

Cuadernos Geología Ibérica	Vol. 11	Págs. 815-826	Madrid, 1987
----------------------------	---------	---------------	--------------

BIO-STRATIGRAPHY AND CORRELATION OF THE MARINE TRIASSIC OF THE SEPHARADIC PROVINCE

POR
FRANCIS HIRSCH

ABSTRACT

Data in the field of Ammonoid Standard Zonation, Conodont zonation and Palynomorph zonation allow a more accurate correlation of sepharadic biozones with standard zonations in the Alps and Circum-mediterranean areas.

RESUMEN

Nuevos datos sobre la zonation de los ammonoides, tanto como de los conodontos y microfloras permiten una correlación más fiable de las zonas bio-estratigráficas sefarditas con las zonas estandarizadas de los Alpes y las regiones circunmediterráneas.

INTRODUCTION

Outgoing from the last colloquium on Permian and Triassic of the Iberic Peninsula held in 1976 and the data available to that date this short review emphasizes the bio-zonal subdivision of the Middle Triassic marine events that occurred in the Iberic Peninsula as a part of the Sepharadic Province and correlation with the Standard Zonation of the Tethys.

STRATIGRAPHIC OUTLINE OF THE TRIASSIC OF THE MEDITERRANEAN REGION

SUBSTRATUM

The Mediterranean region can be subdivided in a Western subregion, where the entire Permian is represented by continental deposits and in an Eastern subregion (East of Tunisia) where marine Late Permian underlies the Triassic. The marine Lower Triassic distribution (Scythian) inherited that Late Permian palaeogeographic frame.

Upper Permian (Djulfian) is generally dated in the Mediterranean region by Fusulinids (Foraminifera) like the genus *Codonofusiella*. Ostracode genus *Sargentina* and palinomorph forms like *Lueckisporites virkiae* and further markers of the Upper Permian (DERIN and GERRY, 1981; ESHET, 1983).

PERMIAN-TRIASSIC BOUNDARY

The boundary marine Permian and marine Scythian in the Mediterranean region is generally unconform or marked merely by an hiatus. The limit between Djulfian and Scythian being however the matter of an agreement based on cephalopod biozonation, it is so far accepted that the lowermost level of the Scythian is that of *Otoceras woodwardi*. This ammonoid, however, is not found in the Mediterranean region. The lowermost Scythian evidence is found in the lower part of the Seis Formation in Northern Italy where the *Isarcicella isarcicus* conodont-zone occurs. It correlates the Early Upper Griesbachian *Ophiceras* and *Gyronites* beds in Iran. The characteristic Scythian bivalve *Claraia*, is found throughout the entire marine Scythian of the Mediterranean region, which is developed in the «Werfen» type facies without any marked differentiation between Eurasian and Gondwanian margins.

The Mesozoic Neothethys was not initiated before the Uppermost Scythian and started as a discrete sea-way of Hallstatt-type sediments in the Aegean region.

Rifting and the penetration of narrow pelagic sea-ways during the Middle Triassic reach as far as the Tyrrhenian region. The Southern Tethyan «Sephadaric» margin remained an epicontinental shelf of «Muschelkalk» facies extending from the Levant to the Western Mediterranean areas of the Betic, Iberic, Catalanian, Apulian and Sardo-Provencal regions. During the early Upper Triassic increasing shallowing of both sephadaric and tethyan realms facilitated in the first stage a maximal extension of sephadaric faunal elements, followed in a second stage by the Middle Carnian salinity crisis, that put an end to the sephadaric realm.

FACIES — TERMINOLOGY

The three basic series «Bunter» (B), «Muschelkalk» (Mk) and «Keuper» (K), Alberti's «Triassic», are primarily facies types.

In the Western Mediterranean the trilogy is now used without chronostratigraphical meaning. Its lithostratigraphic subdivisions (VIRGILI, 1958), are recognized to be heterochronous (VIRGILI *et al.*, 1977). The Lower and Upper «Muschelkalk» are ingressions separating «Bunt» and «Keuper» facies once or twice sometimes between Middle Anisian and Early Karnian.

Formation-names were introduced facilitating the distinction between lithostratigraphic unit of similar facies but of different age.

Under the term Mediterranean Triassic MOJSISOVICS (1882) comprised all the deposits containing «Tethyan» cephalopods. After one century of research the term «mediterranean» became limited by VIRGILI *et al.* (1977) to the epicontinental slightly pelagic deposits found in Eastern Spain and the Balearic islands.

The Triassic times are thus the theatre of the initial phase of opening of the Mesozoic Tethys and the succession of diachronic epicontinental facies types on both Tethyan margins.

Clastic facies — The *Bunter* consists of fluvial to marine conglomerates, sandstones, shales, cross-bedded horizons, bearing wood-remains, crustaceans, reptiles, etc... deposited as the result of the denudation and destruction of the Hercynian orogeny. The *Nubia* Sandstone is the result of a continuous alternation of transgression — regression since Early Cambrian — Triassic tectonically peaceful Arabo-Nubian Craton and other African and Gondwanian equivalents. The *Werfen* type facies, consists of marine sandstones with plant remains, shales, marls and marly limestone yielding a characteristic fauna of bivalves (*Claraia*, *Anodontophora* and *Costatoria*) and conodonts (*Pachucladina*, *Hadrodontina*, *Isarcicella*, *Plativillosus*). The age of the formations belonging to the Werfen-type facies range from Early Scythian (Griesbachian) to Early Anisian (Anatolian or Aegean).

Carbonatic facies — The Muschelkalk-type facies consists principally of fossiliferous limestones, calcaires «vermiculés», stromatolithic limestones, crinoid-limestones, marls, minor shales, occasionally sandstones with plant-remains and reptile-bones, shales and lithographic limestone with fish-remains, and occasionally gypsum intercallations. The very characteristic bivalve — and ammonoid-associations are probably related to the slightly hypersaline environment prevailing in the very large shallow epicontinental seas of the Sepharadic Realm. Similar highly endemic faunal associations are found in the facially similar Muschelkalk of the Germanic Realm. In both realms endemic

conodonts, ammonites and bivalves are dominant. The Sepharadic realm was not separated physically from the open Tethys (Sephardische Randsee sensu TOLLMANN, 1985), in contrast to the Polish-German Germanic Muschelkalk sea that communicated with the Tethys by a single narrow passage only. Characteristic taxa of the sepharadic Muschelkalk facies are the conodonts *Pseudofurnishius murcianus* and *Epigondolella mungoensis*, the ammonoid genera *Gevanites*, *Israelites*, *Iberites* and species *Protrachyceras hispanicum*, and numerous bivalves. Tethyan taxa penetrated sporadically. The rather rare occurrence in the sepharadic and germanic Muschelkalk facies of *Dasycladaceae* (green algae), abundant in the shallow facies of the Tethys, testimony of the transgressive, onlapping and instabile character of the Muschelkalk facies.

Evaporitic Facies — Occuring during transgressive phases (top of Bunter) it is however more characteristic of regressive interludes (Tramo rojo intermedio, middle and upper Saharonim Formation) as well as the mayor regression that succeeded during the Karnian (the regressive facies types of Keuper and Raibl type). The Middle Karnian pan-mediterranean eustatic sea-level drop — Karnian salinity crisis — has affected all epicontinental regions of the Mediterranean, and put an end to the sepharadic faunal associations. Under *Keuper* type facies one understands next to abundant evaporites, sandstones and dolomites, marls and some shales with monospecific shallow-water hypersaline or brackish bivalve and ostracode fauna. Similar in some aspects the *Raibl*-type facies consists of evaporites, sandstones, plant-bearing shales, marls and recurrences of genuine Muschelkalk-type limestones with some sepharadic taxa (e. g., the ostracods *Reubenella*, *Simeonella* and possibly the condont *Pseudofurnishius*).

Totally different, and confining the Upper Triassic Nubian areas are the huge North-African Salt deposits.

REEF FACIES

The Late Middle and Upper Triassic epicontinental seas of the vicinity of the Tethyan seaways, are the theater of bank and reef facies, characterised by Wetterstein-Dachstein-type facies and Schlern (Sciliar)-Hauptdolomite-type facies. The former indicating reef-upbuilding with reef-core, fore-and backreef zones, consisting primarily of coralligenous and algal limestones, megalodont-bivalves and gastropods (*Worthenia*). The later indicates shelflagoon banks and backreef-lagoon with primary and secondary dolomite, stromatolithes, algae, foraminifera. This facies is rare in the sepharadic realm (e.g. Prades, Alpujarrides, Shefayim).

CYCLES

Unconformities, transgressions and regressions characterise the heterochrony of the successive and/or parallel depositions of the «Muschelkalk» type — facies in the Mediterranean region from Arabia to North-Eastern Spain and Southern France.

Four regional sedimentary cycles are recognized in the Mediterranean Region (DRUCKMAN, HIRSCH and WEISSBROD, 1982).

The Werfenian facies onlap on the Upper Permian starts during the Lower or Upper Scythian and terminates during the Early Anisian (I); the Muschelkalk facies starting during the Anisian and ending Ladinian (II); the Muschelkalk facies starting in Late Anisian, Early or Late Ladinian to Early Karnian ending with an evaporitic crisis during the Middle Karnian (III). Hauptdolomite type facies starting in the Late Karnian, ending with emersion during Rhaetian to Early Liassic (IV).

Where the Upper Permian is present, the unconformity of the Scythian onlap has not left markable traces, but the gap in faunal record clearly puts such unconformity in evidence. The nature of the Early Triassic transgression is indicated by the overall rather clastic nature of the Werfenian facies and its carbonate intercallations. Minor regressions and as well as the shifting of the deltaic structures further characterise the deposition of the Early Triassic in the Eastern Half of the Mediterranean Region. The first cycle is absent in the Western Mediterranean-West of Tunisia. There continental Bunter-facies prevails.

The transgression of the second cycle submerges new regions, where until now no marine Triassic deposition took place. This occurred in different steps and the inundations were of different length. In the Levant and north western corner of the sepharadic province (Catalonia), it started as soon as the Early Upper Anisian (Pelsonian), but the transgression of the second cycle ended in the levantine part of the sepharadic realm (Negev) at the end of the Pelsonian, whereas in Catalonia (Olesa) it seems to have lasted till the end of the Illyrian. Continuous sedimentation from Scythian through Anisian is found in the early seaway of the Neo-Tethys at Chios and in the Kocaeli Peninsula.

The transgressive onlap of the third cycle starting from the Late Anisian in the Levantine region, was very short in Tunisia (G. Rehach) (Late Anisian) and reached the Western Mediterranean in the current of the Ladinian. In certain areas of the african-arabian platform its presence is not noticed before the end of the Ladinian (Azizia, Lybia; Jilh, Central Arabia). The regression started close to the begin-

ning of Early Karnian. This cycle is also the period of major rifting and continuous spreading in the Eastern Mediterranean portion of the Tethys, reaching the Eastern Alps and attacking the pulling apart of the Tyrhenian region. Due to the huge shallow epicontinental areas of the Southern Tethys waterbody, slight hypersaline conditions create the conditions for the development of endemic taxa (sepharadic realm). The closing of the Silesian gate to Tethyan taxa, produced parallel endemic development of taxa in the Germanic Realm. A dramatic salinity crisis at the end of the Early Karnian (*aonides* zone) puts an end to the third cycle and to the sepharadic province. It is characterised by the deposition of huge masses of evaporites, including gypsum in the Eastern Mediterranean and of Salt in the North African portion of the Western Mediterranean.

The fourth Triassic cycle started some time in the Late Karnian and reached a similar geographical extension as that of cycle III on the margins of the Tethys in the Mediterranean region. Pelagic facies of typical seaway type characterize narrow belts within the Eastern Alps (Hallstatt facies). On the margins of the Southern and Northern Tethys the «Keuper» type facies passes laterally into Hauptdolomite facies. Separating the former shelf-lagoon area from the Tethyan seaways Reefs of Dachstein-type occur. The fourth cycle of the Triassic is found in the iberic peninsula in the dolomites of the Imon Formation (GOY and YEBENES, 1977). The fourth cycle may persist in some regions into the Liassic, but in many areas around the Mediterranean there is put a relative abrupt end to it by the intense emersion, denudation and lateritisation processes, imputable to early Cymmerian epeiorogenic movements.

Within each of the major four cycles, local small regressions and regressions, occur, due to local variations in the rate of subsidence, rifting and source of depositional material (deltaic shifts, changes in the biomass and trophic conditions).

PALEOGEOGRAPHY

The Tethys separates the Eurasian and Gondwanian landmasses and their epicontinental shelfzones.

It was admitted by earlier authors that alpine faunas had migrated into the Western Mediterranean platform/shelf, conceived as the equivalent of the germanic basin, with which it was believed to communicate through the hypothetical gate of Burgundy, mixing with typical germanotype faunas of Muschelkalk facies type. The study of ammonoids, conodonts and bivalves in Spain and the Levant (Israel) by

LERMAN (1960), PARNES (1962, 1977), HIRSCH (1972, 1977) and PARNES *and al.* (1985), entirely different from the Germanic faunas convinced these authors that the Western Mediterranean, North African and Levantine «Muschelkalk» equivalents were part of a same platform or shelf, that extended South and West of the Tethyan seaway, to be named the sepharadic Realm or Province (HIRSCH, 1972).

The facies development in the Western Mediterranean platform can be subdivided into the Mediterranean type, that prevails in Catalonia, part of the Iberic ranges, the Balearic Islands and partly in the Sardinic, Provençal and subbetic areas; and the Betic type, that has been compared with the Alpine Triassic, due to the development of massive carbonatic bank-formations and contrasted with the typical Muschelkalk facies of the Mediterranean type.

A traverse from central Spain towards the Mediterranean shows the lateral change from clastic Bunter facies (Hesperic) into more marine environment towards the Mediterranean. The interpretation of the Balearic and Betic Triassic as one of alpine-type (thus with pelagic elements) is only true if one refers to its lithofacial platform type, bearing in mind that next to its shallow marine «alpinotype» biofacial development it still contains sepharadic faunal elements. One of the marked features of the Western Mediterranean Triassic is the Early Ladinian regression (*Tramo Rojo intermedio*) that corresponds to the end regression of cycle II. The transgression of the Upper Ladinian (cycle III) contains exactly the same Upper Ladinian taxa all over the sepharadic Realm. In the Betic type section (KAMP-SCHUUR, 1972) this episode of regression between cycles II and III is situated in the green slate member of the Fuente Aledo Formation.

The relation of the Western and Eastern Mediterranean sepharadic platform facies has been summarized by HIRSCH (1977).

BIOSTRATIGRAPHY

The most recent Middle Triassic biostratigraphic classification of the Tethys (ZAPFE, 1983) may now be compared with that of the sepharadic realm (PARNES *and al.*, 1985).

UPPER ANISIAN

Pelsonian — The level of *Balatonites balatonicus* is common to the Pelsonian of the Germanic, Sepharadic and Tethyan Provinces. It is further characterised by the conodont *Neospathodus (Nicoraella)*

kockeli. In the sepharadic province it is so far only found in the Ra'af Formation of the Negev (Israel).

Illyrian — An accurate correlation of the Negev-level of *Paraceratitoides brotzeni* and of the fauna of Olesa with one the tethyan zones of *Paraceratites trinodosus*, *Parakellnerites* and *Nevadites* is yet not possible. Conodonts related to *Gondolella eotrammeri* are found near Olesa (MARCH, pers. comm.) and so is *Neospathodus shagami* a new taxon from the Late Anisian in the Negev (BENJAMINI and CHEPSTOW, in press).

ANISIAN-LADINIAN BOUNDARY

The Anisian-Ladinian limit, like most other Mesozoic boundaries is to be defined on agreement based on ammonoids. This may be proposed following Tozer (op. cit.) with the first appearance of representatives of the genus *Eoprotrachyceras* that coincides closely with the first appearance of the conodont genus *Epigondolella* (= *Carinella*, *Tardogondolella*, *Metapolygnathus*) and with the first appearance of the genus *Pseudofurnishius* in the sepharadic realm. It further coincides well with a reversal of population or dramatic increase of the pelagic conodont multielement *Gladigondolella tethydis* in the Tethys realm. This reversal in multielement ratio first observed in the Alps (HIRSCH, 1969) occurs in the Hellenids as well (KRYSTYN, 1983).

EARLY LADINIAN

The *Fassanian* is characterised by the level of *Eoprotrachyceras curionii* which is believed to occur in Menorca. *E. curionii ramonensis* occurs in the Negev together with *E. wahrmani* and *Israelites ramonensis*. The former was found in the *curionii* level of S. Italy, the latter in the *recubariense* level of the Western Taurus (Southern Turkey) (PARNES and al., 1985; ASSERETO and MONOD, 1974). *E. recubariense* was also found in the *Ceratites* beds of the Upper Muschelkalk of the germanic province (UHRLICHS, 1978). In the sepharadic Province early forms of the conodont *Pseudofurnishius* occur in this level.

LATE LADINIAN

The *Langobardian* is lately subdivided (KRYSTYN, op. cit.) into three zones: *Protrachyceras gredleri*, *P. archelaus* and *Frankites rogedanus*. In the sepharadic province a number of levels occur

which may be tentatively correlated to their tethyan counterparts. The level of *Gevanites epigonus* may be reasonably parallelised with the *gredleri* zone. The level of *Protrachyceras hispanicum* has been correlated by PARNES *et al.* (1985) with the *archelaus* zone. In the Prebetic Zone the level of *Gevanites hornosianus* and that of a number of *Gevanites* sp. in the Iberic range and Mallorca are possibly correlatable with the *regoledanus* zone of the Tethys. The level of *Clionites rarecostatus* and *Protrachyceras sirenitifforme* put by PARNES *et al.*, op. cit.) to the Early Karnian *aon* zone is now better parallelized with the *regoledanus* zone as well (PARNES, pers. comm.). The Late Ladinian is further characterised by conodonts of the *Epigondolella mungoensis* group.

LADINIAN-KARNIAN BOUNDARY

The Ladinian-Karnian boundary is defined by Krystyn (1983) at the base of the *Trachyceras aonides* zone, that includes in its lower part *T. aon*. Krystyn (1978) proposed the exclusion of the Cordevolian substage, making the Julian as the lowest Karnian substage. The zone of *Frankites regoledanus*, Tethyan equivalent of the North American *F. sutherlandi* zone (Tozer, in Zapfe op. cit.) is part of the Upper Ladinian Longobardian substage (KRYSTYN, op. cit. and UHR-LICHS, 1974). KOZUR (1984) however maintains the Cordevolian stage alive as the lower Karnian substage, including thus the zone of *F. sutherlandi* as the lowermost Karnian ammonoid zone. This controversy resulted in a certain confusion in the respective stratigraphic range of microfaunas and floras occurring close to the Ladinian-Karnian boundary. Accepting Krystyn's (op. cit.) proposal however makes coincide the last occurrence of conodonts of the *Epigondolella mungoensis* group very close with the Ladinian-Karnian boundary.

The occurrence of a typical assemblage of palynomorphs including *Patinosporites densus* seems characteristic of the earliest Karnian (VAN DER EEM, 1983). In earlier studies, among others VIRGILI *et al.* (1983), the massive occurrence of *Circumpolles* grains with among others *Camerosporites secatus* and also *Praecirculina granifer* has been considered as an early Late Triassic (Karnian) event, lately however numerous authors (among others, VISCHER *et al.*, 1981) have shown that these palynomorphs occur already throughout the Ladinian.

CONCLUSIONS

Since the first colloquium on Permo-Triassic of the Iberic Peninsula, 1976, considerable progress has been achieved in biostratigraphy.

The following Tentative correlation Table of Ammonoid Standard and Sepharadic Biozones is proposed.

<i>Ammonoid standard zonation</i>			<i>Sepharadic biozones</i>	
<i>Stage</i>	<i>Substage</i>	<i>Zone</i>	<i>Ammonoids</i>	<i>Conodonts</i>
Karnian	Julian	Trachyceras aonoides		Gondolella polygnathiformis
	Longo-Bardian	Frankites regoledanus	Protrachyceras sirenitifforme Gevanites hornosianus	Epigondolella mungoensis Pseudofurnishius murcianus
Ladinian		Protrachyceras archelaus	Protrachyceras hispanicum	
		Protrachyceras gredleri	Gevanites epigonus	Epigondolella truempyi
	Fassanian	Eoprotrachyceras	Israelites ramonensis	P. murcianus
Anisian	Illyrian	Nevadites	Paraceratitoides brotzeni	Gondolella cf. G. eotrammeri
		Parakellnerites		
		Paraceratites trinodosus		
	Pelsonian	Balatonites balatonicus		Neospathodus. cf. N. kockeli

ACKNOWLEDGMENTS

The author is indebted to Secretary of State Dr. C. Virgili and Prof. L. Vilas for the help provided during a sabbatical leave, spent at the Universidad Complutense, Madrid, during the academic year 1983-1984.

Constructive discussions with A. Goy (Madrid), A. Parnes (Jerusalem) and E. T. Tozer (Ottawa) on ammonoids contributed to the ideas developed in the present paper.

REFERENCES

- ASSERETO, R., y MONOC, O. (1974): «Les Formations triassiques du Taurus Occidental a Seydisehir (Turquie Meridionale)». *Rivista Ital. Pal. e Strat.*, Mem., 15, pp. 159-191.
- BENJAMINI, C., y CHEPSTOW-LUSTY, A. (in press): «*Neospathodus* and other conodonts from the Saharonim Formation (Anisian-Ladinian) at Makhtesh Ramon, Negev, S. Israel». *J. of Micropal.*
- DERIN, B., y GERRY, E. (1981) «Late Permian-Late Triassic Stratigraphy and its Significance to Oil Exploration». *Isr. Geol. Soc.*, Symposium, Oil Exploration in Israel, Abstracts, p. 9.
- DRUCKMAN, Y.; HIRSCH, F., y WEISSBROD, T. (1982): «The Triassic of the southern margin of the Tethys». *Geol. Rundschau*, 71, pp. 919-936.
- ESHET, Y. (1983): «Palynostratigraphy, Thermal Alteration Index and Kerogen Analysis of the Permo-Triassic Succession in Makhtesh Katan 2 Well». M. Sc. Thesis, Hebrew University, Jerusalem, pp. 1-98.
- GOY, A., y YEBENES, A. (1977): Características, extensión y edad de la formación dolomías tableadas de Imon». *Cuad. Geol. Iber.*, 4, pp. 385-398.
- HIRSCH, F. (1969): «La succession des faunes de conodontes dans les couches de passage de l'Anisien superieur au Ladinien inferieur dans les Alpes orientales et meridionales». *Arch. Sc. Geneve*, 22, 1, pp. 83-90.
- HIRSCH, F. (1972): «Middle Triassic Conodonts from Israel, Southern France and Spain». *Mitteilungen Gesellschaft Geologie und Bergbaustudenten*, 21, pp. 811-828.
- HIRSCH, F. (1977): «Essai de correlation biostratigraphique des niveaux meso et neotriassique de facies "Muschelkalk" du domaine sepharade». *Cuad. Geol. Iber.*, 4, pp. 511-526.
- KAMPSCHUUR, W. (1972): «Geology of the Sierra de Carrascoy (SE Spain)». *GUA Papers Geology*, 1, 4, pp. 1-114.
- KOZUR, H. (1984): «Brief Comment on the Triassic Time Scale Proposed by I. G. C. P.», Project No. 4, *Albertiana*, 2, pp. 8-9.
- KRYSTYN, L. (1978): «Eine neue Zonengliederung im alpin-mediterranen Unterkarn». *Schriftenr. Erdwiss. Komm.*, 4, pp. 37-75.
- KRYSTYN, L. (1983): «Das Epidaurus-Profil (Griechenland)—ein Beitrag zur Conodonten—Standardzonierung des tethyalen Ladin und Unterkarn». *Schriftenr. Erdw. Komm.*, 5, pp. 231-258.
- LERMAN, A. (1960): «Triassic Pelecypods from Southern Israel and Sinai». *Bulletin of the Research Council of Israel*. Section G Geo-Sciences, 9G, 1 p., pp. 1-60.
- LÓPEZ-GARRIDO, A. C. (1971): «Geología de la zona Prebética al NE de la provincia de Jaén». *Tesis Doctoral. Univ. Granada*, pp. 1-317, Granada.
- MOJSISOVICS, E. (1882): «Die Cephalopoden der Mediterranen Triasprovinz». *Abhand. geol. Reichsanstalt*, Wien, 10, 1, pp. 1-322.
- PARNES, A. (1962): «Triassic Ammonites from Israel». *Isr. geol. surv.*, bull. 33, pp. 1-59.
- PARNES, A. (1977): «On a binodose ceratitid from southeastern Spain». *Cuadernos Geología Ibérica*, 4, pp. 522-525.
- PARNES, A., BENJAMINI, C., e HIRSCH, F. (1985): «New aspects of Triassic Ammonoid Biostratigraphy, Paleoenvironments and Paleobiogeography in Southern Israel (Sephardic Province)». *Journal of Paleontology*, 59, 3, pp. 656-666.
- TOLLMANN, A. (1985): «Entstehung und fruherer Werdegang der Tethys mit besonderer Beruecksichtigung des mediterranen Raumes». *Mitt. oesterr. geol. Ges.*, 77, pp. 93-113.

- UHRЛИCHS, M. (1974): «Zur Stratigraphie und Ammonitenfauna der Cassianer Schichten von Cassian (Dolomiten/Italien)». *Schriftenr. Erdwiss. Komm.*, 3, pp. 207-222.
- UHRЛИCHS, M. (1978): «Ueber zwei alpine Ammoniten aus dem Oberen Muschelkalk SW-Deutschlands». *Stuttg. Beitr. Naturk.*, ser. B, 39, pp. 1-13.
- VAN DER EEM, J. G. L. M. (1983): «Ladinian-Cordevolian Palynostratigraphy of the Western Dolomites». *Albertiana*, 1, p. 18.
- VIRGILI, C. (1958): «El Triásico de los Catalánides». *Bol. Inst. Geol. y Min.*, 69, pp. 1-831, láms. 1-17.
- VIRGILI, C.; SOPEÑA, A.; RAMOS, A., y HERNANDO, S. (1977): «Problemas de la cronoestratigrafía del Triás en España». *Cuad. Geol. Ibérica*, 4, pp. 57-88.
- VIRGILI, C.; SOPEÑA, A.; ARCHE, A.; RAMOS, A., y HERNANDO, S. (1983): «Some Observations on the Triassic of the Iberian Peninsula». *Schriftenr. Erdwiss.*, Komm., 5, pp. 287-294.
- VISSCHER, H., y BRUGMAN, W. A. (1981): «Ranges of selected palynomorphs in the Alpine Triassic of Europe». *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 34, pp. 115-128.
- ZAPPE, H. (1983): «Das Forschungsproject "Triassic of the Tehys Realm" (IGCP Proj. 4) Abschlussbericht». *Schriftenr. Erdwiss. Komm.*, 5, pp. 7-16.

MICROFAUNAL DIVERSITY AND DIAGENESIS
IN THE MUSCHELKALK FACIES

POR

A. GANDIN *, R. MARTINI * & L. ZANINETTI **

ABSTRACT

Foraminifera from the Triassic Muschelkalk facies are rare and their diversity is low. The recorded species are mainly Lagenidae characterized by hyaline calcite walls. Other foraminifera (Involutinidae, Duostiminidae), well known in the Trias of the Alpine facies province (Tethys), seemed not to occur in the German facies province possibly because of anomalous conditions of the bottom waters. However, recent work has shown that foraminifera of the Alpine facies province occur also, however rarely and not always well preserved, in the Muschelkalk of Sardinia, Germany, Luxemburg and South Tunisia. Their infrequency and poor preservation are explained as the result of diagenetic changes in the course of fossilization combined with a very low rate of sedimentation, rather than of adverse living conditions.

RESUMEN

Los foraminíferos del Muschelkalk son raros y su diversidad baja. Las especies registradas corresponden mayoritariamente a Lagenidae caracterizados por tabiques de calcita hialina. Otros foraminíferos (Involutinidae, Duostominidae), bien conocidos en el Trías Alpino

* Dep. di Scienze della Terra, via delle Cerchia 3, 53100 Siena, Italy.

** Dép. de Géologie et Paléontologie, 13 Rue des Maraichers, Genève, Switzerland.

Research supported by as grant from the Fonds national suisse de la Recherche scientifique (LZ, project No 2.089-0.81) and from the Centro Nazionale delle Ricerche of Italy (AG, No 8300500.05).

(Tethys), parecen no encontrarse en las facies germánicas posiblemente debido a condiciones anómalas en las aguas de fondo. No obstante, trabajos recientes han demostrado que estos foraminíferos de facies Alpina también aparecen, aunque raramente y no siempre bien conservados, en el Muschelkalk de Cerdeña, Alemania, Luxemburgo y Sur de Túnez. La escasez y deficiente conservación se explica como resultado de los cambios diagenéticos habidos en el transcurso de la fosilización, combinados con una muy baja tasa de sedimentación, más que de las adversas condiciones de vida.

INTRODUCTION

Foraminifera in the German facies of Middle Triassic age are generally considered as absent or very poorly represented. If present they are normally represented by the biostratigraphically insignificant Lagenidae (mainly «*Frondicularia*» spp.). In the Alpine facies (Tethys), foraminifera are comparatively diversified and represented by age — significant associations (ZANINETTI, 1976). However, *Glomospirella* and *Agathammina* have been reported from the Grès à Voltzia (Upper Buntsandstein) of the Vosges (France) (KOEHN-ZANINETTI *et al.*, 1969) and the sessile *Tolypammmina* in the oolitic facies of the Lettenkohle (Uppermost Muschelkalk) of Luxemburg (COUREL, 1978).

The reasons for the microfaunistic differences between the German and the Alpine Triassic facies have never been explicitly explained. However it has been suggested, on the grounds of sedimentological, paleoenvironmental and paleoecological interpretations for the epicontinental deposits, that confined environments and anomalous salinities of the waters would be the main causes.

The above mentioned ecologic factors, associated with the turbidity of the waters (high clay content) could explain the absence of dasycladacean algae in the internal areas of the epicontinental seas and conversely their occurrence near the Tethys edges (Spain, Sardinia, Southern France and Poland); but they cannot explain the absence of foraminifera which do not necessarily depend on well oxygenated and clear waters. In addition, the occurrence of stenohaline organisms such as echinoderms in both the German and Alpine realms, apparently excludes, at least in the horizons in which they are contained, an anomalous salinity of the waters.

The discovery of «alpine» foraminifera in the Muschelkalk facies of Sardinia, Germany, Luxemburg and South Tunisia shows that they were able to live under adverse conditions in epicontinental seas. Their infrequent occurrence, however, requires an explanation.

The samples investigated come from the outcrops and quarries of Punta del Lavatoio, Monte Santa Giusta, Contrada Renuzzo (Sardinia);

Sommenberg, Saar, Kleiber, Keisberg near Kronak, Weissensburg near Eschembach (Germany); Bettendorf (Luxemburg) and Jebel el Rehash (South Tunisia).

CHARACTERS OF THE MUSCHELKALK LIMESTONE

Microsparite mudstone, locally highly bioturbated, is the dominant fabric of the Muschelkalk carbonates. Siliciclastic material of mud or silt-size is often abundant. The microfossils commonly reported are ostracods, echinoderm ossicles and «*Fron-dicularia*».

Intercalations of wackestone, packstone or grainstone made up of coquinas, locally oligotypic, occur in some horizons. The grains are peloids, fecal pellets, seldom ooids or coated grains and mainly debris or tests of pelecypods, gastropods, cephalopods, brachiopods and ostracods, echinoderm plates and spines, sponge spicules, fish remains and conodonts. Dasycladacean and solenoporacean algae occur only in the peritethysian facies. Encrusting foraminifera and algae, forming frequently oncolites, occur locally.

Intergranular and intragranular cements consist of clear coarse-calcite sometimes associated with thin yellowish rims of bladed calcite. They fill the moulds and cavities of the tests locally with geopetal structures.

Common neomorphic processes affect most of the skeletal remains and the matrix as well. The latter is always made up of microsparite with irregular patches of sparite.

The grainstone facies are locally affected by selective dolomitization so that it is often impossible to recognize the nature of the grains.

Pressure-solution structures are widespread and generally parallel to the bedding. They range from irregular thin solution seams to evolved structures associated with concentration of insoluble residue and locally with diagenetic dolomitization (DAMIANI & GANDIN, 1974; SCHWARZ, 1975).

The foraminifera so far reported are mainly represented by «*Fron-dicularia*» («*F. woodwardi*» auct.) and other Lagenidae, though rare ghosts of *Glomospirella*, *Involutina* and *Agathammina* have recently been reported from the Middle Triassic sequences of Punta del Lavatoio and Contrada Renuzzo (Sardinia) (GANDIN, 1979; BAGNOLI *et al.*, 1985).

PRESERVATION OF THE FORAMINIFERA TESTS

The foraminifera found in the Muschelkalk facies are commonly badly preserved. Their recognition in thin section was made possible

using a translucent plastic paper and/or the microscope condenser as proposed by DELGADO (1977). Without this help, most of them are not visible.

They occur both in the mudstone and granular facies mainly as microsparite ghosts, dense dark rims outlining the original shape and structure.

Both micritization and recrystallization affect most of the foraminifera tests though in different ways.

The behavior of hyaline tests during diagenesis appears to be connected with the mineralogy of the walls: the calcite tests of «*Fron-dicularia*» and other Lagenidae always retain their primary texture and typical pseudouniaxial interference figure, seen under crossed nichols, never exhibiting a micritization coating (Pl. I, 1-2).

On the other hand, the hyaline aragonitic tests can be changed by a more or less extensive micritization (Pl. II, 1-3) and, owing to the instability of aragonite, can be subjected recrystallization (Pl. II, 1) or dissolution, leaving as cast subsequently filled by secondary coarse calcite (Pl. I, 8; II, 4). Furthermore, if micritization as well as the filling of the chambers by lime-mud, occurs before recrystallization or dissolution, the shape and some of the original structure may be preserved (Pl. II, 4). An early dissolution or an extensive micritization leads to the obliteration of the whole test (Pl. II, 6).

The microgranular tests appear either as dense peloids, where at times it is possible to recognize relics of the sparite filling of the chamber (Pl. I, 3) or as thin dense microsparitic rings vanishing into the microspar fabric of the matrix (Pl. I, 4-7; Pl. II, 7, 9).

According to BATHURST (1971) the walls of recent microgranular and agglutinated foraminifera can be easily micritized probably owing

PLATE I.—1-2. Calcite test of «*Fron-dicularia woodwardi*» retaining the primary texture and the pseudouniaxial interference figure under cross nichols (2). Contrada Renuzzo, Sardinia. 3. Micritized test of a microgranular form (*Agathammina*?) with relics of the original structure marked by the calcite filling of the chamber. Keisberg, Germany. 4-5-6. A dense microsparitic ring marks the shape of the *Agathammina* tests, locally dissolving into the matrix. (4-5) Contrada Renuzzo, Sardinia; (6) Weisslensburg Quarry, Germany. 7. Micritized test of *Diplo-tremina*? Monte Santa Giusta Sardinia. 8. Ghost of foraminifera test replaced by fine-grained spar and filled by lime-mud. Jebel el Rehash, South Tunisia.

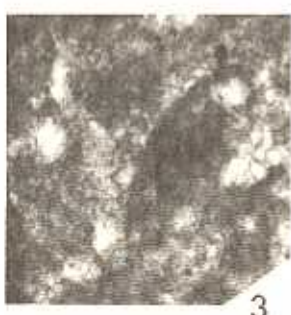
1-2. Concha calcítica de «*Fron-dicularia woodwardi*» que conserva la textura primaria y la figura pseudouniaxial de interferencia en nicoles cruzados. Contrada Renuzzo, Cerdeña. 3. Concha micritizada de una forma microgranular (*Agathammina*?) con restos de la estructura primaria visibles gracias al relleno calcítico de la cámara. Keisberg, Alemania. 4-5-6. Conchas de *Agathammina* realizadas por anillos micríticos densos que pasan localmente a la matriz. Contrada Renuzzo, Cerdeña (4, 5). Cantera Weisslensburg, Alemania. 7. Concha micritizada de *Diplo-tremina*? Monte Santa Giusta, Cerdeña. 8. Fantasmas de conchas de Foraminífero reemplazadas por esparita de grano fino y rellena de micrita. Jebel el Relash, Sur de Túnez.



1



2



3



4



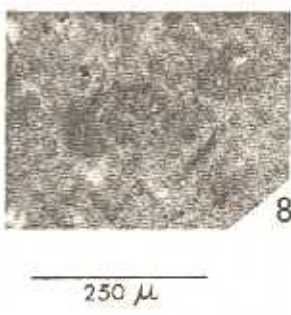
5



6



7



8

250 μ

to the organic-matter content of the wall, and, under a prolonged early-diagenetic stage, they tend to become structureless peloids or micrite.

Moreover the mineralogic composition of the tests also appears to control the nature of the replacing micrite: PURDY (1968) has shown that aragonitic tests are replaced by aragonite micrite whereas high-Mg calcite tests maintain the original mineralogy. Thus a different behaviour with regard to recrystallization and micritization of the tests is to be expected. Actually it is possible that after a deep micritization process the aragonitic forms «dissolve» into the sediment whereas the dense fine-grained peloids and rings would represent calcitic precursors. The ghosts of foraminifera composed of spar grains (Pl. II, 8) could finally represent replaced aragonitic tests.

In conclusion, the preservation of most of the foraminifera tests in carbonate deposits—and thus the diversity of their associations—appears to depend on the magnitude both of micritization and recrystallization.

1. The extent of the process of recrystallization appears to be linked to the problem of the mineralogy of the carbonate production during Triassic times. The Triassic limestones are everywhere composed of microsparite probably as a result of the aragonitic mineralogy of the original lime-muds (SCHWARZ, 1975). Moreover this assump-

PLATE II.—1-3. *Micritized and recrystallized Involutina tests. Micritization and/or the filling of the chamber by lime-mud preserve some of the original structure. (1) Monte Santa Giusta, Sardinia; (2-3) Sommenberg (Saar), Germany. 4. The lime-mud filling of the chamber permits to recognise in a patch of coarse calcite the ghost of a foraminifer (Involutinidae?). Monte Santa Giusta, Sardinia. 5-6. Dense micrite peloids after micritized foraminifera. The spar filling of the chamber is the only trace of the original structure. (5) Jebel el Rehash, South Tunisia; (6) Monte Santa Giusta, Sardinia. 7. Micritized test of Glomospirella with spar filling of the chamber. Jebel el Rehash, South Tunisia. 8. Organized cement grains let to recognise the ghosts of small tests of Glomospirella. Punta del Lavatoio, Sardinia. 9. Small Glomospirella test marked by a thin, dense micritic coating of the walls. Bettendorf, Luxemburg.*

1-3. *Conchas de Involutina micritizadas y recristalizadas. La micritización y/o relleno de la cámara por micrita conserva en parte la estructura original. (1) Monte Santa Giusta, Cerdeña; (2-3) Sommenberg, Saar, Alemania. 4. El relleno micritico de la cámara permite reconocer el fantasma de un Foraminífero (Involutinidae?) en una porción de calcita gruesa. Monte Santa Giusta, Cerdeña. 5-6. Peloides de micrita densa procedentes de Foraminíferos micritizados. El único resto de la estructura original es el relleno esparítico de la cámara. (5) Jebel el Rehash, Sur de Túnez. (6) Monte Santa Giusta, Cerdeña. 7. Concha micritizada de Glomospirella con relleno esparítico de la cámara. Jebel el Rehash, Sur de Túnez. 8. Fantasmas de pequeñas conchas de Glomospirella reconocibles gracias a los granos de cemento ordenados. Punta del Lavatoio, Cerdeña. 9. Pequeña concha de Glomospirella visible gracias a una fina y densa película de micrita sobre las paredes. Bettendorf, Luxemburgo.*



1



2



3



4



5



6



7



8



9

250 μ

tion is consistent with the low sea level during the Triassic according to SANDBERG (1983).

2. The extent of the micritization results from the duration of this process, i.e. of the early-diagenetic stage. The rate of subsidence, controlling the duration of the early-diagenetic stage in submarine environment, therefore appears to be the ultimate factor of control on the foraminiferal preservation.

Consequently a low rate of subsidence, consistent with the reduced thickness of the Germanic sequences in regard to the Alpine ones, can explain the obliteration of most of the foraminifera in the epicontinental setting and their preservation on the fastly subsiding Tethysian borders.

DISCUSSION

The Middle Triassic carbonate deposits of the German realm appear to have been mainly muds. The poorly represented granular facies consist of bioclastic grains, the oolitic or intraclastic ones being very infrequent.

The general depositional setting corresponds to a shallow, yet under the wave base, very quiet, environment, where high-energy episodes and a more rapid deposition are connected with storms and/or tsunami (GANDIN, 1979; DURINGER & GALL, 1982) or to the local occurrence of shell banks or oolitic bars (SCHWARZ, 1975).

The general occurrence in the epicontinental Middle Triassic carbonates of intense bioturbation and concentration of fossils in few horizons, suggests a confined environment and a relatively anomalous salinity. However, the relative diversity of some associations and the abundance of echinoderms in the fossiliferous horizons suggest that at least temporarily and locally the life conditions would be more or less normal as far as temperature and salinity are concerned.

In such a low-energy depositional setting the prolonged activity of micritization can achieve the obliteration and destruction of most of the skeletal remains. The only resisting remains can be the calcite crystalline tests of pelecypods, brachiopods, echinoderms, ostracods and hyaline foraminifera (Lagenidae).

However, in the high-energy environment the micritization activity cannot attain the complete obliteration of the skeletal remains. In fact in the granular facies, rather well-diversified faunas can be found, among them foraminifera with microgranular and hyaline (aragonite or calcite) tests which are better preserved as a consequence their of more rapid deposition and burial.

The agglutinated and microgranular tests appear to be the most easily harmed, possibly owing to the occurrence of a considerable amount of organic matter in their walls whereas the hyaline calcite (Lagenidae) shells could withstand unchanged the diagenetic processes.

All these evidences suggest a confined setting and a rather normal-marine salinity of the Middle Triassic epicontinental German realm, where as a consequence of a very low rate of subsidence, consistent with the stability of the intercratonic basin, most of the carbonate skeletal material was completely destroyed by the activity of micritizing bacteria, fungi and algae.

REFERENCES CITED

- BAGNOLI, G.; PERRI, M. C., y GANDIN, A. (1985): «Ladinian conodont apparatuses from Northwestern Sardinia, Italy». *Boll. Soc. Paleont. It.*, 23, 1984, pp. 311-323.
- BATHURST, R. G. C. (1971): «Carbonate sediments and their diagenesis». *Developments in Sedimentology*, 12, Elsevier, pp. 1-620.
- COUREL, L. (1978): «Présence de *Tolypammina dervillei* Schneider, foraminifère, dans la Lettenkohle de la région de Bettendorf (Luxembourg)». *Bull. d'Informations des Géologues du Bassin de Paris*, 15, pp. 35-37.
- DAMIANI, A. V., y GANDIN, A. (1974): «Geologia e ambiente di sedimentazione della successione Triassica di Monte Maiore (Sardegna centrale)». Nota II, *Boll. Soc. Geol. It.*, 92, pp. 41-83.
- DELGADO, F. (1977): «Primary textures in dolostones and recrystallized limestones: a technique for their microscopic study». *Jour. Sed. Petrol.*, 47, pp. 1339-1341.
- DURINGER, P., y GALL, J. C. (1982): «Rythmites de haute energie dans le Muschelkalk Supérieur (Trias) de l'Est de la France». *I. A. S. 11^e Intern. Congress on Sedimentology*, August, 1982, p. 154.
- GANDIN, A. (1979): «Il Trias Medio di Punta del Lavatoio (Alghero, Sardegna NW)». *Mem. Soc. Geol. It.*, 18, pp. 3-13.
- KOEN-ZANNETTI, L.; BRONNIMANN, P., y GALL, J. C. (1969): «Description de quelques foraminifères du Grès a Voltzia (Buntsandstein Supérieur) des Vosges (France)». *Bull. Serv. Carte Géol. Als. Lorr.*, 22, pp. 121-130.
- PURDY, E. G. (1968): «Carbonate diagenesis: an environmental survey». *Geol. Romana*, 7, pp. 183-228.
- SANDBERG, P. A., y HUDSON, J. D. (1983): «Aragonite relict preservation in Jurassic calcite-replaced bivalves». *Sedimentology*, 30, pp. 879-892.
- SCHWARZ, H. U. (1975): «Sedimentary structures and facies analysis of shallow marine carbonates. (Lower Muschelkalk, Middle Triassic, Southwestern Germany)». *Contribution to Sedimentology*, 3, pp. 1-100.
- ZANINETTI, L. (1976): «Les Foraminifères du Trias». *Riv. It. Paleont.*, 82, pp. 1-258.

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 Lías (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

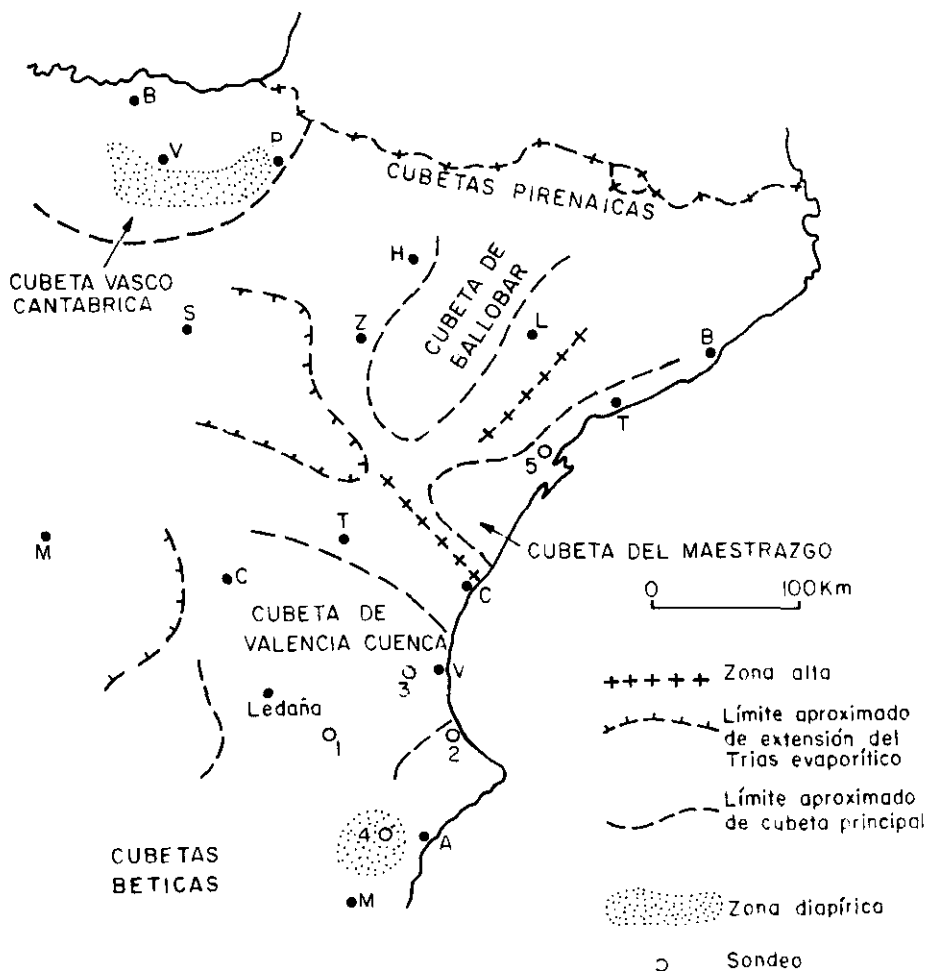


FIG. 1.—Situación de las principales cubetas evaporíticas del Triásico y del Liásico inferior en el E de la Península Ibérica. Sondeos: 1: Carcelén-1; 2: Jaraco-1; 3: Perenchiza-1; 4: domo de Pinoso; 5: Baix Ebre (esquema simplificado y modificado en las figuras 1 y 2 de CASTILLO HERRADOR, 1974).

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

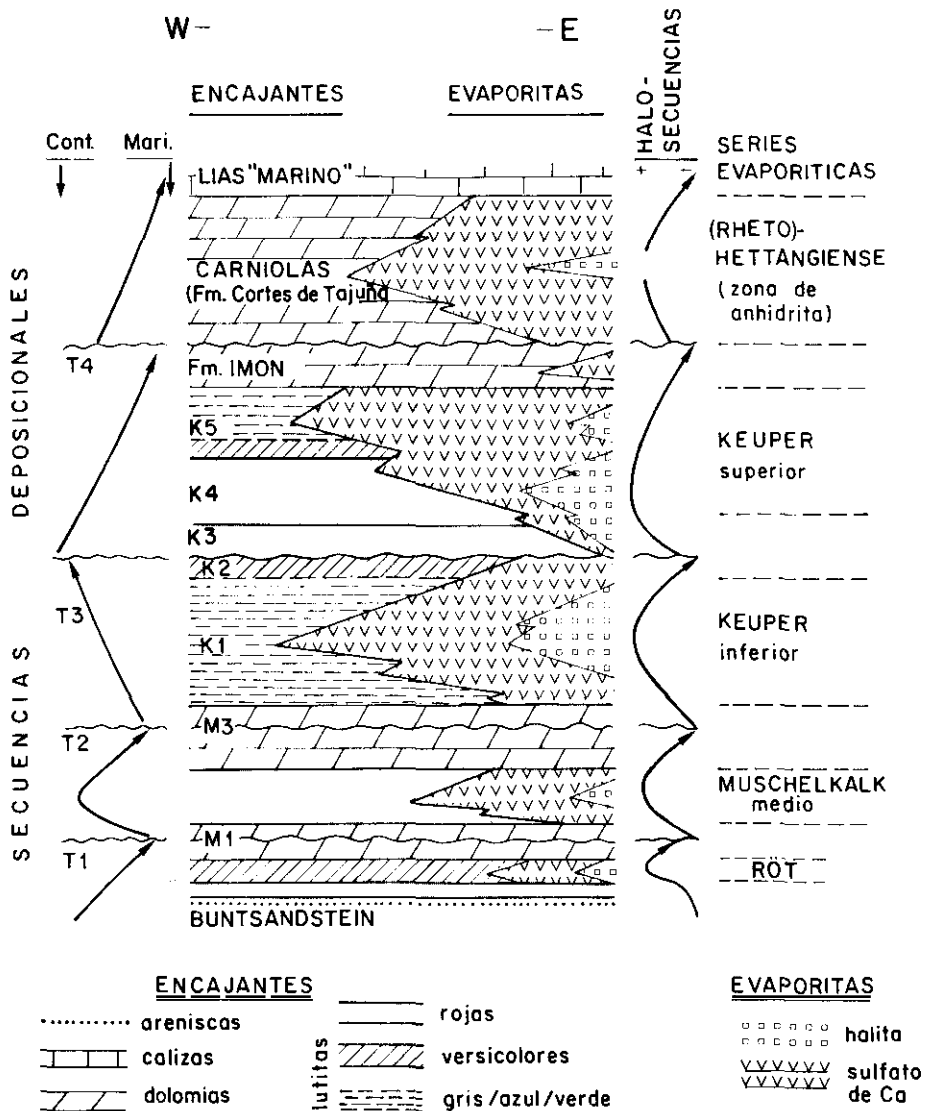


FIG. 2.—Series evaporíticas principales del Trias y Lias inferior del E de la Península Ibérica, con indicación de sus materiales encajantes, de sus halosecuencias y de las secuencias deposicionales en las que se desarrollan. Esquema sin escala.

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

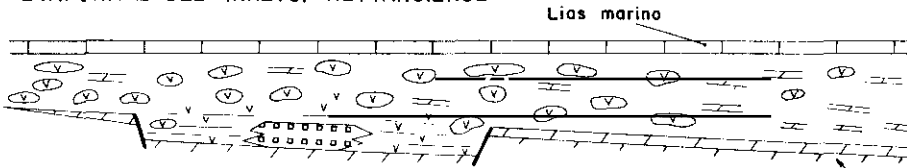
FIG. 3.—Esquema de distribución de facies para cada una de las series evaporíticas del Trías y Lías inferior, con indicación de la transgresión progresiva con el tiempo hacia el O.

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

W

E

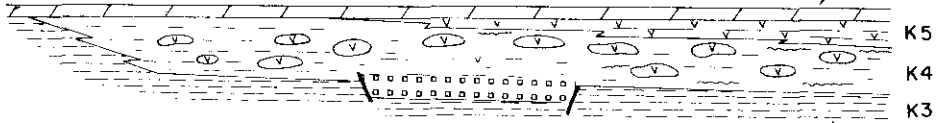
EVAPORITAS DEL (RHETO)- HETTANGIENSE



Lias marino

Fm. Imón

EVAPORITAS DEL KEUPER SUPERIOR



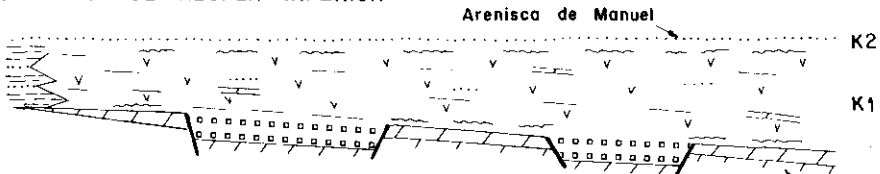
K5

K4

K3

Arcillas de Cofrentes

EVAPORITAS DEL KEUPER INFERIOR



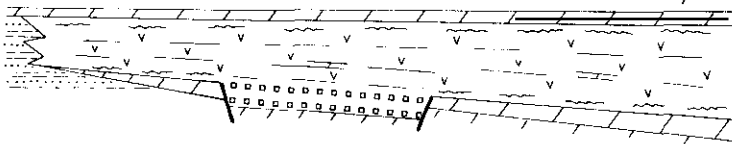
Arenisca de Manuel

K2

K1

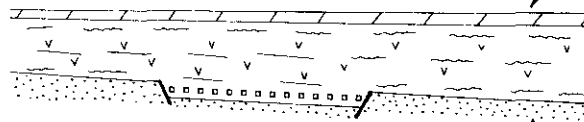
M. superior

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.



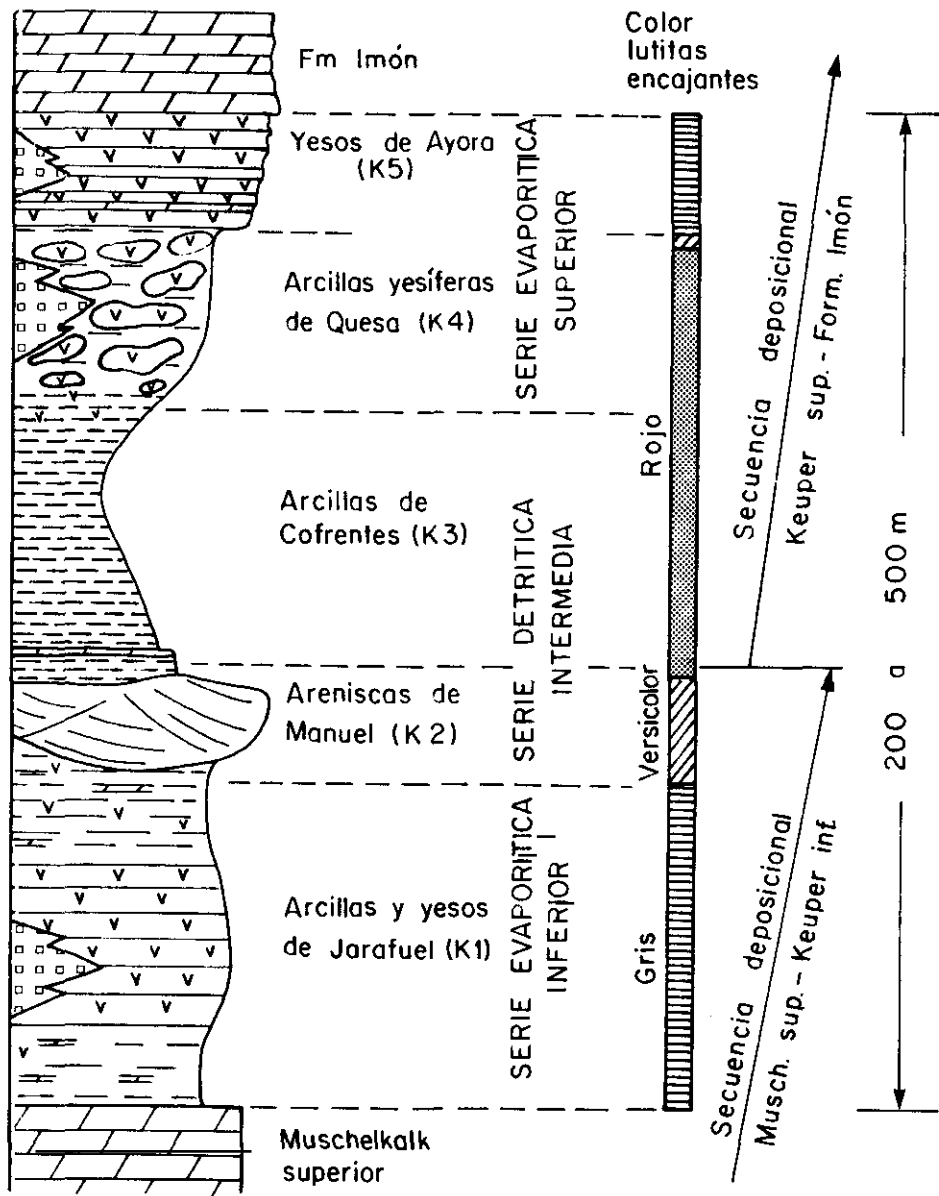


FIG. 4.—Corte tipo del Keuper en la zona central valenciana (modificado de una figura de ORTI CABO, 1982).

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).

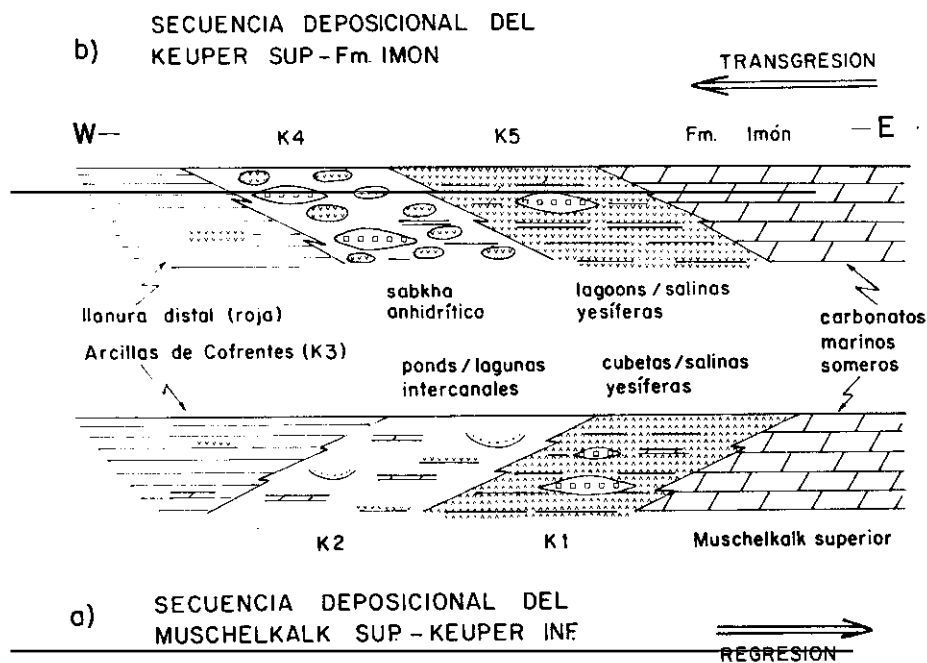


FIG. 5.—Esquema evolutivo de los medios sedimentarios ligados a las secuencias deposicionales del Keuper (modificado de la figura 4b de ORTI CABO, 1982-83).

*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.

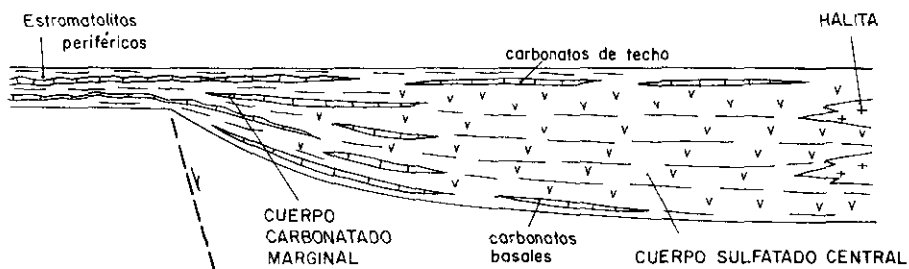


FIG. 6.—Esquema de distribución de facies en una cubeta evaporítica caracterizada por el dominio de sulfatos laminados (*Muschelkalk* medio; K1, K5). Los niveles carbonatados tienen frecuentemente morfología estromatolítica (modificado de la figura 2.63 de ORTI CABO, 1984).

*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).*

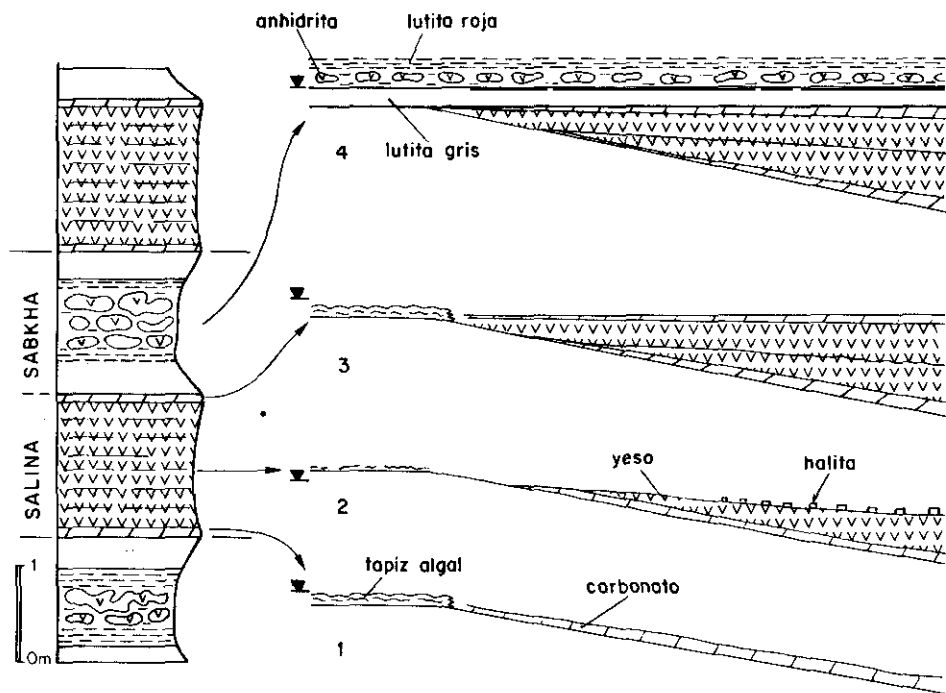
Un claro ejemplo del cambio lateral de todo el potente cuerpo sulfatado (o sulfatado-halítico) central hacia un delgado conjunto estromatolítico periférico se presenta en la Mesa de Prades, en los Catalánides (SALVANY y ORTI, 1985, corte de Gallicant), quedando reflejado en la figura 6. Por otro lado, 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 anhidricas 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 anhidricas 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 anhidricas, 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.<sup>a</sup> 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.<sup>a</sup> 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.