

ASPECTOS SEDIMENTOLOGICOS DE LAS EVAPORITAS
DEL TRIASICO Y DEL LIASICO INFERIOR EN EL E
DE LA PENINSULA IBERICA

POR

F. ORTÍ CABO *

RESUMEN

En el presente artículo se exponen las características sedimentológicas más relevantes de las cinco series evaporíticas principales del Triásico y del Liásico inferior (Röt, Muschelkalk medio, Keuper inferior, Keuper superior y «zona de anhidrita» del Rheto-Hettangiense) de la mitad oriental de la Península Ibérica, en relación con sus secuencias deposicionales respectivas. Se insiste, en concreto, en las dos series del Triásico superior (Keuper) por su mayor importancia en los afloramientos, y en la de la base del Liás (zona de anhidrita) por el gran desarrollo que muestra en los sondeos. Finalmente se argumenta el origen marino de tales evaporitas.

ABSTRACT

This paper deals with the sedimentological characteristics exhibited by the five major evaporitic units (series) developed in the Triassic (Röt, middle Muschelkalk, lower Keuper, upper Keuper) and Lower Liassic (Rheto-Hettangian «zone of anhydrite») of Eastern Spain, in relation with their respective depositional sequences. Main attention is dedied to the two Upper Triassic (Keuper) units because of good outcropping conditions and to the one of the Lower Liassic due to significant thicknesses drilled in boreholes. Finally, the marine origin of all these series is discussed.

* Departamento de Petrología y Geoquímica, Facultad de Geología, Gran Vía, 585, 08007 Barcelona.

INTRODUCCION

La enorme importancia de la series evaporíticas del Triásico y del Liásico inferior en la mitad oriental de la Península Ibérica se puso de manifiesto al dar a conocer CASTILLO (1974) los datos de numerosos sondeos profundos practicados en las cuencas del Ebro y de Valencia-Cuenca. Esta publicación abrió una nueva etapa en la investigación de las formaciones triásicas, consolidada luego con el establecimiento de sus secuencias sedimentarias mayores, todas ellas transgresivas hacia el O. (GARRIDO y VILLENA, 1977), así como por la publicación de las correlaciones estratigráficas mediante diagrfías para el Jurásico del sector de Cuenca-Albacete (MORILLO y MELENDEZ, 1979), que muestran el carácter evaporítico de varias de sus formaciones.

Más recientemente, la revisión de las diagrfías de los sondeos y su comparación con los cortes de campo han permitido (SUAREZ *et al.*, 1985) hacer importantes precisiones en los niveles evaporíticos del Trías, y en particular del Keuper, de la zona de Albacete-Valencia-Alicante. Igualmente se ha revisado (JURADO, 1985) con detalle las correlaciones por diagrfías del sustrato triásico de la cuenca del Ebro, cuyo carácter fuertemente evaporítico era ya conocido.

Paralelamente, han sido realizados diversos trabajos litoestratigráficos que aportan informaciones esenciales o complementarias para el conocimiento de estas formaciones. Estos estudios se han centrado principalmente sobre el Keuper del sector valenciano (ORTI, 1974 y siguientes) y de los Catalánides (ORTI y BAYO, 1977; ORTI, 1984; SALVANY y ORTI, 1985), y sobre las series evaporíticas del Triásico de algunos sectores prebéticos (GIL *et al.*, 1985). Interesantes precisiones sobre las evaporitas del Lías inferior de la Cordillera Ibérica han sido hechas por GINER (1980).

Un primer intento de síntesis, desde los puntos de vista litoestratigráfico, diagenético y estructural, de las formaciones evaporíticas del Triásico y Lías inferior que nos ocupa fue ya presentado por el autor (ORTI, 1982-83), y en la presente nota sólo se ofrecerá algunas precisiones sobre los aspectos sedimentológicos, generales o particulares de dichas evaporitas.

ASPECTOS GENERALES DE LAS SERIES EVAPORITICAS

La figura 1, inspirada fundamentalmente en la correspondiente de CASTILLO (1974), muestra el reparto de las principales cuencas o cubetas evaporíticas funcionales durante todo el Triásico medio-superior y Lías inferior en el E de la Península Ibérica: Valencia-Cuenca (surco de Ledaña-Carcelén), Ebro (cubeta de Ballobar), Maestrazgo

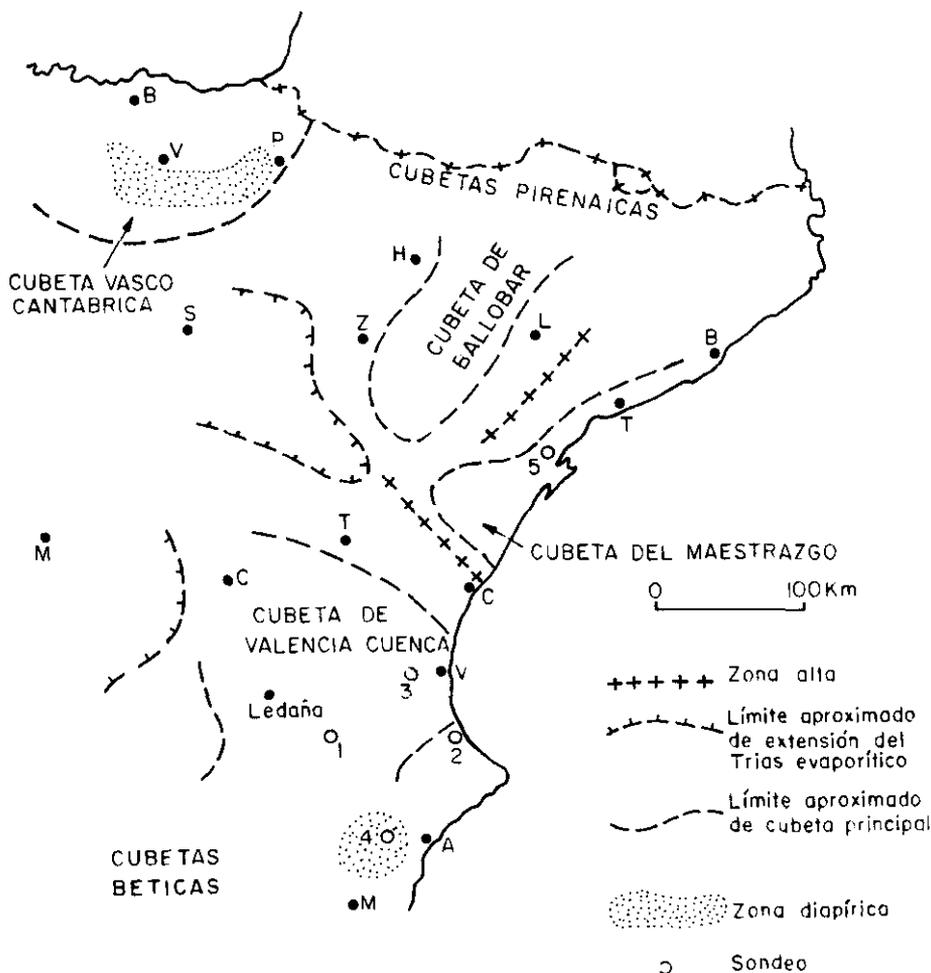


FIG. 1.—Situación de las principales cubetas evaporíticas del Triásico y del Liásico inferior en el E de la Península Ibérica. Sondeos: 1: Carcelén-1; 2: Jaraco-1; 3: Perenchiza-1; 4: domo de Pinoso; 5: Baix Ebre (esquema simplificado y modificado en las figuras 1 y 2 de CASTILLO HERRADOR, 1974).

Location of the main Triassic and Early Liassic evaporitic basins in E Spain. Boreholes: 1. Carcelén, 2. Jaraco, 3. Perenchiza, 4. Pinoso Dome, 5. Baix Ebre (after figs. 1 and 2 of CASTILLO HERRADOR, 1974, simplified and modified).

(cubeta de Bobalar). Numerosos sectores quedan por precisar, tanto en su potencia sedimentaria como en sus límites geográficos precisos, entre ellos: 1) el conjunto pirenaico, desde Cataluña (diapiros de Balaguer y de Barbastro) hasta las zonas diapíricas vasco-navarras, y 2) el conjunto subbético-prebético oriental, de enorme extensión y

muy insuficientemente conocido por su complejidad estructural, pero con importantes zonas diapíricas, entre ellas la murciano-alicantina.

La figura 1 localiza únicamente los sondeos petroleros, así como los grupos de sondeos de menor profundidad con fines mineros e hidrogeológicos, cuyos testigos han podido ser estudiados por el autor, y así sus litofacies, petrografía, mineralogía y geoquímica comparada con las muestras de afloramiento.

La figura 2 muestra las secuencias deposicionales mayores en que quedan incluidas las evaporitas del Triásico y del Liásico inferior. Las secuencias triásicas están tomadas de MARZO *et al.* (1985) y cabe resaltar en ellas: *a*) el situar rupturas importantes, de inicio y fin de secuencia, en el seno de las unidades carbonatadas del Muschelkalk, tal y como se observa en los Catalánides (CALVET y RAMON, 1985; CALVET *et al.*, 1985); *b*) el considerar las evaporitas de las facies Röt como el inicio de un ciclo transgresivo (ORTI, 1982-83); y *c*) el iniciar la secuencia basal del Liás sobre la discontinuidad al techo de la Formación Imón (GINER, 1978).

Dicha figura sintetiza la distribución estratigráfica de las cinco series evaporíticas principales (Röt, Muschelkalk medio, Keuper inferior, Keuper superior y «zona de anhidrita» del Liás basal) presentes en la parte oriental de la Península Ibérica, aquí representadas únicamente como sulfatos de Ca (yeso/anhidrita) y cloruros (halita). Para cada una de ellas se indica su sedimento encajante, que fundamentalmente consiste en lutitas arcillosas para las series más propiamente triásicas, y en carbonatos marinos para la serie liásica inferior. A su vez, para las unidades lutíticas encajantes se indica la coloración dominante, ya sea roja (ambientes oxidantes), gris, azul o verdosa (ambientes reductores) o versicolor (ambientes mixtos). Esta distribución estratigráfica globaliza la información existente para las principales cuencas representadas en la figura 1, sin ser estrictamente aplicable a ninguna de ellas en particular. Igualmente, la figura 2 intenta recoger la traza de los ciclos evaporíticos, expresados aquí como halosecuencias (líneas que reflejan la evolución en la vertical de la salinidad del medio), integrados en cada secuencia deposicional mayor. Estos ciclos suelen representarse simétricos, al no disponer de la adecuada información de sondeos que permita hacer en ellos otros matices.

EVAPORITAS DE LA FACIES RÖT

En el tránsito entre las facies rojas del Buntsandstein y los carbonatos del Muschelkalk, numerosos cortes de campo presentan una delgada unidad de arcillitas laminadas rojas y verdes, alternantes con

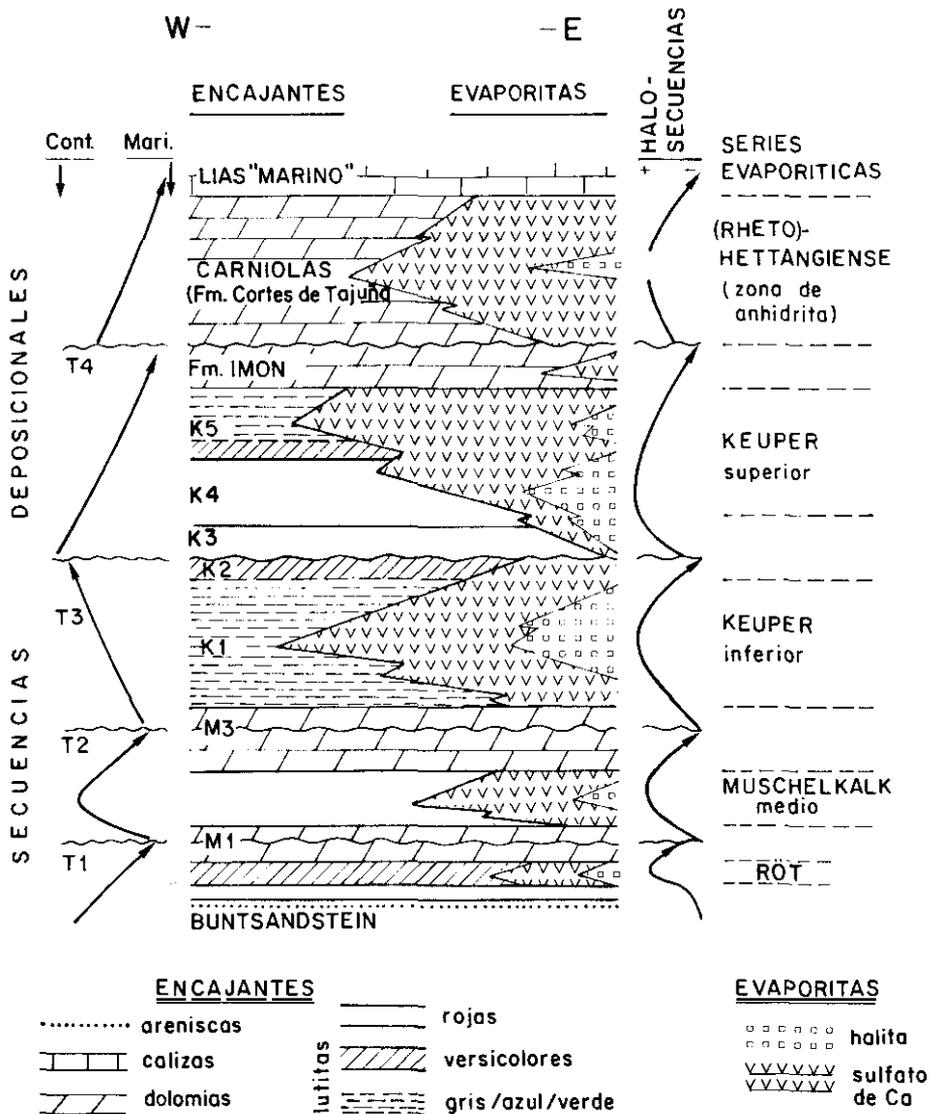


FIG. 2.—Series evaporíticas principales del Trias y Lias inferior del E de la Península Ibérica, con indicación de sus materiales encajantes, de sus halosecuencias y de las secuencias deposicionales en las que se desarrollan. Esquema sin escala.

Main Triassic and Early Liassic evaporitic sections in E Spain, their associated sediments, halosequences and depositional sequences. No scale.

niveles margosos y con finos horizontes de carbonatos laminados (estromatolitos), que tradicionalmente ha sido denominada facies Röt. Esta unidad contiene localmente evaporitas: sulfatos (VIRGILI, 1958) o simplemente sus vestigios calcitizados (MARZO, 1980) en los Catalánides; sal y sulfatos, del orden de 50 m. de potencia, en los sondeos de la cuenca del Ebro (CASTILLO, 1974). En los afloramientos, es mucho más general la existencia de niveles de colapsobrechas.

Estas evaporitas y carbonatos asociados representan los primeros sedimentos de origen netamente marino del ciclo triásico, instalados sobre una llanura distal de lutitas rojas, que se desarrollan transgresivamente en la secuencia del Buntsandstein-Röt-Muschelkalk inferior (lutítico-evaporítico-carbonatada).

EVAPORITAS DEL MUSCHELKALK MEDIO

Entre los depósitos de arcillas y areniscas rojas que constituyen el Muschelkalk «medio», son frecuentes las intercalaciones de sulfatos (VIRGILI, 1958) en determinados sectores de los Catalánides. Arcillas rojas y margas versicolores con indicios de evaporitas, correspondientes a esta misma unidad, se presentan en el sector valenciano, Alto Maestrazgo, Sierra de Albarracín y, en general, en la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica. En sondeo se reconocen hasta 200 m. de sal y sulfatos en la Cuenca del Ebro (CASTILLO, 1974).

Estas evaporitas se generan en la interrupción principal de la sedimentación carbonatada del Muschelkalk, representando una situación regresiva, y se encajan entre sedimentos lutíticos y areniscas rojas.

EVAPORITAS DEL KEUPER INFERIOR

La serie evaporítica inferior (K1) del Keuper está bien desarrollada en el sector central valenciano. Esta serie se extiende ampliamente por la Cordillera Ibérica, Catalánides, sectores prebético y subbético, y probablemente también en el sector pirenaico, experimentando sus potencias cambios laterales muy importantes. Contiene masas salinas en todo el sector valenciano, y seguramente en todos los otros citados. La sal supera los 150 m. en la cuenca del Ebro (CASTILLO, 1974), aunque no hay criterios seguros para atribuirla a esta serie o bien a la del Keuper superior.

Esta serie se desarrolla al techo de los carbonatos del Muschelkalk superior y se encaja entre sedimentos lutíticos grises, propios de ambientes reductores. Representa, en principio, una situación marina regresiva, ligada a la secuencia deposicional del Muschelkalk su-

perior-Keuper inferior (carbonatado-evaporítica). Sin embargo, en algunos sectores estas evaporitas son ligeramente más expansivas que los carbonatos del Muschelkalk superior.

EVAPORITAS DEL KEUPER SUPERIOR

Presenta una distribución regional similar a la del Keuper inferior, siendo también rica en cloruros, en particular en el sector valenciano y Prebético oriental. En estas áreas se caracteriza por un horizonte rojo arcilloso-yesífero inferiormente (K4) y un potente paquete yesífero gris (K5) superiormente, y la misma situación parece repetirse en el subbético de Jaén. En los Catalánides el equivalente al paquete yesífero superior es todo un variado complejo de facies (SALVANY y ORTI, 1985). En los sondeos, la sal ha sido identificada en la cuenca de Valencia-Cuenca (SUAREZ *et al.*, 1985), donde llega a superar los 100 m. de potencia.

Esta serie pertenece a la secuencia deposicional del Keuper superior-Fm. Imón (evaporítico-carbonatada) y representa una situación transgresiva (expansiva) respecto a la serie del Keuper inferior, hecho que es claramente comprobable en el borde N de las Cordilleras Béticas («cobertera tabular»).

EVAPORITAS DEL (RHETO)-HETTANGIENSE

Los sulfatos de esta serie afloran puntualmente en el Alto Maestrazgo y en el Prebético oriental, y tienen probablemente equivalentes en el Prepirineo. En sondeo, potentes series de anhídrita («zona de anhídrita») se presentan en la cuenca de Valencia-Cuenca, superando los 700 m., y en la del Ebro, donde supera los 200 m. (CASTILLO, 1974). En los afloramientos de la Cordillera Ibérica los términos equivalentes a esta serie evaporítica están comprendidos en las «Carniolas» de la base del Lías (MORILLO y MELENDEZ, 1979).

Esta importante serie evaporítica, que se desarrolla al techo de la Fm. Imón en un encajante de carbonatos marinos, representa una nueva situación regresiva. Forma la parte basal de la secuencia deposicional de la «zona de anhídrita»-carbonatos marinos del Lías (evaporítico-carbonatada), perteneciente ya al ciclo sedimentario del Jurásico inferior.

OTROS HORIZONTES EVAPORÍTICOS

En general, las evaporitas del (Retho)-Hettangiense están separadas de las del Keuper superior por la unidad dolomítica conocida por

Fm. Imón (Noriense?). Localmente ésta puede faltar, como en el surco de Ledaña-Carcelén de la cuenca de Valencia-Cuenca (CASTILLO, 1974), haciéndose entonces más difícil la separación entre ambas series evaporíticas. En afloramiento es relativamente frecuente encontrar vestigios de evaporitas en esta unidad carbonatada, y en algunos sondeos de la cuenca del Ebro contiene anhidrita (CASTILLO, 1974, fig. 4).

Es también común que las dos unidades carbonatadas del Muschelkalk presenten sulfatos en las cubetas o surcos de fuerte carácter evaporítico.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS SERIES

El conjunto de las series evaporíticas que se acaba de describir ha sido dividido (ORTI, 1982-83) en dos categorías principales: *a*) evaporitas de relleno de cubeta, y *b*) evaporitas de episodio fuertemente expansivo. La primera categoría abarca a las evaporitas de fase regresiva: Muschelkalk medio, Keuper inferior y (Rheto)-Hettangiense. La segunda abarca a las del Keuper superior y, probablemente, también a las del Röt.

En el trabajo citado se atribuye unas características generales a cada categoría. Así, a las de relleno de cubeta: 1) la predominancia de litofacies sulfatadas laminadas; 2) el estar los depocentros ocupados por cloruro sódico; 3) la presencia de frecuentes intercalaciones carbonatadas entre los sulfatos laminados y 4) la generalización de los medios reductores; y para las de episodio fuertemente expansivo: 1) la predominancia de litofacies sulfatadas nodulares; 2) la generalización de los medios oxidantes, y 3) la rareza de las acumulaciones cloruradas.

Dos hechos imponen el hacer hoy algunas precisiones y modificaciones a estas características. En primer lugar, la observación directa realizada recientemente por el autor, de los testigos de algunos sondeos petroleros almacenados por ENIEPSA pertenecientes a la cuenca de Valencia-Cuenca. En segundo lugar, la revisión de las diagrfías de los sondeos correspondientes a dicha cuenca por SUAREZ *et al.*, 1985.

La figura 3 sintetiza el conocimiento de que disponemos actualmente de todas estas series evaporíticas. Como corresponde al conjunto del Trías y Lías, el esquema general refleja el carácter transgresivo hacia la Meseta (hacia el O). La sal se recoge principalmente

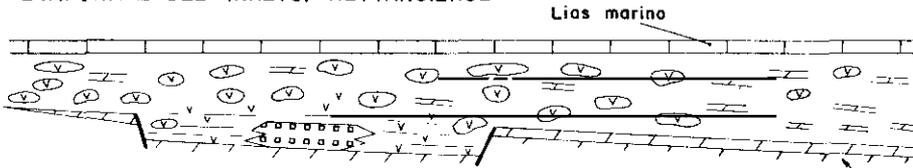
FIG. 3.—Esquema de distribución de facies para cada una de las series evaporíticas del Trías y Lías inferior, con indicación de la transgresión progresiva con el tiempo hacia el O.

Sketch of the facies distribution of the Triassic and Early Liassic evaporitic series, showing the progressive transgression towards the W.

W

E

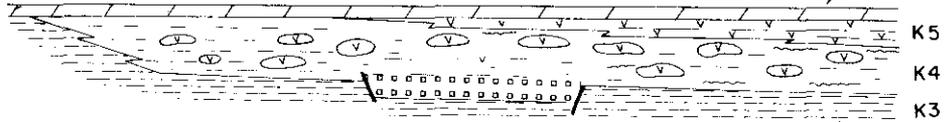
EVAPORITAS DEL (RHETO)- HETTANGIENSE



Lias marino

Fm. Imón

EVAPORITAS DEL KEUPER SUPERIOR



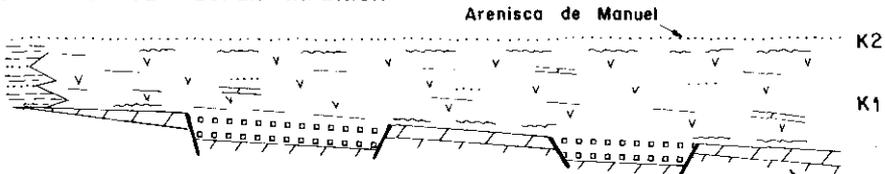
K5

K4

K3

Arcillas de Cofrentes

EVAPORITAS DEL KEUPER INFERIOR



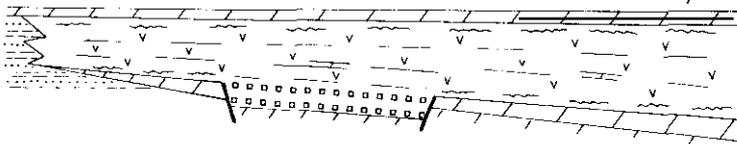
Arenisca de Manuel

K2

K1

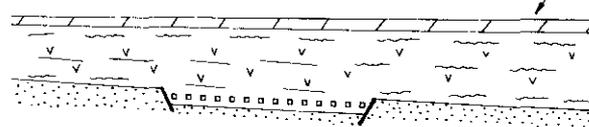
M. superior

EVAPORITAS DE M. MEDIO



M. inferior

EVAPORITAS DE LA FACIES RÖT



Bunfsandstein

.....
Cubetas halíticas

v v v
Cubetas, Lagoons y Salinas yesíferas

(v) (v) (v)
Sabkhas anhidríticas

~~~~~  
Estromatolitos hipersalinos

en cubetas de control estructural, favorecidas por la subsidencia. Los sulfatos son, predominantemente, o bien laminados o bien nodulares. Los niveles laminados de morfología algal, ya sea sulfatados o carbonatados, marcan los tránsitos entre situación evaporítica y no evaporítica, e igualmente marcan unas condiciones de cubeta muy someras para los sulfatos.

A continuación centraremos la exposición sobre las series más interesantes o mejor conocidas: las dos del Keuper y la del Liásico inferior. La serie Röt es muy poco conocida, debido a la gran escasez de afloramientos. La del Muschelkalk medio está bien desarrollada en los Catalánides y algunos datos litoestratigráficos y petrográficos de la misma se ofrecieron en ORTI y BAYO (1977). En lo esencial, es muy similar a la serie evaporítica del Keuper inferior.

## PARTICULARIDADES DEPOSICIONALES DE LAS EVAPORITAS DEL KEUPER

### GRANDES SECUENCIAS DEPOSICIONALES

La figura 4 sintetiza la serie tipo del Keuper en los grandes afloramientos de la zona central valenciana, que ha sido atribuida al Carniense (SOLE DE PORTA y ORTI, 1982). Esta serie, que está ampliamente distorsionada por el diapirismo (ORTI, 1981), participa de dos secuencias deposicionales separadas por el episodio detrítico de las Areniscas de Manuel (K2). La figura 5 esquematiza la progradación de medios asociados a estas secuencias, ya sea en regresión (secuencia del Muschelkalk superior-Keuper inferior) o en transgresión (secuencia del Keuper superior-Fm. Imón).

El sistema regresivo (fig. 5a) implica, primeramente, la restricción del medio carbonatado (M.s) y la implantación evaporítica generalizada (K1) y, a continuación, un avance de los medios fluviales (K2) y dilución final (K3). Globalmente, la sucesión de facies es la siguiente: base: a) carbonatos «más marinos»; b) carbonatos «regresivos»; c) estromatolitos; d) sulfatos laminados (y nodulares asociados); e) lutitas versicolores, con cuerpos arenosos y niveles carbonatados subordinados; f) techo: lutitas rojas. Los términos a) y b) corresponden a facies Muschelkalk, y han sido detallados para el caso de los Catalánides por CALVET *et al.* (1985). El c) corresponde al tránsito mismo a las evaporitas de la serie del Keuper inferior (K1). El término e), que es relativamente rico en *mudstones* y estromatolitos carbonatados, representa la destrucción del extenso cuerpo evaporítico anterior (K1; d) y la implantación de medios químicos más diluidos y discontinuos, propios de las zonas de intercanales.

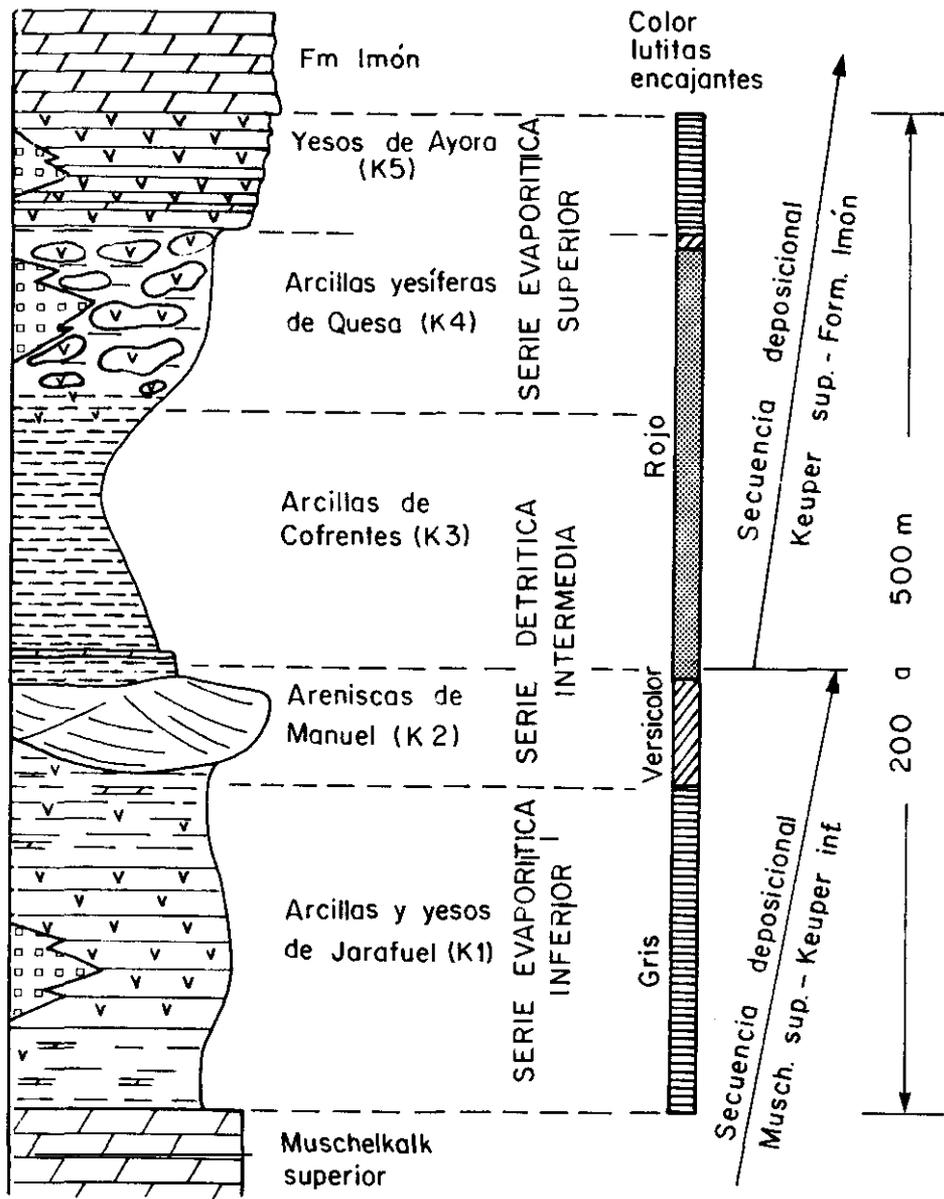


FIG. 4.—Corte tipo del Keuper en la zona central valenciana (modificado de una figura de ORTI CABO, 1982).

Type section of the Keuper in Central Valencia (after ORTI CABO, 1982, modified).

A su vez, el sistema transgresivo (fig. 5b) implica el avance de un frente evaporítico ordenado, de alimentación marina, sobre la llanura lutítica roja: primeramente una zona supramareal halítico-sulfatada (K4) y a continuación un lagoon evaporítico (yesífero carbonatado) (K5). Este frente precede a la invasión del medio marino carbonatado muy somero de la Fm. Imón.

Como puede verse en las figuras 3 y 5, la sal se acumula tanto en las cubetas y salinas de la fase regresiva, como en los medios evaporíticos de la fase transgresiva.

En aquellos puntos de la Península donde el carácter evaporítico del Keuper es pobre, el corte tipo descrito se reconoce en campo principalmente por la tonalidad de las lutitas encajantes: gris en la mitad inferior y roja en la parte superior (fig. 2). La intercalación de los detríticos (K2), justo en el tránsito entre ambas series, está generalizada en Valencia y en las Cordilleras Béticas, y tiene equivalentes piroclásticos en los Catalánides. Su significado es más geodinámico que climático (ORTI, 1982-83).

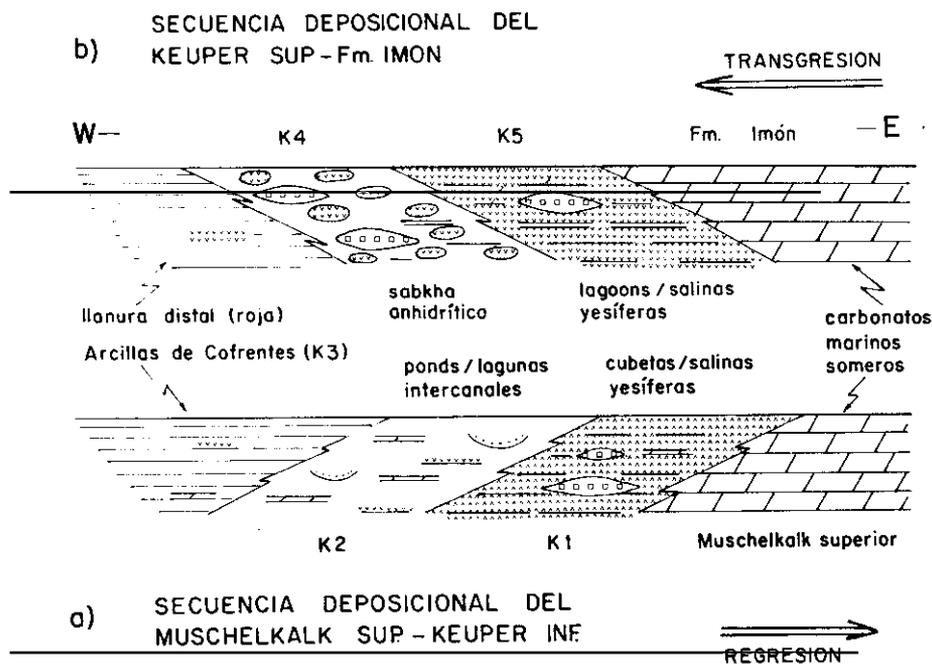


FIG. 5.—Esquema evolutivo de los medios sedimentarios ligados a las secuencias deposicionales del Keuper (modificado de la figura 4b de ORTI CABO, 1982-83).

*Evolutionary sketch of the sedimentary environments associated to the Keuper depositional sequences (after fig. 4b, ORTI CABO, 1982-83, modified).*

## ASPECTOS CONCRETOS DE LAS HALOSECUENCIAS

Tanto en su conjunto como en su detalle, las dos series evaporíticas del Keuper ilustran suficientemente los mecanismos generales de sedimentación evaporítica del Triás.

El estudio estratigráfico detallado de la evolución vertical y lateral de la unidad K1 en la zona oriental de la Cordillera Ibérica y Prebético oriental (ORTI, 1974, 1980, 1982, 1984), y en particular de su tránsito a la unidad K2, permite presentar un corte general, sintetizado en la figura 6, y que responde a un ciclo completo y simétrico de salinidad. En campo, y debido a los efectos de disolución de los cloruros y al diapirismo de los afloramientos, no es posible apreciar con detalle secuencias internas dentro de esta halosecuencia. Por el contrario, las diagrafías de sondeos han permitido (SUAREZ *et al.*, 1985, fig. 2) mostrar el carácter cíclico de la serie evaporítica inferior, dado por sucesiones de lutita-halita o por lutita-anhidrita-halita. Así pues, probablemente se trata de una halosecuencia de carácter simétrico (fig. 2), subdividida en ciclos internos de menor orden.

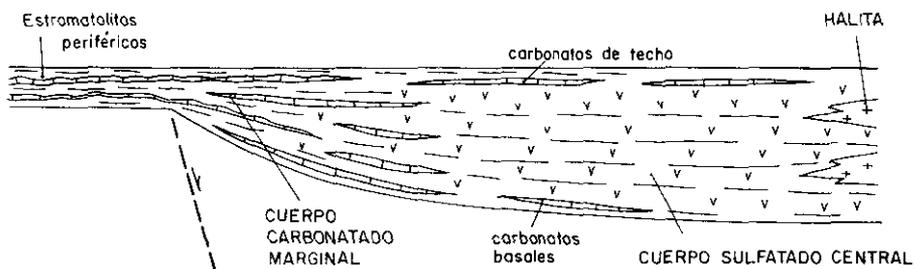


FIG. 6.—Esquema de distribución de facies en una cubeta evaporítica caracterizada por el dominio de sulfatos laminados (*Muschelkalk* medio; K1, K5). Los niveles carbonatados tienen frecuentemente morfología estromatolítica (modificado de la figura 2.63 de ORTI CABO, 1984).

*Sketch of the facies distribution in an evaporitic basin with prevalent laminated gypsum. (Middle Muschelkalk, k1, k5.) Carbonate levels have frequently stromatolitic morphology (modified after fig. 2.63, ORTI CABO, 1984).*

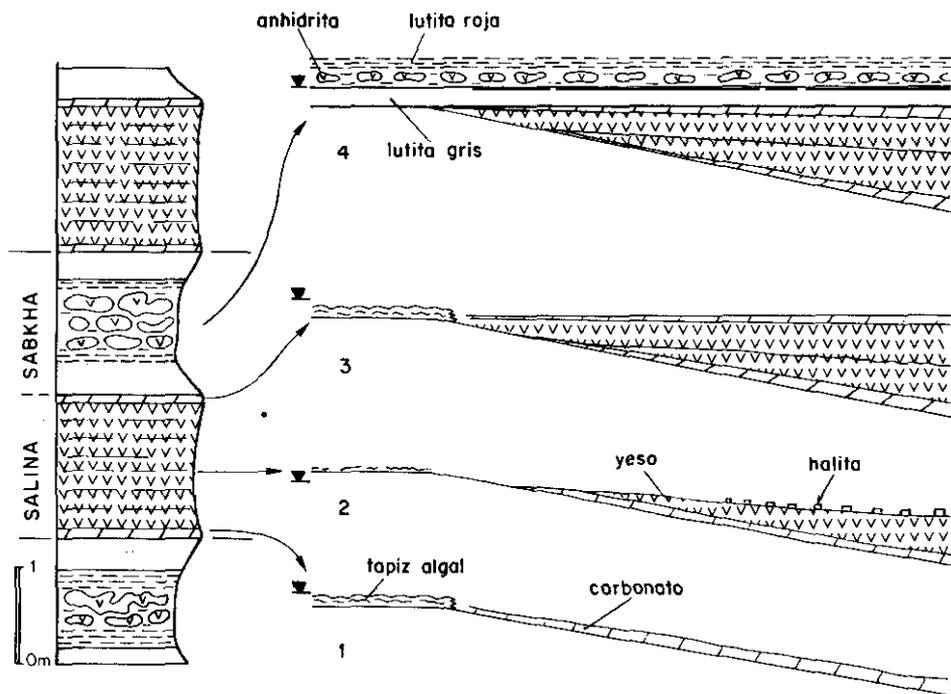
Un claro ejemplo del cambio lateral de todo el potente cuerpo sulfatado (o sulfatado-halítico) central hacia un delgado conjunto estromatolítico periférico se presenta en la Mesa de Prades, en los Catalánides (SALVANY y ORTI, 1985, corte de Gallicant), quedando reflejado en la figura 6. Por otro lado, es corriente el desarrollo de un dispositivo asimétrico del cuerpo sedimentario evaporítico referido, por la intervención de gradientes laterales de salinidad (ORTI, 1982-83, fig. 7).

Posibles equivalentes actuales del medio evaporítico esquematizado en la figura 6 son las salinas marítimas, con su sedimentación carbonatada, de materia orgánica, sulfatada y halítica (ORTI *et al.*, 1984), aunque la profundidad de aquellos medios pudo ser sensiblemente superior. Con esta idea les aplicaremos los términos salina, laguna o lago salado costero, o incluso lagoon evaporítico y cubeta, pero no el de lago-playa (*playa lake*), que implica un sistema endorreico, alimentado por aguas continentales. Ello no excluye, sin embargo, la posibilidad de que dichas salinas pudieran ser esporádicamente diluidas por aguas de origen continental.

Por lo que se refiere a la serie evaporítica superior del Keuper (K4, K5), cabe insistir, en primer lugar, en que la unidad K4 presenta litofacies nodulares de sulfatos entre lutitas rojas, estando las capas de yesos laminados muy subordinadas. A su vez, es mucho menos carbonatada que la unidad K1. Se trata de ambientes evaporíticos del tipo sabkha costera, con génesis de anhidrita intersticial en la zona vadoso-capilar.

Algunas puntualizaciones a este esquema pueden hacerse gracias a la revisión de diagráfias de sondeos de SUAREZ *et al.* (1985), antes referida, en la cuenca de Valencia-Cuenca. En primer lugar, la posibilidad de distinguir hasta tres horizontes dentro de la unidad K4: K4a, lutítico (-anhidritico); K4b, halítico (arcilloso-halítico); y K4c, anhidritico (-halítico), teniendo la base del K4a un contacto muy neto con la unidad K3, y el techo del conjunto un tránsito gradual a los sulfatos de la unidad K5. Con esta interpretación se atribuye al Keuper superior (K4-K5) la sal que CASTILLO (1974, fig. 5) había atribuido a la parte basal de la zona de anhidrita. Esta atribución, de hecho, ya había sido considerada como más plausible por el presente autor (ORTI, 1980; 1982-83, fig. 5).

De este modo, la acumulación halítica se sitúa en la base de la secuencia deposicional del Keuper superior-Fm. Imón, en las sabkhas de la unidad K4 y en menor grado en las salinas de la K5, resultando ser un ciclo evaporítico asimétrico halodecreciente. La figura 2 de SUAREZ *et al.* (1985) muestra que esta sal alterna con lutitas, definiendo pequeños ciclos. Este es, en efecto, el aspecto de mucha de la sal que llega a aflorar en la zona valenciana (Minglanilla, domo de Pinoso, y domo de La Rosa, en Jumilla) o que muestran los sondeos del domo de Pinoso (ORTI y PUEYO, 1983): bandas de halita con juntas de estrato, o incluso capas, arcillosas rojas y grises. La citada figura muestra igualmente la gradación perfecta del paso de la sal K4b a los sulfatos superiores, ya sea los K4c o los de la unidad K5. El paso de estos últimos a los carbonatos de la Fm. Imón («Suprakeuper») se define igualmente como gradual.



CICLO SABKHA-SALINA  
DEL KEUPER INFERIOR

FIG. 7.—Detalle de una alternancia de sulfatos laminados y nodulares, e interpretación sedimentológica. Explicación en el texto de las fases implicadas en los ciclos de salina-sabkha.

Detail of an alternance of laminated gypsum and nodular gypsum, and the sedimentologic interpretation. See text for the description of the phases implicated in the salina-sabkha cycles.

#### CICLOS DE SALINA-SABKHA

En detalle, y siempre según los puntos de estudio, las unidades de litofacies sulfatadas predominantemente laminadas (K1, K5) presentan tramos nodulosos. Estos suelen encajarse entre las capas lutíticas que alternan con las de yeso. La figura 7 muestra uno de los tipos de alternancias que llegan a establecerse, y que implica ciclos de «salina-sabkha». El funcionamiento idealizado de estos ciclos es el siguiente: durante la fase de desarrollo y estabilización del cuerpo de agua evaporítico (subaéreo) se suceden de un modo simétrico la sedimentación carbonatada, yesífera y halítica (etapas 1, 2 y 3): es la fase de salina o cubeta. A ésta le sucede otra de inundación y dilución del medio químico por sedimentos lutíticos: fase sabkha (etapa 4). Las

tonalidades rojas de la parte central del paquete lutítico indican el máximo de exposición subaérea, asociadamente a lo cual llega a generarse sulfatos (anhidrita) en la zona vadoso-capilar, por el mecanismo de bombeo evaporítico de las aguas intersticiales. Otras veces la fase sabkha no implica coloración rojiza de las lutitas encajantes, o bien los sulfatos nodulosos llegan a desarrollarse incluso en el seno de los laminados. En la mayoría de los casos no queda registro fósil de la sal en estos ciclos. El contenido en materia orgánica (algal) de los sulfatos y de sus niveles lutíticos grises encajantes puede ser alto.

#### BREVE REFERENCIA A LAS SERIES EVAPORÍTICAS DEL KEUPER EN OTRAS CUENCAS

Las dos series evaporíticas del Keuper descritas están presentes en muchas de las cuencas centro-europeas, donde a su vez quedan separadas por el episodio detrítico del Keuper medio. En SOLE DE PORTA y ORTI (1982) se ofrece la nomenclatura de estas series en las diferentes cuencas. En general, siempre se cumple que la serie inferior es mucho más rica en evaporitas y en sal que la superior, y en algunas cuencas llega a ser claramente expansiva sobre el Muschelkalk. La serie superior, que suele estar compuesta por «arcillas abigarradas yesíferas», puede mostrar un comportamiento aún mucho más expansivo que la inferior. Como en España, la rareza o incluso ausencia de niveles potásicos es lo normal, y alguna reflexión al respecto se ha ofrecido en ORTI y PUEYO (1983).

En el N de Africa, en general, no es posible la distinción entre dos series evaporíticas del Keuper, aunque el carácter evaporítico y salífero es dominante en muchos puntos de Marruecos, Argelia, Libia y Túnez. En la plataforma sahariana las acumulaciones de sal y anhidrita triásica son del orden de los 1.000 m. La potasa únicamente es explotada en algunas pequeñas cuencas del O de Marruecos.

#### PARTICULARIDADES DEPOSICIONALES DE LAS EVAPORITAS DEL LIASICO INFERIOR

##### CUENCA DE VALENCIA-CUENCA

Todos los testigos reconocidos por el autor que cortan la potente zona de anhidrita en el surco más subsidente de la cuenca de Valencia-Cuenca (Carcelén-1 y Jaraco-1; Perenchiza-1), muestran litofacies nodulares de la anhidrita desarrolladas en un encajante micrítico laminado dolomitizado, en el que crecen cristales de anhidrita de hasta varios milímetros. Las litofacies laminadas en estas anhidritas, así

como los niveles halíticos registrados en las diagramas, son prácticamente inexistentes. A pesar de que los testigos que se conservan son relativamente pocos, las litofacies nodulares parecen ser las más representativas de la serie evaporítica del (Reto)-Hettangiense en todo el depocentro de la cubeta.

Una situación similar se presenta para las litofacies de las potentes series anhidríticas del Cretácico superior de la Serranía de Cuenca y de la cuenca de Valencia-Cuenca cortadas por sondeos (MELENDEZ, 1975), y presumiblemente se repetirá para las series anhidríticas de todo el Jurásico en esos mismos sondeos (MORILLO y MELENDEZ, 1979). Al menos esto es válido para un testigo observado por el autor en la «zona de anhidrita» del sondeo Carcelén-1, colocado estratigráficamente por encima de un potente paquete calizo con fauna marina atribuido al Lías «medio».

Según esto, cabe concluir que, probablemente, el ambiente deposicional dominante para las evaporitas encajadas en los carbonatos marinos someros del Mesozoico de la Cordillera Ibérica es la sabkha. En los sectores referidos, la génesis de sulfatos en posición intersticial contrarresta ritmos de subsidencia muy importantes, como sugieren los más de 700 m. acumulados en la zona de anhidrita del surco de Ledaña-Carcelén (CASTILLO, 1974).

Una característica muy interesante de la serie evaporítica del (Reto)-Hettangiense es la pobreza en cloruro sódico, siendo enorme su desproporción respecto al sulfato cálcico, al igual que ocurre en la cuenca del Ebro. Esta característica se repite claramente para las restantes series evaporíticas, predominantemente anhidríticas, del Jurásico y Cretácico de la Serranía de Cuenca y cuenca de Valencia-Cuenca. Elevada razón de subsidencia y reflujos de las salmueras densas hacia el mar abierto parecen ser, pues, los hechos más destacables de las sabkhas evaporíticas en medio marino carbonatado del Mesozoico de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica.

Respecto a la traza y a la ciclicidad interna de la halosecuencia en la zona de anhidrita, no hay por el momento suficientes datos para proponer un esquema concreto. La figura 5 de CASTILLO (1974) muestra un tránsito superior muy gradual de la zona de anhidrita a los carbonatos marinos del Lías «medio a superior», lo que sugiere una secuencia ligeramente halodecreciente.

#### BREVE REFERENCIA A LA SERIE EVAPORÍTICA DEL LÍAS INFERIOR EN OTRAS CUENCAS

Como ya se ha dicho, esta serie supera los 200 m. de potencia en la cuenca del Ebro, presentando allí características muy similares a las de la cuenca de Valencia-Cuenca.

Por lo que se refiere a la Rama aragonesa de la Cordillera Ibérica, GINER (1980) ha expuesto las relaciones genéticas existentes entre estas evaporitas y: *a*) las «carniolas»; *b*) los carbonatos marinos del Lías inferior, y *c*) las brechas sedimentarias desarrolladas en el sector de enlace con los Catalánides. Según dicho autor, las brechas sedimentarias ocupan una franja intermedia entre las evaporitas, situadas al N, y las carniolas, situadas más al S.

La serie evaporítica del (Rhetó)-Hettangiense más directamente comparable con la de la Península Ibérica es la de la cuenca de Aquitania (STEVAUX y WINNOCK, 1974), donde alcanza más de 800 m. de potencia, siendo muy pobre en arcillas. Está separada del Keuper superior por la Dolomía de Carcans (equivalente a la Fm. Imón de la Península Ibérica). Esta potente zona de anhidrita se organiza en tres grandes megaciclos que van repitiendo esta secuencia elemental: dolomía-dolomía anhidrítica-sal, que ha sido interpretada como de ambiente inter-supramareal (BOUROULLEC, 1980). Las capas de sal varían entre 1 y 15 m. de potencia. Todo el Lías inferior es considerado en esta cuenca como una secuencia deposicional simétrica y con distribución de facies concéntrica: carbonatos oolíticos, calizas algales, dolomías laminadas, secuencias de dolomía-anhidrita, secuencias de dolomía-anhidrita-sal, secuencias de anhidrita y sal, y viceversa. Recientemente CURNELLE (1983) ha sintetizado los datos referentes a esta serie evaporítica en la cuenca de Aquitania.

En la plataforma sahariana, y por encima del horizonte «B» dolomítico que corona las evaporitas del Triásico, se desarrolla (BUSSON, 1972) una importante serie evaporítica, del orden de 1.000 m., que según los puntos contiene sólo anhidrita o bien varios horizontes de anhidrita y sal. Esta serie liásica se prolonga hasta el Dogger inferior, y es comparable a nuestra zona de anhidrita.

## ORIGEN MARINO DE LAS SERIES EVAPORITICAS

Tal y como muestran las secuencias deposicionales principales (figura 2), existe una íntima relación entre episodios carbonatados marinos y episodios evaporíticos en el Triás y Lías inferior, pudiéndose afirmar que las series evaporíticas se comportan como envolventes de las carbonatadas, independientemente del mecanismo regresivo o transgresivo de cada secuencia. No hay duda, en este sentido, de que las salmueras productoras de estos depósitos son de origen oceánico (BUSSON, 1982). Esta larga sucesión de episodios carbonatados y evaporíticos sobre los detríticos basales (Triás de tipo germánico) caracteriza el avance hacia el O del océano en toda una amplia zona de la franja occidental circum-Tethys. En otras zonas, o bien predominan

los episodios evaporíticos (Triás de tipo «sahariano» o «atlántico») o bien los carbonatos (Triás alpino). En la Península Ibérica, tanto los episodios evaporíticos como los carbonatados del Triásico tienen equivalentes laterales detríticos hacia el continente. Hacia el océano, estas evaporitas podrían tener sus equivalentes carbonatados en las series de tipo alpino, o bien podrían estar representadas por discontinuidades u otro tipo de evento sedimentológico.

En algunos puntos de los Catalánides los sulfatos triásicos desarrollan (SALVANY y ORTI, 1985) estructuras sedimentarias que sugieren una clara influencia marina. La serie evaporítica inferior («unidad gris basal») muestra, en la cantera de Espinagosa, estructuras de *linsen* y *wavy ripples* propios de llanura mareal, perfectamente preservados en los sulfatos, así como niveles de acumulación de gasterópodos de probable origen de tormenta. La serie evaporítica superior («unidad roja intermedia») presenta en la cantera de Corbera un horizonte carbonatado discontinuo, constituido por oolitos. Por otro lado, la abundancia generalizada de estromatolitos en ambas series evaporíticas del Keuper, así como en el Muschelkalk medio y el Röt, y no sólo en Catalánides sino en toda la gran zona considerada en este artículo, sugiere igualmente la omnipresencia de los medios de transición.

Frente a otras formaciones sulfatadas de origen marino pero del tipo «cuenca», las litofacies laminadas (conservadas siempre como anhidrita o yeso secundario) de las series evaporíticas triásicas, se caracterizan por la rareza de pseudomorfos de cristales de yeso primario selenítico, es decir, del orden de pocos milímetros o de centímetros. Esta característica parece ser válida no sólo para la Península Ibérica, sino para otras amplias zonas geográficas. La causa puede radicar en la paleogeografía de extensos lagos salados y salinas instaladas sobre una amplia plataforma de muy fácil acceso marino: dilución repetitiva y efectos de precipitación rápida por mezclas de salmueras han debido impedir el desarrollo de capas seleníticas. El reciente hallazgo de tales pseudomorfos en el sondeo de Carcelén-1 (ORTI *et al.*, en prep.) constituye una excepción.

Por lo que se refiere a las paragénesis de los cloruros, los escasos yacimientos potásicos (silvinita, carnalita, polihalita) repartidos por Francia y Marruecos, así como los indicios existentes en los sondeos de la plataforma sahariana (BUSSON, 1972), aseguran su origen oceánico.

Las evidencias geoquímicas son bastante definitivas. En primer lugar, los contenidos en Br y K de los cloruros. En un artículo reciente (ORTI y PUEYO, 1983) se han mostrado los contenidos típicamente marinos (entre 70 y 150, con un promedio de 105 ppm de Br, y entre 100 y 450 ppm de K) de la sal triásica de los sondeos del

domo de Pinoso (Alicante). A fines comparativos, digamos que para la sal triásica de la cuenca de Lorena se reconocen los siguientes contenidos en Br y en K de sus niveles halíticos: para el Keuper (GEISLER, 1979) entre 80 y 200 ppm de Br, y entre 50 y 600 ppm de K, que indican un origen marino primario; para el Muschelkalk medio (GEISLER, 1982-83), entre 30 y 70 ppm de Br, que indican disolución sinsedimentaria de halita marina y su reprecipitación en una salmuera empobrecida en Br.

Otra línea de trabajo se centra en los contenidos en Sr de los sulfatos. Los valores ofrecidos por el yeso primario de las salinas marítimas actuales oscilan entre 500 y 2.500 ppm, según las facies (ORTI *et al.*, 1984). Los resultados preliminares obtenidos en muestras de yeso secundario de los Catalánides (SALVANY y ORTI, 1985) ofrecen valores relativamente homogéneos, comprendidos entre 400 y 600 ppm Sr, en promedio. Sin embargo, los contenidos en Sr de anhidritas triásicas y del (Retho)-Hettangiense en los sondeos cedidos por ENIEPSA para el presente artículo, son sensiblemente mayores, más típicos de las anhidritas marinas, e igualmente, sus razones isotópicas para el S indican su origen netamente marino (ORTI *et al.*, en prep.).

## AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a ENIEPSA por la autorización concedida para revisar los testigos litológicos de los sondeos Carcelén-1, Jaraco-1 y Perenchiza-1.

## BIBLIOGRAFIA

- BOUROLLEC, J. (1979): «Etude séquentielle du toit de la série évaporitique du Lias inférieur dans un puit du bassin aquitain (Auch 1), France du Sud-Ouest». *Dépôts évaporitiques. Illustration et interprétations de quelques séquences*. Editions Technip.
- BUSSON, G. (1972): «Principles, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien». *Mém. Mus. Nat. d'Hist. Nat.*, nouv. série, t. 26, 441 pp.
- BUSSON, G. (1982): «Le Trias comme période salifère». *Geol. Rundschau*, 71, pp. 857-880.
- CALVET, F., y RAMÓN, X. (1985): «Estratigrafía, sedimentología y diagénesis del Muschelkalk inferior de los Catalánides». *Cuadernos de Geol. Iber.*, 11.
- CALVET, F.; MARCH, M., y PEDROSA, A. (1985): «Estratigrafía, sedimentología y diagénesis del Muschelkalk superior de los Catalánides». *Cuadernos de Geol. Iber.*, 11.
- CASTILLO HERRADOR, F. (1974): «Le Trias évaporitique des bassins de la Vallée de l'Ebre et de Cuenca». *Bull. Soc. Géol. France*, 7e sér., 16 (6), pp. 666-675.

- CURNELLE, R. (1983): «Evolution structuro-sédimentaire du Trias et de l'Infra-Lias d'Aquitaine». *Bull. Centres Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine*, 7 (1), pp. 69-99.
- GARRIDO MEGÍAS, A., y VILLENA MORALES, J. (1977): «El Triás germánico en España: paleogeografía y estudio secuencial». *Cuadernos de Geol. Ibérica*, 4, pp. 37-56.
- GEISLER, D. (1979): «Problèmes posés par la géochimie du brome dans les niveaux salifères du Keuper inférieur lorrain». *Sciences de la Terre*, 23 (2), pp. 23-28.
- GEISLER, D. (1982-83): «Muschelkalk moyen de Lorraine. Données géométriques, sédimentologiques et géochimiques». *Sciences de la Terre*, t. 25 (2): pp. 71-91.
- GIL, A.; FERNÁNDEZ, J., y LÓPEZ-GARRIDO, A. C. (1985): «Evolución de facies en el Triás de la zona prebética y borde de Meseta. Transversal Orcera-Puente Genave (prov. Jaén)». *Cuadernos de Geol. Ibér.*, 11.
- GINER, J. (1978): «Origen y significado de las brechas del Lías de la Mesa de Prades (Tarragona)». *Estudios Geológicos*, 34, pp. 529-533.
- GINER, J. (1980): *Estudio sedimentológico y diagenético de las formaciones carbonatadas del Jurásico de los Catalánides, Maestrazgo y rama aragonesa de la Cordillera Ibérica (sector oriental)*. Tesis doctoral, Universidad de Barcelona, 315 pp.
- JURADO, M.ª J. (1985): «Aportación al conocimiento del sustrato triásico de la Cuenca del Ebro». *II Col. Est. y Paleo. Pér. y Triás. España*, Seo de Urgel, Libro Resúmenes, 66-67.
- MARZO CARPIO, M. (1980): *El Buntsandstein de los Catalánides. Estratigrafía y procesos de sedimentación*. Tesis doctoral, Universidad de Barcelona.
- MARZO, M.; CALVET, F.; ORTÍ, F., y SOLÉ DE PORTA, N. (1985): «Evolución sedimentaria del ciclo triásico de los Catalánides», 11.
- MELÉNDEZ HEVIA, F. (1975): «Correlación del Cretácico de la Serranía de Cuenca con el sondeo Villanueva de los Escudos-I (Cuenca)». I Symposium sobre el Cretácico de la Cordillera Ibérica. Reunión de campo sobre el Cretácico de la Serranía de Cuenca; Cuenca 9-12 Sept. 1974. G. E. M., Caja Ahor. Prov. Cuenca (edit.), pp. 85-97.
- MORILLO VELARDE, M.ª J., y MELÉNDEZ HEVIA, F. (1979): «El Jurásico de la Alcarria, La Mancha». *Cuadernos de Geología*, 10, pp. 149-166.
- ORTÍ CABO, F. (1974): «El Keuper del Levante español». *Estudios Geológicos*, 30, pp. 87-151.
- ORTÍ CABO, F. (1980): «Sedimentología del Triásico superior». In: *Síntesis sedimentológica del Triásico y Jurásico de las Hojas a escala 1:200.000 de Liria y Valencia*. IGME/CGS, 1980, informe inédito.
- ORTÍ CABO, F. (1981): «Diapirismo de materiales triásicos y estructuras de zócalo, en el sector central valenciano (España)». *Estudios Geológicos*, 37, pp. 245-256.
- ORTÍ CABO, F. (1982): «Sedimentología del Triásico superior». In: *Síntesis sedimentológica de la Hoja 1:200.000 de Teruel*, IGME/CGS, 1982, informe inédito.
- ORTÍ CABO, F. (1982-83): «Sur les conditions de dépôt, la diagenèse et la structure des évaporites triasiques dans l'Est de l'Espagne». *Sciences de la Terre*, 25 (2), pp. 179-199.
- ORTÍ CABO, F. (1984): «Sedimentología del Triásico superior». In: *Síntesis sedimentológica de las Hojas a escala 1:200.000 de Vinaroz, Hospitalet de Llobregat, Tarragona y Tortosa*. IGME/INYPSA, 1984, informe inédito.
- ORTÍ CABO, F., y BAYÓ DALMAU, A. (1977): «Características litoestratigráficas del Triásico medio y superior en el Baix Ebre (Tarragona, España)». *Cuadernos de Geol. Ibér.*, 4, pp. 223-238.

- ORTÍ CABO, F., y PUEYO MUR, J. J. (1983): «Origen marino de la sal triásica del domo de Pinoso (Alicante, España)». *Acta Geológica Hispánica*, 18 (2), pp. 139-145.
- ORTÍ CABO, F.; PUEYO MUR, J. J.; GEISLER-CUSSEY, D., y DULAU, N. (1984): «Evaporitic sedimentation in the coastal salinas of Santa Pola (Alicante, Spain)». *Rev. d'Inv. Geol.*, v. 38-39, pp. 169-220.
- ORTÍ CABO, F., et al. (en preparación): «Petrología, geoquímica e isotopía de las evaporitas triásicas y liásicas de algunos sondeos profundos en las cuencas de Valencia-Cuenca y del Ebro».
- SALVANY, J. M., y ORTÍ CABO, F. (1985): «El Keuper de los Catalánides». *Cuadernos de Geol. Ibér.*, 11.
- SOLÉ DE PORTA, N., y ORTÍ CABO, F. (1982): «Primeros datos cronoestratigráficos de las series evaporíticas del Triásico superior de Valencia (España)». *Acta Geológica Hispánica*, 17 (3), pp. 185-194.
- STEVANUX, J., y WINNOCK, E. (1974): «Les bassins du Trias et du Lias inférieur d'Aquitaine et leurs épisodes évaporitiques». *Bull. Soc. Géol. France*, 7.<sup>e</sup> sér., 16, pp. 679-695.
- SUÁREZ, J.; LERET, G., y MARTÍNEZ DEL OLMO, W. (1985): «Keuper evaporitic sequence, from SE Spain». 6th European Regional Meeting of Sedimentology, IAS, Lérida (Spain), April 1985». *Abstracts book*, pp. 447-450.
- VIRGILI, C. (1958): «El Triásico de los Catalánides». *Bol. Inst. Geol. Min. España*, 59, 856 pp.