

El registro estratigráfico del Messiniense terminal y el Plioceno en la isla de Mallorca. Relaciones con la Crisis de Salinidad del Mediterráneo

The stratigraphic record of the late Messinian and Pliocene on the island of Mallorca. Relations with the Mediterranean Salinity Crisis

G. Mas Gornals

Grup de recerca Ciències de la Terra (Geologia i Paleontologia "Guillem Colom"), Universitat de les Illes Balears, Cra. Valldemossa, km 7,5. 07122 Palma de Mallorca (Illes Balears). masgornals@gmail.com

Resumen: El objetivo principal de la presente investigación es establecer qué rasgos caracterizan la sedimentación durante la transición Mioceno-Plioceno y la posterior transgresión del Plioceno en la isla de Mallorca, así como definir cómo se relaciona este registro con los diferentes modelos de Crisis de Salinidad Messiniense propuestos para el conjunto del Mediterráneo. Para ello, se ha procedido al análisis estratigráfico de un total de 100 afloramientos y sondeos, muchos de ellos totalmente inéditos o hasta ahora poco estudiados, correspondientes a las cuencas neógenas de la isla de Mallorca. Así, las principales discontinuidades, la geometría estratigráfica y los cambios de facies han sido caracterizados en términos de mayores superficies de erosión, correlaciones laterales y organización vertical de facies, con vistas a la reconstrucción de posibles escenarios. Los resultados obtenidos indican que en la isla de Mallorca el desarrollo de la Crisis de Salinidad Messiniense es más cercano y coherente con los modelos que defienden que la principal fase de desecación se produjo después del depósito de la Evaporita Marginal, el Complejo Carbonático Terminal y la unidad *Lago Mare*.

Palabras clave: Crisis de Salinidad Messiniense, Plioceno, *Lago Mare*, Complejo Carbonático Terminal, Mediterráneo Occidental.

Abstract: *The main aim of this research is to establish what features characterize sedimentation during the Miocene-Pliocene transition and the subsequent Pliocene transgression on the island of Mallorca in order to establish how it relates to the different proposed Messinian Salinity Crisis scenarios for the whole of the Mediterranean. To this purpose, a stratigraphic analysis has been carried out in total of 100 outcrops and boreholes corresponding to the main Neogene basins of Mallorca, many of which are completely unknown and others either little or not at all studied until now. In this way, the main discontinuities, the stratigraphic geometry and the changes of facies have been characterized in terms of the major erosional surfaces, lateral correlations and vertical organization of facies, in order to reconstruct and test possible scenarios. The results indicate that on the island of Mallorca the development of the Messinian Salinity Crisis is nearer to and coherent with the models that represent the main phase of desiccation took place after the deposition of the Marginal Evaporite, the Terminal Carbonate Complex and the Lago Mare unit.*

Key words: *Messinian Salinity Crisis, Pliocene, Lago Mare, Terminal Carbonate Complex, Western Mediterranean.*

INTRODUCCION

La Crisis de Salinidad Messiniense (MSC, por sus siglas en inglés) constituye un evento de gran importancia ambiental que afectó la evolución de todo el Mediterráneo y también las aguas de los océanos a nivel global.

En el Mediterráneo, la crisis se generó principalmente por el aislamiento y/o disminución de las comunicaciones con el océano Atlántico, resultando un nuevo balance hidrológico como consecuencia del cual se depositaron grandes cantidades de evaporitas, tanto en las llanuras abisales como en las zonas marginales, lo que junto con la presencia de una

importante erosión de los márgenes expuestos, apuntan a que se habría podido producir un significativo descenso del nivel del Mediterráneo, de hasta 1000-2500 m. Paradójicamente, durante la crisis existió un período (o periodos), denominados *Lago Mare*, con un fuerte aporte de aguas dulces y/o salobres, posiblemente relacionadas con un gran cambio climático y/o intercambios de aguas con el Paratethys. Finalmente la crisis termina con la restauración de las condiciones marinas normales, coincidiendo con el inicio del Plioceno. La incógnita sobre la naturaleza de la mayor parte de las evaporitas y superficies de erosión aún está pendiente de resolver, constituyendo todavía un reto y objeto de debate para la comunidad científica (CIESM, 2008; Roveri et al., 2014).

En la isla de Mallorca (Fig. 1) pueden encontrarse excelentes evidencias de los efectos de la MSC y de la posterior re-inundación marina del Plioceno. De forma añadida este registro resulta especialmente adecuado para poder testar posibles escenarios, teniendo en cuenta que el Promontorio Balear, a diferencia de otras cuencas del Mediterráneo, ha permanecido relativamente estable en términos de movimientos verticales desde el Mioceno final (Govers et al., 2009; Just et al., 2011; Maillard et al., 2014; Driussi et al., 2015; Mas, 2015), constituyendo un emplazamiento adecuado para abordar el estudio de la MSC con evidentes repercusiones de interés tanto académico (modelos, *scenarios*) como aplicado-industrial (potenciales, *play concepts*).

El objetivo principal de la investigación es establecer qué rasgos caracterizan la sedimentación durante la transición Mioceno-Plioceno y la posterior transgresión del Plioceno en la isla de Mallorca, así como definir cómo se relaciona este registro con la MSC para llegar a un modelo regional, confrontando los datos registrados en Mallorca, dada su coherencia e interpretación, en relación a los distintos modelos o escenarios propuestos para el conjunto del Mediterráneo.

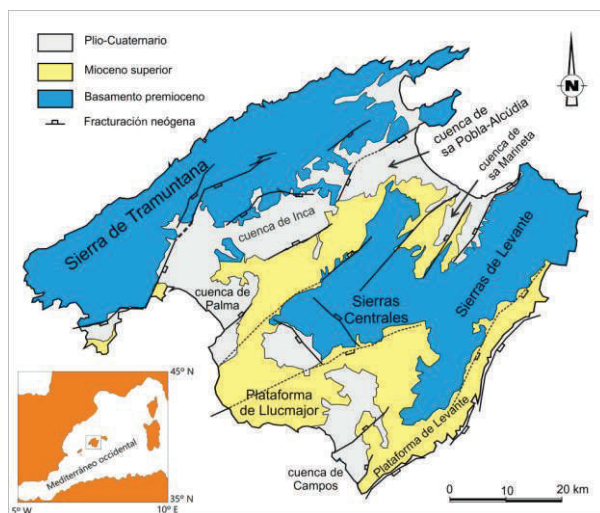


FIGURA 1. Localización de la isla de Mallorca en el Mediterráneo occidental y mapa geoestructural de la isla de Mallorca con la situación de las cuencas estudiadas.

METODOLOGIA

En el presente estudio, se ha procedido al análisis estratigráfico de un total de 100 afloramientos y sondeos correspondientes a las principales cuencas neógenas de la isla de Mallorca: Campos, Palma, Inca, sa Pobra-Alcúdia y sa Marineta (Fig. 1), así como a su correlación con vistas a la reconstrucción de posibles escenarios. De esta manera, las principales discontinuidades, la geometría estratigráfica y los cambios de facies han sido caracterizados en términos de principales superficies de erosión, correlaciones laterales y organización vertical de facies.

Uno de los principales inconvenientes para el estudio del Neógeno en la isla de Mallorca deriva de la dificultad para encontrar y disponer de afloramientos extensos y de buena calidad que nos permitan obtener un mínimo de datos adecuados para poder alcanzar un nivel de discusión y unas conclusiones suficientemente válidas y fiables.

En el presente estudio, aparte de algunas secciones clásicas y suficientemente conocidas, se aporta un buen número de nuevos afloramientos, muchos de ellos totalmente inéditos y otros hasta ahora nada o poco estudiados. Muchas de estas nuevas secciones inéditas pueden parecer individualmente muy limitadas y/o fragmentarias, pero en su conjunto han permitido un muestreo exhaustivo que ha posibilitado llegar a unas conclusiones con unos niveles de fiabilidad y validez destacables.

RESULTADOS

El registro sedimentario de las cuencas neógenas de la isla de Mallorca, desde finales del Mioceno hasta el Cuaternario, nos permite constatar los siguientes acontecimientos (Fig. 2):

(i) Sedimentación pre-crisis representada por el basamento pre o sin-orogénico y la Unidad Arrecifal, formada por depósitos de calizas correspondientes a arrecifes coralinos progradantes sobre facies bioclásticas de talud y plataforma.

(ii) Discontinuidad intra-messiniense que hacia los márgenes de cuenca y coincidiendo con los principales relieves se manifiesta en forma de depósitos detríticos regresivos (Fm. Margas de la Bonanova) derivados de la erosión marginal, para pasar lateralmente hacia las zonas más distales a una conformidad correlativa no erosiva, resultado de una significativa regresión forzada.

(iii) Complejo Carbonático Terminal (CCT) representados por la Fm. Calizas de Santanyi, constituida por depósitos de manglar, calizas oolíticas y microbialitas, localmente diagenizadas y alteradas (Facies Pont d'Inca). Estos depósitos muestran un patrón transgresivo sobre la superficie intra-messiniense o en *onlap* transgresivo sobre los depósitos detríticos resultantes de la erosión de los márgenes (Fm. Margas de la Bonanova). En la cuenca de Palma la Fm. Calizas de Santanyi-CCT, es lateral y cronoestratigráficamente equivalente, al menos en parte, a las evaporitas (PLG, *Primary Lower Gypsum*) ubicadas en el depocentro de cuenca (Fm. Yesos de Sant Jordi).

(iv) Sedimentación de niveles lacustres de poca potencia correspondientes a un ambiente salobre y/o de agua dulce (Fm. ses Olles) con presencia de fauna paratethiense, propia de aguas oligo-mesohalinas poco profundas, generalmente depositados de forma directa, sin evidencias erosivas intermedias, sobre los depósitos del CCT (solo en un único caso se ha podido constatar

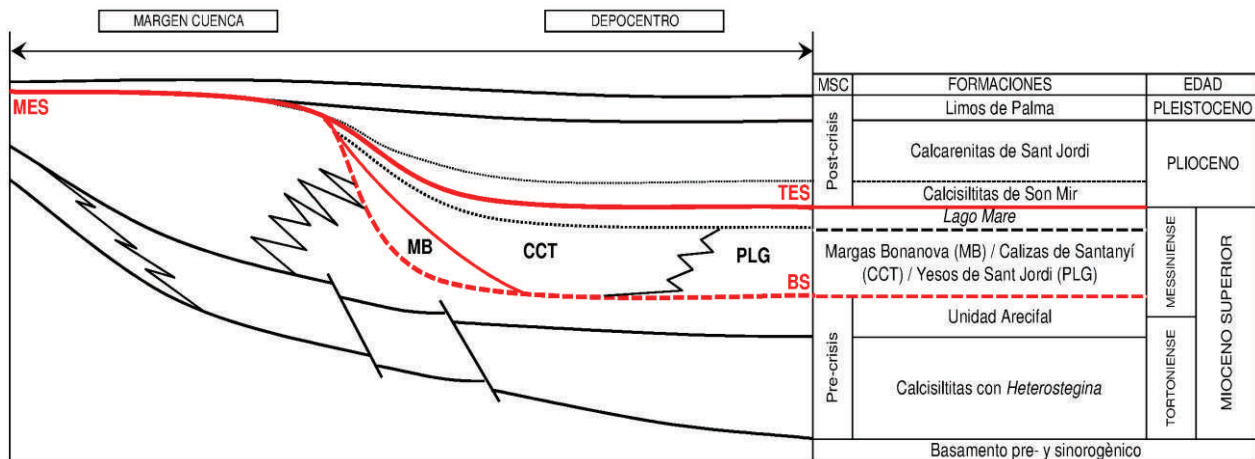


FIGURA 2. Esquema cronoestratigráfico sintético de los depósitos pre-crisis, MSC y post-crisis de la isla de Mallorca.

erosión, en forma de paleosuelo entre el CCT y estos depósitos lacustres). La posición y las condiciones paleoambientales observadas permiten correlacionar estos niveles con depósitos *Lago Mare* ampliamente reconocidos en el Mediterráneo durante la MSC.

(v) Presencia de una superficie de discontinuidad finimessiniense (MES), con evidencias de una fuerte erosión sub-aérea, que puede llegar a erosionar completamente los depósitos *Lago Mare* inmediatos. Esta misma superficie erosiva afecta también a techo a los depósitos del CCT, pudiéndolos eliminar en ocasiones por completo, afectando directamente el techo de la Unidad Arrecifal subyacente. Todo esto nos indica que estos depósitos, es decir tanto del *Lago Mare* como del CCT (PLG incluido), se depositaron antes del inicio de la mayor caída del nivel del mar ocurrida durante el paroxismo de la MSC.

(vi) Evidencias de una transgresión repentina del mar plioceno, con presencia de un *lag* transgresivo en la base, y depósitos marinos profundos (Fm. Calcisiltitas de Son Mir) que lateralmente y hacia techo pasan gradualmente (progradan) a litorales, parálidos y eólico-edáficos (Fm. Calcarenitas de Sant Jordi).

(vii) Finalmente las cuencas son colmatadas por depósitos detríticos aluviales cuaternarios (Fm. Limos Rojos de Palma) pudiendo formarse albuferas y marismas residuales, cordones dunares litorales, así como todo el conjunto de depósitos relacionados con las variaciones glacio-eustáticas cuaternarias.

DISCUSION Y CONCLUSION

La mayor erosión (MES), asociada al pico de máxima caída del nivel del mar, ocurrida durante la fase de máxima desecación, se sitúa a techo de los depósitos de Calizas de Santanyí-CCT y *Lago Mare*, ya que estos se encuentran fuertemente erosionados y posteriormente fosilizados por la transgresión del Plioceno. Así, tanto los depósitos del CCT-PLG como del *Lago Mare* serían anteriores al paroxismo de la MSC.

La secuencia pliocena en su conjunto está constituida por una sucesión granocreciente y progradante, que pasa de forma gradual de depósitos calcilitíticos profundos hacia calcarenitas con niveles lumaquélidos hacia techo, para pasar finalmente a niveles eólicos/edáficos. Entre los niveles marinos pliocenos de carácter litoral se ha podido constatar la existencia de depósitos regresivos intercalados, posiblemente correspondientes a una importante regresión intra-pliocena. Por otra parte, durante la progradación y coincidiendo con momentos de estabilización del nivel marino, se habrían desarrollado algunos niveles restringidos de carácter parálido residual, si bien, se constata que la retirada del mar de las cuencas fue prácticamente completa durante el Pleistoceno inferior.

Estos resultados nos indican que en la isla de Mallorca la expresión de la Crisis de Salinidad Messiniense se acerca más y es coherente con los modelos que defienden que la principal fase de desecación se produjo después del depósito de la Evaporita Marginal (PLG) el Complejo Carbonático Terminal y la unidad *Lago Mare* (Clauzon et al., 1996; Cornée et al., 2008).

Según estos modelos, habrían existido dos episodios evaporíticos (Fig. 3). Durante el primer episodio (5,97-5,94 Ma) se habría producido tan solo una bajada del nivel del Mediterráneo de poco calado que habría provocado el depósito de la unidad detrítica de Margas de la Bonanova en los márgenes e iniciando la de los Yesos de Sant Jordi (PLG) en el depocentro de la cuenca de Palma. Entre los dos episodios evaporíticos se habría producido una breve restitución del nivel del mar (5,94-5,77 Ma) que habría provocado el último depósito de carbonatos (Calizas de Santanyí-CCT) en las zonas marginales, y que en nuestro caso también incluiría el episodio *Lago Mare* al final. El segundo episodio evaporítico (5,77-5,33 Ma) correspondería al principal descenso del nivel del mar (1000-2500 m) que habría provocado la desecación que

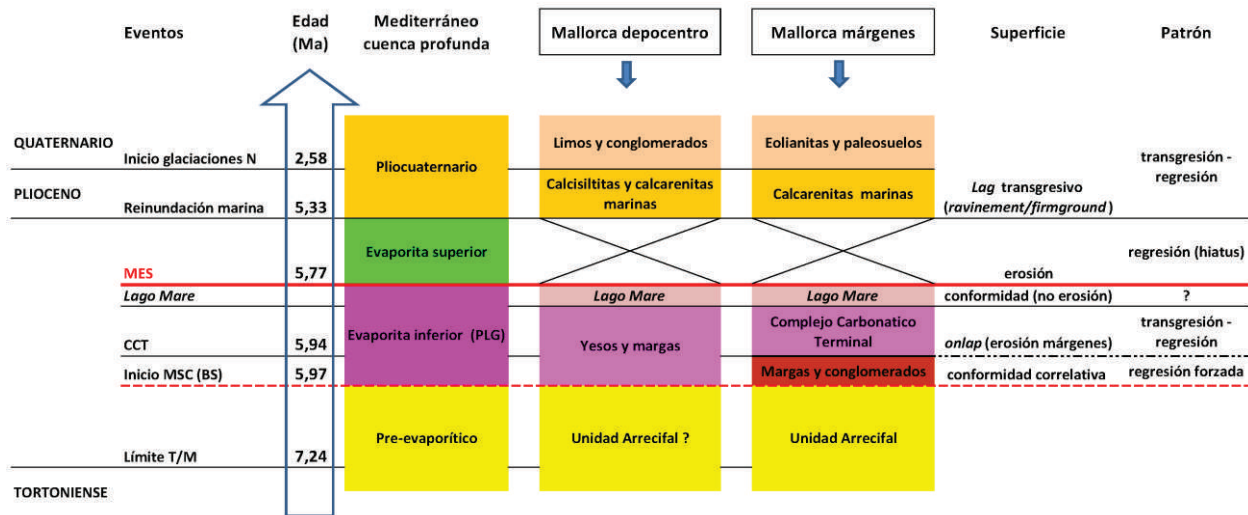


FIGURA 3. Modelo de escenario de los depósitos MSC de la isla de Mallorca y su relación con los eventos del Mediterráneo occidental.

afectó tanto a márgenes como llanuras abisales del Mediterráneo, resultando el depósito de las evaporitas abisales y la erosión (MES) de los depósitos marginales depositados durante el primer episodio (PLG, CCT y *Lago Mare*) o antes de la crisis (Unidad Arrecifal o basamento anterior).

Contrariamente a la postura actualmente "consensuada" que defiende la existencia de un único episodio *Lago Mare* al final de la crisis, justo antes de la re-inundación pliocena (CIESM, 2008; Roveri et al., 2014), la evidencia del *Lago Mare* de Mallorca, claramente erosionado por la superficie de erosión messiniense (MES), implica considerar que este se depositó antes de la fase de mayor desecación de la MSC y no posteriormente, sin que se pueda descartar la existencia de un segundo episodio relacionado con el *highstand* de la re-inundación pliocena (Clauzon et al., 2005).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo constituye un extracto de la tesis doctoral del mismo autor (Mas, 2015) realizada bajo la dirección del Dr. Joan J. Fornós Astò de la *Universitat de les Illes Balears*, en el marco del proyecto CGL 2013-48441-P financiado por el MINECO.

REFERENCIAS

- CIESM (2008): The Messinian Salinity Crisis from mega-deposits to microbiology - A consensus report. Executive Summary. Almeria (Spain), 7-10 November 2007. Briand, F. (ed.). *CIESM Workshop Monographs*, 33: 7-28. Monaco.
- Clauzon, G., Suc, J.P., Gautier, F., Berger, A. y Loutre, M.F. (1996): Alternate interpretation of the Messinian salinity crisis: controversy resolved?. *Geology*, 24(4): 363-366.
- Clauzon, G., Suc, J.P., Popescu, S.M., Marunteanu, M., Rubino, J.L., Marinescu, F. y Melinte, M.C. (2005):

Influence of the Mediterranean sea-level changes over the Dacic Basin (Eastern Paratethys) in the Late Neogene. The Mediterranean *Lago Mare* facies deciphered. *Basin Research*, 17: 437-462.

- Cornée, J.J., Maillard, A., Conesa, G., Garcia, F., Saint Martin, J.P., Sage, F. y Münch, P. (2008): Onshore to offshore reconstruction of the Messinian erosion surface in Western Sardinia, Italy: Implications for the Messinian salinity crisis. *Sedimentary Geology*, 210: 48-60.
- Driussi, O., Maillard, A., Ochoa, D., Lofi, J., Chanier, F., Gaullier, V., Briaies, A., Sage, F., Sierro, F. y Garcia, M. (2015): Messinian Salinity Crisis deposits widespread over the Balearic Promontory: Insight from new high-resolution seismic data. *Marine and Petroleum Geology*, 66 (1): 41-57.
- Govers, R., Meijer, P. y Krijgsman, W. (2009): Regional isostatic response to Messinian Salinity Crisis events. *Tectonophysics*, 463: 109-129.
- Just, J., Hübscher, C., Betzler, C., Lüdmann, T. y Reicherter, K. (2011): Erosion of continental margins in the Western Mediterranean due to sea-level stagnancy during the Messinian Salinity Crisis. *Geo-Mar Letters*, 31: 51-64.
- Maillard, A., Driussi, O., Lofi, J., Briaies, A., Chanier, F., Hübscher, Ch., y Gaullier, V. (2014). Record of the Messinian Salinity Crisis in the SW Mallorca area (Balearic Promontory, Spain). *Marine Geology*, 357: 304-320.
- Mas, G. (2015): *El registre estratigràfic del Messinià terminal i del Pliocè a l'illa de Mallorca. Relacions amb la crisi de salinitat de la Mediterrània*. Tesis doctoral. Universitat de les Illes Balears. 534 pp.
- Roveri, M., Flecker, R., Krijgsman, W., Lofi, J., Lugli, S., Manzi, V., Sierro, F.J., Bertini, A., Camerlenghi, A., de Lange, G.J., Govers, R., Hilgen, F.J., Hübscher, C., Meijer, P.T. y Stoica, M. (2014): The Messinian Salinity Crisis: past and future of a great challenge for marine sciences. *Marine Geology*, 352: 25-58.