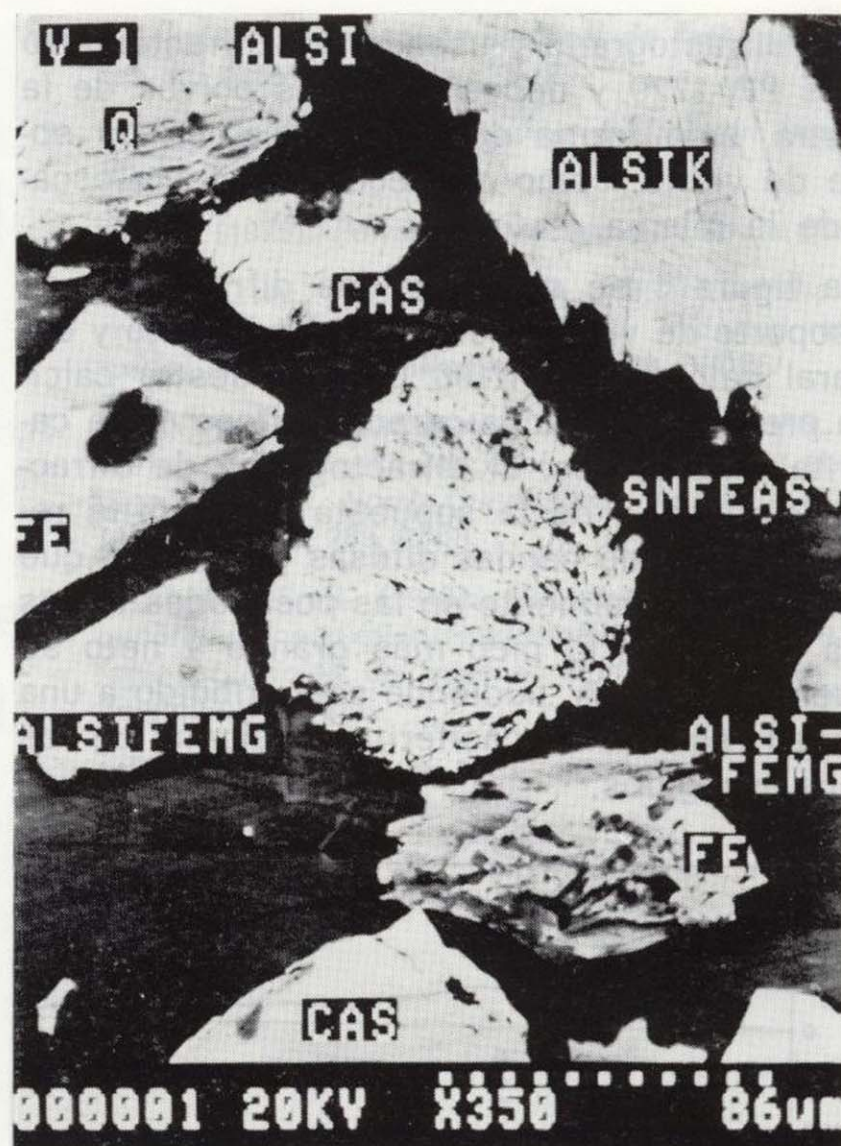
Para determinar el origen de este mineral se han realizado observaciones en el microscopio de barrido sobre las muestras tomadas en diferentes fases del proceso de concentración. La imagen electrónica del mineral complejo es distinguible fácilmente de la casiterita pero más difícilmente de la de los óxidos de hierro. En caso de duda se han realizado espectros de dispersión de energías.

La fotografía 1 muestra un grano mixto del mineral complejo (marcado Sn+Fe), casiterita (Sn), cuarzo (Si) y óxido de hierro (Fe). Prácticamente todos los granos no liberados están formados por este mineral complejo en contacto con casiterita y óxidos de hierro. En algunos casos parece que la casiterita fue corroída por los óxidos de hierro, como sucede en el grano presentado en la foto 2, donde aparece un pequeño resto testigo de la casiterita corroída dentro del óxido-hidróxido de estaño y hierro. La foto 3 muestra un ejemplo de la fase porosa de este mineral y la foto 4 una de la fase compacta (FeSnAs) con pequeñas inclusiones de óxidos de hierro.

6. DIFRACCION DE RAYOS X

Para corroborar la adscripción de este mineral a la vieja denominación de varlamofita como figura en el Powder Diffraction File JCPDS de 1975 (13) o la nueva de óxido-hidróxido de estaño y hierro de la edición de 1986 (12), se han





hecho difractogramas usando un difractómetro Philips PW-1729 y depositando los polvos de la muestra, bajo forma de suspensión, en un soporte de vidrio, como consecuencia de la escasez de la misma.

En la figura 1 se muestran los difractogramas del soporte de vidrio, del mineral complejo y del mineral calcinado a 1.100° C. La muestra calcinada presenta los picos característicos de la casiterita y hematites. El difractograma de difracción de rayos X de la supuesta varlamofita revela una serie de bandas difusas y gruesas, que aparecen esencialmente en las posiciones de las de la casiterita. El pico más grande y neto se encuentra a 3,33 Å, pudiendo ser atribuido a una cantidad residual de casiterita en alguno de los granos escogidos.

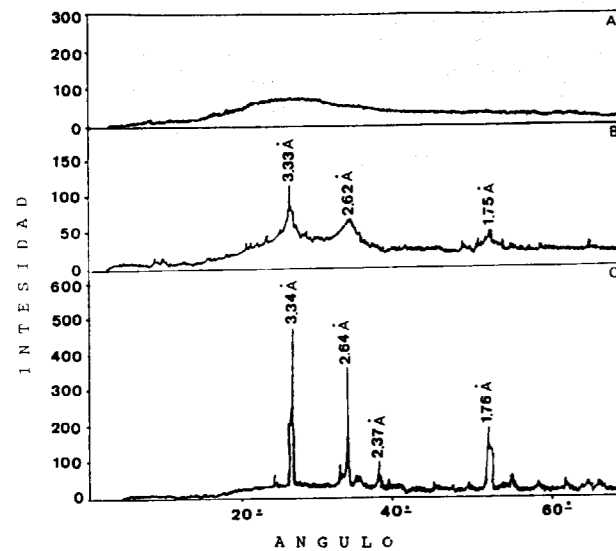


Figura 1.—Difractograma del soporte de vidrio (A), del mineral complejo (B) y de la muestra calcinada a 1.100° C (C).

Esto repite las experiencias de los trabajos anteriores realizados con este tipo de mineral (RUSSELL y VICENT (14); BONNICI et al. (4); GUIJARRO (9); etc.). Además este estudio coincide también con los anteriores en la baja cristalinidad del mineral, que es prácticamente amorfo.

7. CONCLUSIONES

El mineral descrito en este estudio presenta una gran variabilidad de composición química como

demuestran los análisis realizados mediante microsonda electrónica sobre granos individuales, para eliminar el posible error que introduciría el análisis clásico que no eliminaría totalmente las impurezas debido a ser un resultado promedio de la muestra aislada.

La densidad de este mineral es más alta que las indicadas en anteriores referencias, probablemente debido a una mayor pureza de los granos aislados, aunque el índice de refracción sí concuerda bien con ellas.

La susceptibilidad magnética es del orden de $8 \cdot 10^{-6}$ cm³/g, por lo que se le puede considerar como un mineral paramagnético.

La difracción de rayos X muestra la baja cristalinidad de este mineral, dada la relativamente poca altura de los picos.

El probable origen de la varlamofita es debido a la alteración de la casiterita por fluidos que contenían hierro. El arsénico fue absorbido por los ácidos estánicos durante su formación.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean recordar su gratitud a Martín Fernández por el estudio realizado en la microsonda electrónica.

REFERENCIAS

- ALEXANDER, J. B., y FLINTER, B. H. (1965): *A note on varlamoffite and associated minerals from the Batang Padang district, Perak, Malaya, Malaysia*. Mineral. Mag., 35, 622-7.
- ALVAREZ, R.; GOMEZ-LIMON, D.; GARCIA, J., y RUIZ, C. (1988): *Estudio de concentración del mineral de estaño de la mina «Santa Elisa» (Zamora)*. Boletín Geológico y Minero, I. XCIX, V, 770-6.
- ANTUN, P. (1960): *Sur la genese et les propretés de stannines et de varlamoffites du Maniema (Congo Belge)*. Serv. Geol. Congo Belge et Ruanda-Urundi Bull., 9, I, 31.
- BONNICI, J. P.; DOUCET, S.; GOÑI, J., y PICOT, P. (1964): *Etude géochimique et minéralogique sur la dégradation de la cassitérite. Evolution du gel qui en dérive (Varlamoffite)*. Bulletin de la Société Française de Minéralogie et de cristallographie, vol. 87, 335-64.
- BRADFORD, E. F. (1957): *Contribution to the General*

- Symposium on Tin and Tungsten Deposits of the Pacific Area. Ninth Pacific Science Congress, Bangkok.
- DENVER, J. E. (1978): *Santa Elisa Consultant's Property Examination Report*.
- GASTELLIER, S. (1950): *Note sur un minéral jaune trouvé par M. Varlamoff*. Bull. des Seancés, Inst. Roy. Colonial Belge, 21, 412-9.
- GONZALEZ, T. (1985): *Granitos especializados del macizo Hespérico: cúpulas graníticas de Extremadura*. Tesis Doctoral, 414-53.
- GUIJARRO, J.; CASAS, J., y HOYOS, M. A. (1982): *Estudio de la alteración de minerales de estaño en el yacimiento del Cerro de San Cristóbal (Cáceres)*. Anales de Edafología y Agrobiología, 41, 1921-31.
- HESS, H. H. (1956): *Notes on operation of Frantz Isodynamic separator*. S. G. Frantz Co.
- IGME (1979): *Inventario nacional de recursos minerales del estaño*. 1.ª Fase, 25-42.
- JCPDS (1986): *Mineral Powder Diffraction File (Data Book)*.
- JCPDS (1975): *Powder Diffraction File (Data Book)*.
- RUSSELL, A., y VICENT, E. A. (1952): *On the occurrence of varlamoffite (partially hydrated stannic oxide) in Cornwall*. Mineral Mag., 29, 817-26.
- TAYLOR, R. G.; MORGAN, W. R., y PHILLIPS, D. N. (1970): *On the occurrence of varlamoffite at the Sardinia tin mine, North Queensland, Australia*. Mineral Mag., 37, núm. 289, 624-8.
- VARLAMOFF, N. (1948): *Matériaux pour l'étude du minéral jaune d'étain (varlamoffite): occurrence, géologie et origine du minéral*. Ann. (Bull.) Soc. Géol. Belgique, 72, B41-6.

Original recibido: Mayo de 1993.

Original aceptado: Junio de 1993.

INFORMACION

La contribución de los ingenieros de minas y naturalistas a la Arqueología española:

Los inicios de los estudios prehistóricos en España

Por O. PUCHE RIART (*)

1. INTRODUCCION

Siempre me llamó la atención que conocidos ingenieros de minas, casi todos dedicados a la Geología, así como diversos naturalistas, se apasionasen e incluso publicasen en revistas de solvencia sobre temas específicos de Arqueología. Algunos de ellos contribuyeron a la configuración de la Arqueología como ciencia con valores propios. Para reseñar esto sólo hace falta consultar el *Anuario de Prehistoria Madrileña* (1930), editado por el Ayuntamiento de Madrid bajo la dirección de José Pérez de Barradas, y leer la introducción al mismo, donde se señala que: *Los estudios prehistóricos en España tuvieron su cuna en Madrid, y los primeros vestigios del hombre fósil fueron hallados en los cerros de San Isidro por D. Casiano de Prado y los sabios franceses L. Lartet y E. de Verneuil, todos ellos conocidos geólogos.*

Suponemos que el cotidiano contacto con la naturaleza por parte de estos profesionales, en un país de una riqueza arqueológica tan profunda, propiciaría el encuentro imprevisto con diversos objetos y bienes de culturas anteriores, despertando en ellos su interés por dichas materias. Sin embargo hay que considerar dos situaciones importantes para comprender la concurrencia de los ingenieros de minas y los naturalistas en la Arqueología: Por un lado, la minería es la industria histórica por excelencia y, por otro, la Geología es una ciencia con perspectiva histórica que resuelve numerosos problemas al arqueólogo.

Como señala VILANOVA, J. (1872): *Y transcurrieron siglos, sin que nadie advirtiera que (la Geología y las Ciencias Naturales) pudieran servir de fundamento sólido para resolver de modo decisivo el grande y trascendental problema de la remota antigüedad del hombre ... Diríase que, siendo la Geología y la Paleo-antropología ambas a dos historias, ésta del hombre y aquella del planeta que habita, de tal modo y recíprocamente son solidarias, que la una no podía aparecer, ni menos aún alcanzar el ramo de verdadera ciencia, mientras la otra no lograra sentar sobre sólidas bases los principios fundamentales en que estriban los admirables progresos en este siglo realizados, merced al eficaz apoyo que la Paleontología y la Estratigrafía le proporcionarían.* En definitiva, el desarrollo de la Estratigrafía, aportando un criterio de datación relativa, y la consideración del hombre fósil como objeto de estudio paleontológico (mediados del siglo XIX) servirían para fortalecer la presencia de las geociencias en el campo arqueológico. La Arqueología Prehistórica y sobre todo la Arqueología Paleolítica y Evolutiva, se han desarrollado casi paralelamente a la Geología y a la Paleontología.

Al ser la minería el principal sector industrial en los tiempos antiguos, una cierta parte de los hallazgos arqueológicos aparecen en relación con dicha actividad (minas, núcleos urbanos mineros, rutas de comercio, fortificaciones, etc.). La importancia de la minería creemos que queda clara en aquella división que mostraban nuestros textos colegiales: En dichos libros se describe la existencia de una Edad de Piedra, seguida de una Edad de Cobre, otra del Bronce y luego de una Edad del Hierro. Desde entonces la minería ha marcado muchas de las pautas de la

historia, ya que buena parte de las guerras se han fundamentado en la necesidad de posesión, por parte de las naciones, de los recursos naturales, para así activar sus economías.

Según TRIGGER, B. G. (1992): *Hasta el siglo XX, pocos eran los arqueólogos que se educaban en la disciplina.* Muchos de ellos provenían del campo de las ciencias naturales, por tanto eran profesionales de la ingeniería de minas y naturalistas dedicados a la Geología. Como diría TUBINO, F. M. (1872): *Interrogó a la historia (el sabio) y la encontró muda, pidió auxilio a los monumentos más arcaicos, y no hubieron de responderle satisfactoriamente, llamó en su auxilio a las tradiciones, y tocó su impotencia. Entonces, no hallando quien le asistiera, no conociéndose ni códice, ni viejo pergamino, ni inscripción anticuada, ni trasunto legendario que colmara sus legítimos deseos convirtió sus ojos del lado de las ciencias naturales.* Así numerosos naturalistas colaboraron en estos temas, por lo que modernamente CHAPMAN, R. (1979) ha resaltado dos tipos de arqueólogos, los procedentes del campo de las humanidades y los procedentes del campo de las ciencias naturales, con dos métodos de trabajo diferenciados.

2. LOS PRIMEROS DATOS ARQUEOLOGICOS

Parece ser, según señala WOLLEY, C. L. (1950), que la primera persona que recogió objetos del pasado formando una colección fue Bel-Shalti-Nannar, hija del Rey Nabonidus (siglo VI a. C.), al reunir cierta cantidad de inscripciones y otros bienes de origen babilónico. De todas formas, aún tendrían que pasar muchos años para que el hombre pretendiese interpretar la presencia de restos de culturas anteriores.

TRIGGER, B. G. (1992) indica que griegos y romanos conservaban valiosas reliquias del pasado como ofrendas votivas en sus templos. Dentro de esta línea, tenemos como Plutarco narra el hecho que Sertorio ordenara profanar unos túmulos prehistóricos en Mauritania, conocidos como la supuesta tumba del gigante Anteo, en busca de antigüedades. En esta época también empezamos a tener noticias sobre diversos artefactos de piedra que eran conocidos bajo el nombre de bétulos, brontias, glosopetras y ceraunlas, los cuales no eran otra cosa en muchos casos que bienes arqueológicos de carácter pétreo, a los que se suponían propiedades mágicas o curativas. La presencia de estos objetos llevó a que algunos autores buscaran intuitivamente otro tipo de respuesta, así Tito Lucrecio CARO (88-55 a. C.) recoge, en *De Rerum Natura*, la idea citada por Homero sobre la utilización sucesiva de la piedra, bronce y hierro.

En la Edad Media seguía sin existir un interés por lo antiguo, ya que nadie sospechaba que el Mundo hubiera sido anterior a los tiempos antehistóricos. En España la primera persona que se preocupó de las antigüedades, tal

vez fuese Enrique DE VILLENA (1384-1433), que en su *Tractado del arte de cisoria o Tractado del arte de cortar del cuchillo* hace alusiones y comentarios de tipo prehistórico y etnográfico, según señala Paul Wernet, tal y como recogemos de una nota de DEL PAN, I. (1959), adelantándose a Ciriaco DE ANCONA (1391-1452), considerado por muchos autores como el primer arqueólogo. Ciriaco era un gran coleccionista de obras de arte y recopilador de inscripciones a lo largo de sus innumerables viajes por el Mediterráneo, de las que publicó seis volúmenes, alguno de los cuales se conserva en la actualidad. Salvo en casos aislados como éste no pensamos que hubiese un interés científico en tal actividad, sino más bien la curiosidad y admiración por la belleza de ciertos bienes de la antigüedad. Según WEISS, R. (1969), y de acuerdo con este criterio, los emperadores del Sacro Imperio CARLOMAGNO (742-814) y Federico I BARBARROJA (1112-1190) coleccionaron monedas y otros objetos procedentes de culturas anteriores, pero sin una consciencia en los cambios históricos acontecidos.

En el Renacimiento se inicia la observación de los fenómenos de la Naturaleza y se recogen datos de lo más diverso, sentándose las bases para la configuración de las principales ciencias básicas. Fruto de esta nueva coyuntura son las anotaciones de BEUTER en su obra, cuando señala que: *Agora, en el año del Señor de 1534, cerca de Fuentes, a media legua de Cariñena de Aragón, donde está un monasterio de Cartujos, se ha hallado un campo lleno de montones de tierra, cavando por otra ocasión, que estaba poco debajo de tierra, gran multitud de huesos grandes y de armas hechas de pedernal, a manera de hierros de saetas y de lanzas y como cuchillos a manera de medias espadas y muchas calaveras atravesadas por aquellas piedras...».*

En 1565, Conrado GENNERIO publica un tratado de las cosas fósiles que fue prohibido por la censura. Estamos en la época que se empieza a plantear por primera vez la aparición del hombre sobre la faz de la tierra. En 1642, John LIGHTFOOT, helenista de la Universidad de Cambridge, en su obra *A few and new observations on the book of Genesis, most of them certain, the rest probable, all harmless, strange, and rareley of before*, calcula que la Creación se produjo el año 3928 a. C. Por otro lado, los teólogos católicos, en base a la versión clementina (de CLEMENTE VIII) de la Biblia, fijaban como origen del hombre el 5199 a. C., mientras que una comisión presidida por el Arzobispo anglicano (según se cita en un panel del Museo Arqueológico Nacional) James USSHER (1531-1656) estableció como fecha para la creación del hombre el 4004 a. C. En los *Annals of the world* (1650) USSHER indica: *A principios Dios creó cielo y tierra, principio del tiempo que, según nuestra cronología, coincidió con la entrada de la noche que precede al día 23 de octubre del año 710 del calendario juliano, o sea la fecha reseñada.* El obispo de Worcester, William LLOYD, da por cierta esta antigüedad en un comentario marginal de la gran edición de la Biblia inglesa de 1701. En definitiva estos escarceos

(*) E.T.S. Ingenieros de Minas de Madrid.

teológicos supusieron un avance, ya que gracias a ellos se plantearon problemas existenciales aún no debatidos. Los gérmenes de esta situación habría que buscarlos en el sentido historicista de la religión cristiana, así para el arqueólogo marxista TRIGGER, B. G. (1992): *El cristianismo alentó la institución de un enfoque histórico de los asuntos humanos, ya que la historia del mundo se veía como una serie de acontecimientos que poseían un significado cósmico.*

Planteado el problema de la aparición del hombre surgió la polémica y así nacieron los preadamitas, con LA PEYRERE, I., a la cabeza. Estos, hacia 1655, consideraban la existencia de un hombre anterior al primer hebreo (Adán), cuya creación se describía en el Génesis, siendo la raza preadamita la elaboradora de los útiles de piedra. Estas teorías serían combatidas por PYTHIUS, HULVIUS y RENIUS.

Igual hoy en día nos cuesta entender las polémicas planteadas sobre la antigüedad del hombre, pero estamos de acuerdo con ROWE, J. H. (1965) cuando señala que el mundo científico se percata de las diferencias entre el pasado y el presente, comprobando que cada época debe ser juzgada por sus propias premisas.

Durante la Edad Media y Renacimiento el fin último del saber era la búsqueda de la verdad teológica, por ello no es casualidad que la mayor parte de los pensadores en el Mundo occidental fueran personajes de la vida eclesiástica. Dentro de estas coordenadas no nos extraña, según indica WEISS, R. (1969), que: Pío II, en 1462, promulgase una ley para la conservación del patrimonio monumental de la Iglesia en los Estados Papales y que SISTO IV, en 1471, prohibiese la salida de piedras ornamentales o estatuas de sus territorios. Dentro de esta línea, se comprueba cómo a finales del siglo XV, papas como Pablo II o Alejandro VI empezaron a recopilar objetos de arte y distintos bienes del pasado y gracias a este interés se han conservado páginas importantes de nuestra historia. Asimismo, por ejemplo, dentro de este contexto de protección y mecenazgo podemos reseñar a Clemente IX, el cual solicitó al naturalista Miguel MERCATI (1541-1593) la descripción de algunos objetos curiosos del Museo del Vaticano, el resultado fue la publicación de su *Metalloteca* (1717). En esta obra no sólo se describen fósiles y minerales, sino que también se consideran las ceraunias (o instrumentos líticos antiguos), en el capítulo XV.

Otra faceta del Renacimiento sería la recuperación de los clásicos greco-latinos, considerados de un período con mayor vida cultural que en la oscura Edad Media. Incluso los edificios recuperaron la fisonomía de las grandes obras atenienses y romanas. Es una mirada hacia atrás en una historia concebida por muchos filósofos como decadente de forma continuada, con lo que la vuelta al pasado no sería, en definitiva, otra cosa que una mejora para la humanidad. Las raíces de este pensamiento son complejas,

ya decía Cornelio TACITO (55-120) que los progresos materiales traían la decadencia moral. Esta perspectiva trágica de la historia se aprecia en su obra *Los Anales*, donde se analizan los acontecimientos ocurridos desde Tiberio a Nerón. Otros autores consideraban que esa involución de la especie humana provenía del pecado original, sufriendo el hombre una regresión en cuanto a longevidad (las edades bíblicas de los antiguos eran mucho mayores) y conocimiento, e incluso en altura. Así el francés HENRION (siglo XVIII) señalaba que Adán había medido 40 m., Abraham algo más de 9, Moisés no pasaba de los 4 y César tenía alrededor de 1,65, habiéndose detenido esta decadencia con la encarnación de Cristo.

Esta corriente ideológica, sobre la degradación de la especie humana, tenía una cierta base científica, así por ejemplo en España se conocía a través de los escritores antiguos la existencia de una próspera minería, en la actualidad en completa decadencia. Por ello, de esta retrospectiva histórica, incluso se pudo llegar a sacar un beneficio económico. Así a mediados del siglo XVI el clérigo Diego Delgado fue enviado por el Administrador General de las Minas del Reino Francisco de Mendoza, a reconocer las viejas labores abandonadas en las proximidades de Riotinto, fruto de ello tenemos la *Relación de las Minas de Zalamea la Vieja, o sean de Río Tinto* (1556), según cita el presbítero de la Universidad de Salamanca Tomás GONZALEZ en la *Relación General de Minas de la Corona de Castilla*, tomo I (1832).

Señala TUBINO, F. M. (1872) que en el siglo XVII se recogían las antigüedades de los clásicos, actividad ya iniciada a mediados del XVI. Entre los recolectores importantes podríamos citar a los conocidos banqueros alemanes Antonio y Raimundo FUGGER que fundaron en Ausburgo, a principios del siglo XVI, un Gabinete de Antigüedades, al Emperador CARLOS I (1505-1558), a los monarcas franceses FRANCISCO I (1515-1547) y ENRIQUE IV (1553-1610) o a George DE VILLIERS, primer Duque de Buckingham (1592-1628). En el Renacimiento se empezó a pensar en la importancia que tenían los hechos del pasado en la configuración de los pueblos, ante la génesis de los primeros estados nacionales modernos. Estamos ante el nacimiento de lo que DANIEL, G. (1968) llama *anticuarios locales*, tal es el caso de los ingleses Guillermo CAMDEN (1551-1623), fundador de la *Society of Antiquaries* (1572-1604) y estudioso de las ruinas romanas en su obra *Britanniae Descriptio* (1603); John AUVREY (1626-1697), que analiza las ruinas de Stonehenge y Avebury, siendo el autor de *Monumenta Britannica*, y Edward LHWYD (1660-1708) que escribió *Archaeologia Britannica*. Dentro de esta línea estaría también el irlandés NEWGRANGE estudioso del pueblo celta. Asimismo tal tipo de corriente de pensamiento se daría en los países nórdicos con el sueco Johan BURE (1588-1654) y el danés Ole WORM (1588-1654).

Pero pese al interés despertado por el pasado pocos habían trascendido al mundo de la Prehistoria. Así los útiles de piedra, conocidos como piedras del rayo (o ceraunias,

arrojadas por Júpiter) seguían mostrando un origen celeste para buena parte de los estudiosos. Este sería el caso del español José Vicente OLMO, en la *Nueva descripción del orbe de la Tierra* (1681); el médico, matemático, filósofo esotérico y astrólogo italiano Gerolamo CARDANO (1501-1576), o el médico y alquimista suizo, Catedrático de la Universidad de Basilea, Phillipus Aureolus TEFHRASTUS BOMBASTUS VON HONHEIM, más conocido por PARACELSO (1493-1541); al igual que lo había sido para SAN ISIDORO DE SEVILLA (560-636). A estas piedras se les supone un poder de amuleto protector contra los rayos. Según PRUDENCIO los guerreros germánicos solían llevarlas engastadas en sus cascos. En otros casos, como señala LUNAY, L. (1908), en ciertos lugares eran un símbolo de la nobleza. La procedencia del rayo y su carácter mágico han perdurado en ambientes rústicos hasta nuestros días. Sólo esta idea empieza a cambiar en ámbitos intelectuales, con autores como Boecio DE BOOT, el cual consideraba que la «ceraunias» eran simples objetos de hierro transformados en piedra. Asimismo, como ya vimos que señalaba BEUTER, el minero George BAUER «AGRICOLA» (1490-1555), en *De fossilium natura* (1546) y el naturalista Ulises ALDROVANI (1522-1607) en *Museum Metallicum* (1648), se atrevieron a negar la filiación meteórica de estas piedras. Poco después, William DOUGDALE (1605-1686) considera que los objetos de piedra hallados en Bretaña fueron confeccionados por sus antiguos pobladores. Asimismo MERCATI (1717) señala que se cree ver cómo el rayo las arroja del cielo, pero los que conocen a fondo la historia creían que fueron cortadas de durísimos pedernales para servirse de ellas en la guerra, antes de que se comenzara a usar el hierro. Según TUBINO, F. M. (1872), este autor *proclamó la doctrina prehistórica, sin conocer su verdadero nombre.*

Poco a poco se fueron aclarando las ideas, sobre todo en Francia. Para FERNANDEZ MARTINEZ, V. (1992), durante los siglos XVII y XVIII el centro innovador italiano se trasladó a este último país, señalando que *son ahora sobre todo los jesuitas los que siguen la tradición anterior, basándose en la observación de los hechos arqueológicos franceses, sobre todo los megalitos de la zona atlántica.* En este grupo cabría señalar al ciudadano COCHARET que en una comunicación remitida a la *Academia de Inscripciones y Bellas Letras de París* ofrece, a dicha Institución, huesos y piedras, recolectados en Passy, Normandía, indicando que: *las piedras estaban talladas en forma de hacha y con mangos de hasta de ciervo, mostrando la apariencia que correspondían a una época en que no se conocía el uso del hierro.* En 1685, también en Normandía, el benedictino y jefe de los eruditos mauristas Fr. Bernard DE MONTFAUCON (1655-1741) describe la tumba comunal de Evreux, señalando la utilización de hachas de piedra pulimentada por parte de una nación que no conocía el uso del hierro. Asimismo son importantes sus aportaciones en *Los monumentos de la monarquía francesa* (1729-1733). Por esas fechas, el naturalista JUSSIEU escribe, en las Memorias de la Academia de Ciencias de París, la *Disertación sobre el*

origen y usos de la piedra del rayo (1723) señalando que *si los fósiles son monumentos de grandes revoluciones físicas, las piedras labradas lo son de otra gran revolución que podría llamarse moral y cuyo conocimiento facilitaría por extremo el estudio comparativo del Nuevo y el Viejo Mundo.* En 1734, Nicolás MAHUDEL recupera la idea de MERCATI sobre la existencia de tres períodos sucesivos: piedra, bronce y hierro. Esta teoría es apoyada por Antoine Yves GOGUET (1716-1758) en *The origin of the laws, arts and sciences, and their progress among the most ancient nations* (1758). A conclusiones similares llegaría SUHM en su *Historia de Dinamarca, Noruega y Holstein* (1776). Se habían sentado las bases para el nacimiento posterior de las primeras divisiones y subdivisiones de los tiempos antehistóricos.

Entre los siglos XVII y XVIII el desarrollo de los conocimientos científicos y artísticos en Europa pasaba por un período de esplendor. Se producen las primeras historias del arte, como la *Geschichte der Kunst Altertums* (1764) de Johann WINCKELMANN. También son frecuentes las obras de historia general, natural o política en que se pasa revista a las antigüedades. Así, el franciscano descalzo Fr. Francisco DE CORIA escribe, en 1608, la *Descripción e historia general de la provincia de Extremadura, que trata de sus antigüedades y grandezas, y cosas memorables que en ella han acontecido en sucesión de tiempos, de el principio de la fe y jerarquía eclesiástica, predicación del evangelio y fundación de sus iglesias y obispos.*

Tras el descubrimiento de América, son importantes las descripciones antropológicas y recuperación de objetos procedentes de las culturas autóctonas. Este contacto con las sociedades primitivas hizo que, a través del método analógico o comparativo, se llegase a conclusiones ciertas sobre el origen de los petrofactos encontrados en Europa. Señalaremos a autores como el franciscano Fr. Juan DE TORQUEMADA (1557-1624), el cual describe, en *Primera parte de los veinte y un libros rituales y monarquía india, con el origen y guerras de los indios occidentales, de sus poblaciones descubrimiento, conquista y conversión, y otras cosas maravillosas de la misma tierra* (1615), como los pobladores de Nueva España, en la época de Cortés, labraban las armas con núcleos de obsidiana. Otro autor, el dominico Fr. Gregorio GARCIA (1554-1627), en *Origen de los indios del Nuevo Mundo, e Indias Occidentales, averiguado con discurso de opiniones* (1607), estudia de las antigüedades del Perú. Asimismo Bernal DIAZ DEL CASTILLO (1492-1584), en *La verdadera Historia de la Conquista de Nueva España* (1568), y Fr. Bernardino DE SAHAGUN (1500-1590), de la Orden de los Frailes Menores de la Observación, en *La Historia Universal de las cosas de Nueva España* (escrita en 1576, pero no fue editada hasta 1829), realizan numerosas descripciones antropológicas y de las tecnologías de los indios mexicanos. También, aunque más tardíamente, Pedro DE ANGELIS recoge muchos datos etnográficos de buena parte de América Meridional, en base a documentos del siglo XVIII, aunque su obra es bastante posterior: *Colección de obras y docu-*

mentos relativos a la historia antigua y moderna de las provincias del Río de la Plata (1836-1837).

En este contexto, un yerno de Dugdale llamado Robert PLOT (1640-1696) señalaba, en 1686, que era posible dilucidar el origen humano de las hachas líticas bretonas, por comparación a las de los indios norteamericanos. En 1699, un discípulo de Edward LHWYD relaciona las flechas de los indios de Nueva Inglaterra con las denominadas en Europa «piedras de duendes» (ceraunias). En 1724, el naturalista Bernard JUSSIEU (1699-1777) establece analogías entre artefactos líticos prehistóricos de su tierra con otros útiles similares traídos como instrumentos usados por los pobladores de Nueva Francia y del Caribe, señalando que *la gente de la Francia, Alemania y otros países del Norte, si no hubiesen descubierto el hierro se asemejarían bastante a los salvajes de hoy en día, ya que hasta entonces compartieron los mismos instrumentos y las mismas necesidades que ellos*. Ese mismo año el jesuita Joseph François LAFITAU (1658-1740) establece analogías entre las religiones de los indios y de los clásicos, en *Moeurs des sauvages américains comparées aux mœurs des premiers temps*. En 1738, el profesor de Historia Natural, de la Universidad de Lund, William STOBÆUS establece similitudes entre las antiguas hachas líticas de Escandinavia y armas similares traídas de los indios de Louisiana. Hacia 1777, Samuel JOHNSON (1709-1784) establece analogías entre las puntas de flecha halladas en Inglaterra con las de los pobladores de las islas del Pacífico, indicando que en ambos casos corresponden a una cultura anterior al conocimiento del hierro. En 1792, el español Antonio ULLOA (1716-1795) señala que todos los indios del Continente: *En una cosa han sido iguales, y sin discrepancia industriosos, que es en las armas, pues generalmente todos usaban del arco y flechas, y lo hacían sin diferencia sensible de un mismo modo, imitando en ello a las naciones de la antigüedad que poblaban Asia, y las otras dos partes del Mundo*. ULLOA hace comparaciones de este tipo en varias partes de su obra.

Ante la importancia que iba adquiriendo el conocimiento, para el desarrollo de los pueblos, se presentan unos nuevos parámetros de progreso. Así, a mediados del XVIII, nacieron las primeras excavaciones tratando de dar respuesta científica a problemas específicos. Primero se empezaron a sacar de forma desordenada las antigüedades, para la recuperación de los tesoros enterrados, tal es el caso de Pompeya y Herculano, las cuales se encontraban ocultas por el material volcánico expulsado durante la erupción del Vesubio. Pero por aquellas fechas ya se empezaron a organizar equipos de trabajo más preparados y con fines más nobles. De esta forma, en 1734, se formó la *Sociedad de Dilettantes de Londres*, patrocinadora de investigaciones arqueológicas en Grecia. Aunque realmente las excavaciones con cierta base científica-cultural no se desarrollaron hasta los inicios del siglo XIX, por ejemplo con: CHAMPOLLION, J. F. (1790-1832), LEPSIUS, K. (1810-1884) y MARIETTE, A. (1821-1881), en Egipto, o las de BOTTA, P. E. (1802-1870), y LAYARD, A. (1817-1894) en Irak. Los descu-

brimientos de la piedra roseta por CHAMPOLLION durante la invasión napoleónica de Egipto (1798-99), y el hallazgo del significado de la escritura cuneiforme en 1849, por Henry RAWLINSON (1810-1895), vinieron a estimular en cierta medida estos estudios.

Con todos estos datos ya se podía adoptar una perspectiva evolucionista, que iría naciendo de forma paulatina. A principios del siglo XVII, el filósofo inglés Francis BACON (1561-1626) se revelaría contra la idea que los conocimientos y forma de vida de la Antigüedad eran mejores que los de los tiempos modernos. Asimismo, según el naturalista ULLOA, A., en *Noticias americanas. Entretenimientos Físico-Históricos sobre la América Meridional, y la Septentrional Oriental. Comparación General de los territorios, climas y producciones en las tres especies vegetal, animal y mineral, con una relación particular de los indios de aquellos países, sus costumbres y usos, de las petrificaciones de cuerpos marinos, y de las antigüedades* (1792), tal y como se deduce de la Introducción de su obra, ya no se mantiene una teoría degradacionista, uniendo el desarrollo religioso de los pueblos al progreso de la razón: *El conocimiento de los diversos pueblos de la tierra, sus usos, costumbres e inclinaciones, ilustra el entendimiento... De esto se saca el provecho de saber estimar la instrucción, de percibir lo que se debe a las reglas de la enseñanza en el conocimiento de lo bueno y la abominación de lo malo, y que sin tales documentos el entendimiento no sabría usar de sus facultades, como les sucede a los indios que se mantienen en el estado de la barbarie, haciendo vida de fieras, sin conocimiento de Dios y sin señales de racionalidad*.

3. EL PERIODO ILUSTRADO Y LA PRIMERA MITAD DEL SIGLO XIX: LAS BASES PARA LOS INICIOS DE LA ARQUEOLOGIA EN ESPAÑA

Estamos en la época del Despotismo Ilustrado, donde los científicos crecen bajo la protección del sistema político. Se recopilan los datos observados en la naturaleza, se organizan expediciones y surgen numerosas obras, con el resultado de una progresiva estructuración de las materias científicas. El objeto arqueológico no pasa de ser un elemento más que el naturalista va reconociendo en sus itinerarios de campo. Por eso el naturalista se inclina por la Arqueología, aunque en muchos casos le falte la perspectiva social y la formación histórica que presentan otros arqueólogos.

En España, aparte de los naturalistas americanos, tenemos un grupo importante de estudiosos que recogen datos variados, revueltos generalmente entre información sobre el reino mineral o sobre la historia social.

Hay que resaltar la obra del franciscano Fr. José TORRUBIA (1700-1768) *Aparato para la Historia Natural de España* (1754), donde se describen algunas exploraciones geognósticas, con aportaciones arqueológicas (fig. 1). Así,

por ejemplo, tenemos la realizada el 23 de abril de 1753 en la Cueva del Cabrero, en Terraza (Guadalajara), donde se reseña el hallazgo de restos humanos junto a una mandíbula con cuatro dientes. En aquellas fechas todavía la ciencia estaba bastante en mantillas, así para TORRUBIA, al igual que para los clásicos, las ceraunias eran piedras figuradas de la naturaleza, de la misma forma que cualquier otro fósil. Al final de la obra antes mencionada aparece un curioso *Tratado de gigantología española*.

La presencia de grandes esqueletos de animales fósiles se interpreta a lo largo de la historia como si perteneciesen a gigantes, apoyándose en las aportaciones de la

Mitología. Así hablan de gigantes fósiles SAN AGUSTIN (354-430), Luis VIVES (1492-1540) y Anastasius KIRCHER. De esta forma el esqueleto de un *Dinoterium* fue confundido con los restos de Teotobocus, Rey de los Cimbrios. Algunos científicos como SCHEUCHZER, J. J., autor de *Phisica Sacra* (1713), quisieron ver en los gigantes los vestigios del hombre antediluviano, confundiendo los restos de una salamandra gigante, *Andrias Scheuchzeri*, CUVIER, con el *Homo diluvii testis*.

En 1739, Georges-Louis LECLERC (1707-1778), conde de Buffon y Señor de Montbard, fue nombrado director del *Jardín Botánico de París*, desarrollando desde esta insti-



Figura 1.—Fr. José Torrubbia (1700-1768) en «Aparato para la Historia Natural» (1754) considera como fósiles a los minerales, a ciertas antigüedades y a los restos orgánicos petrificados, tal y como se comprueba en esta lámina inserta en su obra.

por ejemplo, tenemos la realizada el 23 de abril de 1753 en la Cueva del Cabrero, en Terraza (Guadalajara), donde se reseña el hallazgo de restos humanos junto a una mandíbula con cuatro dientes. En aquellas fechas todavía la ciencia estaba bastante en mantillas, así para TORRUBIA, al igual que para los clásicos, las ceraunias eran piedras figuradas de la naturaleza, de la misma forma que cualquier otro fósil. Al final de la obra antes mencionada aparece un curioso *Tratado de gigantología española*.

La presencia de grandes esqueletos de animales fósiles se interpreta a lo largo de la historia como si perteneciesen a gigantes, apoyándose en las aportaciones de la

Mitología. Así hablan de gigantes fósiles SAN AGUSTIN (354-430), Luis VIVES (1492-1540) y Anastasius KIRCHER. De esta forma el esqueleto de un *Dinoterium* fue confundido con los restos de Teotobocus, Rey de los Cimbrios. Algunos científicos como SCHEUCHZER, J. J., autor de *Phisica Sacra* (1713), quisieron ver en los gigantes los vestigios del hombre antediluviano, confundiendo los restos de una salamandra gigante, *Andrias Scheuchzeri*, CUVIER, con el *Homo diluvii testis*.

En 1739, Georges-Louis LECLERC (1707-1778), conde de Buffon y Señor de Montbard, fue nombrado director del *Jardín Botánico de Paris*, desarrollando desde esta insti-

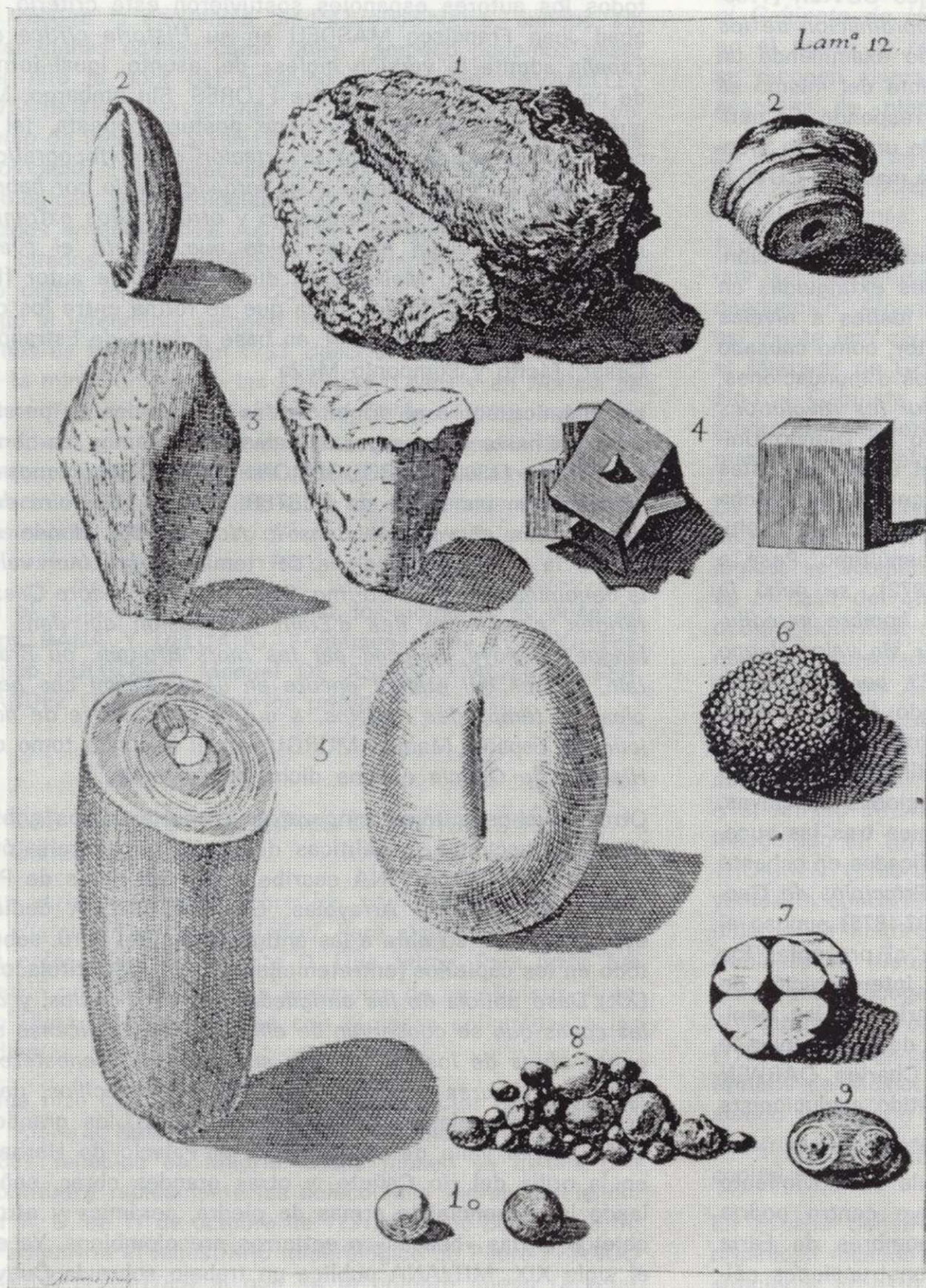


Figura 1.—Fr. José Torrubia (1700-1768) en «Aparato para la Historia Natural» (1754) considera como fósiles a los minerales, a ciertas antigüedades y a los restos orgánicos petrificados, tal y como se comprueba en esta lámina inserta en su obra.

tución una importante labor científica. En 1749, en *Epoques de la Natura* enuncia la teoría que los seis días de la creación no eran otra cosa que seis largos períodos, elevando la antigüedad de la tierra a 80.000 años. Estas ideas supusieron una apertura en el concepto del tiempo geológico que posibilitaron, entre grandes polémicas, el avance de la Paleontología y a la larga un mayor conocimiento sobre el origen del hombre. Dos autores más ayudarían en este empeño: Uno es el médico Etienne Geoffroy SAINT-HILAIRE, discípulo del mineralogista HAÜY y Profesor de Zoología en el Museo de París, el cual establece en 1796 el *principio de anatomía comparada*, al demostrar que todos los animales de un mismo tipo de organización están constituidos siguiendo un mismo plan de composición y sólo difieren entre ellos en detalles parciales. El otro es un discípulo del anterior llamado Georges CUVIER (1769-1831), que establece el *principio de subordinación de los órganos y su correlación*, de este modo examinando un hueso determinado o incluso un fragmento del mismo se puede adivinar a qué tipo de animal corresponde. En definitiva se estaba preparando el origen de una nueva ciencia: la Paleontología, la cual nacería de la mano de CUVIER en 1830.

Asimismo CUVIER hizo otras aportaciones. La aparición, en los alrededores de París, de especies extinguidas en estratos definidos y el paso de otros fósiles a niveles superiores fue interpretado, por este autor, como causado por la sucesión de numerosos cataclismos o inundaciones, tal y como se recoge en el *Discours sur les révolutions du Globe*. De acuerdo con este modelo de Diluvio Universal bíblico no sería otra cosa que el último de estas catástrofes (*teoría catastrofista*). De acuerdo con dicha tesis el hombre habría sido creado con antelación al último desastre, pero posteriormente al penúltimo. Pese a todo, según señala TUBINO, F. M. (1872): *se negó la posibilidad de descubrir el secreto del hombre antediluviano, hasta el punto de declarar Cuvier sin valor alguno el magnífico fósil desenterrado, en 1823, por Ami Boué*. Las teorías catastrofistas han perdurado hasta casi el siglo XX, así el sacerdote anglicano y Profesor de Mineralogía de la Universidad de Oxford William BUCKLAND (1784-1856) considera una serie de creaciones sucesivas, para explicar la renovación de las especies tras las sucesivas catástrofes, que habían sido cuantificadas en ochenta por BROGNIART. La publicación de los *Principios de Geología* (1830-1833) por Charles LYELL (1797-1875) supuso el inicio del fin de la teoría catastrofista al presentar los *principios del uniformismo geológico*, la interpretación de los hechos del pasado habría que buscarlos en las manifestaciones geológicas actuales. Poco después aparece *El origen de las especies* (1859) de Charles DARWIN (1809-1882) que serviría para dar un sentido evolucionista a la Paleontología y a la Arqueología.

En el siglo XVIII se inicia en la Península un movimiento de análisis de las ruinas antiguas cuyo centro podría situarse en Galicia. Destacamos los nombres de Faria SEVERIM que señala la presencia de construcciones cé-

lticas en las Beiras y sobre todo el del padre R. Martín SARMIENTO (1695-1777), en cuya obra *Historia general y todo género de erudición con motivo de un papel que aparece se había publicado por los abogados de La Coruña, contra los toros y tierras que poseen en Galicia los benedictinos* (1762). En el tercero de los cuatro tomos de esta obra se discute sobre el problema de las Islas Casitérides y se ocupa del comercio del estaño de Galicia en la época que se traficaba con la nación fenicia.

Poco después, en 1783, este tema es tocado por otro gallego, José CORNIDE FOLGUEIRA Y SAAVEDRA (1734-1803), que en *Las Islas Casitérides o Islas del Estaño, restituidas a los mares de Galicia*, trata de probar que dichas islas eran las Cíes y no las Sarlingas, tal y como señalaba Guillermo CAMBEN en su *Britanniae*. Pero no todos los autores españoles sostuvieron este criterio, el abad Juan Francisco MASDEU en su *Historia crítica de España* admite la versión inglesa del asunto. Igual forma de pensar mantendría el padre FLORES. Sin embargo, Miguel PEREZ QUINTERO mantiene postura opuesta, tal y como se comprueba en la *Disertación crítico-topográfica. Las Casitérides restituidas a su verdadero sitio por haberlas dislocado el Inglés Cambdeno y otros savios extranjeros, cuya sentencia ha sostenido nuevamente el avate D. Juan Francisco Masdeu*. En dicha obra este autor fija las Casitérides en la ensenada que se forma entre los cabos de Finisterre y Touriñán, en base a datos de Estrabón, César, Tácito y Pomponio Mella.

La polémica sobre el origen de las Casitérides ha persistido casi hasta los tiempos actuales. Recordamos las obras de SMITH (1863) y ROUGEMONT (1866). Recogemos a continuación una frase de FOSTER, J. R., en *Histoire des découvertes et voyages dans le Nord* (1786), donde se ofrece la visión anglosajona del tema: *ce qui leur valut la denomination d'îles Sorling, Scilly, ou bien encore Cassiterides, c'est-à-dire îles d'Étain, expression qui dans la langue du pays, se rend par les mots Bro-tain, ou Braetain, termes qui étaient encore en usage parmi ces peuples, du temps des romains, & qui le font encore de nos jours*. En España, Manuel MURGIA en el segundo tomo de *Historia de Galicia* expone dicha controversia.

Otros muchos autores empezaron a aportar datos sobre las construcciones megalíticas de las culturas prehistóricas. Así MENDOZA PINA escribe sobre las antas de Pomarés, Montenor y Arrayolas. En 1792, ULLOA dedica buena parte de su obra a las antigüedades del Perú, sobre todo en los capítulos (entretenimientos) XX y XXI, titulados: (XX) *Dase noticia de las antigüedades de los Indios, y de las cosas que se conservan de ellos* y (XXI) *Explicanse algunas obras de los Indios para sus precisos menesteres, y algunas figuras a manera de ídolos, o dixecillos*, describiendo los palacios y calzadas de Cuzco, los grandes edificios del valle de Pachacamac, el Palacio de Herbay, en la orilla del río Cañete, y otras grandes obras, señalando la presencia de armas de piedra, cerámica y otros objetos en las «huacas» o entierros precolombinos. Ya en el siglo XIX, MITJANA publica un trabajo sobre la Cueva

de Menga y Buenaventura HERNANDEZ SANAHUJA hace lo mismo sobre las ruinas ciclópeas de la región tarraconense. Pero sobre todo, en este campo, el trabajo más reconocido tal vez sea el del naturalista mahonés Juan RAMIS, autor de *Antigüedades célticas de la Isla de Menorca* (1818), donde se proporcionan importantes noticias sobre los monumentos talayóticos, de la Edad del Bronce, en dicha isla. Asimismo recordamos los trabajos del Conde de VALENCIA DE DON JUAN, el cual estudió, en 1844, el túmulo de la Ollería, extrayendo del mismo objetos de la Edad del Bronce.

Retomando el hilo de los autores españoles que, en el siglo XVIII, aportaron algo a la Prehistoria, hay que señalar a MARIN DE MENDOZA que en *Historia de la milicia española* (1755) es el primer escritor nacional en cuya obra se recoge la secuencia piedra-bronze-hierro, aunque sin citar dichas edades como tales. Tampoco podemos pasar por alto la obra del botánico Fr. Antonio CAVANILLES (1754-1804) *Observaciones sobre la Historia Natural del Reino de Valencia* (1795-1797), donde junto a descripciones zoológicas o botánicas, añade consideraciones geográficas, geológicas, paleontológicas, así como sobre distintos hallazgos arqueológicos. Asimismo hay que considerar a los ya citados: MURGUIA, con importantes trabajos sobre los celtas en Galicia, y CORNIDE, el cual en el informe dado al Intendente General del Reino de Galicia sobre las minas de la región, en 1783, describe los lavaderos de oro de la mina romana de las Médulas (León) y en *Noticia de las antigüedades de Cabeza del Griego* (1799) establece las líneas generales sobre la historia, geografía, industria y arqueología de Celtiberia. Por último citaremos a Miguel Ignacio PEREZ QUINTERO, autor de *La Beturia vindicata o ilustración crítica de su tierra, con la noticia de alguna de sus ciudades e islas* (1794).

En el siglo XIX, cabría señalar los nombres de Juan de Dios RADA Y DELGADO, Francisco María TUBINO, Fernando FULGOSIO, Manuel DE ASSAS y Aureliano FERNANDEZ GUERRA, entre los primeros.

4. LOS PRÍMEROS GABINETES DE ANTIGÜEDADES, EN ESPAÑA

Hay varias versiones sobre los comienzos del *Gabinete de Historia Natural de Madrid*. Para algunos se inició con las colecciones del infante D. Luis Jaime. Para otros fue creado por Fernando VI, a instancias de su Ministro Antonio Ulloa, enriqueciéndose con remesas solicitadas a las Indias.

Ulloa hizo que se contratara como Director del Gabinete de Historia Natural al irlandés Guillermo BOWLES (1714-1780), fallecido en Madrid. Dicho museo se instala con prontitud y rápidamente las colecciones fueron creciendo. Por R. D. de 17 de octubre de 1771, firmado por Carlos III, se adquiriría el muestrario mineralógico de Pedro FRANCO DAVILA (1713-1785) al que se le nombró nuevo Director

del Gabinete. En 1776 se compró asimismo la colección de Foster. A estas colecciones se unieron las donaciones del conde de Floridablanca, Celestino Mutis, del barón Alejandro von Humboldt y muchos otros.

Con esta institución colaboró algo el padre Flores, que disponía una importante colección de antigüedades y objetos de historia natural en su *Museo Phillipense*. A dicho autor BOWLES le llamaría el fundador de la Historia Natural en España.

El 4 de noviembre de 1776, en el Gabinete de Historia Natural fueron abiertas varias salas al público: una de minas (menas), otra de piedras (minerales), otra de vasos de piedras preciosas y dos de antigüedades y petrificaciones (fósiles). En 1818, Juan MEIG, en su obra *Paseo por el Gabinete de Historia Natural de Madrid*, en concreto en el paseo V, recorre la sala de petrificaciones donde se recogen diversos instrumentos líticos todavía bajo el anagrama de «piedras del rayo».

En esta época se recuperan algunas minas antiguas y en ellas va apareciendo diverso material, así por ejemplo Francisco Tomás SANZ, administrador de las Minas de Río Tinto, señala el hallazgo, el 31 de julio de 1762, de una lámina manuscrita de cobre, de época romana, en una conducción. Algunas de estas piezas pasaron a museos, así existe una carta manuscrita del año 1774, firmada por el Marqués de Grimaldi donde agradece a SANZ la remisión al Gabinete de Historia Natural, de un objeto (una piedra de diásporo, encontrada en la misma cañería romana que la lámina de cobre).

La tradición iniciada en el Renacimiento con la creación de museos de obras de arte, en los que las piezas arqueológicas se acogían como un elemento decorativo más, tal es el caso del *Museo del Vaticano*, de la *Kunstkammer* o Colección Real de Dinamarca, organizada en base a los objetos recolectados por Ole WORM y abierto al público en 1680, o del *Ashmolean Museum* que se inauguró en 1675, en Oxford, dieron paso poco a poco a museos más centrados en las antigüedades, tal es el caso del *Museo de Monumentos Franceses* creado a principios del XIX, o el *Museo de Antigüedades del Norte*, de Copenhague, inaugurado en 1818 bajo la batuta de Cristina JÜRGENSEN THOMSEN (1788-1865). Sin embargo, en muchos casos, vemos la concurrencia en los Museos de antigüedades y objetos de historia natural, como ya hemos visto en el *Gabinete de Historia Natural de Madrid*, ya que en definitiva solía recogerse el conjunto de sus contenidos en la Naturaleza. Por poner un ejemplo, Lucas ALAMAN (1792-1842), ingeniero de minas del Real Seminario de la Minería de México y de la Escuela de Minas de Freiberg, siendo Secretario de Estado de su país fundó, en 1824, el *Museo de Antigüedades y de Historia Natural* de la capital azteca.

En España tienen que pasar algunos años para que se organicen museos específicos de Arqueología con entidad suficiente. En esto puede que tuviera algo que ver el inge-

niero de minas Casiano DE PRADO Y VALLE (1797-1866) ya que, en 1864, sugiere que se vaya formando un *museo especial*, donde él donaría todos los elementos que había recogido, tanto en cavidades como en los terrenos de diluvium, indicando que no sólo debían contar los de la Edad de Piedra, sino también los de la Edad de Bronce y de los primeros tiempos de la Edad de Hierro. Como consecuencia de sus expediciones se organiza la *Colección Arqueológica del Museo de la Escuela de Minas de Madrid* y a ella aportaría el famoso cráneo verde de la mina del Milagro, de Onís (Asturias), osamenta similar a la que posteriormente DELGADO Y RADA habría de llevar, desde esta localidad al Museo Arqueológico Nacional. Posteriormente la colección se fue ampliando con materiales de Cerro Murliano y otros yacimientos, formando un pequeño pero interesante muestrario, donde incluso aparecen piezas del Perigord, tal vez procedentes de intercambios. Poco después se montaría, en el país hermano de Portugal, la importante *Colección Prehistórica de la Escuela de Minas de Lisboa*.

Recordemos que hasta 1867 no se crearían el *Museo Arqueológico Nacional* (M.A.N.) y los *Museos Arqueológicos Provinciales* (por R. D. de 20 de marzo), aunque con anterioridad ya existían las *Comisiones Provinciales de Monumentos Históricos y Artísticos*, desde 1843. Estas Comisiones organizaron colecciones y debido a la importancia que fueron adquiriendo hubo que dotarlas con un Reglamento, que se sancionó el 24 de noviembre de 1865.

Gracias a Amador DE LOS RIOS se organiza, en el Museo Arqueológico Nacional, una Sección de Prehistoria, siendo su primer responsable Manuel DE ASSAS. Posteriormente el material del Gabinete fue organizado por el ingeniero de minas Antonio POUPART, con la ayuda de Joaquín SALAS Y DORIGA. El grueso del conjunto inicial de la Sección de Prehistoria se formaría a partir de los fondos del Gabinete de Historia Natural de la Biblioteca Nacional y de la Escuela Diplomática. Parte de este núcleo fundacional es posible que provenga también de las donaciones de PRADO. Según señala BERTIN, L. (1965), y nosotros hemos podido comprobar personalmente, como alguno de los objetos obtenidos en el Alto de San Isidro se encuentran en el Museo Arqueológico Nacional.

Posteriormente otras donaciones, como las de Theodoro STUTZEL, Francisco María TUBINO, Manuel GONGORA, Emilio ROTONDO, Juan VILANOVA Y PIERA o Ismael ROSO DE LUNA, fueron enriqueciendo la parte prehistórica del Museo Arqueológico Nacional.

En Barcelona en cambio no se formaría una institución museística de carácter público hasta que, en 1878, D. Francisco MARTORELL Y PEÑA (1822-1878), en el legado establecido con motivo de su fallecimiento, donara de forma desinteresada sus colecciones de Arqueología y Ciencias Naturales, naciendo así el *Museo de Geología o Museo Martorell*. En dicho legado incluso se establecía la donación de un premio de veinte mil pesetas a la mejor obra original de Arqueología española que se presentase a

concurso. Entre 1883 y 1890 las colecciones se fueron engrandeciendo con donativos y compras, como es el caso de la colección arqueológica de Santiago Angel SAURA.

En 1888, con motivo de la *Exposición Universal de Barcelona* se organizaría la primera exposición exclusivamente arqueológica de la Ciudad Condal. Poco después, en 1891, el alcalde Juan COLL Y PUJOL inaugura el *Museo de Arqueología* del Parque de la Ciudadela, siendo las colecciones del naturalista MARTORELL las que sirvieron de base para la apertura de las exposiciones. Posteriormente las donaciones de los ingenieros de minas Luis Mariano VIDAL y Luis SIRET, así como la llegada de materiales procedentes de diversas excavaciones, entre otras las de Ampurias, cuyo Inspector fue el naturalista Manuel CAZURRO, sirvieron para ir configurando el museo actual.

5. LOS PRIMEROS PASOS DE LA GEOLOGIA EN LA ARQUEOLOGIA

El proceso de estructuración de la Geología como ciencia ha sido muy lento y tardío, no cuajando definitivamente hasta la primera mitad del siglo XIX. Aunque ya a finales del siglo XVIII teníamos los primeros textos mineralógicos, una vez separadas la Oritognosia y la Geognosia, gracias a las sabias lecciones de WERNER, A. G.

Como en otras ciencias, existen antecedentes anteriores a su configuración, pero siempre con la Geología englobada en otras de carácter naturalista, pero no como materia independiente.

Los primeros geólogos, en muchos casos debido a erróneos criterios filosóficos y teológicos, pensaban que el origen del hombre era relativamente reciente, pero la presencia de instrumentos líticos en relación con animales ya extintos les llevó a pensar en una mayor antigüedad de la especie humana.

A finales del siglo XVII, el anticuario John BAGFORD encontró bajo las calles de Londres un hacha de sílex junto a los restos de un mamut, pero los geólogos aún no habían creado, a través de la Estratigrafía, el concepto de cronología relativa y Bagford interpretó el hecho como el enfrentamiento de un bretón armado con una lanza de punta pétreo contra un elefante traído por las tropas romanas en la conquista de Britania. Un hallazgo similar le ocurrió a CONYERS, en 1715, en las proximidades de la misma ciudad.

En 1797, Jhon FRERE (1720-1807) extrajo de una formación de agua dulce, las graveras de Hoxne, cerca de Suffolk, diversos instrumentos líticos (fig. 2) acompañados de huesos de animales «antidiluvianos». La profundidad del hallazgo cubierto incluso por estratos de procedencia marina llevaron a que FRERE señalara que *la situación en que se hallaron las armas nos tienta a datarlas en un período*

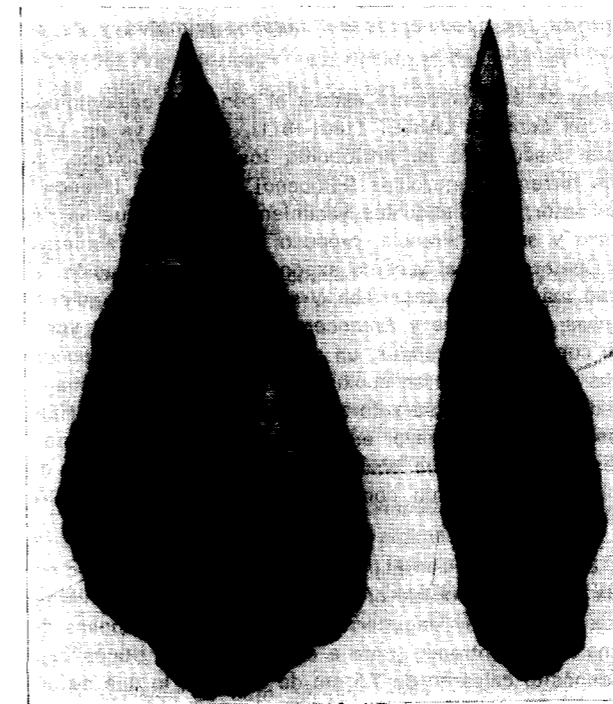


Figura 2.—Representación de un hacha achelense, encontrada por John Frere (1740-1807) en las graveras de Hoxne, en 1797.

muy remoto, incluso más allá del tiempo presente, la polémica estaba servida.

Hacia 1828, Paul TOURNAL (1805-1872) y Jules DE CHRISTOL (1802-1861) encontraron en una caverna, al Sur de Francia, restos humanos e instrumentos líticos junto a huesos de animales extinguidos cementados por carbonato a modo de brecha, defendiendo la contemporaneidad del hombre y los animales hallados. Esto supuso una gran discusión, entre otros con el geólogo DESNOYERS, el cual pese a señalar que los materiales podían haber sido removidos por las aguas acabó convencido del tema, pero sólo tras transcurrir varios años y que hubiese nuevos e importantes descubrimientos.

En 1830, Philippe Charles SCHMERLING (1791-1836) se dedicó en la zona de Lieja, Bélgica, a remover aluviones y cavernas, buscando al hombre antediluviano, encontrando en numerosos yacimientos la coetaneidad del hombre con los mamíferos extinguidos.

Hallazgos similares hicieron Jhon MAC ENERY (1796-1841) en Kent y John EVANS en Devonshire. Los descubrimientos del primero en un nivel travertínico fueron combatidos por el catastrofista BUCKLAND, el cual criticaba las teorías expuestas señalando que los instrumentos líticos habían sido introducidos por los bretones en los travertinos a

través de hornos excavados, mezclándose así artefactos recientes con restos animales antiguos.

En 1830, el médico Casimir PICARD localizó unos instrumentos de piedra en los aluviones de Abbeville, en el valle del Somme. Poco después, el párroco de dicha población, Jacques BOUCHER DE CREVECOEUR (1788-1868), se puso a estudiar estos hallazgos. Enseguida encontró, en las trincheras abiertas para la construcción de un canal y del ferrocarril hachas y otros útiles de piedra asociados a huesos de *Mamuts* y otros restos de mamíferos. En 1833 proyecta la publicación del libro titulado *La Industria primitiva* y desde entonces se dedicaría a recolectar los materiales prehistóricos. El resultado de estos hallazgos fue el convencimiento que los hombres fueron coetáneos con los animales ya extinguidos, pero su catastrofismo, expresado en el libro *Ensayo sobre el origen y progresión de los seres* (1837), le llevaría a pensar, en contra de lo expresado por CUVIER y otros científicos, que estaba ante un hombre antediluviano, aniquilado en una gran inundación anterior al último Diluvio. De esta forma se establecía una división entre Paleolítico (Antediluviano) y Neolítico (Céltico). Estas ideas se recogen y refuerzan en su obra *Antiquités celtiques et antédiluviennes* (1847) (fig. 3). De 1847 a 1857 BOUCHER trabajó en el segundo tomo de las *Antigüedades*.

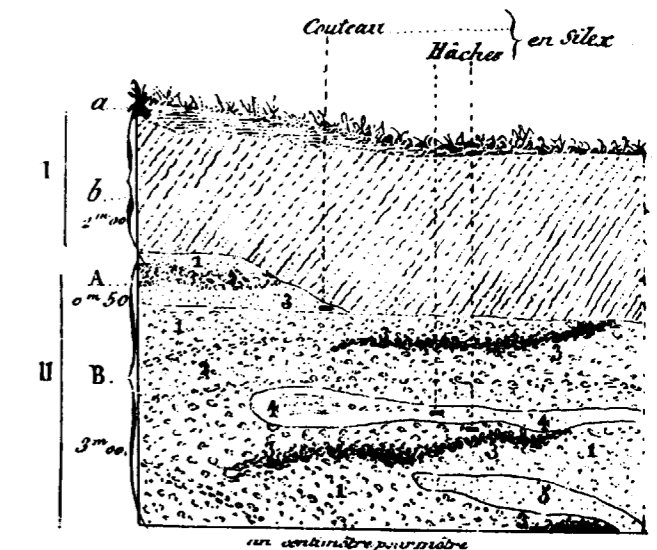


Figura 3.—Corte geológico elaborado por Boucher de Perthes (1788-1868) donde se sitúan estratigráficamente los hallazgos arqueológicos, tomado de «Antiquités celtiques et antédiluviennes» (1847).

Estas ideas sobre la existencia del hombre antediluviano expresadas por los geólogos antes mencionados, habían sido aceptadas por parte de los científicos, filósofos y teólogos. De esta forma, en algunos ambientes intelectuales

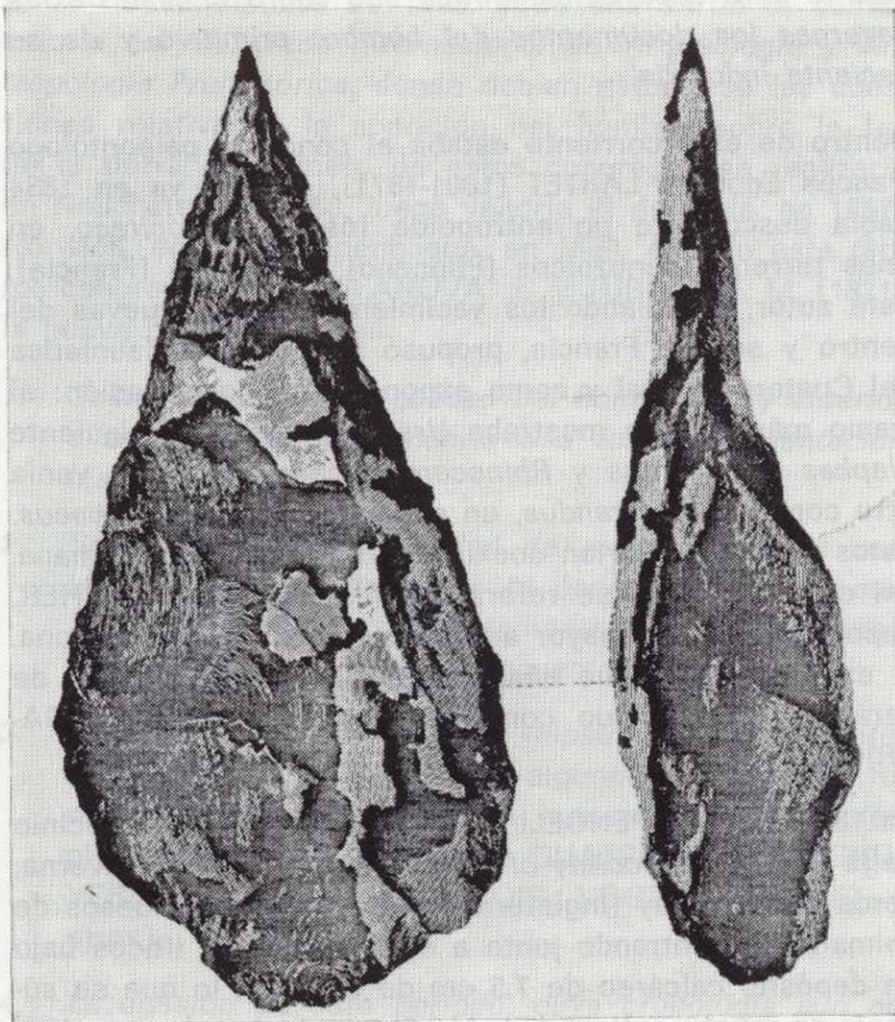


Figura 2.—Representación de un hacha achelense, encontrada por John Frere (1740-1807) en las graveras de Hoxne, en 1797.

muy remoto, incluso más allá del tiempo presente, la polémica estaba servida.

Hacia 1828, Paul TOURNAL (1805-1872) y Jules DE CHRISTOL (1802-1861) encontraron en una caverna, al Sur de Francia, restos humanos e instrumentos líticos junto a huesos de animales extinguidos cementados por carbonato a modo de brecha, defendiendo la contemporaneidad del hombre y los animales hallados. Esto supuso una gran discusión, entre otros con el geólogo DESNOYERS, el cual pese a señalar que los materiales podían haber sido removidos por las aguas acabó convencido del tema, pero sólo tras transcurrir varios años y que hubiese nuevos e importantes descubrimientos.

En 1830, Philippe Charles SCHMERLING (1791-1836) se dedicó en la zona de Lieja, Bélgica, a remover aluviones y cavernas, buscando al hombre antediluviano, encontrando en numerosos yacimientos la coetaneidad del hombre con los mamíferos extinguidos.

Hallazgos similares hicieron Jhon MAC ENERY (1796-1841) en Kent y John EVANS en Devonshire. Los descubrimientos del primero en un nivel travertínico fueron combatidos por el catastrofista BUCKLAND, el cual criticaba las teorías expuestas señalando que los instrumentos líticos habían sido introducidos por los bretones en los travertinos a

través de hornos excavados, mezclándose así artefactos recientes con restos animales antiguos.

En 1830, el médico Casimir PICARD localizó unos instrumentos de piedra en los aluviones de Abbeville, en el valle del Somme. Poco después, el párroco de dicha población, Jacques BOUCHER DE CREVECOEUR (1788-1868), se puso a estudiar estos hallazgos. Enseguida encontró, en las trincheras abiertas para la construcción de un canal y del ferrocarril hachas y otros útiles de piedra asociados a huesos de *Mamuts* y otros restos de mamíferos. En 1833 proyecta la publicación del libro titulado *La industria primitiva* y desde entonces se dedicaría a recolectar los materiales prehistóricos. El resultado de estos hallazgos fue el convencimiento que los hombres fueron coetáneos con los animales ya extinguidos, pero su catastrofismo, expresado en el libro *Ensayo sobre el origen y progresión de los seres* (1837), le llevaría a pensar, en contra de lo expresado por CUVIER y otros científicos, que estaba ante un hombre antediluviano, aniquilado en una gran inundación anterior al último Diluvio. De esta forma se establecía una división entre Paleolítico (Antediluviano) y Neolítico (Céltico). Estas ideas se recogen y refuerzan en su obra *Antiquités celtiques et antédiluviennes* (1847) (fig. 3). De 1847 a 1857 BOUCHER trabajó en el segundo tomo de las *Antigüedades*.

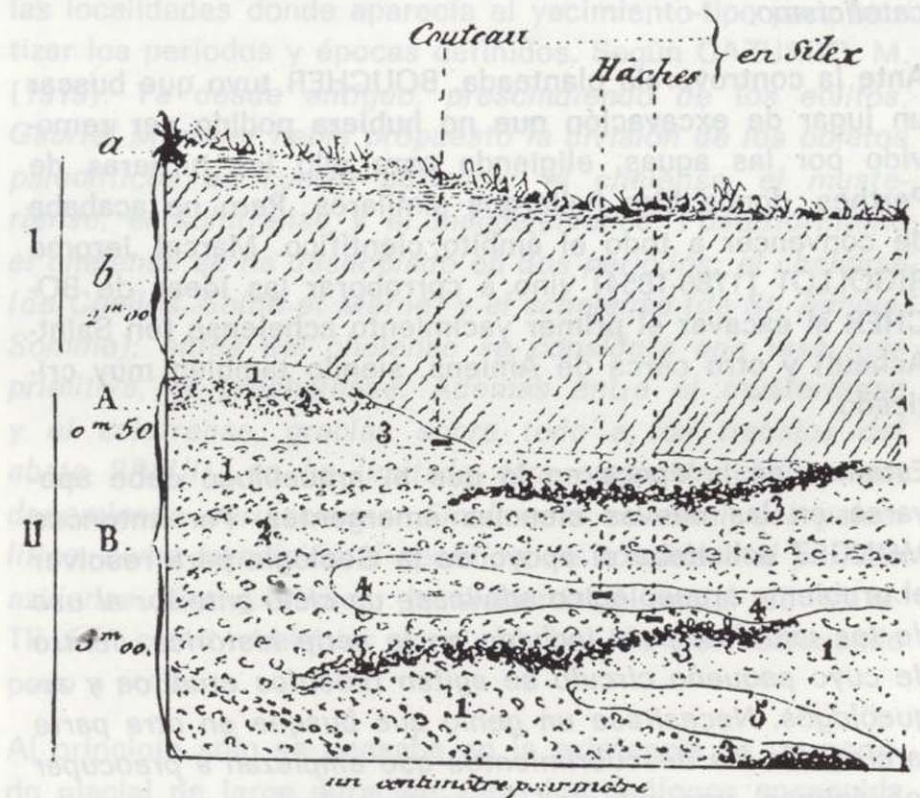


Figura 3.—Corte geológico elaborado por Boucher de Perthes (1788-1868) donde se sitúan estratigráficamente los hallazgos arqueológicos, tomado de «Antiquités celtiques et antédiluviennes» (1847).

Estas ideas sobre la existencia del hombre antediluviano expresadas por los geólogos antes mencionados, habían sido aceptadas por parte de los científicos, filósofos y teólogos. De esta forma, en algunos ambientes intelectuales

y eclesiales se observaba una ruptura con el proceso de las traducciones bíblicas literales, dándose un margen mayor al pensamiento. Este es el caso del abate DANIELO en *Elementos de Teología Sagrada* (1854), del que recogemos la siguiente frase: *Podemos decir de consiguiente a los geólogos: Escudriñad cuanto queráis las entrañas de la tierra, si vuestras observaciones no piden a los días del Génesis más duración que a los días ordinarios, continuaremos siguiendo la común opinión; si por el contrario descubris de una manera evidente que el globo terráqueo con sus plantas y animales debe ser mucho más antiguo que el género humano, no hallaréis en el Génesis que contrarie a este descubrimiento, dado que se os permite ver en cada uno de estos seis días, otros tantos periodos de tiempo indeterminados: y entonces vuestros descubrimientos vendrán a ser como el comentario expositivo de un pasaje cuyo sentido no se ha fijado hoy en día enteramente.* Otros autores de la época, como el cardenal WISEMAN se manifestaron en esta línea. Sin embargo las reacciones contra BOUCHER no se hicieron esperar, incluso el prestigioso Profesor de Geología de la Sorbona Edmond HERBERT (la primera Cátedra francesa de Geología la ocupó Constant PREVOST, en 1830, siendo sucedido por HERBERT en 1856) el cual negaba la existencia de restos anteriores al Diluvio. Esta polémica es recogida por TUBINO, F. M. (1872) cuando señala: *posteriormente se combatiría por los protestantes a BOUCHER, asegurándose que con sus descubrimientos servía a los intereses del catolicismo.*

Ante la controversia planteada, BOUCHER tuvo que buscar un lugar de excavación que no hubiera podido ser removido por las aguas, eligiendo para ello las turberas de Perthes, donde hizo hallazgos similares. Pero no acababa de convencer a todo el ámbito científico. Marcel Jerome RIGOLLOT (1786-1854) vino a corroborar las ideas de BOUCHER al excavar el primer yacimiento achelense (en Saint-Acheul) y otro cerca de Amiens, siendo también muy criticado.

Estamos en la época en la que el arqueólogo debe apoyarse en las nuevas ciencias emergentes. Por entonces MONGEZ solicitaba el apoyo de la Geología para resolver el problema arqueológico *adivinase un ciclo anterior al uso de los metales, pero incluido en la serie histórica, dentro de cuyo pequeño círculo se agitan filósofos eruditos y arqueólogos. Necesitase un genio que busque en otra parte la clave de los descubrimientos que empiezan a preocupar los ánimos, una voluntad bastante enérgica que prescindiendo de toda cronología histórica, y que llevado de la investigación del lado de las ciencias naturales, pida su consorcio a la Geología y a la Paleontología.* De igual forma señalaba: *Nadie había sospechado que el historiador pudiera preocuparse de lo que guardaban los estratos geológicos en sus vírgenes y no removidas entrañas, nadie sin que anatómico o paleontólogo fuera imposible adelantar positivamente en el conocimiento de las fases por que en su desarrollo había pasado la humanidad: nadie, en fin, la conveniencia de buscar en el fondo de las turberas,*

bajo la dura capa estalagmítica que cubre el piso de las cavernas los documentos del hombre primitivo y de su naciente industria.

Dentro de esta corriente estaba el conocido paleontólogo francés Edouard LARTET (1801-1871), el cual ya en 1834 había descubierto un antropoide fósil, el *pliopiteco*, en unos terrenos cenozoicos (Plioceno) de Sansan (Francia). Este autor, estudiando los yacimientos de las cuevas del centro y sur de Francia, propuso una división faunística del Cuaternario, tal y como exponemos a continuación: el tramo más antiguo mostraba *Ursus spalaeus*, el siguiente *Elephas primigenius* y *Rhinoceros tichornius*, luego venía otro con *Cervus tarandus*, un cuarto con *Bison europaeus*. Estos animales habrían coexistido con la especie humana, así de esta forma se reforzaban las tesis de BOUCHER, suponiéndose una mayor antigüedad a la especie humana. A estos periodos fue añadido otro con posterioridad, de carácter más antiguo con *Hippopotamus*, por Félix GARRIGOU.

En 1858, William PENGELLY (1812-1894), bajo el patrocinio de la *Geological Society of London*, excavó en una caverna, cerca de Tourquay (Inglaterra), la cual contenía huesos de animales, encontrando junto a ellos artefactos líticos bajo un depósito calcáreo de 7,5 cm de espesor, lo que se suponía de mucha antigüedad. Al año siguiente, el supervisor de estos trabajos, Charles LYELL, junto al geólogo John PRESTWICH y al arqueólogo JOHN EVANS fueron a visitar los yacimientos del valle del Somme, comprobando las ideas de BOUCHER. De esta forma Charles LYELL en una reunión de la Sociedad británica proclama como verdaderos los descubrimientos del párroco de Abbeville y PRESTWICH apunta estas conclusiones:

- 1.º Los utensilios de sílex extraídos de terreno cuaternario son obra del hombre.
- 2.º Se han encontrado en terrenos no removidos.
- 3.º Estaban asociados a restos de razas extinguidas.
- 4.º Correspondían a un período incluido en las últimas épocas geológicas, pero anterior al momento en que la superficie terrestre fijó su actual relieve y configuración.

En definitiva, estos hallazgos permitieron que, en 1859, se considerase al *Hombre* incluido en la recién creada ciencia de la Paleontología.

El 23 de mayo de 1863, el operario Nicolas HALATRE encontró dos hachas en la cantera aluvial de Moulin Quignon, cerca de Abbeville, llevándoselas a BOUCHER. Este, junto a Oswald DIMPPE, se pusieron a investigar dichas labores, encontrando una mandíbula y otros restos cerca del sustrato de creta. Este mismo año, en el Jardín Botánico de París, hubo una reunión de sabios para decidir sobre la autenticidad del fósil y de los instrumentos líticos asociados. Como no hubo acuerdo inmediato se programó una convención de naturalistas en Spezzia, del 17

al 20 de septiembre de 1865, y de ella partió la convocatoria del *Congreso Internacional de Arqueología y Antropología Prehistórica*, donde debían estudiarse las cuestiones relativas a la aparición del hombre sobre la faz de la tierra. El primero de estos congresos se realizaría en Neuchatel, en 1866, luego vendría el de París, en 1867; Norwich, en 1868, Copenhague, en 1869, etc. En este último congreso, según VILANOVA, J., y TUBINO, F. M. (1871) la nueva ciencia discutía:

- 1.º *Sobre la remota antigüedad del hombre, muy anterior a toda tradición legendaria o a toda documentación histórica.*
- 2.º *Sobre la contemporaneidad de nuestra especie con los grandes mamíferos de la época cuaternaria que se han extinguido completamente, o que emigraron a regiones que entonces frecuentaron.*
- 3.º *De la existencia de un gran «lapsus» de tiempo anterior a toda historia (incluso algunos geólogos sostenían la existencia de restos humanos en horizontes pliocenos, tal es el caso de QUATREFAGES, DESNOYERS, el abad de BOURGOIS, VOGT, MORTILLET y otros).*
- 4.º *La división de este período, cuya cronología aún no es posible fijar, en cuatro grandes épocas que corresponden a otros tantos grados de cultura y desarrollo social.*

Vemos asimismo como los geólogos aplicaron los criterios de cronología relativa que les había dado el actualismo, y cómo esto fue sin duda muy útil para establecer los distintos periodos de la Prehistoria. Sin embargo los naturalistas no fueron los únicos en aportar estos criterios: En el siglo XVIII, William STUCKELEY (1687-1765) había llegado a la conclusión que algunos túmulos eran anteriores a la colonización romana, tal y como se deducía por su posición relativa respecto a las calzadas construidas por éstos, ya que dichas rutas cortaban o eludían a los monumentos antiguos. Asimismo Cristian JÜRGENSEN THOMSEN (1788-1856), preparando las colecciones del *Museo de Antigüedades*, clasificó artefactos arqueológicos de acuerdo con sus aplicaciones. Examinando objetos de bronce, en base a criterios estilísticos, separó los pertenecientes a una época en que no existían objetos de hierro de otra en que sí. De igual forma actuó sobre objetos de piedra, algunos de los cuales aparecían con artefactos de bronce. El resultado de sus análisis fue la división de la Prehistoria en cuatro etapas: a) Primera Edad de Piedra; b) Segunda Edad de Piedra; c) Edad del Bronce, y d) Edad del Hierro, que a su vez fue subdividido en dos periodos, tal y como se puede comprobar en la *Guía de antigüedades nórdicas* (1836). Este trabajo sistemático fue continuado en Escandinavia por WORSÆ, J. A. (1821-1859) y por MONTELIUS, O. (1843-1921) los cuales trabajaron sobre materiales de distinta procedencia, en función de la tipología de los objetos recolectados, sin contar para nada con la estratigrafía de los yacimientos.

WORSÆ fue nombrado Conservador de los Monumentos Antiguos de Dinamarca (1847) y primer Profesor de Arqueología de la Universidad de Copenhague (1855), escribiendo *Las antigüedades primitivas de Dinamarca* (1849). MONTELIUS, tras revisar numerosas colecciones y museos a nivel europeo, trata de ordenar materiales. El resultado sería el establecimiento de agrupaciones estilísticas (a partir de conjuntos cerrados) que no representaban grandes unidades temporales, como la Edad de Hierro, sino subdivisiones en pequeños periodos de varios cientos de años.

De todas formas los criterios cronológicos de posición estratigráfica eran más contundentes que los criterios de variaciones estilísticas, por ello los geólogos aportaron más en este tema que los propios arqueólogos. Según este criterio, hay que considerar que la elaboración del primer cuadro cronológico detallado de la Prehistoria y de su terminología se la debemos a un discípulo de LARTET llamado Gabriel DE MORTILLET (1821-1898), autor de *El período prehistórico: antigüedad del hombre* (1882). Este autor, como buen geólogo, eligió la presencia de determinados objetos característicos por su forma y manufactura, al igual que si fuesen fósiles guías, para delimitar cada período o época en que se dividen y subdividen las distintas edades (fig. 4). Asimismo MORTILLET, de acuerdo con estos criterios, usó las denominaciones de las localidades donde aparecía el yacimiento-tipo para bautizar los periodos y épocas definidos. Según CAZURRO, M. (1919): *Ya desde antiguo, prescindiendo de los eolitos, Gabriel Mortillet había propuesto la división de los objetos paleolíticos en cuatro periodos: el chelense, el musteriense, el solutrense y el magdalenense. Posteriormente el chelense se ha desdoblado en dos periodos: el chelense (de Chelles, Seine et Marne) y el achelense (de St. Acheul, Somme); antes del chelense se considera una fase más primitiva, el prechelense. Además entre el musteriense y el solutrense, gracias sobre todo a los trabajos del abate BREUIL, se ha limitado otra etapa de civilización, denominada auriñaciense. Finalmente, al final del paleolítico, como transición al neolítico, se considera el período aziliense.* Como vemos, la sistemática inicial de MORTILLET, como cualquier otra, se ha ido perfeccionando poco a poco.

Al principio sólo se pensaba en la existencia de un período glacial de larga duración, pero los geólogos enseguida se dieron cuenta de la existencia, durante el Cuaternario, de varios periodos glaciales que alternaban con otros interglaciales. Los primeros en estudiar el glaciario fueron AGASSIZ, COLLOMB, DESOR, MARTINS, MACLAREN, LE HON, KEYSERLING y otros, sin embargo los principales trabajos sobre el establecimiento de las distintas épocas se los debemos a GEIKIE, A. (1895); BOULE, M. (1906); PENCK, A., y BRUCKNER, E. (1909), etc. Gracias a éstos se estableció rápidamente la equivalencia entre las divisiones cronológicas del Cuaternario y los distintos

TEMPS	AGES	PÉRIODES	ÉPOQUES
Quaternaires actuels.	Historiques.	Mérovingienne.	Wahonienne. (Wahen, Puy-de-Dôme.)
		Romaine.	Champdolienne. (Champdolent, Seine-et-Oise.)
		du Fer.	Lugdunienne. (Lyon, Rhône.)
			Benveysienne. (Mont-Benray, Nièvre.)
		Galatienne.	Marnienne. (Département de la Marne.)
			Hallstattienne. (Hallstatt, haute Autriche.)
	Préhistoriques.	du Bronze.	Larnaudienne. (Larnaud, Jura.)
			Morgienne. (Morges, canton de Vaud, Suisse.)
			Robenhausienne. (Robenhausen, Zurich.)
		Néolithique.	Campignyenne. (Campigny, Seine-Inférieure.)
			Tardenoisienne. (Père-en-Tardenois, Aisne.)
			Tourassienne. (La Tourasse, Haute-Garonne.) Ancien hiatus.
Quaternaires anciens.	de la Pierre.	Paléolithique.	Magdalénienne. (La Madeleine, Dordogne.)
			Solutrénienne. (Solutré, Saône-et-Loire.)
			Moustérienne. (Le Moustier, Dordogne.)
			Acheuléenne. (Saint-Acheul, Somme.)
			Chelléenne. (Chelles, Seine-et-Marne.)
			Puycournienne. (Puy-Couray, Cantal.)
Tertiaires.		Éolithique.	Thenaysienne. (Thenay, Loir-et-Cher.)

Figura 4.—División cronológica de la Prehistoria elaborada por el naturalista Gabriel de Mortillet (1821-1898), tomada de «Formation de la nation française» (1897).

periodos de la prehistoria (fig. 5). Esta importante correlación permitiría ver al hombre prehistórico dentro de un entorno paleoclimático. Asimismo se trataba de dar respuesta a las tesis filosóficas del hombre fósil planteadas por PICTET y otros científicos, cuando se preguntaban en qué momento había aparecido el hombre, cuál era el estado de la tierra en dicho instante y cómo había variado desde entonces, así como qué animales habían vivido con él.

6. LOS PRIMEROS ESTUDIOS CIENTIFICOS SOBRE ARQUEOLOGIA ESPAÑOLA: CASIANO DE PRADO Y JUAN VILANOVA

Los estudios de Minas nacieron con la creación de la Academia de Almadén, por R. O. de 14 de julio de 1777.

dada durante el reinado de Carlos III. En 1835 se traslada la Escuela a Madrid, donde ha persistido hasta nuestros días.

Poco después, por R. O. de 12 de julio de 1849, se crea la Comisión para formar la carta geológica de Madrid y general del Reino, muy en relación con la Escuela y el Cuerpo de Ingenieros de Minas. Esta Comisión, considerada la más ambigua de las nacionales, se dividía en distintas Secciones: Geología y Paleontología, Geografía Meteorológica, Botánica y Zoología. Los trabajos de la misma quedan adscritos a los ingenieros de minas auxiliados donde fuera posible por profesores de las especialidades afines.

El vocal responsable de la Sección de Geología era Casiano DE PRADO Y VALLE (1797-1866), ex alumno de la Academia de Almadén y geólogo de reconocido prestigio. Según LOPEZ AZCONA, J. M., y MESEGUER, J. (1961) esta Sección inicia con Prado sus actividades en enero (de 1850) en los altos de San Isidro del Campo, donde unos años antes se habían descubierto unos colmillos y la mayor parte de un elefante, trasladándolo a los locales de la Comisión. En dichas investigaciones colaboraría Mariano DE LA PAZ GRAELLS (1808-1898), doctor en Medicina y Cirugía, así como Catedrático de Zoología desde 1837, el cual había sido nombrado responsable de la Sección de Zoología.

De esta forma los primeros estudios de la Comisión se inician en el Cuaternario de la provincia de Madrid, lo que propiciaría que en la publicación del *Catálogo Metódico*, por la Sección de Zoología, se recogieran numerosos mamíferos fósiles, tales como *Elephas*, *Rhinoceros*, *Hippopotamus* o *Cervus*. Como ejemplo de estos hallazgos, DE LA PAZ GRAELLS reseña el encuentro de restos de *Elephas* en el Tejar de las Animas, en los cerros inmediatos a la Ermita de San Isidro, según recogemos de una publicación suya en el Boletín Oficial del Ministerio de Comercio, Instrucción y Obras Públicas, de 1850. Algunos de estos restos de paquidermos todavía se conservan, tal y como hemos podido comprobar, en el Museo del Instituto Tecnológico Geomínero de España.

Poco después, Casiano DE PRADO encontró diversos objetos de sílex por debajo de las capas horizontales que contenían restos de *Elephas*. En la interpretación de este hallazgo intervinieron los geólogos franceses Edouard VERNEUILLE y Louis LARTET (hijo del paleontólogo Edouard LARTET) que habían sido llevados por PRADO, en 1862, a los cerros de San Isidro. Apercebidos de la importancia de este descubrimiento (fig. 6) enviaron una nota al Boletín de la Sociedad Geológica de Francia, *Note sur un sílex taillé trouvé dans les diluvium des environs de Madrid* (1863).

La importancia de este hecho ha sido subrayada por numerosos autores. Según AYALA, F. J., et al. (1988): Fue en 1862 cuando Casiano de Prado identificó por primera vez el Paleolítico en Madrid y desde entonces no han dejado de producirse hallazgos a favor de graveras para la construcción en las proximidades de Madrid.

Prof. J. Geikie 1896	Prof. Penck y Bruckner 1909	Prof. Penck y Rutot	Prof. Boule 1906	Prof. Haug 1911	Dr. Obermaier 1916
Turberciense sup. (6.º periodo glaciár)	Post glaciár con oscilaciones	Magdaleniense	Magdaleniense Solutrense	Cuaternario superior	Magdaleniense Avance de Buhl
Forestiense sup. (5.º periodo glaciár)					Solutrense Retrosceso de Achen
Turberciense infer. (5.º periodo glaciár)					Aurifaciense sup.
Forestiense infer. (4.º p. interglaciár)					Post glaciár
Mecklenburgense (4.º periodo glaciár)	Würmiense 4.º p. glaciár	Magdaleniense	Mousteriense 3.º glaciár	Würmiense 4.º glaciár	Aurifaciense inf. Mousteriense sup.
Neudeckiense (3.º p. interglaciár)	3.º interglaciár	Solutrense	Chelense 2.º interglaciár	Chelense 3.º interglaciár	Achelense sup. Achelense inf.
Polandiense (3.º periodo glaciár)	Rissienne (3.º p. glaciár)	Mousteriense	2.º glaciár	Rissienne 3.º glaciár	Chelense sup. ? Chelense inf.
Helveciense (2.º p. interglaciár)	2.º interglaciár	Chelense	1.º interglaciár	Cuater. antiguo 2.º interglaciár	Prechelense 2.º interglaciár
Sajoniense (2.º p. glaciár)	Mindelense (2.º p. glaciár)	—	1.º glaciár plioceno	Mindelense 2.º glaciár	Mindelense 2.º glaciár
Norfolkiense (1.º p. interglaciár)	1.º interglaciár	—		San Prestiense	1.º interglaciár
Scantiense (1.º p. glaciár)	Gunziense (1.º p. glaciár)	Plioceno		Vilafranquense	Gutiense 1.º glaciár

Figura 5.—Resumen de los diferentes sistemas cronológicos del Cuaternario y su equivalencia, tomados de la obra de Cazorro «El Cuaternario y las estaciones de la época paleolítica en Cataluña» (1919).

De igual forma, GALVEZ CAÑERO Y ALSOLA, A. DE (1912) indica: De justicia es recordar aquí que aquel sabio ingeniero de minas a quien tanto debe la ciencia geológica española, se preocupaba ya en el año de 1850 de recoger y conservar los objetos de piedra tallada que encontró en sus expediciones por la provincia de Madrid, los cuales excitaban vivamente su curiosidad y fueron el origen del gran interés y entusiasmo que más tarde se dedicó a los estudios prehistóricos, que fueron, durante mucho tiempo, su preocupación constante.

De esta forma PRADO se inicia en el tema arqueológico, así en la *Descripción física y geológica de la provincia de Madrid* (1864) considera al Hombre como un mamífero más dentro del capítulo de la Paleontología, y para reforzar sus ideas sobre la antigüedad del hombre trata de demostrar el origen industrial de los materiales líticos recolectados. Como señalaría el historiador y anticuario TUBINO, F. M. (1872): más justo es repetir que el hombre fósil no tuvo en España un paladín decidido hasta que alzó su enseña el laborioso y entendido ingeniero de minas D. Casiano de Prado.

Queremos añadir a todos estos méritos sus indicaciones sobre la metodología de prospección y las recomendaciones para la preservación de los objetos recolectados.

En el estudio sobre la provincia de Madrid resalta la necesidad de explorar las cuevas y cavernas por capas o niveles, para así poder clasificar los restos hallados con relación a su antigüedad y la necesidad de crear un museo, como ya vimos, con los objetos hallados. PRADO ya había iniciado el estudio de cavidades en la *Descripción de la provincia de Segovia* (1853), encontrando en la Cueva de Riaza una mandíbula de *Hiaena spelea*, así como huesos humanos y de animales junto a restos de cerámica.

Asimismo, según recogemos de MAFFEI, E., y RUA DE FIGUEROA, R. (1871), así como de VILANOVA Y PIERA, J., y TUBINO, F. M. (1871), hay una circular de la Comisión Permanente de Geología Industrial, dirigida a los ingenieros de minas Jefes de las provincias, fechada en Madrid en abril de 1865, y firmada por Casiano DE PRADO, donde señala la relación existente entre la Geología y la Arqueología: *La Geología, que bien considerada no se debe mirar sino como la historia de la tierra, se enlaza en sus últimos periodos con la de los pueblos que la habitan o la habitaron. Preciso es, por tanto, buscar todos los indicios que manifiesten su presencia y la acción del hombre en los tiempos en que no hay memoria y aunque no sean tan antiguos ... señalando los elementos principales que han de servir de base para este estudio, por primera vez iniciado de forma*

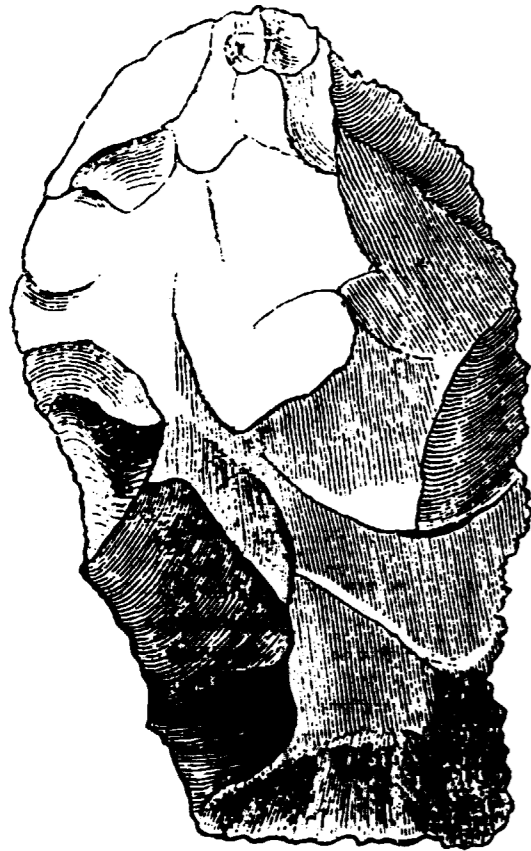


Figura 6.—Hacha de piedra de San Isidro que se reprodujo en un artículo de Edouard Verneuille y Louis Lartet, publicado en el Bulletin de la Société Géologique de France, en 1963, y que supuso el anuncio al Mundo de la presencia del Paleolítico en España

oficial en nuestra Península, y llamando la atención a los ingenieros sobre los antiguos aluviones de los ríos, los lagos de alguna extensión, las turberas y principalmente las cavernas, fecundos arsenales de la ciencia prehistórica. Asimismo indica que deben buscarse sobre todo, las piedras que sirvieron de armas y de utensilios, conocidas con los nombres de piedras de rayos, centellas y otros (por ejemplo hachas célticas), correspondientes a la segunda edad de piedra y de la que le precede, que no tuvieron nombre hasta ahora, aunque su origen no se puede poner ya en duda. Generalmente son de sílex y según su forma se llaman hachas, cabezas de lanza, puntas de flecha, etc.; unas y otras son pequeñas y como chinarras o chinarras, otras son mayores y aún de enormes tamaños, que pudieron confundirse con ciertos cantos erráticos si por su posición no indican que son grandes monumentos del hombre en los tiempos antehistóricos. A los mismos pertenecen también los llamados túmulos por los

arqueólogos, a los que en España se da vulgarmente el nombre de mambas, mamoas, modorras y acaso otros, y debían también reconocerse.

De este último escrito llama la atención el mayor interés puesto en los objetos pétreos. Algunos autores posteriores limitaron el campo de la Geología hasta el fin de la Edad de Piedra, considerando que la Arqueología se iniciaba con la Edad de Bronce, ya que en esta época empieza la vida social organizada, al nacer las primeras comunidades, y con ello en definitiva la historia, o mejor dicho la Protohistoria.

No queremos terminar este análisis sobre la obra del ilustre ingeniero sin tener en cuenta un acontecimiento familiar. El padre de CASIANO era un erudito arquitecto llamado Melchor de PRADO, y fue un estrecho colaborador de CORNIDE en el estudio de Cabeza del Griego (1799), elaborando las 40 láminas que ilustran la memoria, y acompañando al historiador en sus excursiones siguiendo el itinerario de las calzadas romanas de Galicia. No cabe duda que CASIANO desde pequeño conoció la preocupación intelectual que estaban despertando estos temas.

Aparte de CASIANO DE PRADO hay que tener en cuenta la labor del naturalista Juan VILANOVA Y PIERA (1821-1893). Sobre su historia personal tenemos algunos datos, parece ser que viajó por Europa en 1849 y 1853, asistiendo en París a las clases del ingeniero Elie BEAUMONT y a las del mineralogista DUFRENOY. Es muy probable que acudiera a la Escuela de Minas de Freiberg. Fue el primer Catedrático de Geología y Paleontología de la Universidad Central de Madrid (1852) y, hacia 1855, era el Jefe de la Sección de Geología para el este de España, trabajando activamente en las memorias provinciales de Castellón y Valencia, así como zonas colindantes. En 1873 accedería a la Cátedra de Paleontología, la primera creada bajo esta denominación en nuestro país (aunque dicha materia se enseñaba en la Escuela de Minas desde 1839). Por último reseñaremos un hecho de naturaleza arqueológica que repercutió en los últimos años de su vida: fue la asignación de edad paleolítica a las pinturas rupestres de la Cueva de Altamira, lo que trajo a VILANOVA numerosos disgustos.

Para muchos autores VILANOVA es el iniciador de la Prehistoria española. Por ejemplo, según GALVEZ-CAÑERO y ALSOLA, A. (1912): Fue el primero de nuestros hombres de ciencia que dedicó gran atención y constantes desvelos a los estudios acerca de la historia española. Para otros como TUBINO, F. M. (1872): Prado es el que verdaderamente introduce en España los estudios prehistóricos, mientras que considera a Vilanova como el primer prehistórico español que más servicios ha prestado a la causa una vez muerto D. Casiano de Prado.

Tras presentarse VILANOVA a un concurso organizado por la Real Academia de Ciencias, donde presentó la obra *Manual de Geología aplicada a la agricultura y a las artes industriales*, consiguió ganarlo, publicándose ésta en 1861.

En el segundo tomo menciona los yacimientos del terreno diluvial de la Picardía (Francia) los cuales muestran sumo interés por encontrarse en ellos revueltos diversos objetos de pedernal junto a restos óseos de mamíferos cuaternarios, lo que se enlaza con la aparición del hombre sobre la tierra. Indica este autor: *Que el hecho sea cierto no puede haber duda alguna, pues sobre haberlo demostrado con asiduidad a toda prueba el distinguido geólogo y anticuario Sr. Boucher de Perthes durante más de doce años en varias localidades de la indicada comarca francesa.* Aquí VILANOVA se decanta por las teorías de BOUCHER, que según dicho autor eran apoyadas por PRESTWICH, FALCONER, LYELL, BUTEUX, GAUDRY, RIGOLLET y otros, de acuerdo con los tres puntos siguientes:

- 1.º Los instrumentos de sílex son producto de la mano del hombre y no formas caprichosas de pedernal.
- 2.º Las capas en que se hallan no han sido removidas, ni introducidas las hachas después de constituirse aquéllas.
- 3.º En la misma capa hay una verdadera mezcla de instrumentos con huesos de mamíferos cuaternarios.

Señala al final que *puede sentarse como cosa demostrada que el hombre precedió al gran cataclismo designado por Moisés y por la ciencia con el nombre del Diluvio y que fue contemporáneo de los grandes mamíferos cuaternarios.*

En definitiva, teníamos la primera descripción española de los tiempos prehistóricos, pero según señala TUBINO, F. M. (1872): *No se desprende de su libro que el entusiasta geólogo hubiera hecho antes de redactarlo exploraciones con el fin de adquirir por sí mismo la evidencia de que el hombre cuaternario era un hecho incontestable; nada dijo tocante a España, pero si bien bajo esta relación Prado le precedió, cierto es que también la «Memoria» del último salió a la luz estando ya impreso el «Manual» de Vilanova, de donde se deduce que si Prado fue el primero en buscar en la Península los restos del hombre fósil, Vilanova fue el que dio a conocer entre nosotros, con prioridad, los fundamentos de la ciencia antropológica.*

Es posible que en este Catedrático influyera la labor de PRADO y, por otro lado, los distintos hallazgos que iban produciéndose en sus expediciones geognósticas, en su trabajo para la Comisión del Mapa Geológico. Fruto de lo anterior son, entre otras, las publicaciones siguientes: Una serie de catorce artículos en la *Revista de Sanidad Militar y General de Ciencia Médica* (1866-1867). Un extracto de las conferencias impartidas en el Ateneo Científico y Literario de Madrid, aparecido en el periódico *La Andalucía* (abril de 1868) bajo el título *Geología aplicada al estudio del hombre*. Una obra inédita cuya publicación fue anunciada para junio de 1868, pero sin llegar a salir a la luz, bajo el título *Estudio de los tiempos diluviales y prehistóricos*. Poco después se editan *Lo prehistórico* (1871-72) y *Origen, naturaleza y antigüedad del hombre*

(1872). Este mismo año publica *Síntesis de los trabajos prehistóricos en España*, donde aparece un corte estratigráfico del yacimiento del Cerro de San Isidro (fig. 7). Asimismo hay que tener en cuenta la obra *Geología y protohistoria ibéricas*, escrita junto a Juan de Dios RADA Y DELGADO, la cual corresponde a uno de los volúmenes de la *Historia General de España* (1893), de CANOVAS DEL CASTILLO, A., y muchas otras más.

El sólido prestigio alcanzado por VILANOVA le permitió asistir a los congresos prehistóricos de París (1867) y de Copenhague (1869), junto a TUBINO.

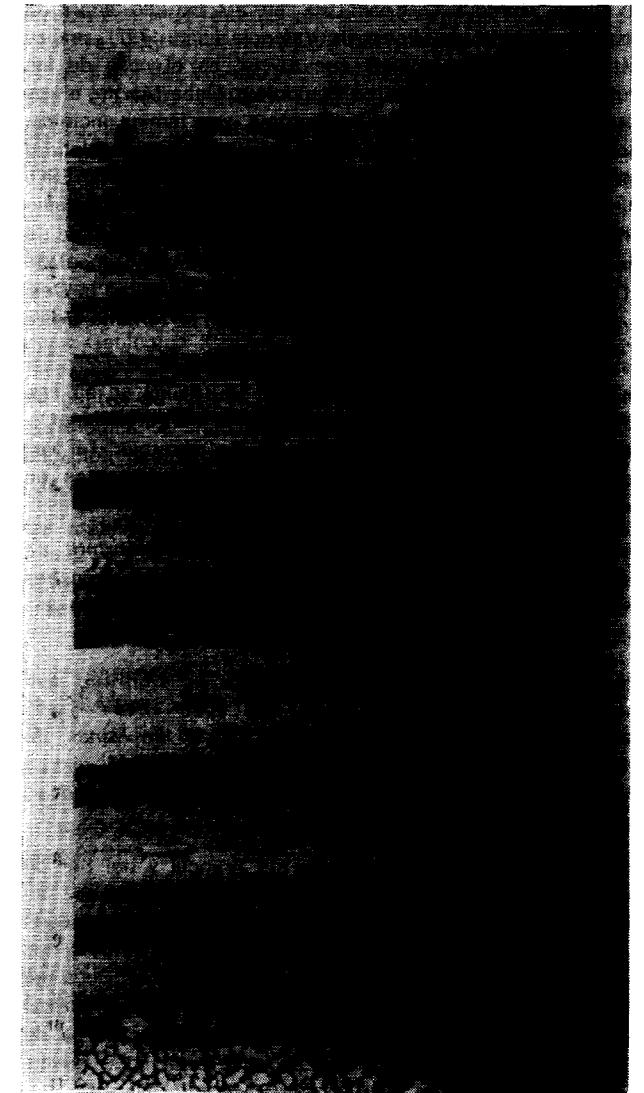


Figura 7.—Corte geológico de San Isidro, según JUAN VILANOVA Y PIERA (1872).

En el segundo tomo menciona los yacimientos del terreno diluvial de la Picardía (Francia) los cuales muestran sumo interés por encontrarse en ellos revueltos diversos objetos de pedernal junto a restos óseos de mamíferos cuaternarios, lo que se enlaza con la aparición del hombre sobre la tierra. Indica este autor: *Que el hecho sea cierto no puede haber duda alguna, pues sobre haberlo demostrado con asiduidad a toda prueba el distinguido geólogo y anticuario Sr. Boucher de Perthes durante más de doce años en varias localidades de la indicada comarca francesa.* Aquí VILANOVA se decanta por las teorías de BOUCHER, que según dicho autor eran apoyadas por PRESTWICH, FALCONER, LYELL, BUTEUX, GAUDRY, RIGOLLET y otros, de acuerdo con los tres puntos siguientes:

- 1.º Los instrumentos de sílex son producto de la mano del hombre y no formas caprichosas de pedernal.
- 2.º Las capas en que se hallan no han sido removidas, ni introducidas las hachas después de constituirse aquéllas.
- 3.º En la misma capa hay una verdadera mezcla de instrumentos con huesos de mamíferos cuaternarios.

Señala al final que *puede sentarse como cosa demostrada que el hombre precedió al gran cataclismo designado por Moisés y por la ciencia con el nombre del Diluvio y que fue contemporáneo de los grandes mamíferos cuaternarios.*

En definitiva, teníamos la primera descripción española de los tiempos prehistóricos, pero según señala TUBINO, F. M. (1872): *No se desprende de su libro que el entusiasta geólogo hubiera hecho antes de redactarlo exploraciones con el fin de adquirir por sí mismo la evidencia de que el hombre cuaternario era un hecho incontestable; nada dijo tocante a España, pero si bien bajo esta relación Prado le precedió, cierto es que también la «Memoria» del último salió a la luz estando ya impreso el «Manual» de Vilanova, de donde se deduce que si Prado fue el primero en buscar en la Península los restos del hombre fósil, Vilanova fue el que dio a conocer entre nosotros, con prioridad, los fundamentos de la ciencia antropológica.*

Es posible que en este Catedrático influyera la labor de PRADO y, por otro lado, los distintos hallazgos que iban produciéndose en sus expediciones geognósticas, en su trabajo para la Comisión del Mapa Geológico. Fruto de lo anterior son, entre otras, las publicaciones siguientes: Una serie de catorce artículos en la *Revista de Sanidad Militar y General de Ciencia Médica* (1866-1867). Un extracto de las conferencias impartidas en el Ateneo Científico y Literario de Madrid, aparecido en el periódico *La Andalucía* (abril de 1868) bajo el título *Geología aplicada al estudio del hombre*. Una obra inédita cuya publicación fue anunciada para junio de 1868, pero sin llegar a salir a la luz, bajo el título *Estudio de los tiempos diluviales y prehistóricos*. Poco después se editan *Lo prehistórico* (1871-72) y *Origen, naturaleza y antigüedad del hombre*

(1872). Este mismo año publica *Síntesis de los trabajos prehistóricos en España*, donde aparece un corte estratigráfico del yacimiento del Cerro de San Isidro (fig. 7). Asimismo hay que tener en cuenta la obra *Geología y protohistoria ibéricas*, escrita junto a Juan de Dios RADA Y DELGADO, la cual corresponde a uno de los volúmenes de la *Historia General de España* (1893), de CANOVAS DEL CASTILLO, A., y muchas otras más.

El sólido prestigio alcanzado por VILANOVA le permitió asistir a los congresos prehistóricos de París (1867) y de Copenhague (1869), junto a TUBINO.

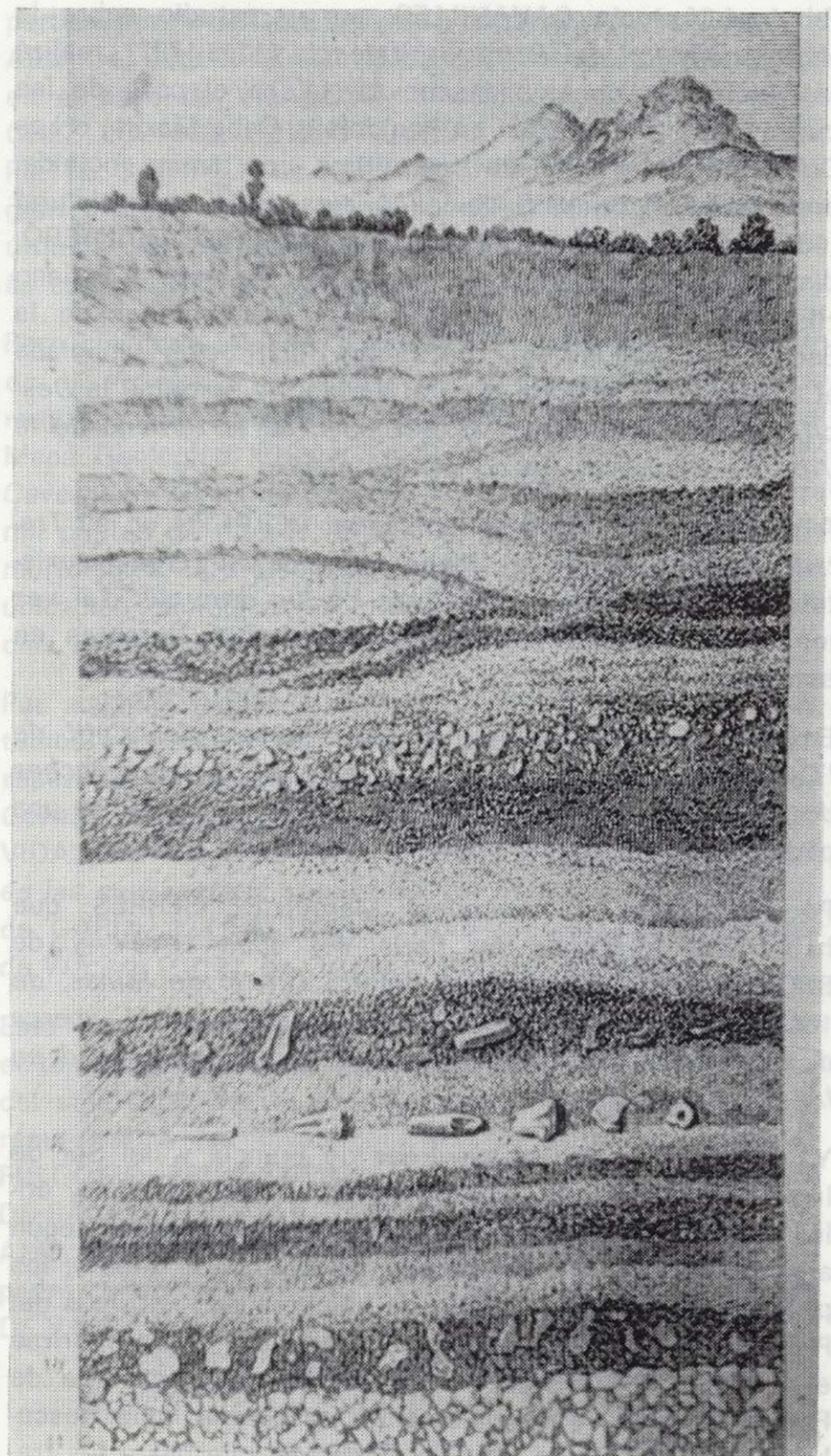


Figura 7.—Corte geológico de San Isidro, según JUAN VILANOVA Y PIERA (1872).

7. LOS PRIMEROS ESTUDIOS SOBRE LAS CAVERNAS EN ESPAÑA

En el período ilustrado se inicia el estudio de cavernas, tal y como se mencionó en el caso de Fr. José TORRUBIA. Sin embargo no es hasta el siglo XIX cuando se plantea un estudio sistemático de las mismas.

Ignacio LOPEZ DE AYALA, en *Historia de Gibraltar* (1782) habla de los huesos humanos encontrados en la Cueva de San Miguel. Estos hechos son posteriormente recogidos por el mayor LURIE (1797) y por los hermanos HUNTER, de tal forma que incluso CUVIER en *Osamentos fósiles* da noticia de este hecho. Posteriormente SMITH, en su *Geología de Gibraltar* (1844), incide en el tema, describiendo las brechas óseas del Peñón.

Fr. José Antonio CAVANILLES, en su estudio sobre la *Historia Natural del Reino de Valencia* (1795-1797), realiza la descripción de algunas cuevas, tal es el caso de las cuevas de las Calaveras, en Benidoleig, Cabo Martín, o Les Dones. La descripción de esta última, con lámina incluida, aparece en el tomo VI de los *Anales de Historia Natural* (1803). En ese mismo tomo, Juan SANCHEZ QUIJERO, discípulo del ingeniero de minas de Freiberg Cristiano HERRGEN, que por aquellas fechas era Profesor de la Escuela de Mineralogía de Indias, Institución vinculada al Gabinete de Historia Natural de Madrid, escribió la *Descripción de la Cueva de la Berquilla, en el término de la Villa de Caravaca, Reyno de Murcia*.

A principios de siglo, se lamentaba HERRGEN en su *Tratado geognóstico de las rocas*, sobre la indiferencia existente en España ante el estudio de las cavernas. Tal vez los estudios anteriores fueran los primeros intentos en esta línea.

En 1808, Alexandre LABORDE en *Itineraire descriptif de l'Espagne, et tableau élémentaire des différentes branches de l'administration et de l'industrie de royaume* dedica una página a enumerar las cuevas o criptas de España.

Poco después, el naturalista Marcel DE SERRES, que había sido discípulo en París del abad HAÜY y de BRONGNIART publica en el *Boletín Oficial de Minas*, de 1845, *Observaciones sobre la noticia de M. J. M. acerca de los huesos humanos descubiertos por el Dr. Lund en las cavernas del Brasil*.

Ya vimos cómo en las cavernas de Francia y del Sur de Inglaterra estaban encontrándose numerosos huesos y útiles humanos junto a restos de animales extinguidos. Según algunos autores, tal es el caso de BERTIN, L. (1961), los primeros hallazgos de restos de hombres prehistóricos del Paleolítico Inferior en España datan de 1848, al descubrirse el cráneo de Gibraltar en una brecha de la caverna de Forbes Quarry. Ya vimos que en esta zona hubo descubrimientos anteriores, pero la verdad es que hasta los trabajos del militar inglés Federico BROME no hubo un estudio paleontológico serio de los esqueletos, dando cuenta de ello en la *Ilustración Hispano-Americana*, gracias a la

cooperación del vicario apostólico Sr. SCANDELLA. En 1864, estos hallazgos fueron interpretados por el geólogo BUSK, en una de las *Sesiones para el Progreso de la Ciencia*. Posteriormente ha habido otros encuentros en la zona, como los de los restos del niño de cinco años rescatado por Miss GARROD en 1926.

Casiano DE PRADO, entusiasmado con las prospecciones de cavernas realizadas por BUKLAND en Kirdedale, SCHEMERLING en Bélgica, LUND en Brasil y LARTET en los Pirineos, así como en el Centro de Francia, se dedicó al estudio de cuevas y simas de toda la Península. En la Memoria geológica de Madrid, en el Apéndice B, publica una *Noticia sobre cavernas y minas primordiales de España*, donde indica que: *Sólo es de esperar que si algunos se dedican a su exploración lo hagan con el orden y precauciones debidas, ... para que así puedan saberse la relación que guardan los objetos hallados unos respecto de los otros*. En el mismo libro también señala que: *Estas investigaciones son de tal importancia que en ellas mucho puede ganar no sólo la geología, sino también la arqueología y la etnología, pues no hay otros archivos a que acudir para hallar alguna luz sobre la población de este país en tiempos antehistóricos, y fuera de desear que el Gobierno las favoreciese*. PRADO incluso habla del famoso cráneo de Gibraltar del que tenía noticias gracias a su amigo FALCONER.

Juan DE VILANOVA también se preocuparía por las cavernas, en el *Manual de Geología aplicada a la agricultura y a las artes industriales* (1861), mencionando la importancia del estudio de las brechas óseas. Recoge la relación de cavernas de los dos mundos dada por Charles LYELL y da una relación de las españolas extraída de publicaciones de TORRUBIA, PRADO o SCHULTZ. Posteriormente, ya trabajando para la Comisión del Mapa Geológico, estudia durante el verano de 1866 las cuevas de Monduguer y Cava Negra, recogiendo estos datos en la *Memoria Geológica de la Provincia de Valencia*. En obras posteriores como *Origen, naturaleza y antigüedad del hombre* (1872) o en *Geología y Protohistoria Ibéricas* (1893) y en otras publicaciones, VILANOVA aporta numerosos estudios de cuevas, describiendo en detalle los descubrimientos en relación con el tema prehistórico.

Luis LARTET, tras los hallazgos de San Isidro, vuelve a la Península y se dedica al estudio de las cuevas de Castilla y de Rioja. En 1866 publicaría, como tirada aparte de la *Revue Archeologique*, un artículo titulado *Poteries primitives, instruments en os et silex taillés des cavernes de la Vielle-Castilla (Espagne)*. En sus recorridos por la Tierra de Cameros fue auxiliado por el Catedrático de Enseñanza Media de Logroño Dr. ZUBIA y, aún hoy en día, en algunos lugares como Ortigosa hay recuerdo de la visita de este investigador.

Antonio MACHADO Y NUÑEZ (1812-1896), Catedrático, fundador del Gabinete de Historia Natural de Sevilla y abuelo de los dos poetas, incitado en los estudios del hombre

prehistórico por FALCONER, promovió la investigación de cuevas entre los miembros de la Academia Sevillana de las Buenas Letras. En 1867 publicaría *Descripción de algunas cavernas de la Península y conveniencia de continuar sus estudios bajo el aspecto paleontológico*, en el tomo XVI de la *Revista para el Progreso de las Ciencias*. Asimismo este autor escribiría en una publicación periódica sevillana, durante 1871, un interesante artículo titulado *Cuestión prehistórica*.

La palabra prehistoria era muy reciente en la lengua castellana, había sido empleada por primera vez en nuestro país por el político federalista, académico e historiador gaditano, Francisco María TUBINO (1833-1888), en 1867, en un artículo publicado en el periódico *La Andalucía*, de Sevilla (del que era fundador y Director). Poco después en la *Revista de Bellas Artes* se abrió una sección denominada *Arqueología Prehistórica*. En realidad quien parece ser que acuñó este término fue Daniel WILSON (1816-1892), miembro de la *Sociedad de Anticuarios de Escocia*, con sede en Edimburgo, y estudioso de los trabajos del sueco Sven NILSON (1787-1883), el cual había escrito los cuatro tomos de *The primitive inhabitants of Scandinavia* (1836-1843). WILSON publicaría, en 1851, su obra *The Archaeology and Prehistoric of Scotland*.

Un compañero de Antonio MACHADO llamado José María MAC PHERSON Y HEMAS (1839-1902), reconocido geólogo y alumno de la Escuela de Minas de Freiberg (Com. pers. de Carlos MARTINEZ ESCORIAZA) estudiaría, en 1870, la Cueva de la Mujer, en la zona de Alhama de Granada, reconociendo huesos humanos, hachas neolíticas y objetos cerámicos. La publicación viene acompañada de una foto, tal vez la primera aplicada en España a estos trabajos.

Tras las aseveraciones de PRADO, algunos ingenieros de la Comisión del Mapa Geológico investigaron con profusión minas y cavidades. Una de las primeras obras específicas sobre el tema se la debemos a Pedro SAMPAYO y Mariano ZAZNAVAR, es la *Descripción de la Cueva de Atapuerca* (1868). Estos autores reconocen la inconclusión de sus trabajos cuando señalan: *Bajo el punto de vista prehistórico, aunque se han encontrado algunos objetos que excitan el interés de hacer más amplias investigaciones, éstas no se han llevado a cabo todavía*.

En 1870 Manuel GONGORA MARTINEZ publica *Antigüedades históricas de Andalucía. Monumentos, inscripciones, armas, utensilios y otros importantes objetos pertenecientes a los tiempos más remotos*. En esta obra, sin entrar en consideraciones geológicas, se aportan datos importantes de la prehistoria andaluza, como son los hallazgos de la Cueva de los Murciélagos, descubierta en 1831 por Juan MARTIN, en Albuñol (Granada). Numerosos materiales neolíticos de la zona recogidos por GONGORA, en la escombrera de una mina, aparecen expuestos en el M.A.N.

Ese mismo año Francisco María TUBINO estudia varias cavernas de la provincia de Málaga, como la de Caniloiras, en Alpendeire, donde encontró una mandíbula humana.

Poco después iniciaría el primer curso sobre Prehistoria que fue impartido en una Universidad española, en concreto en la de Sevilla.

Hacia 1875, Marcelino SANTUOLA descubre las Cuevas de Altamira. En 1780 publica *Breves apuntes sobre algunos objetos prehistóricos de la provincia de Santander*, donde según algunos autores da a conocer por primera vez al mundo las grandes manifestaciones de arte troglodítico, en contra de las opiniones emitidas por los científicos de la época. Aunque ya Góngora había reconocido algunas manifestaciones del arte rupestre de Andalucía en 1860. Los arqueólogos rechazaban que las pinturas rupestres fueran pintadas por el hombre primitivo, ya que las consideraban técnicamente muy avanzadas para dichos tiempos. Según DANIEL, E. (1950), esta idea tampoco era compartida por MORTILLET. Tras el hallazgo de la Cueva de Altamira, ésta fue investigada por muchos científicos, tal es el caso de VILANOVA, CALDERON, QUIROGA, SANCHEZ LOZANO, PUIG Y LARRAZ, GINER DE LOS RIOS, PIETTE, CARTAILHAC o del abad francés Henri DE BREUIL, gran maestro de los estudios del Paleolítico. Estos dos últimos autores publicaron en 1906 la importante obra *La caverne d'Altamira à Santillana, près Santander*.

Pero sin duda, el libro fundamental para el conocimiento de las cavernas españolas es el exhaustivo inventario realizado por el ingeniero de minas de la Comisión del Mapa Geológico PUIG Y LARRAZ, G. (1815-1917), titulado *Cavernas y simas de España* (1896). Este autor cita más de mil puntos de interés, indicando aparte de la descripción morfológica, la situación geográfica, accesos, alojamiento, ubicación geológica, exploración (donde se incluyen noticias arqueológicas) y bibliografía.

Por aquellas fechas y posteriormente surgieron otros estudios más locales, de los que recogemos algunos de los realizados por ingenieros de minas, tal es el caso de *Caves prehistoriques de Lleyda* (1894), de Luis Mariano VIDAL; *Nota acerca de algunas exploraciones practicadas en las cuevas de la cuenca del río Iregua (Logroño)* (1912), de GARIN, J. (1883-1922), o *Nota acerca de las cavernas de Vizcaya* (1912), de GALVEZ-CAÑERO, A. (1878-1937), etc.

Está claro que habiendo numerosos testimonios más en el tema del estudio de las cavernas, en la segunda mitad del siglo XIX, hemos omitido numerosos datos, pero nos remitimos a las investigaciones de HUBNER, Fernando FULGOSIO, PALAU, GOMIS, LA CORTE Y RUANO, GOMEZ DE SALAZAR, ROMAN GARCIA, CAPELLE, ARTIGAS, VILLAMIL, JUAN CATALINA GARCIA, Daniel CORTAZAR, el padre Leandro CALVO, el presbítero Jaime ALMERA, Adán DE YARZA, etc.

8. IMPLANTACION DEL EVOLUCIONISMO

Los antecedentes del evolucionismo hay que buscarlos en las *teorías transformistas* de Jean Batiste MONET DE

LAMARCK (1744-1829) sobre la herencia de los caracteres transmitidos y la adaptación al medio de las especies (1822).

En noviembre de 1859, Charles DARWIN (1809-1882) publica *El origen de las especies*. En esta obra se establecen los conceptos de selección natural y evolución biológica, lo que explicaba los cambios observados en los registros fósiles. Según TRIGGER, B. C. (1992): *La Implicación obvia de que la humanidad había evolucionado a partir de un primate antropeoide no sólo convirtió el tema de la antigüedad de la especie humana en un tema candente que tenía que ser empíricamente estudiado, sino que también significó una parte vital de una encendida controversia, más general, sobre la teoría de la evolución biológica de Darwin. Así, la arqueología dedicada al paleolítico pronto se colocó cerca de la geología y de la paleontología en los debates sobre una materia que provocaba un creciente interés en el público.*

Los hallazgos de restos humanos antiguos, correspondientes a razas menos evolucionadas, apoyaron el desarrollo de las teorías darwinistas.

En 1856, aparece en el Valle de Neander, cerca de Düsseldorf (Alemania), el denominado *Hombre de Neandertal*, habitante del último período interglaciario. Una vez admitido como antepasado nuestro se descubren en Francia restos del *Hombre de Cro-Magnon*, más moderno que el anterior. En el Congreso de París QUATREFAGES mantenía que Occidente en los tiempos primitivos había estado poblado por una raza enana, de cabeza pequeña y redonda, pero verificó el descubrimiento del *Hombre de Cro-Magnon* cambiando de idea en Copenhague. En 1891, Eugene DUBOIS encuentra, en Java, los primeros vestigios del *Homo Erectus*. Conjugando las teorías evolucionistas junto a estos y otros descubrimientos, muchos de los cuales aparecen en relación al estudio de cavernas, se ha ido estableciendo poco a poco la genealogía de la especie humana.

En España, el primer trabajo sobre el evolucionismo, del que tenemos noticia, data de 1859 y corresponde al *Discurso leído en la solemne inauguración del curso académico 1859-1860 en la Universidad Literaria de Santiago*, a cargo del Catedrático de Historia Natural José PLANELLES GIRAL. Discursos con datos similares impartirían los Catedráticos de Medicina Francisco FLORES ARENAS, en Sevilla (1867) y Lucas GARCIA MARTIN, en Salamanca (1873). Asimismo el geólogo José MONLAU Y SALA, en el primer tomo de su *Historia Natural* (1867), se adhiere a las teorías evolucionistas, al igual que GARCIA ALVAREZ en *Exposición del darwinismo* (1872) y el naturalista SERRANO FATIGATI en *La evolución en la naturaleza* (1874), entre otros. También el ingeniero de minas Emilio HEULIN, en el *Cronicon Científico, bienio 1870-71*, recoge este polémico tema en un artículo sobre paleontología y darwinismo.

Los geólogos arqueólogos enseguida abrieron los ojos al evolucionismo. LUBBOCK (1834-1913) fue el introductor de las teorías darwinistas en la Arqueología Prehistórica, a

través de su obra *Pre-historic Times, as illustrated by ancient remains and customs of modern savages* (1865), libro de gran influencia en todo el siglo XIX. En España el antecedente tal vez sea Antonio MACHADO Y NUÑEZ, que desde su Cátedra de Historia Natural en la Universidad Literaria de Sevilla, ya al inicio de los sesenta, explicaba en sus clases las teorías de Darwin. Asimismo arqueólogos como Francisco María TUBINO y Juan de Dios RADA Y DELGADO, conocedores de la obra de LUBBOCK, defendieron el evolucionismo, como puede apreciarse en *La crisis del pensamiento nacional y el positivismo* (1875).

Ese mismo año, el Marqués de OROVIO, Ministro de Fomento, prohibiría la difusión del darwinismo (R. D. 26-II-75). La negativa del naturalista Augusto GONZALEZ LINARES a acatar esta orden le valdría la expulsión del cuerpo. Con él se solidarizaron 36 Catedráticos que sufrieron las mismas consecuencias. Algunos de ellos participarían en 1876 en la creación del *Instituto Libre de Enseñanza*, organismo al que se ha vinculado como uno de los pioneros en los estudios arqueológicos hispanos.

9. LOS INGENIEROS DE LA COMISION DEL MAPA GEOLOGICO, LOS GEOLOGOS DE LA INSTITUCION LIBRE DE ENSEÑANZA Y OTROS NATURALISTAS DE LA SEGUNDA MITAD DEL XIX EN LA ARQUEOLOGIA ESPAÑOLA

En la segunda mitad del siglo XIX se fueron afianzando los estudios arqueológicos con una base geológica y son numerosos los datos aparecidos al respecto.

Uno de los primeros antecedentes arqueológico-geológicos en lengua castellana corresponde a un artículo de ROS-SMAESLER, traducido por Juan FONT Y GUITART, titulado *Los petrofactos y las antigüedades*, que apareció en la *Revista científico literaria La Abeja*. En esta publicación se incide en la importancia de los artefactos de piedra para el historiador y para el geólogo.

De todas formas, en este campo, igual lo primero a considerar sea la obra de LYELL *L'ancienneté de l'homme prouvé par la Géologie*, la cual suponemos influyó en los trabajos de los arqueólogos de la época. Suponemos que éste es el caso del portugués RIBEIRO en 1863 y de éste en compañía de DELGADO Y RADA en Cabezo de Arruda durante 1864, encontrando numerosos huesos humanos, según se recoge en una memoria de PEREIRA DE CASTRO.

De igual forma, el Seminario dirigido por D. Felipe PICATOSTE, *Revista del Movimiento Intelectual de Europa*, editado entre junio de 1865 e idéntico mes del año siguiente y reaparecida en 1867, recoge en su número 26 la *Geología del Mundo Primitivo*, de ARTHUR.

En 1868, Francisco María TUBINO, en el libro *Estudios Pre-históricos*, donde se recogen las conferencias dadas por el

autor en la *Sociedad Económica Matritense*, desde el 30 de abril de dicho año, muestra los siguientes temas.

- 1.º El hombre fósil.
- 2.º Las habitaciones lacustres (tema recién puesto de actualidad por el suizo Ferdinando KELLER (1800-1881), anticuario de Zurich que identificó los palafitos de los lagos suizos).
- 3.º Monumento prehistórico de Castilleja del Guzmán.
- 4.º Santiago Boucher de Perthes.
- 5.º Exploración geológico-arqueológica de Cerro Muriano, realizada con D. Juan VILANOVA Y PIERA.
- 6.º La Antropoarqueología.
- 7.º Sir John Lubbock.

Como hemos visto, TUBINO mostraría gran sensibilidad hacia la Geología, pese a ser historiador. Otros trabajos suyos, en este campo, que nos parecen de interés, serían: *El hombre terciario* (1870), *Estudios prehistóricos de D. Casiano de Prado* (1870) o *Historia y Progresos de la Arqueología española* (1872), aparecido como un capítulo de *El Museo Español de Antigüedades* de RADA Y DELGADO.

En 1870 el Ingeniero Recaredo GARAY Y ANDUGA, desde las Minas de Silos de Calañas, remite en 1870 un largo artículo a la *Revista de España*, titulado *El hombre primitivo*. En dicha publicación el autor toma datos de las obras de LYELL, LUBBOCK, FOUCON, FOURNET, LE HON, GONGORA y otros. Según TUBINO, F. M. (1872) este científico se personó en Madrid con numerosos martillos y hachas recogidos en la zona minera de Río Tinto.

Este mismo año Rogelio ECHAURRANDIETA, Profesor de Geología de la Escuela de Caminos, publica *Estudios prehistóricos, la Edad de Bronce en la provincia de Murcia*, en el *Boletín Revista de la Universidad Central de Madrid*, publicación que ya había recogido trabajos de VILANOVA o TUBINO.

Poco después, en 1873, Mariano LERROUX traduce al castellano la obra del belga H. LE HON *Tiempos antediluvianos y prehistóricos. El hombre fósil en Europa, su industria, sus costumbres, sus obras de arte. Gran período glacial. El hombre de las cavernas. Tiempo del reno. Diluvios. Tiempos de la piedra, del bronce y del hierro. Ranchos lacustres*.

En general los distintos ingenieros de minas de la Comisión, dentro de esta nueva corriente científica y en línea con PRADO, así como con VILANOVA, recogen en buena parte de las descripciones geológicas provinciales datos acerca de lugares y objetos arqueológicos encontrados y reconocidos, en muchos casos, por los propios autores. Podemos citar, por ejemplo, la Memoria provincial de Oviedo (1858), escrita por SCHULZ, G. (1800-1877), en uno de cuyos párrafos nos describe la incipiente explotación de la Mina El Milagro, cerca de Onís: *Antes de conocerse el*

uso del hierro, por lo que las labores se hacían con caldas y después con cuñas y martillos de hasta de ciervo (hay uno de ellos está en el Museo de la E.T.S.I. Minas y otro en el M.A.N.) *y otros martillos mayores de guijarros de cuarcita elipsoidales, con una ranura en medio, y de peso variable, de un kilogramo hasta diez*. Otras Memorias podrían ser las de Alava (1864), elaborada por Adán DE YARZA (1848-1917); la de Valencia (1866), redactada por VILANOVA; la de Gerona (1896), elaborada por VIDAL, L. M. (1842-1922) o la de Segovia (1891), de CORTAZAR, D. (1844-1927), por poner algún ejemplo.

Otro autor a considerar es Amalio GIL Y MAESTRE (1873-1915), que describe los *Depósitos de huesos de Castilla la Vieja, y principalmente de la llamada Tierra de Campos* (1875). Este ingeniero, tras reconocer algunos yacimientos en la provincia de Palencia, donde era Jefe de Minas, en compañía de VILANOVA, da un toque de atención sobre la exportación de osarios a Francia para la fabricación de fosfatos. En Carrión halló el primer ejemplar hispano de *Bos urus*, y en éste, así como en otros lugares de la provincia encontró numerosas piezas arqueológicas entre restos de mamíferos cuaternarios. El mismo autor reconoce humildemente en esta obra sus limitaciones en cuanto a los conocimientos arqueológicos.

Asimismo es de resaltar la labor del ingeniero de minas Amalio MAESTRE IBÁÑEZ (1812-1872), miembro de la *Sociedad Arqueológica de Tarragona*, el cual había reunido una serie de objetos artísticos y antigüedades de notable valor.

También Lorenzo GOMEZ PARDO (1801-1847) era un gran aficionado a las antigüedades y por ello, según señala RUA DE FIGUEROA, R. (1871), el 28 de septiembre de 1847 se le nombró socio de número de la *Sociedad Numismática Matritense*. Recordemos que muchos arqueólogos adquirieron su vocación gracias a su interés por las monedas antiguas, tal es el caso de Christian THOMSEN, John EVANS y otros. Asimismo la numismática jugó un papel importante en el desarrollo de la tipología y seriación.

Sin duda, Luis Mariano VIDAL Y CARRERAS (1842-1922), tras PRADO y VILANOVA, es el ingeniero de minas que se ha dedicado con mayor entusiasmo a la Arqueología. Señala CAZURRO, M. (1924) que este autor realizaría trabajos en numerosas estaciones prehistóricas del NE: *Pudiendo decirse que fue el primero que lo realizó en Cataluña con verdadero criterio y método científico*.

En 1876, el médico gerundense Francisco VIÑAS explora las calizas travertínicas cuaternarias del Puig de las Animas, en Caldas de Malavella (Gerona), donde encuentra en un banco arcilloso intercalado entre los carbonatos restos de mamíferos e instrumentos líticos, según se aprecia en artículo publicado en la *Revista de Gerona*. Poco después, en la *Revista de Ciencias Históricas* (1881), Julián CHIA amplía los estudios sobre esta estación. En 1882, VIDAL recoge estos datos y analiza el yacimiento dentro de su contexto geológico en el *Estudio geológico*

de la estación termal de Caldas de Malavella (1882), siendo aquí tal vez donde probablemente VIDAL se inicia en el tema prehistórico.

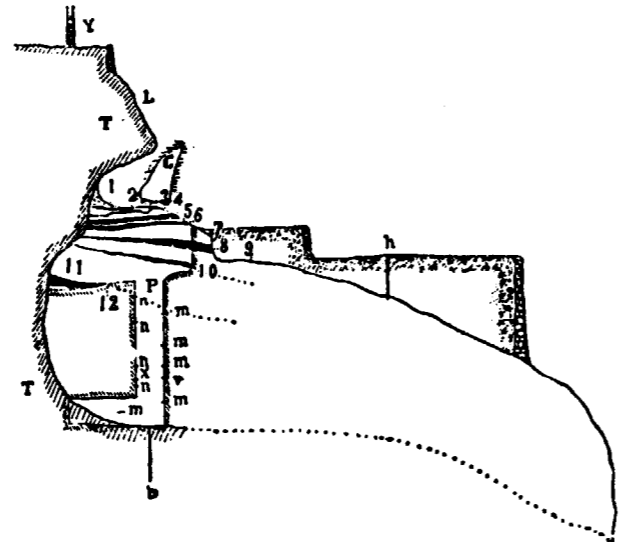
Poco después, en 1886, en la *Reseña geológica y minera de la providencia de Gerona*, en concreto en el estudio del Cuaternario describe numerosas estaciones arqueológicas señalando los descubrimientos de José PASCUAL Y PRATS en la cueva funeraria de Torroella de Montgrí, en 1883, o los del farmacéutico Dr. ALSIUS en el travertino del lago de Bañolas y en la conocida cueva de Serinyá, reconocida por HARLE, E., en 1882 y cuyos materiales fueron considerados magdalenienses por MORTILLET. Recordemos que en 1887 Pedro ALSIUS encontraría en las tobas antes mencionadas una mandíbula que fue considerada como neardentaloide por Eduardo HERNANDEZ PACHECO y Hugo OBERMAIER (1915), aunque posteriormente Guido BONARELLI (1916) creyó que podía compararse con la mandíbula de Mauer, descubierta el año de 1907 en los aluviones del río Elsenz, cerca de Heidelberg, y por entonces considerada, según bien señala CAZURRO, M. (1919), *resto el más antiguo conocido de todas las razas humanas*. BOULE también puso en duda, en 1816, que dicha reliquia ósea perteneciese a la raza de Neandertal.

En 1894 VIDAL, aparte del estudio de las cuevas ilerdeneses, ya mencionado, publica un artículo titulado *Más monumentos megalíticos de Cataluña*.

Poco después, hacia 1908, el párroco Ramón HUGUET puso en conocimiento de Ceferino ROCAFORT la existencia de los primeros datos sobre el arte rupestre en Cataluña, al comunicarle el descubrimiento de la cueva de Cogul (Tarragona). ROCAFORT publicaría una nota al respecto en el *Butlletí del Centre Excursionista de Catalunya*. Enseguida se desplazó al lugar Henry BREUIL describiendo dicho lugar en *Les peintres quaternaires de la roca de Cogul* (1908). El prestigio alcanzado por VIDAL hizo que el *Institut d'Estudis Catalans* encargara al ingeniero junto a ROCAFORT y a Julio SOLER, la investigación de este yacimiento, realizando un completo trabajo, tal y como se comprueba en la extensa memoria remitida al *Anuari* de dicha institución.

En 1910, VIDAL publica *Otros monumentos megalíticos de Cataluña* y en 1912 el *Institut* le vuelve a encomendar, junto al geólogo Manuel CAZURRO y al religioso (discípulo de Jaime ALMERA) Norberto FONT SAGUE (1877-1912), el estudio de Abrich Romaní (fig. 8), Estació Agut y Cova d'Or. El material musteriense de las dos primeras estaciones por su importancia aparece expuesto en la vitrina 11 de la Sección de Prehistoria del M.A.N.

En los últimos años de su fecunda vida incrementó el número de publicaciones arqueológicas: *Nota sobre un menhir y una piedra oscilante con esculturas y letras ibéricas* (1914), *Cerámica de Ciempozuelos en una cueva del NE de España* (1915), *Un megalito curioso llamado la «piedra del sacrificio» del castillo de Sabasona, en la comarca de Vich* (1915), *Hallazgo de cerámica de Ciempozuelos en*



- Y.—Paseo del Capelló
 T.—Macizo de toba
 C.—Cueva pequeña lateral
 P.—Pozo y mina en su fondo para explorar el grueso total
 1.—Tierra roja
 2.—Depósito magdaleniense
 3, 5, 7 y 9.—Capas estaláticas
 4, 6, 8 10 y 12.—Capas de tierra oscura con sílex musteriense
 11.—Tierra con coprolitos de Hiena
 h.—Puntos del pozo con dientes de Caballo
 m.— » » » con sílex

Figura 8.—Corte geológico del abrigo Romaní, elaborado por Luis Mariano Vidal, en 1912.

una cueva de la provincia de Tarragona (1915) y *El hombre fósil* (1916).

Tras estos años de trabajo conseguiría reunir una extensa colección que donaría al Museo Martorell. Según PARDILLO, F. (1924), se trata de un conjunto de materiales catalogado según 153 fichas, que tras nuestro recuento comprobamos supera las doscientas piezas. Asimismo cedería un dolmen y un menhir, que se encontraba en una de sus propiedades, la viña Munera, en Capmany, encargándose incluso de su traslado e instalación en el Museo. Hoy en día estas colecciones están en el Museo Arqueológico de Barcelona, mostrándose los monumentos megalíticos tras una reja en el pórtico de la entrada al mismo (fig. 9).

Tras pasar revista a los ingenieros nos centraremos en el análisis de la labor arqueológica de los naturalistas, entre ellos hay que reseñar los estudios de lo prehistórico organizados por los miembros de la *Institución Libre de la Enseñanza*, fundamentalmente por Fernando QUIROGA (1853-1895) y Salvador CALDERON Y ARANA (1853-1911). Que sepamos, QUIROGA tiene el mérito de haber realizado, en 1880, los primeros análisis químicos y petrográficos de diversas hachas prehistóricas. Recogemos el sumario de



Figura 9.—Dolmen y menhir donados por Vidal al Museo Martorell y que en la actualidad se exponen en el Museo Arqueológico de Barcelona.

colecciones que aportaron piezas a los estudios de este autor: M.A.N., Escuela de Minas, Institución Libre de Enseñanza (recogidas mayoritariamente por CALDERON) y las particularidades de Emilio ROTONDO, del ingeniero de minas Daniel CORTAZAR y del ingeniero de montes Carlos CASTEL.

La Petrografía era una materia científica de origen reciente. Sus primeros pasos se los debemos a ZIRKEL, F., tras su entrevista con SORBY, H. C., iniciando sus publicaciones sobre distintas investigaciones microscópicas de rocas, a partir de 1863. Estos trabajos culminan con su obra maestra *Lerbuch der Petrographie* (1866). Poco después FISCHER, H. C., describe la estructura de la sillimanita o fibrolita, en *Kristische mikroskopische mineralogische studien* (1869). Hasta entonces existía gran confusión respecto a la composición de las hachas de piedra, siendo consideradas de jade por buena parte de los autores. El carácter fibroso de la sillimanita hacía que «de visu» se interpretara como un anfíbol, cayendo en este error incluso personas tan instruidas como PRADO (1864). Esta polémica sería planteada en el *Congreso de Antropología y Arqueología Prehistórica de Bruselas*, de 1872,

y en el debate intervinieron científicos de prestigio como el abad DELAUNAY, QUATREFAGES, DESOR, MORTILLET, CAPELLINI y otros. En España, a partir de 1873, el ingeniero de minas, por las Escuelas de Madrid y de Freiberg, Emilio HEULIN inicia las primeras traducciones y resúmenes de la obra de ZIRKEL, F. *Die mikroskopische beschaffenheit der mineralien und gestine*. Poco después, en 1875, Fernando QUIROGA publica *El microscopio en litología*, donde defiende su uso y describe las técnicas de preparación de muestras. Ese mismo año Jose MAC PHERSON Y HEMAS realiza las dos primeras láminas petrográficas hispanas, en un estudio sobre la Serranía de Ronda. Poco después, en 1880, sería QUIROGA el primer español que puso esta técnica al servicio de la Arqueología. Estudios y análisis similares fueron realizados posteriormente por Daniel CORTAZAR sobre artefactos de distintas procedencias.

Otro importante naturalista fue Manuel CAZURRO, miembro de la Junta de Ciencias Naturales, así como de otros organismos geológicos. Actuó como Director de las excavaciones de Ibiza y fue nombrado Inspector de las excavaciones de Ampurias. Su trabajo le valió para que le



Figura 9.—Dolmen y menhir donados por Vidal al Museo Martorell y que en la actualidad se exponen en el Museo Arqueológico de Barcelona.

colecciones que aportaron piezas a los estudios de este autor: M.A.N., Escuela de Minas, Institución Libre de Enseñanza (recogidas mayoritariamente por CALDERON) y las particularidades de Emilio ROTONDO, del ingeniero de minas Daniel CORTAZAR y del ingeniero de montes Carlos CASTEL.

La Petrografía era una materia científica de origen reciente. Sus primeros pasos se los debemos a ZIRKEL, F., tras su entrevista con SORBY, H. C., iniciando sus publicaciones sobre distintas investigaciones microscópicas de rocas, a partir de 1863. Estos trabajos culminan con su obra maestra *Lerbuch der Petrographie* (1866). Poco después FISCHER, H. C., describe la estructura de la sillimanita o fibrolita, en *Kristische mikroskopische mineralogische studien* (1869). Hasta entonces existía gran confusión respecto a la composición de las hachas de piedra, siendo consideradas de jade por buena parte de los autores. El carácter fibroso de la sillimanita hacía que «de visu» se interpretara como un anfíbol, cayendo en este error incluso personas tan instruidas como PRADO (1864). Esta polémica sería planteada en el *Congreso de Antropología y Arqueología Prehistórica de Bruselas*, de 1872,

y en el debate intervinieron científicos de prestigio como el abad DELAUNAY, QUATREFAGES, DESOR, MORTILLET, CAPELLINI y otros. En España, a partir de 1873, el ingeniero de minas, por las Escuelas de Madrid y de Freiberg, Emilio HEULIN inicia las primeras traducciones y resúmenes de la obra de ZIRKEL, F. *Die mikroskopische beschaffenheit der mineralien und gestine*. Poco después, en 1875, Fernando QUIROGA publica *El microscopio en litología*, donde defiende su uso y describe las técnicas de preparación de muestras. Ese mismo año Jose MAC PHERSON Y HEMAS realiza las dos primeras láminas petrográficas hispanas, en un estudio sobre la Serranía de Ronda. Poco después, en 1880, sería QUIROGA el primer español que puso esta técnica al servicio de la Arqueología. Estudios y análisis similares fueron realizados posteriormente por Daniel CORTAZAR sobre artefactos de distintas procedencias.

Otro importante naturalista fue Manuel CAZURRO, miembro de la Junta de Ciencias Naturales, así como de otros organismos geológicos. Actuó como Director de las excavaciones de Ibiza y fue nombrado Inspector de las excavaciones de Ampurias. Su trabajo le valió para que le

nombrasen miembro de diversas Sociedades Arqueológicas como las de Toulouse y Montpellier, así como del Instituto Arqueológico Imperial de Berlín.

No sólo hay que centrar este estudio en la Arqueología Prehistórica, también queremos señalar a los que actuaron en el tema de la *Arqueología Minera*, tal es el caso del ingeniero de la Escuela de Minas de Saint Etienne, Antonio Adriano PAILLETE (1809-1858) en *Apuntes históricos sobre la minería antigua del Principado de Asturias* (1845). Asimismo BOTELLA, F. (1822-1899), estudia de la minería antigua de Cartagena, en 1868. Otro ingeniero de minas francés, Ernest DELIGNY, realiza un trabajo titulado *Apuntes Históricos sobre las Minas Cobrizas de la Sierra de Tharsis (Thartesis Boetica)* (1863), donde recoge el fruto de sus investigaciones y describe las viejas explotaciones y escoriales, lo que le serviría para tratar de recuperar estas labores. En un artículo anónimo de la *Revista Minera, L'Exploitation des mines dans l'antiquité* (1864), se indica el hallazgo, por parte de DELIGNY, de la famosa rueda de noria romana de Santo Domingo, en Portugal. Asimismo, Joaquín EZQUERRA DEL BAYO (1793-1859), aporta datos sobre la minería romana, en *Sobre los escoriales de fundiciones antiguas de España y en particular las de Río-Tinto y del término de Cartagena* (1850), donde en lámina adjunta reproduce la figura de los hornos antiguos descubiertos en el escorial Roma, cercano a la última localidad. En una nota final relaciona los escoriales inventariados en el Campo de Cartagena por Antonio José ROMERO. No seremos exahustivos en este tema, ya que cabría una relación mucho más extensa.

En líneas generales, podemos observar el interés de los ingenieros de minas por la Arqueología, a través de las *disposiciones legales* emanadas de los organismos mineros. Así, cuando ALCALA GALIANO, Ministro de Fomento, reorganiza la Comisión del Mapa Geológico, ubicándola en los locales de la Escuela Especial de Minas (R. D. de 15 de febrero de 1865), la dota de un programa de objetivos, entre los que se encuentra el *Estudio y catálogo de los objetos pertenecientes a la antigüedad que se encuentran en las excavaciones de las minas, cavernas y otros trabajos subterráneos*. También se encomienda a la Comisión una labor museística, debiéndose formar colecciones nacionales de minerales, rocas, fósiles y objetos de arte hallados en las minas o trabajos subterráneos.

Como colofón a esta situación, cabría señalar la redacción del art. 58 del *Reglamento de la Escuela de Minas de Madrid* (R. D. de 21 de enero de 1905) donde se establece que los objetos de arte hallados en las explotaciones mineras son propiedad del Estado. En el siglo XX, hay un cambio en la mentalidad arqueológica, al ir consolidándose esta ciencia como algo con valores propios, los ingenieros y geólogos fueron abandonándola paulatinamente. Este cambio se observa, entre otros, a través de la evolución legis-

10. EL INSTITUTO GEOLOGICO, LA JUNTA DE AMPLIACION DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES CIENTIFICAS Y LA JUNTA SUPERIOR DE EXCAVACIONES Y ANTIGÜEDADES

A partir del siglo XX, los geólogos fueron dejando paso a los arqueólogos profesionales, aunque aún quedaron naturalistas e ingenieros de minas que trabajaron con profusión en este campo, de los que procuraremos recoger someramente sus mayores aportaciones. Pese a que distintos colaboradores del *Instituto Geológico* hicieron algún estudio, fue más importante la labor arqueológica de la *Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas*, fundada en 1907. El naturalista Eduardo HERNANDEZ PACHECO era un miembro destacado de la Junta y según recogemos de su libro homenaje: «...se puso en relación con el marqués de Cerralbo, persona de gran significación social y política en España, arqueólogo y académico, entonces residente temporal en París, a quien propuso la creación de una Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas, proposición bien acogida por el marqués. Hacia 1914 se constituye dicha Comisión, con sede en el Museo Nacional de Ciencias Naturales, y HERNANDEZ PACHECO es nombrado Jefe de los Trabajos y Director de las Publicaciones. Las memorias elaboradas por los investigadores de este organismo aparecieron desde 1914 a 1936. Por último señalar cómo, casi paralelamente a la Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas, se estructura un organismo auténticamente arqueológico, la *Junta Superior de Excavaciones y Antigüedades*, el cual muestra a la luz sus primeros trabajos con la publicación de la memoria sobre la *Excavación de Numancia* (1916), de José MELIDA.

Por R. D. de 28 de junio de 1910, la Comisión Nacional del Mapa Geológico se convierte en el *Instituto Geológico de España*. Según LOPEZ DE AZCONA, J. M., y MESEGUER, J. (1961), tenemos tres naturalistas que colaboraron con el Instituto desarrollando importantes labores arqueológicas: Hugo OBERMAIER, Paul WERNERT, y José PEREZ DE BARRADAS. Los autores mencionados, *investigaron el Cuaternario de las canteras de Vallecas (Madrid) y otros yacimientos prehistóricos de la misma capital*.

El sacerdote Hugo OBERMAIER (1877-1946) fue contratado por el Príncipe ALBERTO DE MONACO (1848-1922) como colaborador del *Institut de Paleontologie Humane de Paris*, creado en 1906. En este organismo trabajó bajo la dirección de Henry BREUIL junto a importantes investigadores, como BLANC, A.; el jesuita TEILHARD DE CHARDIN; BURKITT, M.; ALCALDE DEL RIO, E.; SIERRA, L., etc. El imprevisto surgimiento de la I Guerra Mundial traería la expulsión de OBERMAIER, junto a su discípulo Paul WERNERT, de estos proyectos. OBERMAIER sería acogido, en Asturias, por el CONDE DE LA VEGA DEL SELLA (1870-1941), gran estudioso del asturienense. Gracias a la intersección de HERNANDEZ PACHECO y otros geólogos se incorpora con prontitud a la Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas, y en 1925, accede a la Cátedra de Historia

Primitiva del Hombre, en la Universidad Central. La importancia de la obra de Hugo OBERMAIER consiste en su labor de sistematización, con base geológica, de los distintos períodos de la prehistoria española y de Europa Occidental. Son importantes sus estudios antropológicos, etnológicos y etnográficos, que le permitieron defender el origen africano de múltiples manifestaciones prehistóricas de la Península. En *El hombre fósil* (1916) recoge los distintos yacimientos paleolíticos españoles. Asimismo, toca el tema de la evolución, en una obra fundamental, escrita junto a GARCIA BELLIDO, A., y PERICOT, L., *El hombre prehistórico y los orígenes de la humanidad* (1929). De igual forma, son numerosos sus estudios sobre el arte rupestre del Cantábrico, en especial de la Cueva de Altamira, y de Levante.

José PEREZ DE BARRADAS, funcionario del Ayuntamiento de Madrid, trabajó con Paul WERNERT en el *Estudio de los yacimientos paleolíticos del valle del Manzanares* (1921), por encargo de la *Junta Superior de Excavaciones y Antigüedades*. Asimismo este autor publica en el *Boletín Geológico y Minero* un interesante artículo: *Los yacimientos prehistóricos de los alrededores de Madrid* (1929).

El trabajo desarrollado por el otro naturalista mencionado, Paul WERNERT, se centra fundamentalmente en la *Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas*, de la *Junta de Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas*. Este autor dedica buena parte de sus publicaciones al arte rupestre, trabajando con Hugo OBERMAIER, José PEREZ DE BARRADAS, Ismael DEL PAN, Juan CABRE, Lucas FERNANDEZ NAVARRO y otros.

El Museo de Ciencias Naturales, instalado desde principios de siglo en su emplazamiento actual, en los Altos del Hipódromo, fue dirigido por importantes naturalistas y por algún ingeniero de minas, tal es el caso de Pedro DE NOVO (1844-1953). Uno de sus Directores, el mineralogista Lucas FERNANDEZ NAVARRO (1869-1930) escribió diversos artículos sobre yacimientos paleolíticos de la zona Madrid-Toledo.

Otro colaborador del Instituto Geológico y de otras instituciones, fue el Catedrático de Geología de la Universidad Central, desde 1910, Eduardo HERNANDEZ PACHECO (1872-1965), autor de numerosos trabajos de Arqueología. Estudió yacimientos de la Cornisa Cantábrica, Levante, alrededores de Madrid, Extremadura y otros lugares. Señaló la existencia de arte supebre postpaleolítico (mesolítico), al estudiar las pinturas del Levante peninsular, consideradas por los investigadores del Institut de Paleontologie Humaine como paleolíticas. Asimismo este autor se dedicó a analizar los «habitats» prehistóricos con base a criterios paleoclimáticos. Y por último, reseñar que colaboró con Hugo OBERMAIER, Juan CABRE y otros grandes arqueólogos, aunque la mayor parte de sus obras las realizó individualmente. De sus estudios cabría destacar, según recogemos del *Tomo Extraordinario del Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural* (1954), el

borado con motivo del ochenta aniversario de su nacimiento: *Las pinturas prehistóricas de Peña Tu (Asturias)* (1914), donde llegó a la conclusión sobre el origen neolítico de las pinturas de tipo esquemático, *Las pinturas prehistóricas del extremo sur de España* (1914), consideradas por el autor de edad intermedia entre paleolítico y neolítico, *Los grabados de la Cueva de Penches (Burgos)* (1917) donde se demuestra la extensión del arte troglodita paleolítico en el interior de la Península, *Pinturas rupestres de Morella la Vieja (Castellón)* (1918), mesolíticas, *La caverna prehistórica de la Peña de Candamo (Asturias)* (1919), el más occidental de los yacimientos del paleolítico superior conocidos por entonces. *La vida de nuestros antecesores paleolíticos, según los resultados de las excavaciones de la caverna de La Paloma (Asturias)* (1923), importante estación magdalenense y aziliense. *Las pinturas prehistóricas de la cueva de la Araña (Valencia) y evolución del Arte rupestre en España* (1924), donde se sintetiza la evolución del arte rupestre en la Península. Su trabajo cumbre es *La prehistoria del solar hispano* (1959).

Asimismo hay que considerar al ingeniero de minas Primitivo HERNANDEZ SAMPELAYO (1880-1895), estudioso de los monumentos megalíticos gallegos y del paleolítico del valle del Manzanares.

OBERMAIER, Catedrático de Historia Primitiva de la Universidad Central, solicita del Ayuntamiento de Madrid colaboración para preparar algo sobre la prehistoria madrileña con motivo del *XIV Congreso Geológico Internacional*, que se iba a celebrar en la capital de España en 1926. En la sesión del 6 de marzo de 1924 se decide apoyar económicamente el proyecto, encargando a José PEREZ DE BARRADAS la dirección de los trabajos previstos. Como consecuencia de ello se revisó la geología del valle del Manzanares, se estudiaron de forma sistemática todos los yacimientos madrileños y se elaboró una colección de útiles paleolíticos para mostrarla durante el Congreso.

El Congreso Geológico se celebró del 24 al 30 de mayo de 1926, bajo la presidencia del ingeniero de minas César RUBIO, organizándose una visita a los yacimientos del valle del Manzanares, se montó la exposición *Geología y Prehistoria madrileñas* en el Museo Municipal y el Ayuntamiento regaló a los asistentes un librito de PEREZ DE BARRADAS titulado *Estudios sobre el terreno cuaternario del valle del Manzanares (Madrid)*.

Al año siguiente se reunió en Madrid, bajo la presidencia del DUQUE DE ALBA, el *XV Congreso Internacional de Arqueología y Antropología Prehistóricas*.

Respecto a los ingenieros de minas que actuaron en la Arqueología española de principios de siglo empezaremos señalando la labor de los extranjeros.

El profesor de la Escuela de Minas de París LAUNAY, L., inicia su andadura en la historia de la minería antigua con la publicación en los *Annales des Mines* de un artículo titulado *L'industrie du cuivre dans la region d'Huelva (Es-*

pagne) (1889). Son importantes otros estudios suyos sobre la minería griega y romana.

Los hermanos belgas Luis y Enrique SIRET se iniciaron en la Arqueología de la mano del geólogo RUTOT, A. Enrique fue contratado para dirigir explotaciones mineras en el SE hispano y enseguida se aficionó a la búsqueda de restos del pasado. Poco después Luis se reuniría con él, excavando de forma conjunta una serie de cuevas y estaciones, localizadas entre la desembocadura del río Antas y el Almazora, descubriendo y sistematizando la llamada por entonces «cultura de Almería». Sus trabajos más conocidos corresponden al Bronce argárico (1800-1300 a. C.), extendiéndose sus estudios a más de 40 yacimientos, por las zonas costeras de Almería y Murcia. Por señalar algunas de las estaciones que investigaron, recogemos las siguientes: Campos, Fuente Alamo, Tres Cabezas, El Oficio, Ifre, Parazuelos o El Argar. Recordamos el nombre de una de sus obras fundamentales: *Las primeras edades del metal en el Sudeste de España* (1890), cuya versión francesa data de 1887. También colaboraron juntos en la *Revue de Questions Scientifiques* con la publicación de *L'Espagne Préhistorique*.

Enrique pasa al Congo y Luis SIRET se quedaría solo en las tierras de Almería. Según CASANOVA, D. A.: *Estudia hallazgos de la más diversa índole, de las más dispares épocas: Un verdadero tesoro de antigüedades prehistóricas, púnicas, romanas, visigóticas y árabes*. Se le reconocen exploraciones de más de 5.000 sepulturas, pero tal vez sus mayores descubrimientos en este campo correspondan a la estación de Los Millares. De acuerdo con tan soberanas fuentes de información, Luis SIRET pensaba que las diferentes etapas de evolución que observaba a nivel local eran extrapolables a toda la Península. Pese a que el esquema cronológico-cultural propuesto por él hoy se considera inapropiado, el conjunto de sus aportaciones ha sido importante.

Señalaremos asimismo que Luis SIRET organizaría, en su casa de Cuevas de Almazora, un importante museo que fue visitado por numerosos investigadores. Son importantes sus donaciones a los museos arqueológicos de Madrid (1935), consistente en varios miles de objetos (310 cajones), Almería y Barcelona. Asimismo hay piezas suyas dispersas por todo el mundo: Museo Británico, Ashmolean, de Oxford, o el del Cincuentenario, en Bruselas.

Por toda esta importante labor, recientemente la Junta de Andalucía ha deparado un justo homenaje a los dos hermanos.

En 1927 (R. D. de 7 de enero), el Instituto Geológico pasa a denominarse *Instituto Geológico y Minero de España* (I.G.M.E.).

En este período, el ingeniero de minas Antonio CARBONELL Y TRILLO-FIGUEROA (1885-1947) trabaja como vocal del Instituto. Su vocación arqueológica le llevaría al estudio de diversos yacimientos andaluces, principalmente de

la provincia de Córdoba. Esto ocurre a partir de 1922, año en que fue nombrado académico en su ciudad natal. Asimismo recordemos que encontró, en una cueva de las calizas miocenas, al hombre de Alcolea, *Homo fossilis cordubensis*. Tras ser estudiado por Eduardo HERNANDEZ-PACHECO se dedujo su procedencia reciente, al considerarlo como un caso de anomalía craneal, por lo que debía interpretarse como una manifestación atávica sin carácter racial alguno. Humildemente CARBONELL en el *Defensor de Córdoba* reconocía que no hubo un hallazgo sensacional, como en principio se pensó. Rafael HERNANDO LUNA, parafraseando a Manuel CUENCA TORIBIO, señala: *No pueden hacerse estudios cualificados de Minería, Geología, Arqueología y Prehistoria cordobesas sin consultar el Boletín de la Real Academia de Ciencias, Bellas Letras y Nobles Artes de Córdoba, que es tanto como decir que no se puede hacer ciencia en ese ámbito y en esas materias sin tener en cuenta la bien ponderada obra de nuestro mejor maestro: el sabio académico cordobés —a quien Dios tiene acogido— D. Antonio Carbonell*.

Otro colaborador del Instituto fue el naturalista SOSBAY-NAT, V. (1902-1992), el cual iría publicando numerosos trabajos de Arqueología, desde 1928 hasta nuestros días. Los inicios de dichos estudios se forjan en su provincia natal, Castellón de la Plana, pero su actividad primordial se centra en Extremadura, donde ejerció de Profesor de Ciencias Naturales (en el Instituto de Mérida). En el M.A.N. se encuentra el ídolo placa de la Granja de Céspedes y otras piezas recolectadas por este autor.

En tiempos más modernos han sido numerosos los ingenieros de minas dedicados a la Prehistoria y a la Arqueología e Historia mineras, habiendo participado varios de ellos incluso en excavaciones. Por citar algunos tenemos: Luis ADARO, Fernando BODEGA, Félix CAÑADA, Rafael FERNANDEZ RUBIO, Rufino JEA, Juan Manuel LOPEZ DE AZCONA, Enrique MARQUEZ TRIGUERO, Antonio SANCHEZ, Antonio DEL VALLE MENENDEZ, etc. Entre los geólogos y naturalistas cabría destacar a Antonio DUE ROJO, José GARRIGA, Francisco HERNANDEZ PACHECO, Miguel CRUSAFONT PAIRO, etc.

11. LABOR DE LAS ESCUELAS DE MINAS EN NUESTROS DIAS

No disponemos de datos suficientes para señalar sin omisiones la importante labor arqueológica de los profesores de las Facultades de Ciencias Geológicas en nuestro días, lo que podría ser fruto de otro artículo. Sin embargo, debido al mayor conocimiento de las Escuelas de Minas pasamos a enumerar algunas de sus actuaciones.

La importante carga crediticia de las asignaturas geológicas (Ingeniería Geológica), así como el carácter generalista de los estudios de ingenieros de minas, han posibilitado numerosos casos de colaboración interdisciplinaria

con grupos arqueológicos. Los campos fundamentales de actuación son los de *Geoarqueología*, *Arqueofísica*, *Teledetección* y *Análisis de Materiales*. Según IRAIZOZ, J. M., y al. (1988) esto supone un cambio de mentalidad en las relaciones de las Ciencias Humanas y de las Ciencias Aplicadas.

Comenzaremos describiendo el apoyo que suponen las investigaciones geoarqueológicas. En muchos yacimientos es conveniente la realización de un estudio estratigráfico completo. La *Estratigrafía de detalle* es complicada y exige en numerosas ocasiones *cartografías geológicas* a pequeñas escalas, conocimientos sobre *Paleontología de vertebrados* y otros estudios que aporten información sobre el medio físico que soporta el asentamiento humano (mediante identificación de esporas, análisis petrológicos, determinación de los tipos de arcillas, composición química, etc.). Es muy importante también el *reconocimiento sedimentológico de los materiales*: procedencia, procesos de transporte y sedimentación, alteración, etc., así como los fenómenos de *microtectónica*, ya que en muchos yacimientos se observan fenómenos de subsidencia, deslizamientos de taludes y otros. Los datos aportados también ayudan a configurar el modelo paleoclimático presente.

Otro campo de referencia lo constituye la Arqueofísica. Según IRAIZOZ, J. M., y al. (1988) esta ciencia aplicada trata de dar una visión global no destructiva del yacimiento... facilitando su excavación... La rapidez y elasticidad de los métodos empleados permiten cubrir grandes extensiones de terreno en tiempo limitado... Las técnicas geofísicas, desarrolladas en la prospección e investigación minera, van a hacer posible la cartografía de las estructuras enterradas, lo que permite una planificación previa de la excavación, con ahorro de tiempo y dinero. Estas actuaciones se basan fundamentalmente en las calicatas eléctricas, el método magnético y el empleo de radares, cuyos resultados se contrastan para ajustar la definición final del problema. Hoy en día muchos de estos datos se complementan con estudios estereoscópicos de fotografías aéreas o análisis de imágenes espaciales.

Respecto al tema analítico, reseñar la importancia de la composición cualitativa o cuantitativa de monedas, cerámicas, pinturas, materiales de construcción, etc. Son de ayuda los centros con laboratorios bien dotados (tales como el de la E.T.S.I. Minas). Equipos de DRX, FRX, Meb, microsonda, espectroquímica y otros, aportan datos puntuales pero de sumo interés en la investigación global. También son de interés las diversas técnicas de datación.

En la actualidad debemos destacar la actuación de dos grupos arqueofísicos vinculados a Escuelas Universitarias de Ingeniería Técnica Minera: son el *Grupo de Arqueofísica de La Rábida* (PRATS, F., y ROMERO, S.), con numerosos estudios en Andalucía y otras regiones, y el *Grupo Geológico y Minero de Almadén* (MANSILLA, L., e IRAIZOZ, J. M., con la colaboración anterior de PU-

CHE, O.), con diversos trabajos en ambas Castillas. Estos dos grupos han participado en la organización de jornadas formativas sobre *Técnicas de investigación mineras aplicadas a la Arqueología* y en el montaje de exposiciones sobre estas materias, en colaboración con la Universidad de Tours (Francia). Asimismo profesorado de la Escuela Universitaria de Minas de Belmez (Córdoba) ha colaborado con DOMERGUE, C., en la excavación arqueológica de la Mina de La Loba.

En la *Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid*, hay que resaltar la labor del Profesor TORRES, T., especialista en *Ursidos*, lo que le ha llevado a dirigir numerosas excavaciones arqueológicas en cavidades kársticas y otras (como, por ejemplo, Pinedo) hasta un total de doce. Ha sido el que ha descubierto el *Hombre de Atapuerca*, restos humanos más antiguos de la Península. En la actualidad trabaja en proyectos UNESCO de *cambio climático*, a partir de datos obtenidos en yacimientos arqueológicos y paleontológicos cuaternarios.

De igual forma, se señala la labor de los componentes de la Unidad Docente de Mineralogía y Petrología en el tema del *mal de la piedra*. Entre el Profesorado indicar las actuaciones de GARCIA, J. M., con diversos estudios sobre materiales españoles e iberoamericanos (Guápulo, Tikal, etc.); GONZALEZ AGUADO, M. T., dedicada a *estudios petrográficos y petrofísicos* de rocas monumentales españolas; PUCHE, O., fundador y primer Director del *Museo Histórico-Minero Francisco Pablo Holgado* de Almadén, el cual asimismo colaboró con los anteriores en diversos temas de alteración, conservación, tratamiento y limpieza de rocas ornamentales o de construcción, en patrimonio monumental. En la actualidad GONZALEZ Y PUCHE trabajan con un equipo investigador en la clasificación y análisis de los materiales arqueológico-mineros del *Museo Histórico-Minero D. Felipe de Borbón y Grecia*, adscrito a la E.T.S.I. de Minas de Madrid.

Asimismo reseñar las actuaciones de la Unidad Docente de Geofísica y Geoquímica, bajo la Dirección del Profesor MALDONADO, A. Este último verano han organizado el Campamento de Prácticas de *Geofísica Aplicada* enfocado al estudio del antiguo Puerto de Palos, lugar desde el cual Colón partió hacia América.

También en A.I.T.E.M.I.N., organismo de investigación minera vinculado a la Escuela, se está preparando el estudio de la Cueva de Tito Bustillo y otras siete estaciones, en Asturias, bajo la dirección del Profesor CARRASCO. Se trata de la reconstrucción de una pared de la cueva, mediante técnicas de *inteligencia artificial*, y análisis de pinturas murales.

Se han realizado o se están realizando diversos *proyectos de fin de carrera* en el tema de la piedra monumental, así como *tesis doctorales* en el tema anterior y en arqueometalurgia.

REFERENCIAS

- ADAN DE YARZA, R. (1885): *Descripción física y geológica de la provincia de Vizcaya*. Bol. Com. Mapa Geol. de España, XVII. Madrid.
- ADARO, L. de (1988): *Sobre la historia de la minería prehistórica y de la edad antigua*. VIII Congreso Internacional de Minería y Metalurgia. Conf. Inag., 18 pág. Oviedo.
- AGUIRRE, E.; BASABE, J. M., y TORRES, T. (1976): *Los fósiles humanos de Atapuerca*. Not. Prelim. Zephyrus XXVI-XXVII, 489-517.
- ALDROVANI, U. (1648): *Museum Metallicum*. E. Vaticano.
- ANONIMO (1864): *L'Exploitation des mines dans l'antiquité*. Jour. des Mines de 1864, p. 371.
- ANONIMO (1954): *Tomo extraordinario de trabajos geológicos, publicado con motivo del 80 aniversario del nacimiento del Profesor D. Eduardo Hernández-Pacheco*. Bol. Real Soc. Esp. Hist. Nat., pp. 1-34. Madrid.
- AYALA, F. J., y al. (1988): *Atlas geomorfológico de la Comunidad Autónoma de Madrid*. 83 pp. Ed. I.T.G.E. Madrid.
- AYALA, F. (1992): *Luis Mariano Vidal, Ingeniero de Minas-Geólogo*. Ind. Minera, 317, 21-27.
- BARREIRO, A. (1944): *El Museo Nacional de Ciencias Naturales*. C.S.I.C., 381 pp. Madrid.
- BAUER, G. «AGRICOLA» (1545): *De natura fossilium*. Trad. al inglés por BANDY, M. C., y BANDY, J. L., en 1965, Geol. Paper, 63. Ed. Geol. Soc. of America. Nueva York.
- BERTIN, L. (1965): *La Tierra nuestro planeta*. Ed. Labor, 568 pp. Barcelona.
- BLANCO, A., y LUZON, J. (1966): *Mineros antiguos españoles*. AEA, 39, 73 y ss.
- BODEGA, F. (1989): *Historia antigua del estaño*. Cuad. Lab. Geol. de Laxe, 14, 295-322.
- BONARELLI, G. (1961): *La mandíbula humana de Bañolas*. Extr. de Physis., II, 309-406. Buenos Aires.
- BOTELLA, F. (1868): *Descripción geológica de las provincias de Murcia y Albacete*. Imp. Col. Nal. de Sordomudos. 186 pp. Madrid.
- BOUCHER DE PERTHES, J. (1847): *Antiquités celtiques et antediluviennes. Memoire sur l'industrie primitive et les arts a leur origen*. Ed. Treuttel et Wurtz. 628 pp. Paris.
- BOUCHER DE PERTHES, J. (1860): *De l'homme antediluvienne et ses oeuvres*. Ed. P. Briez. 99 pp. Paris.
- BOULE, M. (1905): *L'origine des los éolithes*. L'Anthrop., 16, 257-267.
- BREUIL, H. (1908): *Les peintres quaternaires de la roca de Cogul*. Bull. Centr. Exc. de Lleyda.
- BREUIL, H. (1912): *Les subdivisions du Paléolithique supérieur et leur signification*. XIV Congr. Int. d'Anthrop. et d'Arque. Prehist. Gêneve.
- BREUIL, H. (1942-1945): *La conquete de la notion de la*

très hute antiquité de l'homme. Rev. Anthropos, XXXVII-XL, 667-687.

BREUIL, H., y CABRE, J. (1909): *Les peintres rupestres du bassin inferieur de l'Ebre*. L'Anthropol.

BRU, L. (1975): *Física y Arqueología, el carbono 14*. Period. ABC, oct. 75. Madrid.

BUFFON, CONDE DE (1788): *Epoques de la Nature*. París.

CABRE, J. (1915): *El arte rupestre en España*. Mem. Com. Invest. Paleont. y Prehist. Museo Nal. Cienc. Nat. Madrid.

CABRE, J., y HERNANDEZ PACHECO, J. (1914): *Avance del estudio de las pinturas prehistóricas del extremo Sur de España*. Mem. Com. Invest. Paleont. y Prehist., 3. Museo Nal. Cienc. Nat. Madrid.

CACHO, C. (1991): *Prehistoria. Museo Arqueológico Nacional*. Ed. M.A.N. Madrid.

CAILLEUX, A. (1956): *La era cuaternaria: problemas y métodos de estudio*. C.S.I.C. Barcelona.

CAILLEUX, A. (1963): *Datation absolue des principales industries prehistoriques*. Bul. Soc. Geol. Franc., fasc. 5, 7.ª ser., p. 409.

CAPELLE, E. (1893-94): *Notes sur quelques d'ecouvertes prehistoriques autour de Segrovinga dans l'Espagne Central*. An. Soc. Esp. Hist. Nat., XXIII, 117-174.

CARBALLO, J. (1951): *Descubrimiento de la cueva y pinturas de Altamira por D. Marcelino Santuola*. 104 pp. Santander.

CARBONELL, A. (1922): *Contribución a la historia de la prehistoria cordobesa*. Bol. R. Ac. B. Letr. y Nobl. Art. de Córdoba, 33, 83-86.

CARBONELL, A. (1924): *Los hallazgos prehistóricos de Jabugo*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. de Sevilla, 16, 533.

CARBONELL, A. (1925): *Valores prehistóricos de la cuenca alta del Guadiato (Córdoba)*. Bol. R. Ac. B. Letras y Nobl. Art. de Córdoba, 19, 12 pp.

CARBONELL, A. (1929-30): *Noticias varias recopiladas en los itinerarios de campo: cronchelos, dólmenes, cistas, sepulturas y otros monumentos funerarios y restos humanos*. Bol. R. Ac. Cien., B. Artes y N. Letras de Córdoba, Año VII, 25, 97-106.

CARBONELL, A. (1929-30): *La minería y metalurgia entre los musulmanes de España*. Bol. R. Ac. Cien., B. Artes y N. Letras de Córdoba, año VIII, 25, 179-217.

CARBONELL, A.: *Elementos que suministra el estudio de la prehistoria cordobesa para aclarar el itinerario de la antigua vía del Alentejo a la Bética*. Rev. Min.-Metalur., 2993, 511-514.

CASANOVA, D. A. (1964): *Un belga en España: Luis Siret y el Sudeste milenario*. Bol. R. Soc. Geogr., T. C. núm. 1-12, enero-dic 64, pp. 7-66.

CASCO ARIAS, J., y RUBIO MUÑOZ, L. A. (1982): *Materiales mineros romanos del Museo Arqueológico Provincial de Badajoz*. Museos, 2, 79-84. Madrid.

CAVANILLES, A. (1795-97): *Observaciones sobre la Historia Natural del Reino de Valencia*. Imp. Real. Madrid.

CAVANILLES, A. (1803): *Descripción de la cueva de les Dones*. An. Hist. Nat., VI, 182-184.

CAZURRO, M. (1909): *Las cuevas de Serinyá y otras estaciones prehistóricas del NE de Cataluña*. Anuari Inst. Est. Catalans. Barcelona.

CAZURRO, M. (1919): *El Cuaternario y las estaciones de la época paleolítica en Cataluña*. Mem. R. Ac. de Ciencias y Artes de Barcelona, XV, núm. 3, 103-189. Barcelona.

CAZURRO, M. (1924): *La riqueza en metales preciosos de la España antigua*. Mem. R. Ac. de Ciencias y Artes de Barcelona, XVIII, núm. 12, 412-563. Barcelona.

CAZURRO, M.; SANMIGUEL DE LA CAMARA, M., y PARDILLO, F. (1924): *El Ilmo. Sr. D. Luis Mariano Vidal i Carreras, su vida, sus obras científicas y colecciones*. Museo Cienc. Nat. de Barcelona, 56 pp. Barcelona.

CELS, A. 1909): *Evolution geologique de la Terre et ancienneté de l'home*. 247 pp. Bruxelles.

CLARK, A. (1980): *Ciencia en Arqueología*. Fondo de Cultura Económica. México.

CORNIDE, J. (1785): *Las Casitérides o islas del estaño restituidas a los mares de Galicia: Disertación crítica en que se procura probar que estas islas no son las Sorlingas como pretende en su Britannia Guillermo Cambden y si las de la costa occidental del Reyno de Galicia*. Imp. B. Cano. 179 pp. Madrid.

CORNIDE, J. (1799): *Noticia de las antigüedades de Cabeza del Griego*. Mem. R. Ac. Hist., III, 71-244.

CORNIDE, J. (1852): *Informe dado en 1783 al Intendente General del Reyno de Galicia sobre minas*. Rev. Juríd. y Adm. de Galicia, II, núm. 16 (15 sep. 1852).

CORTAZAR, D. (1875): *Reseña física y geológica de la región norte de la provincia de Almería*. Bol. Com. Mapa Geol. de España, II. Madrid.

CORTAZAR, D. (1891): *Descripción física y geológica de la provincia de Segovia*. Bol. Com. Mapa Geol. de España, XVII. Madrid.

CORTAZAR, D. (1899): *Las hachas de piedra pulimentada en España*. Bol. Com. Mapa Geol. de España, XXVI. Madrid.

CRUSAFONT, M. (1958): *El oropiteco*. Sinergia, 10, 18-27.

CRUSAFONT, M. (1963): *¿Es la industria «asturiense» una evolución «peble-culture»? Speleón*. Univ. Oviedo, Ftd. Ciencias, XIV, 1-4, p. 77.

CRUSAFONT, M. (1966): *Paleoantropología: un descubrimiento sensacional*. Act. Geol. Hispan., 1, p. 15.

CRUSAFONT, M., y al. (1961): *El hombre en la cumbre del proceso evolutivo*. Ed. Junta de Cultura. 93 pp. Vizcaya.

CRUSAFONT, M., y al. (1976): *Nuevos restos del preneardentalense de Cova Negra (Játiva)*. Act. Geol. Hisp. año XI, 5, p. 137.

CUELLO, J. (1982): *Los científicos españoles del XIX y el darwinismo*. Mundo Cientif., 14, V. II, 534-542.

CHAPMAN, R. (1979): *Analytical Archaeology*. En After-Introduction de «Analytical Archeology». 109-143, de CLARKE, D. L. Ed. Methuen. Londres.

DAMOUR (1865): *Sur la composition des haches en pierre trouvés dans les monuments celtiques et chez les tribus sauvages*. Comp. Rend. des seánc. de l'Acad. des Sci. de Paris, LXI, 359.

DANIEL, G. (1950): *A hundred years of Archaeology*. Ed. Duckworth. Londres.

DANIEL, G. (1968): *El concepto de la prehistoria*. Ed. Labor. Barcelona.

DANIEL, G. (1987): *Un siglo y medio de Arqueología*. Ed. Fondo Cult. Econ. México.

DEL PAN, I. (1959): *Wernert, P.: un pionner médiaval de la Prehistorie, Enrique de Villena (1384-1433)*. Bol. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Geol.), T. LVIII.

DEL PAN, I., y WERNET, P. (1914): *Interpretation de un adorno en las figuras humanas de Alpera y Cogul*. Mem. Com. Invest. Paleont. y Prehist. Museo Nal. Cienc. Nat. Madrid.

DELIGNY, E. (1863): *Apuntes históricos sobre las minas cobrizas de la Sierra de Tharsis*. Imp. Vda. Antonio Yenes. 38 pp. Madrid.

DIXON, J. E. (1968): *Obsidian and the origins of trade*. Sc. Amer. Marzo-68, 38.

DOMERGUE, C. (1965): *Les planii et leur activité industrielle en Espagne sous la republique*. Mélanges de la Casa de Velazquez, 1.

DOMERGUE, C. (1966): *Les lingots de plombs romains du Musée Archéologique de Cartagena et du Musée Naval de Madrid*. AEA, 29, 49 y ss.

DOMERGUE, C. (1970): *Un témoin sur l'industrie minière et metallurgique du plomb dans la region d'Azuaga (Badajoz) pendant la guerre de Sertorius*. CNA, XIX, 608-625.

DOMERGUE, C. (1970): *Les explotations aurifères du Nord-Ouest de la Península Ibérique sous l'occupation romaine*. La minería hispana e iberoamericana, 152 y ss. León.

DOMERGUE, C. (1971): *El Cerro del Plomo, en la Mina del Centenillo (Jaén)*. NAH, 16, 265 y ss.

DOMERGUE, C. (1974): *A propos de Plinie, Naturalis Historia 33, 70-78, et pour illustrer sa description des mines d'or romaines d'Espagne*. AEA, 45-37, 449 y ss.

DOMERGUE, C. (1987): *Catalogue des mines et de fondries antiques de la Península Ibérique*. Ser. Arch. VII, 2 v. Madrid.

DOMERGUE, C., y TAMAIN, G. (1971): *Notes sur le district minier de Linares*. Melang. A. Varagnac, 199 y ss.

DUE ROJO, A. (1957): *Notas paleontológicas*. Not. y Com. del I.G.M.E., 47, 105-128.

- DUE ROJO, A. (1951): *El factor geológico en la evolución cultural*. Not. y Com. del I.G.M.E., 51, 165-188.
- DUE ROJO, A. (1952): *Descubrimientos paleontológicos*. Not. y Com. del I.G.M.E., 52, 157-198.
- DUE ROJO, A. (1962): *Notas paleontológicas*. Not. y Com. del I.G.M.E., 66, 293-310.
- DUE ROJO, A. (1965): *Problemas y controversias paleontológicas*. Not. y Com. del I.G.M.E., 79, 167-186.
- E.T.S. INGENIEROS DE MINAS (1963): *Programa de Paleontología y Prehistoria*. Ed. E.T.S.I.M. Madrid.
- E. U. INGENIERIA TEC. MINERA DE BELMEZ (1969): *Memoria Curso Académico 78/79*. Ed. E.U.I.T.M. Belmez (Córdoba).
- EZQUERRA DEL BAYO, J. (1850): *Sobre los escoriales de fundiciones antiguas en España y en particular las de Río Tinto y del término de Cartagena*. Bol. Of. Minist. Com., Instruc. y Obras Públ., IX, 489-511.
- EZQUERRA DEL BAYO, J. (1859): *Ensayo sobre la historia de las minas de Río Tinto*. Imp. Vda. Antonio Yenes. 320 pp. Madrid.
- FERNANDEZ MARTINEZ, V. (1992): *Teoría y métodos de la Arqueología*. En «Historia Universal», 1. Editor. Plácido, D. Ed. Síntesis. 280 pp. Madrid.
- FERNANDEZ NAVARRO, L. (1908): *Sobre un instrumento paleolítico de Fuenlabrada*. Bol. Soc. Esp. Hist. Nat., 8, 119-121.
- FERNANDEZ NAVARRO, L. (1908): *Nuevos yacimientos de objetos prehistóricos*. Bol. Soc. Esp. Hist. Nat., 8, 277-280.
- FERNANDEZ NAVARRO, L. (1916): *Sílex tallados de Illescas (Toledo)*. Mem. Com. Paleont. y Prehist. 12, 15-16. Museo Nal. Cienc. Nat. Madrid.
- FERNANDEZ NAVARRO, L. (1917): *Sílex tallados de Illescas*. Bol. Soc. Esp. Hist. Nat., 17, 108-110.
- FERNANDEZ RUBIO, R. (1958): *Espeleología y Prehistoria*. Cantera, octubre-nov. 58.
- FERNANDEZ RUBIO, R. (1959): *Cueva del Tajo de la Monea, Alfacar (Granada)*. Not. y Com. del I.G.M.E., 53, 3-12.
- FERNANDEZ RUBIO, R. (1959): *La Cueva de la Rata (Guadalajara)*. Not. y Com. del I.G.M.E., 53, 51-56.
- FERNANDEZ RUBIO, R. (1964): *Contribución al estudio del karst de la Alhagüera (Alpujarras septentrionales)*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., 3-4, 309.
- FORSTER, J. R. (1786): *Histoire des découvertes et voyages dans le Nord*. Trad. francés Broussonet. Imp. Chez Cuchet. París.
- FOWLES, J. (Ed.) (1980-82): *John Auvrey's Monumenta Britannica*. Anot. LEGG, R. Ed. Dorset Publ. Comp. Sherborne.
- FULGOSIO, F. (1872): *Armas y utensilios del hombre primitivo en el Museo Arqueológico Nacional*. En «Museo Español de Antigüedades», I, 75-82. Imp. T. Fortanet. Madrid.
- GAIBAR-PUERTAS, G. (1974): *Descubrimiento de la terraza würmiense en la margen izquierda del río Manzanares: aportaciones paleoclimáticas. Nuevos restos y testimonios del madriñeo hombre prehistórico y protohistórico*. Est. Geol., XXX, 2-3, 235.
- GALVEZ-CAÑERO Y ALSOLA, A. (1912): *Nota acerca de las cavernas de Vizcaya*. Bol. Com. Mapa Geol., 33, 151-198.
- GARAY, R. (1870): *El hombre prehistórico*. Rev. de España, XV, 195-222.
- GARCIA BLANCO, A., y SANZ, T. (1990): *Guía didáctica de las salas de Prehistoria*. Museo Arqueológico Nacional. Ed. Ministerio de Cultura. 32 pp. Madrid.
- GARCIA BLANCO, J., y PUCHE, O. (1990): *Estudios sobre la minería antigua en los términos municipales de Garlitos, Capilla, Peñalsordo y Zarcapilla (Badajoz)*. Ind. Minera, 303, 55-63.
- GARIN, J. (1912): *Nota acerca de algunas exploraciones practicadas en las cuevas de la cuenca del río Iregua (Logroño)*. Bol. Com. Mapa Geol., 33, 123-150.
- GARRIGA, J. (1946): *La raza de Neardental*. Ibérica, 97, 2.ª época, 7 pp.
- GARRIGA, J. (1947): *El problema del hombre terciario, las pruebas materiales*. Ibérica, 103, 7 pp.
- GARRIGA, J. (1947): *La Geología al servicio de la Paleontología humana*. Ibérica, 112, 2.ª época, 4 pp.
- GARRIGA, J. (1947): *Las industrias humanas del Paleolítico inferior*. Ibérica, 112, 2.ª época, 5 pp.
- GARRIGA, J. (1947): *Los primeros europeos*. Ibérica, 118, 2.ª época, 5 pp.
- GARRIGA, J. (1949): *Los menhires del Alto Ampurdán*. Ibérica, 155, 2.ª época, 7 pp.
- GARRIGA, J. (1950): *Problemas generales de la evolución*. Ibérica, 197, 2.ª época, 8 pp.
- GAVALA, J. (1959): *Hoja geológica de Cádiz, escala 1:50.000, con memoria explicativa*. I.G.M.E. Madrid.
- GEIKIE, A. (1894): *The Great Ice Age and its relation to the antiquity of man*. Londres.
- GEIKIE, A. (1905): *The founders of Geology*. 2.ª ed. Macmillan. Londres.
- GIL Y MAESTRE, A. (1875): *Depósitos de huesos de Castilla-La Vieja y principalmente de la parte llamada Tierra de Campos*. Bol. Com. Mapa Geol., II, 361-375.
- GILLISPIE, C. C. (1951): *Genesis and Geology: A study in the relations of scientific thought, natural Theology and social opinion in Great Britain, 1790-1850*. Harvard Univ. Press. Cambridge, Massachusetts.
- GOGUET, A. J. (1758): *The origin of the laws, arts, and sciences, and their progres among the most ancient nations*.
- GONGORA, M. (1868): *Antigüedades históricas de Andalucía. Monumentos, inscripciones, armas, utensilios y otros*

- importantes objetos pertenecientes a los tiempos más remotos de su publicación. Imp. C. Moro. 158 pp. Madrid.
- GRAELLS, M. DE LA P. (1850): *Sobre el descubrimiento de fósiles verificado últimamente en la margen derecha del Manzanares*. Bol. Of. Min. Com., Instr. y Obr. Públ., IX, 572-574.
- GRUPO ARQUEOFISICO DE LA RABIDA (1985-86): *Documentos e informes*. Ed. E.U.I.T. Minera de la Rábida (Huelva).
- HARLE, E. (1882): *La grotte de Serinya. Matériaux pour l'histoire primitive et naturelle de l'homme*. Paris.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1907): *Los martillos de piedra y las piedras con cazoleta de las antiguas minas de cobre de la Sierra de Córdoba*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., VII, 14 pp.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1908): *Adornos de piedra de los antiguos habitantes de Lanzarote*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., VIII, 6 pp.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1910): *Nota al trabajo de Ameghino El Diplotromo platensis: Un precursor del hombre, del Plioceno inferior de Buenos Aires*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., X, 6 pp.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1912): *La depresión de Barbate y sus estaciones prehistóricas*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., XIII, 10 pp.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1914): *Sobre los trabajos de excavación en la cueva de la Paloma y una excursión a la zona alta de las montañas asturianas*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., XIV.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1914): *Sobre la primera Memoria de la Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., XIV, 2 pp.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1914): *Investigaciones prehistóricas en la caverna de la Peña de San Román de Candamo (Asturias)*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., XIV, 3 pp.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1915): *Estado actual de las investigaciones en España respecto a la Paleontología y Prehistoria*. (Disc. Inag. de la Sec. de Cienc. Nat. del Congr. de Valladolid). Asoc. Esp. Progr. Ciencias, 60 pp.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1916): *Nomenclatura de voces técnicas y de instrumentos típicos del paleolítico*. Mem. Com. Invest. Paleont. y Prehist., 10. Museo Nal. Cienc. Nat. 44 pp. Madrid.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1917): *Excursión de investigaciones prehistóricas a Morella (Castellón)*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., XVII, 2 pp.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1917): *Los grabados de la Cueva de Penches*. Mem. Com. Invest. Paleont. y Prehist., 17. Museo Nal. Cienc. Nat. 4 pp. Madrid.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1918): *Estudios de arte prehistórico: I: Prospección de las pinturas rupestres de Morella la Vella. II: Evolución de las ideas madres de las pinturas rupestres*. Not. Com. Invest. Paleont. y Prehist., 16. Museo Nal. Cienc. Nat. 24 pp. Madrid.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1919): *Los caballos del Cuaternario Superior según el arte paleolítico*. Rev. R. Ac. Cienc. de Madrid, 27 pp.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1919): *La caverna de la Peña de Candamo (Asturias)*. Mem. Com. Invest. Paleont. y Prehist., 24. Museo Nal. Cienc. Nat. 281 pp. Madrid.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1921): *Exposición del arte prehistórico español*. Arte Español, 25 pp. Madrid.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1921): *Noticias del hallazgo de pinturas rupestres en Tivisa (Tarragona)*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., XXI, 5 pp.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1922): *Pinturas prehistóricas de la Font-Vilella en Tivisa (Tarragona)*. Ibérica, IX, 2 pp.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1922): *Plaques d'ardoise et os de la caverne de la Paloma*. Rev. Anthropol., XXXII, 8 pp.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1922): *Dos nuevas localidades con pinturas prehistóricas en Las Batuecas (Salamanca)*. Soc. Esp. Anthropol., Etno. y Prehist., II, 2 pp.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1922): *Grabado exotérico del Magdalense de la Cueva de la Paloma (Asturias)*. Soc. Esp. Anthropol., Etno y Prehist., II, 2 pp.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1923): *Los estudios de Paleontología humana en España y el influjo en ellos del príncipe Alberto I de Mónaco*. Bol. R. Soc. Geogr. de Madrid. 19 pp.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1923): *La vida de nuestros antecesores paleolíticos según los resultados de las excavaciones en la caverna de la Paloma (Asturias)*. Mem. Com. Invest. Paleont. y Prehist., 31. Museo Nal. Cienc. Nat. 38 pp. Madrid.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1924): *Les peintures préhistoriques d'Espagne*. Rev. Anthropol. XXXIV.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1924): *Las pinturas prehistóricas de las Cuevas de la Araña (Valencia)*. Mem. Com. Inv. Paleont. y Prehist., 34. Museo Nal. Cienc. Nat. 221 pp. Madrid.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1929): *Guía de la caverna prehistórica de la Peña de Candamo (Asturias)*. Ed. Marqués de la Vega de Anzo. 24 pp. Madrid.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1940): *Orígenes prehistóricos de los pueblos hespéricos*. Congr. Cent.º Fundação de Portugal. 44 pp. Oporto.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1946): *Características climatológicas y ambiente vital humano en la Península Ibérica durante el Pleistoceno*. Rev. R. Ac. Cienc. Exac., Fis. y Nat., ene. 46, 8 pp.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1958): *Descubrimiento del arte prehistórico rupestre*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., 56, 1.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1959): *Mesolítico y su arte rupestre*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Geol.), 57.
- HERNANDEZ PACHECO, E. (1959): *La Prehistoria del solar hispano*. Madrid.
- HERNANDEZ PACHECO, E.; CABRE, J., y CONDE DE LA

VEGA DE SELLA (1914): *Las pinturas prehistóricas de Peña Tu*. Mem. Com. Invest. Paleont. y Prehist., 2, Museo Nal. Cienc. Nat. 25 pp. Madrid.

HERNANDEZ PACHECO, E., y CABRERA, A. (1917): *Pinturas prehistóricas y dólmenes de la región de Alburquerque (Extremadura)*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., XVII. 11 pp.

HERNANDEZ PACHECO, E., y OBERMAIER, H. (1915): *La mandíbula neardentaloide de Bañolas*. Mem. Com. Invest. Paleont. y Prehist., 6, Museo Nal. Cienc. Nat., 43 pp. Madrid.

HERNANDEZ PACHECO, E., y ROYO, J. (1916): *Mineralogía, Geología y Prehistoria del Cerro de los Angeles (Madrid)*. Bol. R. Esp. Hist. Nat., XVI. 7 pp.

HERNANDEZ PACHECO, E., y ROYO, J. (1917): *Pedernales tallados del Cerro de los Angeles (Madrid)*. Not. Com. Invest. Paleo. y Prehist., 11, Museo Nal. Cienc. Nat. 2 pp. Madrid.

HERNANDEZ PACHECO, F. (1956): *Instrumento lítico de tipo prechelense de la Extremadura Central*. Grup. Cienc. Tierra «Aranzadi». R. Soc. Vasc. Amigos del País, Publ. 12. Homenaje a Joaquín Mendizábal, 134-137. San Sebastián.

HERNANDEZ SAMPELAYO, P. (1916): *Algunos yacimientos prehistóricos de las provincias de Lugo y Madrid*. Bol. Com. Mapa Geol., XXXVII, 281-295.

HERNANDEZ SANAHUJA, B. (1866): *Arqueología. El hierro*. Gaceta de Madrid, 31 de marzo de 1866.

HERNANDO LUNA, R. (1980): *Aproximación a la obra de D. Antonio Carbonell y Trillo-Figueroa*. Bol. R. Ac. Cienc., B. Artes y Nobl. Letr. de Córdoba, año L, 101, 5-25.

HESSE, A. (1966): *Prospecciones géophysiques a faible profondeur, applications a l'Archéologie*. Ed. Dunod. Paris.

IRAIZOZ, J. M., y MANSILLA, L. (1987): *La Geofísica aplicada a la Arqueología*. Xaragall, núm. extra., 24-35.

IRAIZOZ, J. M.; PUCHE, O., y MANSILLA, L. (1988): *Técnicas de investigación minera aplicadas a la Arqueología*. VIII Congr. Int. Min. y Metalur., 6, 682-700. Oviedo.

JANER, F. (1858): *El antiguo Gabinete de Historia Natural de Madrid*. Bol. Of. Minist. Fomento, XXVII, 380-389.

JAVANOVIC, B. (1980): *Los orígenes de la minería del cobre en Europa*. Invest. y Ciencia, 46, 94-101. Julio 80.

JEA, R. (1990): *Las rocas ornamentales en la Historia Natural de Plinio El Viejo*. Ind. Minera, ..., 19-39.

JORDA CERDA, J. (1975): *El paleolítico hispano*. Las Cienc. XL, 2.

JORDA PARDO, J. F. (1990): *El medio geológico y su explotación en el castro de San Chuis, Allande (Asturias)*. Bol. Geol. Min. V, 101-5, 780-791.

JORDA PARDO, J. F. (1992): *El Profesor D. Eduardo Hernández-Pacheco y su contribución a la prehistoria de España*. III Congr. Geol. España, Simposios, 1, 506-517. Salamanca.

JUSSIEU, B. (1723): *Disertación sobre el origen y usos de la piedra del rayo*. Mem. Acad. Cienc. de París.

LABORDE, A. (1808): *Itineraire descriptif de l'Espagne, et tableau élémentaire des différentes branches de l'administration et de l'industrie de le royaume*. Paris.

LAMING-EMPERAIRE, A. (1968): *La Arqueología prehistórica*. Ed. Martínez Roca. Barcelona.

LARTET, L. (1866): *Poteries primitives, instruments en os et silex taillés des cavernes de la Vielle-Castilla (Espagne)*. Imp. de Pillot-fils-ainé. 24 pp. Paris.

LAUNAY, L. (1889): *L'industrie du cuivre dans la region d'Huelva*. Ann. des Mines.

LAUNAY, L. (1899): *Les mines de Laurion dans l'antiquité*. Ann. des Mines. Jul.-99. Paris.

LAUNAY, L. (1908). *La conquête minerale*. Ed. Ernest Flammarion. Paris.

LAURET, J. M. (1974): *Recherches géologiques et minières dans la region d'Almaden-Almadenejos*. Thés. Univ. Paris-Sud (Centre D'Orsay), 150 pp. Paris.

LAVILLE, H., y HOYOS, J. (1978): *Etude geologique du remplissage des grottes préhistoriques de la corniche cantabrique (Asturies, Santander, Pays Vasque)*. Univ. Bord. Inst. Quaternaire.

LE HON, H. (1873): *Tiempos antediluvianos y prehistóricos. El hombre fósil en Europa, su industria, sus costumbres, sus obras de arte. Gran periodo glacial. El hombre de las cavernas. Tiempo del reno. Diluvios. Tiempos de la piedra, del bronce y del hierro. Ranchos lacustres*. Trad. al castellano por Lerroux, M. Imp. y Lib. Miguel Guijarro. 284 pp. Madrid.

LIGHTFOOT, J. (1642): *A few and new observations on the book of Genesis, most of them certain, the rest probable, all harmless, strange, and rareley of before*. Ed. T. Badger. Londres.

LOPEZ DE AZCONA, J. M. (1937): *La industria neolitica de Cardona*. Not. y Com. del I.G.M.E., 5, 61-65.

LOPEZ DE AZCONA, J. M., y MESEGUER, J. (1961): *Los jerarcas de la Minería*. Lib. Jubilar del I.G.M.E.

LOPEZ DE AYALA (1782): *Historia de Gibraltar*. Imp. de Sancha. 338 pp. Madrid.

LUBBOCK, J. (1865): *Pre-historic times, as illustrated by ancient remains, and the manners and customs of modern savages*. Ed. William & Norgate. Londres.

LUBBOCK, J. (1870): *The origen of civilisation and the primitive condition*. Ed. Longmans. Londres.

LUZON, J., y RUIZ, M. (1970): *El poblado minero de Riotinto*. Habis, I, 125 y ss.

LYELL, CH. (1863): *The geological evidences of the antiquity of man, with remark theories of the origin of species by variation*. Ed. John Murray. Londres.

LLOYD, W. (1701): *Oxford cyclopedic concordance*. Univ. Oxford Press.

MACPHERSON, J. M. (1870): *La cueva de la Mujer. Descripción de una caverna conteniendo restos prehistóricos*,

descubierta en las inmediaciones de Alhambra de Granada. Imp. Rev. Médica. 2 partes. Cádiz.

MACHADO, A. (1867): *Descripción de algunas cavernas de la Península y conveniencia de continuar su estudio bajo el aspecto paleontológico*. Rev. Progr. de las Cienc., XVI, 178-189.

MACHADO, A. (1871): *Cuestión prehistórica*. Rev. Mensual de Filos., Lit. y Cienc. de Sevilla, III. Mayo 1871.

MAFFEI, E., y RUA DE FIGUEROA, R. (1871): *Apuntes para una biblioteca española de libros, folletos y artículos, impresos y manuscritos relativos al conocimiento y explotación de las riquezas minerales y a las ciencias auxiliares*. Imp. J. M. Lapuente. Madrid.

MANSILLA, L.; PUCHE, O., e IRAIZOZ, J. M. (inéd.): *Prospección arqueofísica del Castillo de Alarcos (Ciudad Real)*. E.U.P.A.

MARQUEZ TRIGUERO, E. (1955): *Nuevos yacimientos paleolíticos de Vallecas*. Not. y Com. del I.G.M.E., 77, 175-186.

MARQUEZ TRIGUERO, E. (1965): *Sobre un nuevo yacimiento paleolítico en Coslada*. Not. y Com. del I.G.M.E., 78, 77-84.

MARQUEZ TRIGUERO, E. (1970): *Fuentes antiguas sobre la minería de España y, en particular, de la Sierra Morena*. Bol. Geol. Min. 81-1, 38-40.

MASRIERA, A. (1978): *El Museo de Geología (Museo Martorell), un siglo de historia*. Serv. Publ. Ayto. Barcelona. 20 pp.

MERINO, J. M. (1970): *El coloquio Internacional de Arudy. Métodos de clasificación de los útiles prehistóricos*. Múnibe, fasc. 1/2, 87.

MIEG, J. (1818): *Paseo por el Gabinete de Historia Natural de Madrid o descripción sucinta de los principales objetos de zoología que ofrecen las salas de esta interesante colección*. Imp. D. M. de Burgos. Madrid.

MONTELIUS, O. (1899): *Der Orient und Europa*. Ed. Akad. der Schönen Wissenschaften. Geschichte und Alterthums-kunde. Estocolmo.

MONTELIUS, O. (1903): *Die typologische methode. Die älteren kulturperioden in Orient und in Europa*. Ed. Selbstverlag. Stocolm.

MONTFAUCON, B. (1792-93): *Los monumentos de la monarquía francesa*. Paris.

MORTILLET, G. (1883): *Gisement paléolithique de S. Isidro. Discussion*. Soc. Anthropol. Paris, seanc. 4 mai 83, 283-286. Paris.

MORTILLET, G. (1885): *La prehistorique antiquité de l'homme*. 2.ª ed. Ed. G. Reinwald. 658 pp. Paris.

MORTILLET, G. (1897): *Formation de la nation française*. Ed. Alcan. Paris.

MORTILLET, G., y MORTILLET, A. (1881): *Musée prehistorique*. Ed. G. Reinwald. Paris.

MURGUIA, M. (1865-66): *Historia de Galicia*. 2 tom. Imp. Soto Freire. Lugo.

NILSSON, S. (1868): *The primitive inhabitants of Scandinavia*. 3.ª ed. Trad. inglés Lubbock, J. Ed. Longmans. Londres.

OBERMAIER, H. (1912): *Fouilles de la grotte du Castillo (Espagne)*. Congr. Int. Anthropol. y Arq. Prehist.

OBERMAIER, H. (1913): *Leichennagelung im spanischen mittelalter*. Forschungen und Fortschritte, 12, 169-172.

OBERMAIER, H. (1916): *El hombre fósil*. Mem. Com. Invest. Paleont. y Prehist., 9, Museo Nal. Cienc. Nat. Madrid.

OBERMAIER, H. (1917): *Yacimiento prehistórico de las Carolinas (Madrid)*. Mem. Com. Invest. Paleont. y Prehist., 15, Museo Nal. Cienc. Nat. Madrid.

OBERMAIER, H. (1918): *Yacimiento paleolítico de las Delicias (Madrid)*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., 11, 5-35.

OBERMAIER, H. (1919): *El dolmen de Matarrubia (Sevilla)*. Mem. Com. Paleont. y Prehist., 26, Museo Nal. Cienc. Nat. Madrid.

OBERMAIER, H. (1920): *Los desarrollos del Paleolítico antiguo en Europa*. Bol. R. Ac. Hist., LXXVI. Madrid.

OBERMAIER, H. (1921-22): *Palaeolithikum und stinzelliche felskuns in Spanien*. Sonderabdruck aus der Praehistorischen zeitschrift, XIII-XIV, 177-199.

OBERMAIER, H. (1924): *Las diferentes fases del musteriense español y especialmente de los yacimientos madrileños*. Rev. Biblio., Arch. y Museo del Ayto. de Madrid, I, núm. 2., 143-177.

OBERMAIER, H. (1925): *La edad cuaternaria de las pinturas rupestres del Levante español*. Mem. R. Ac. Esp. Hist. Nat., 15 (20), 527-537.

OBERMAIER, H. (1925): *Die bronzeitlichen felsgravierungen von nordwestspanien (Galicien)*. Mit 17 Abbildungen auf tafel 13-19, 51-59.

OBERMAIER, H. (1925): *Die kleinafrikanische felskunst in litche der vorgeschichtsforschung*. 44 pp. Munchen.

OBERMAIER, H. (1928): *El Paleolítico del Marruecos español*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., 28, 269-272.

OBERMAIER, H. (1930): *Die diluviale und altdiluviale steinzeit der Pirenäen halbinsel nach dem stande unseres derzeitigen wissens*. Tirada aparte de Spanische Forschungen der Görresgesellschaft. Ed. Erste Reihe. 20 pp. Münster.

OBERMAIER, H., y BREUIL, H. (1917): *Las pinturas rupestres de los alrededores de Tormón (Teruel)*. Bol. R. Ac. Hist., XC, 511-531. Madrid.

OBERMAIER, H., y al. (1921): *El Cuaternario de las canteras de Vallecas (Madrid)*. Bol. Geol. Min., XLII.

OBERMAIER, H., y al. (1929): *El hombre prehistórico y los orígenes de la humanidad*. Mem. de la Rev. de Occidente. Madrid.

OBERMAIER, H., y PEREZ DE BARRADAS, J. (1924): *Las diferentes facies del Musteriense español y especialmente de los yacimientos madrileños*. Rev. Biblio., Arch. y Museo. Ayto. Madrid, I, 143-177.

- ORDÓÑEZ, S. (1992): *La Escuela de Geología de Madrid*. III Congreso Geol. de España. Simposios, I, 566-577.
- PAILLETTE, A. A. (1845): *Apuntes históricos sobre la minería antigua del Principado de Asturias, dedicados a su Sociedad Económica*. Imp. Benito González y Cía. Oviedo.
- PATO, M., y CORTAZAR, D. (1882): *Descripción física y geológica de la provincia de Valencia*. Mem. Com. Mapa Geol. España. Madrid.
- PENCK, A. (1894): *Studien über das klima spaniens während der jüngeren Tertiärperiode und der Diluvialperiode*. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde, 29. Berlín.
- PENCK, A., y BRÜCKNER, E. (1901-1909): *Die Alpen im eiszeitalter*. Leipzig.
- PEREZ DE BARRADAS, J. (1919): *Nuevos yacimientos paleolíticos de superficie en la provincia de Madrid*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., XIX, 212-216.
- PEREZ DE BARRADAS, J. (1920): *Instrumentos paleolíticos de superficie de la ciudad de Madrid*. Imp. Moderna. 4 pp. Madrid.
- PEREZ DE BARRADAS, J. (1922 y 26): *Excavación en yacimientos paleolíticos de los valles del Manzanares*. Mem. Junta Sup. Exc. y Antigüedades, 42 y 60.
- PEREZ DE BARRADAS, J. (1923): *Yacimientos paleolíticos de los valles del Manzanares y del Jarama*. Tip. Rev. Arch. Madrid.
- PEREZ DE BARRADAS, J. (1925): *Prehistoria*. Ed. Ayto. Madrid.
- PEREZ DE BARRADAS, J. (1928): *La infancia de la humanidad*. Ed. Voluntad. 175 pp. Madrid.
- PEREZ DE BARRADAS, J. (1929): *Los yacimientos prehistóricos de los alrededores de Madrid*. Bol. Geol. Min., 51 (11), 3.ª ser., 1-72.
- PEREZ DE BARRADAS, J. (1930): *Anuario de la Prehistoria madrileña*. Ed. Ayto. de Madrid. 180 pp. Madrid.
- PEREZ DE BARRADAS, J. (1934): *El Acheulense del Valle del Manzanares*. Tip. Rev. Arch. 18 pp. Madrid.
- PEREZ DE BARRADAS, J. (1941): *Nuevas investigaciones sobre el yacimiento de San Isidro*. Arch. Esp. de Arqueol., 43, 277-303.
- PEREZ DE BARRADAS, J., y FUIDO, F. (1927): *Nuevos yacimientos neolíticos de los alrededores de Madrid*. Rev. Biblio., Arch. y Museo Ayto. Madrid, IV, 13 pp. Madrid.
- PEREZ DE BARRADAS, J., y FUIDO, F. (1927): *Yacimientos neolíticos de la región de El Royo (Soria)*. Ibérica, 673. 4 pp.
- PEREZ DE BARRADAS, J., y WERNET, P. (1921): *Excursión geológica por el valle inferior del Manzanares*. Bol. Soc. Ibér. Cienc. Nat., XX. Zaragoza.
- PEREZ QUINTERO, M. I. (1970): *Disertación crítico-topográfica. Las Casitérides restituidas a su verdadero sitio, por haberlas dislocado el inglés Cambdeno y otros sabios extranjeros, cuya sentencia ha sostenido nuevamente el abate D. Juan Francisco Masdeu*. Imp. Vázquez Hidalgo. 49 pp. Sevilla.
- PICATOSTE, F. (Ed.) (1865-67): *La edad de piedra. Gruta de Vaucelle, y calderas romanas halladas en la mina del Cabezo, de la Baja Cartagena*. Rev. del Movimiento Intelectual de Europa, núms. 22, 27 (año I) y 8 (año II).
- PINEDO VARA, I. (1963): *Piritas de Huelva. Su historia, minería y aprovechamiento*. Ed. Summa, S. L. Madrid.
- POMEROL, CH. (1973): *Stratigraphie et paléogéographie. Era Cénozoïque (Tertiaire et Quaternaire)*. Ed. Doin. 269 pp. Paris.
- PORTER, R. (1977): *The making of Geology: Earth Science in Britain 1660-1815*. Cambridge Univ. Press. Cambridge.
- PRADO, C. (1853): *Descripción de la provincia de Segovia*. Rev. Minera, V.
- PRADO, C. (1864): *Descripción física y geológica de la provincia de Madrid*. Impr. Nal. 219 pp. Madrid.
- PUCHE, O. (1987): *La Teledetección aplicada a la Arqueología*. Ind. Min., 266, 19-27.
- PUCHE, O. (in litt.): *Los ingenieros de minas y naturalistas en la Arqueología española*. Act. II. Reun. Nal. Geoarqueología.
- PUCHE, O.; IRAIZOZ, J. M., y MANSILLA, L. (inéd.): *Prospección arqueofísica del yacimiento de los Torojones de Morcuera (Soria)*. E.U.P. Almadén.
- PUIG Y LARRAZ, G. (1894): *Cavernas y simas de España*. Bol. Com. Mapa Geol., XXI, 443 pp. Madrid.
- QUIROGA, F. (1880): *Sobre el jade y las hachas que llevan ese nombre en España*. An. Soc. Esp. Hist. Nat., X, 5-13.
- RAMIS, J. (1818): *Antigüedades célticas de la isla de Menorca*. Imp. Pedro Antonio Sierra. Mahón.
- RAPP, G. (1977): *Archeological Geology*. Geotimes, 22, núm. 1, 16 ene. 77.
- RIPOLL, E. (1964-1965): *El centenario de la Prehistoria*. Ampurias, XXVI-XXVII, 333-338.
- ROSSMAESLER (1862): *Los petrofactos y las antigüedades*. Trad. castellano Font y Guitart, J., La Abeja, Rev. Cient. y Lit., I, 215-217. Barcelona.
- ROUGEMONT (1866): *L'Age du bronze*. Paris.
- ROWE, J. H. (1965): *The renaissance foundations of Anthropology*. Am. Anthrop., 67, 1-20.
- RUA DE FIGUEROA, R. (1859): *Ensayo sobre la historia de las minas de Río Tinto*. Imp. Viuda Antonio Yenes. Madrid.
- RUTOT, A. (1907): *La fin de la question des eolithes*. Bull. Soc. Belg. Paleont. et d'Hidrogeol., I, 211-217.
- SAMPAYO, P., y ZAZNAVAR, M. (1865): *Descripción con planos de la Cueva de Atapuerca*. Impr. Timoteo Arnaiz, 19 pp. Madrid.
- SANTUOLA, M. (1780): *Breves apuntes sobre algunos objetos prehistóricos de la provincia de Santander*. Imp. Telesforo Martínez. Santander.
- SANCHEZ, A. (1991): *Encuadre geológico y minero del NO*

- de la provincia de Murcia. En «El cambio cultural del IV al II milenio a. C. en la comarca NO de Murcia». Editor. López García, P., C.S.I.C. Madrid.
- SANCHEZ, A., y al. (in litt.): *Introducción al estudio de las fuentes de abastecimiento de hierro en el yacimiento prerromano del A.º Manzanares (Toledo)*. Jorn. Hist. de Talavera.
- SANCHEZ, J. (1803): *Descripción de la cueva de la Berquilla, en el término de la villa de Caravaca, Reyno de Murcia*. An. Cienc. Nat., VI, 177-182.
- SCHEUCHZER, J. (1713): *Physica Sacra*.
- SCHULTZ, G. (1845): *Minas antiguas de Asturias*. Bol. Of. Minas de 1845, 219 y ss. Madrid.
- SCHULTZ, G. (1868): *Descripción geológica de la provincia de Oviedo*. Imp. y Lib. de José González. Madrid.
- SERRES, M. (1845): *Observaciones sobre la noticia de M.J.M. acerca de los huesos humanos descubiertos por el Dr. Lund en las cavernas de Brasil*. Bol. Of. Minas de 1845, 369.
- SIRET, L. (1892): *Nouvelle campagne de recherches archéologiques en Espagne. La fin de l'époque néolithique*. L'Anthrop., III.
- SIRET, L. (1893): *L'Espagne préhistorique*. Imp. Polleunis et Ceuterick. 78 pp. Bruselas.
- SIRET, L. (1906): *Origine de la civilisation néolithique (turdétans et egéens)*. XIII Congr. Int. d'Anthr. et Arq. Préh. Mónaco.
- SIRET, L. (1906-07): *Orientaux et occidentaux en Espagne aux temps préhistoriques*. Rev. Quest. Cient., XXXIV-XXXV. Bruselas.
- SIRET, L. (1907): *Essai sur une chronologie préhistorique*. Rev. Arch. Paris.
- SIRET, L. (1907): *A propos des poteries pseudo-mycénienes*. L'Anthr., XVIII. Paris.
- SIRET, L. (1908): *Religions neolithiques de l'Iberia*. Rev. Quest. Cient. Bruselas.
- SIRET, L. (1908): *Villaricos y Herrerías; antigüedades púnicas, romanas, visigóticas y árabes*. Mem. Ac. Hist. Madrid.
- SIRET, L. (1908-10): *Les Casitérides et l'empire colonial des phéniciens*. L'Anthr., XIX-XX-XXI. Paris.
- SIRET, L. (1912): *Etude comparative des signes symboliques représentés sur les monuments ou objets préhistoriques*. XIV Congr. Int. d'Anthr. et Arq. Préh. Ginebra.
- SIRET, L. (1913): *Questions de Chronologie et d'Ethnographie ibériques*. Paris.
- SIRET, L. (1921): *Prométhée*. Rev. Arch. Paris.
- SIRET, L. (1922): *Les cyclopes*. Rev. Arch. Paris.
- SIRET, L. (1923): *La double gestation de Dionysos*. Rev. Arch. Paris.
- SIRET, L. (1923): *La role des fossiles en mythologie*. L'Anthr., XXXIII. Paris.
- SIRET, L. (1925): *Notes paléolithiques marocaines*. L'Anthr., XXXV. Paris.
- SIRET, L. (1930): *Classification du Paléolithique dans le Sud-Est de l'Espagne*. XV Cong. Int. d'Anthr. y Arq. Préh. Portugal.
- SIRET, L. (1932): *Le problème de l'éneolithique*. I Cong. Int. of Preh. & Protohis. Sci. Londres.
- SIRET, L., y SIRET, E. (1890): *Las primeras edades del metal en el SE peninsular*. 2 vol. Tip. Heinrich y Cía. Barcelona.
- SMITH (1863): *The Casiterides an inquiry into the commercial operations of the phoenicians*. Londres.
- SOS BAYNAT, V. (1922): *Una estación prehistórica en Villarreal (Castellón)*. Bol. Soc. Castellonense de Cultura.
- SOS BAYNAT, V. (1958): *Mármoles extremeños del teatro romano de Mérida*. Extremadura Hoy, 2 sep. 61. Badajoz.
- SOS BAYNAT, V. (1961): *La Prehistoria y el estaño en Extremadura*. Extremadura Hoy, 2 sep. 61. Badajoz.
- SOS BAYNAT, V. (1962): *Los ídolos placa de la Granja de Céspedes*. Rev. Est. Extremeños. 52 pp. Prov. Badajoz.
- SOS BAYNAT, V. (1962): *Importancia científica del embalse de Proserpina, Mérida*. Extremadura Hoy, 2 sep. 62. Badajoz.
- SOS BAYNAT, V. (1968): *Logrosán, localidad prehistórica importante*. Extremadura Hoy, 1 sep. 68. Badajoz.
- SOS BAYNAT, V. (1977): *Los hallazgos prehistóricos de Logrosán (Cáceres)*. Dip. Prov. Badajoz.
- SOS BAYNAT, V. (1987): *El género humano y el fósil de Orce, según el Dr. Aguirre*. Bol. Inst. Libre de Enseñanza.
- TORQUEMADA, J. DE (1615): *Primera parte de los veinte y un libro rituales y monarchia indiana, con el origen y guerras de los indios occidentales, de sus poblaciones, descubrimiento, conquista y conversión y otras cosas maravillosas de la mesma tierra*. Imp. Nicolás Martínez Franco. Madrid.
- TORRES, T. (1976): *Hallazgo antropológico de restos de un hombre preneandertal*. Bol. Mens. ENADIMSA, ser. 2, 64, 1.
- TORRES, T. (1976): *El hombre de Burgos, el resto humano más antiguo encontrado hasta hoy en España*. Madrid.
- TORRES, T. (1988): *Ursidos del Pleistoceno medio de la Sierra de Atapuerca*. En «El hombre fósil de Ibeas y el Pleistoceno de la Sierra de Atapuerca». Ed. Aguirre, E. y al. Junt. Com. Castilla-León, 153-188.
- TORRES, T. (in litt.): *Los restos de osos del yacimiento de Venta Micena, Orce (Granada) y el material de «Ursus Etruscus» (G. Cuvier) del Villafrankense europeo*.
- TORRES, T. (inéd.): *Estudio del yacimiento del Paleolítico Inferior de Pinedo (Toledo)*.
- TORRES, T., y ERASO, A. (1973): *The stalagmitic limestones as possible indicator for paleoclimates*. Act. 6 th. Int. Speleo. Congr., 401-412, Olomouc, CSSR.

TORRUBIA, J. (1754): *Aparato para la Historia Natural en España*. Imp. Hered. Agustín Gordejuela. 268 pp. Madrid.

TRIGER, B. (1992): *Historia del pensamiento arqueológico*. Ed. Crítica. 475 pp. Barcelona.

TUBINO, F. M. (1868): *Estudios prehistóricos*. Rev. de B. Artes. 128 pp. Madrid.

TUBINO, F. M. (1870): *El hombre terciario*. Ilustr. Española y Amer., 1870, 115 y ss.

TUBINO, F. M. (1872): *Historia y progresos de la Arqueología española*. En «Museo español de antigüedades», I, 1-21. Ed. RADA, J. de D. Imp. T. Fortanet. Madrid.

USSHER, J. (1650): *Annals of the world. London, at the sing of ship*. St. Paul's Church-yard. Londres.

VALLE, A. del (1970): *La enseñanza de la historia de la minería a nivel universitario*. VI Congr. Int. de Minería, 6, 717. Madrid.

VERNOUILLE, E., y LARTET, L. (1863): *Note sur un silex taillé trouvé dans le diluvium des environs du Madrid*. Bull. Soc. Geol. France., XX, 698-702.

VIDAL, L. M. (1882): *Estudio geológico de la estación termal de Caldas de Malavella (Gerona)*. Bol. Com. Mapa Geol. España, IX. Madrid.

VIDAL, L. M. (1886): *Reseña geológica y minera de la provincia de Gerona*. Bol. Com. Mapa Geol. España, XIII. Madrid.

VIDAL, L. M. (1894): *Más monumentos megalíticos en Cataluña*. Mem. Acad. Cienc. y Art. de Barcelona, I, 3.ª época.

VIDAL, L. M. (1894): *Coves prehistòriques de Lleyda*. Bull. Cent. Exc. de Catalunya, 31 pp. Barcelona.

VIDAL, L. M. (1911-12): *Abrich Romani, estació Agut, cova del'Or o dels Cantants. Estacions prehistòriques de les èpoques musteriana, magdaleniana y neolítica a Capellades y Sta. Creu d'Olondre*. An. Inst. Est. Catalans, 38 pp.

VIDAL, L. M. (1915): *Un megalito curioso llamado «La piedra del sacrificio», del castillo de Sabacsona, en la comarca de Vich*. Bol. Soc. Esp. Hist. Nat., 15, 328-331.

VILANOVA Y PIERA, J. (1861): *Manual de Geología aplicada a la agricultura y a las artes industriales*. 3 tom. Imp. Nal. Madrid.

VILANOVA Y PIERA, J. (1869): *Origen y antigüedad del hombre*. Rev. Univ. Madrid, II, 398-408.

VILANOVA Y PIERA, J. (1868): *Geología aplicada al estudio del hombre*. Extract. lecciones explicadas en el Ateneo de Madrid. La Andalucía, núm. 3146 y 3170. Sevilla.

VILANOVA Y PIERA, J. (1871-72): *Origen, naturaleza y antigüedad del hombre*. Cía. Impr. y Libr. del Reino, 446 pp. Madrid.

VILANOVA Y PIERA, J. (1872): *Síntesis de los hallazgos prehistóricos en España*. En «Museo español de antigüedades», I, 129-224. Ed. Rada, J. de D. Imp. T. Fortanet. Madrid.

VILANOVA Y PIERA, J. (1881): *Conferencias de agricultura prehistórica*. Imp. R. Moreno y R. Rojas. 37 pp. Madrid.

VILANOVA Y PIERA, J. (1882): *Curso de Historia Universal*. 2.ª Conf. Explicada el día 17 de enero de 1882 en el Ateneo Cient. y Lit. de Madrid. Imp. M. G. Hernández. 57 pp. Madrid.

VILANOVA Y PIERA, J. (1889): *Protohistoria Ibérica*. Discurso leído en la R. Acad. Hist. con motivo de su recepción. Imp. A. Pérez Dubrull. 136 pp. Madrid.

VILANOVA Y PIERA, J., y RADA Y DELGADO, J. de D. (1893): *Geología y Protohistoria ibéricas*, en Historia General de España, VIII, Ed. Cánovas del Castillo, A. Ed. El Progreso. Madrid.

VILANOVA Y PIERA, J., y TUBINO, F. M. (1871): *Viaje científico a Dinamarca y Suecia, con motivo del Congr. Int. Prehistórico de Copenhague de 1869*. Imp. Gómez Fuentenebro, 269 pp. Madrid.

WEISS, R. (1969): *The renaissance discovery of classical antiquity*. Ed. Basil Blackwell. Oxford.

WAGNER, G. A. (1979): *Archaeometric dating*. Lectures in isotope geology. Spring-Verlag. 329 pp. Berlín.

WERNERT, P. (1916): *Representación de los antepasados en el arte paleolítico*. Com. Inv. Paleont. y Prehist., Mem. 12, Museo Cienc. Nat. Madrid.

WERNERT, P. (1916): *Datos para la cronología del arte rupestre del Oriente de España*. Mem. Com. Invest. Paleont. y Prehist., 10, 9-11. Museo Nal. Cienc. Nat. Madrid.

WERNERT, P. (1917): *Nuevos datos etnográficos para la Arqueología del arte rupestre del Oriente de España*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat., 17, 139-142.

WERNERT, P. (1917): *Figuras humanas esquemáticas del magdalenense. Ensayo de Etnografía prehistórica comparada*. Mem. Com. Invest. Paleont. y Prehist., 15. Museo Nal. Cienc. Nat. 19 pp. Madrid.

WERNERT, P., y PEREZ DE BARRADAS, J. (1919): *El Almenadro. Nuevo yacimiento Cuaternario del valle del Manzanares*. Bol. R. Soc. Esp. Exc., XXVII, 239-269.

WERNERT, P., y PEREZ DE BARRADAS, J. (1921): *Yacimientos paleolíticos del Valle del Manzanares*. Mem. Junt. Sup. Exc. y Antigüedades, 33.

WERNERT, P., y PEREZ DE BARRADAS, J. (1921): *Contribución al estudio de los yacimientos paleolíticos de Madrid*. Jahrgang, IX. Madrid.

WILSON, D. (1851): *The Archaeology and Prehistoric Annals of Scotland*. Ed. Sutherland & Knox. Edimburgo.

WOLLEY, C. L. (1950): *Ur of Chaldess*. Ed. Penguin. Harmondsworth.

WORSÆ, J. J. A. (1849): *The primeval antiquities of Denmark*. Trad. al inglés por Thoms, W. J. Ed. Parker. Londres.

WORSÆ, J. J. A. (1881): *Les âges de pierre et de bronze dans l'ancien et le nouveau monde*. Trad. al francés por Beauvois, E. Ed. Thiele. 224 pp. Copenhague.

ZITTEL, K. A. Von (1901): *History of Geology and Paleontology to the end of nineteenth century*. Ed. Scott. Londres.

Noticias

EXPOSICION LOS INGENIEROS DE MINAS Y LOS NATURALISTAS EN LA ARQUEOLOGIA ESPAÑOLA

Los ingenieros de minas y naturalistas dedicados a la Geología, a mediados del siglo XIX, vinieron a resolver numerosos problemas a los arqueólogos. Con el desarrollo de la Estratigrafía se aportaron criterios de cronología relativa y mediante la Pelontología se inició el estudio del hombre fósil.

En España, la Comisión Nacional del Mapa Geológico y la Escuela de Minas tuvieron algo que ver en este empeño, destacando los nombres de Casiano de Prado (el cual descubrió el Pleistoceno español) y Juan Vilanova (introducido de las teorías de Boucher de Perthes en España).

Por este motivo desde el 4 al 15 de octubre de 1993 se

celebrará, en el hall de la Escuela de Minas de Madrid, la exposición *Los ingenieros de minas y naturalistas en la Arqueología española*.

La organización corre a cargo del Departamento de Ingeniería Geológica, contando con la participación de los profesores Octavio Pucha, Alberto Navarro, M.ª Teresa González, Trinidad Torres y Benjamín Calvo.

En la misma se expondrán piezas del Museo Especial, creado en 1864 por Casiano DE PRADO, y se mostrarán paneles con referencias históricas y la contribución actual de la Escuela de Minas a la Arqueología.



PROGRAMA INTERNACIONAL DE CORRELACION GEOLOGICA (P.I.C.G.)

Desde 1973, en que fue establecido este programa por parte de la International Union of Geological Sciences (I.U.G.S.) y la UNESCO, se han venido realizando diversos estudios interdisciplinarios, promoviendo la cooperación internacional. Sus objetivos generales abarcan la correlación geológica en sus diferentes facetas, la identificación de potenciales recursos minerales y energéticos y el desarrollo de nuevas técnicas de investigación, todo ello con vistas a la transferencia de conocimiento a los países subdesarrollados.

El programa se lleva a efecto por medio de proyectos concretos, que deben cumplir criterios de máximo interés científico, con objetivos prácticos definidos, relevantes global o regionalmente, con participación internacional y con resultados previsibles a corto plazo. El programa trata de servir como base a la iniciación de los proyectos, de forma que no es la fuente de su financiación.

Cada año se presentan nuevos proyectos que pueden ir avalados por los Comités Nacionales del PICG y/o por la IUGS.

Nuevos Proyectos, 1993

N.º 335. *Biotic recovery from mass extinction events, patterns, processes and implications*.

N.º 344. *Comparative biosedimentology of Precambrian and Phanerozoic microbial build-ups: genesis, evolution, biodiversity and correlation*.

N.º 345. *Lithospheric evolution of the Andean Continental Margin*.

N.º 348. *The Mozambique and related belts in the eastern African continent: evolution and mineralization*.

N.º 349. *Desert margins and paleomonsoons of the northern hemisphere old world: 135000 yrs BP to the present.*

N.º 350. *Environmental and biological change in East and South Asia during the Cretaceous.*

N.º 351. *Gondwana Early Paleozoic Basin Evolution from the nucleus to the margins in Africa and South America.*

N.º 353. *Continuing study of the climate and environment in regions surrounding the Arctic Basin during the last interglaciation - isotopo stage 5: An ongoing effort of the LIGA, Last Interglacial Arctic working group.*

N.º 355. *Neogene evolution of the Pacific Ocean and associated responses to paleobiogeography, paleoceanography and paleoclimatology in time and space, with special emphasis on Pacific-Indian Ocean seaways.*

N.º 356. *Plate-Tectonic aspects of Alpine metallogeny in the Carpatho-Balkan Region.*

N.º 357. *Roles of organic matter in the genesis of ore deposits.*

N.º 359. *Tethyan, circum-pacific and marginal Gondwana Late Paleozoic and Early Mesozoic correlation biota, facies, formations, geochemistry and events.*

N.º 360. *The implementation of international geochemical mapping through the establishment of global geochemical baselines. Geochemical Mapping Phase II.*

N.º 361. *Tectonics, magmatism and metallogeny of Mesozoic activated zones Diwa structures in East Asia.*

N.º 362. *Stratigraphical correlation and definition of geo-events in Cretaceous sedimentary sequences of the Tethyan and Boreal Realm.*

Libros

ESTUDIO GEOLOGICO Y METALOGENETICO DEL PALEOZOICO DEL SUR DE LAS CORDILLERAS COSTERAS CATALANAS

Autor: Dr. J. C. Melgarejo. Edita: Instituto Tecnológico Geominero de España. Formato: 21 x 29,7. Páginas: 606. Madrid, 1993

En este volumen se ofrece una visión general de la metalogénia del sur de las Cadenas Costeras Catalanas, con particular énfasis con la relacionada con los materiales paleozoicos.

En el sur de las Cadenas Costeras Catalanas se conocen desde antiguo muchas mineralizaciones filonianas de Pb-Zn-Cu. En algunas cuencas mineras famosas, como la de Bellmunt en el Priorato, la de Argentera o la de La Selva, se explotaron estos recursos, generalmente para Pb, Ag y en menor cuantía Cu. Aunque de estas mineralizaciones se realiza un estudio descriptivo, el trabajo se centra en el estudio de mineralizaciones estratiformes de Cu-Pb-Zn-Ag-Mn de tipo sedimentario-exhalativo (sedex), muchas de las cuales han sido descubiertas o reconocido como tales por primera vez.

Para la caracterización de los depósitos se cuenta con un estudio geológico regional previo, que comprende una cartografía geológica 1:50.000 del área, así como el levantamiento de columnas estratigráficas y datación de estas series. También se describen las características petrográficas de las rocas del área incluyendo un estudio más detallado de basaltos alcalinos de edad carbonífera. En

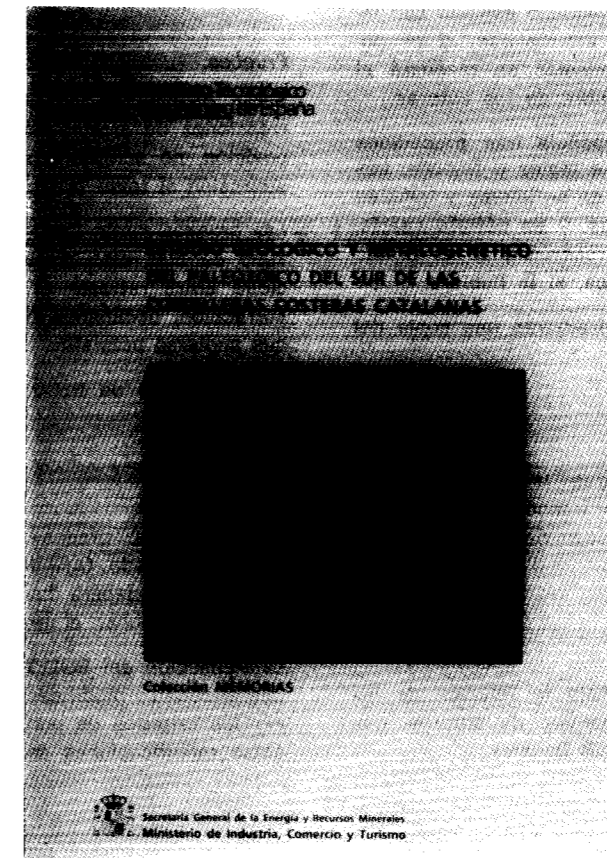
estas rocas volcánicas y en los granitoides tardihercínicos se ha realizado un estudio geoquímico.

Es de particular interés que la mayor parte de los depósitos estratiformes se han reconocido en series turbidíticas de edad carbonífera, aunque las series del Silúrico Inferior contienen asimismo depósitos con PGE-Cu-Pb-Zn-W-P. Con todo ello se abren nuevas perspectivas para la exploración de metales-base y elementos escasos no sólo en las series paleozoicas de las Cadenas Costeras Catalanas, sino en el Hercínico de las áreas vecinas.

Otros tipos de depósitos nuevos en el área y asimismo descritos son skarns con Au-Ag, Sn y metales base, así como filones con Cu, W, Sn ligados al magmatismo tardihercínico.

Acompaña a la memoria una cartografía geológica y metalogénica a escala 1:50.000, en la que se han representado los depósitos minerales acorde a las tipologías definidas en la memoria. Con el conjunto se propone un esquema evolutivo de la metalogénia del área.

El conjunto constituye la tesis doctoral de J. C. Melgarejo y obtuvo la calificación de excelente *cum laude* en la Universidad de Barcelona.



ESTUDIO GEOLOGICO Y METALOGENETICO DEL PALEOZOICO DEL SUR DE LAS CORDILLERAS COSTERAS CATALANAS

Autor: Dr. J. C. Melgarejo. Edita: Instituto Tecnológico Geominero de España. Formato: 21 x 29,7. Páginas: 606. Madrid, 1993

En este volumen se ofrece una visión general de la metalogénia del sur de las Cadenas Costeras Catalanas, con particular énfasis con la relacionada con los materiales paleozoicos.

En el sur de las Cadenas Costeras Catalanas se conocen desde antiguo muchas mineralizaciones filonianas de Pb-Zn-Cu. En algunas cuencas mineras famosas, como la de Bellmunt en el Priorato, la de Argentera o la de La Selva, se explotaron estos recursos, generalmente para Pb, Ag y en menor cuantía Cu. Aunque de estas mineralizaciones se realiza un estudio descriptivo, el trabajo se centra en el estudio de mineralizaciones estratiformes de Cu-Pb-Zn-Ag-Mn de tipo sedimentario-exhalativo (sedex), muchas de las cuales han sido descubiertas o reconocido como tales por primera vez.

Para la caracterización de los depósitos se cuenta con un estudio geológico regional previo, que comprende una cartografía geológica 1:50.000 del área, así como el levantamiento de columnas estratigráficas y datación de estas series. También se describen las características petrográficas de las rocas del área incluyendo un estudio más detallado de basaltos alcalinos de edad carbonífera. En

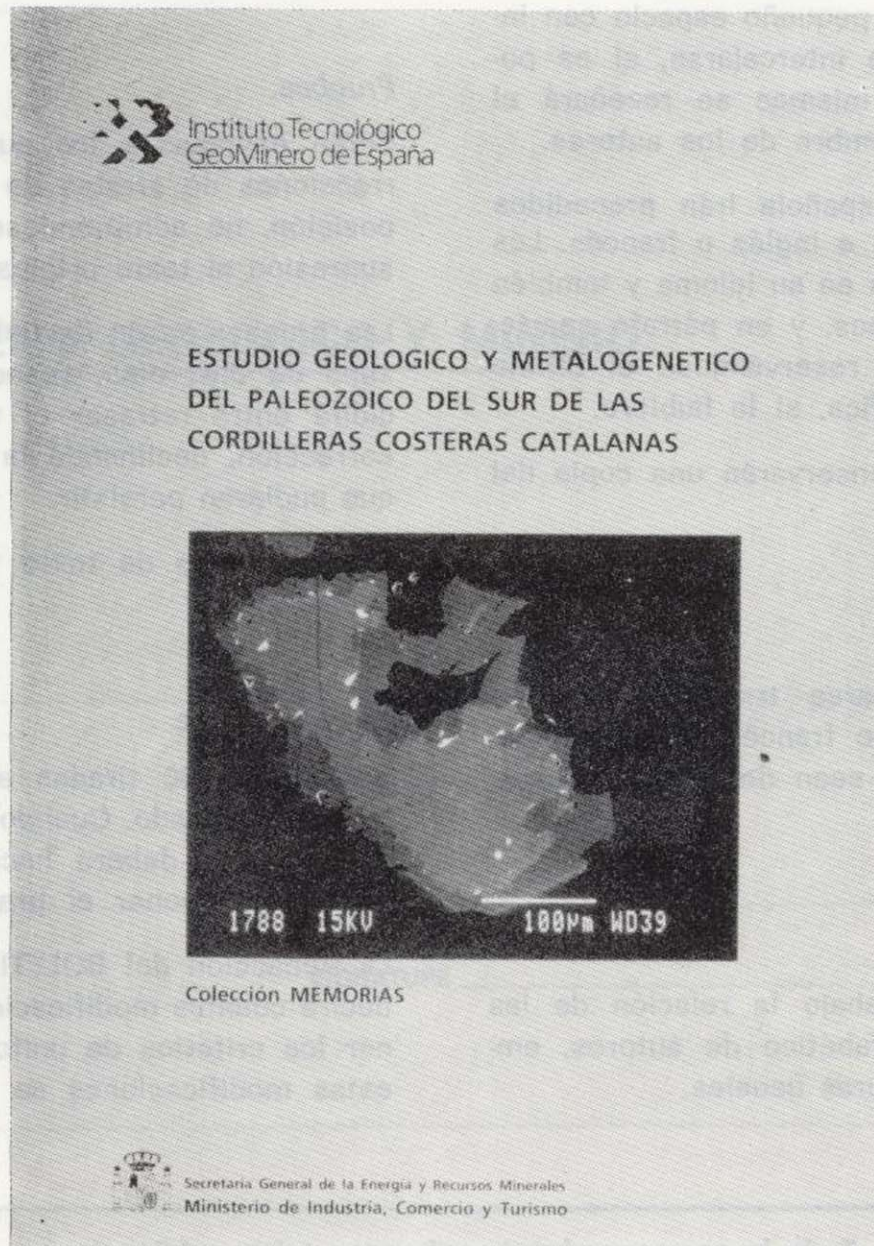
estas rocas volcánicas y en los granitoides tardihercínicos se ha realizado un estudio geoquímico.

Es de particular interés que la mayor parte de los depósitos estratiformes se han reconocido en series turbidíticas de edad carbonífera, aunque las series del Silúrico Inferior contienen asimismo depósitos con PGE-Cu-Pb-Zn-W-P. Con todo ello se abren nuevas perspectivas para la exploración de metales-base y elementos escasos no sólo en las series paleozoicas de las Cadenas Costeras Catalanas, sino en el Hercínico de las áreas vecinas.

Otros tipos de depósitos nuevos en el área y asimismo descritos son skarns con Au-Ag, Sn y metales base, así como filones con Cu, W, Sn ligados al magmatismo tardihercínico.

Acompaña a la memoria una cartografía geológica y metalogénica a escala 1:50.000, en la que se han representado los depósitos minerales acorde a las tipologías definidas en la memoria. Con el conjunto se propone un esquema evolutivo de la metalogénia del área.

El conjunto constituye la tesis doctoral de J. C. Melgarejo y obtuvo la calificación de excelente *cum laude* en la Universidad de Barcelona.



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 o 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 FIRMA
DATE 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

