Aplicación del análisis fractal a las paleoestructuras de colapso kárstico del Mioceno superior de la costa este de Mallorca, España

Fractal analysis applied to the study of the karst collapse paleostructures in the Upper Miocene of eastern coast of Mallorca, Spain

P. Robledo [1] J.J. Durán [1] y P. Gumiel [1]

[1] Instituto Geológico y Minero de España. c/Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid

ABSTRACT

Recent studies have focused on the fractal geometry techniques to study the karst phenomenon applying a fractal method to this matter. In this paper, we study the spatial distribution of paleokarst collapse structures at Mallorca island. The paleofeatures are located on the carbonate platform to the east cost of Mallorca island. The paleostructures were mapped a scale 1:25.000. Data of straight distances between paleocollapses along the coastline were recorded on a traverse (scan line) and the number of events are related to the distance by a power law equation $N \propto d^{-D}$, where N is the number of paleocollapses and d is the distance. The exponent D (d) = 0,89 is the fractal dimension of the distance distribution showing a good fit in a 30 m - 600 m range.

***Key words**: fractal dimension, Mallorca, paleokarst, Upper Miocene.*

Geogaceta, 31 (2002), 27-29
ISSN:0213683X

Introducción y marco geológico

Las rocas carbonáticas del Mioceno superior de la costa este de Mallorca están afectadas por paleoestructuras de colapso kárstico sinsedimentarias (Fig. 1). Dichas paleoformas son el resultado de fenómenos de hundimientos por disolución de las capas infrayacentes, asociados a subidas y bajadas del nivel del mar (Robledo y Pomar, 2000).

El análisis fractal es una herramienta que ha sido utilizada en ocasiones para el estudio de formas y fenómenos ligados a los procesos geológicos y geomorfológicos. White y White (1979), Curl (1986) y Reams (1991), entre otros autores, han analizado el comportamiento fractal de diversos aspectos morfométricos de formas kársticas. En este trabajo se pretende, mediante la aplicación de un método fractal unidimensional, averiguar si la distribución espacial de las distancias entre paleocolapsos medidas en una transversal presenta un comportamiento fractal.

La zona de estudio se localiza a lo largo de la costa este de la Isla de Mallorca, entre Cala Màrmols (39° 17' N) y Porto Cristo (39° 33' N). También, se observan algunas paleoestructuras en una estrecha franja (no superior a 1 km) de la Marina de Llucmajor (39° 16' N), situada al sur de la costa oeste de Mallorca (Fig. 2).

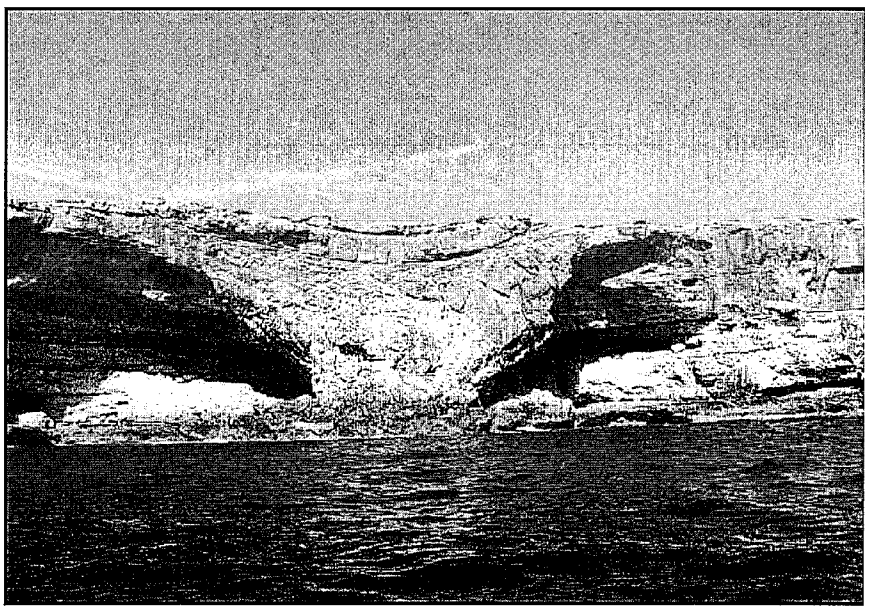

Fig. 1.- Paleoestructura de colapso kárstico. Sa Punta des Savinar, Mallorca.

Fig. 1.- Karst collapse paleostructure. Sa Punta des Savinar, Mallorca.

Las rocas carbonáticas del Mioceno superior de Mallorca afloran extensamen-

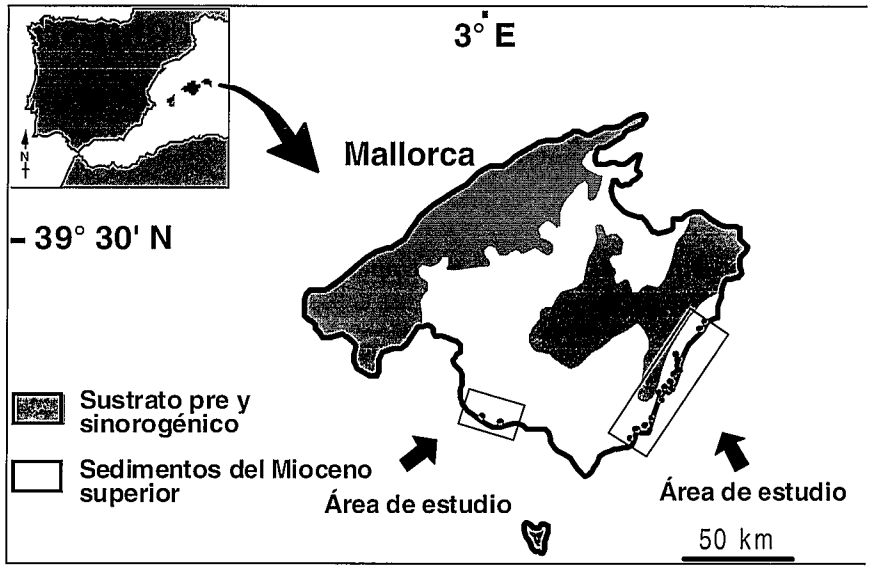

Fig. 2.- Situación geográfica de Mallorca y distribución de las paleoestructuras de colapso kárstico.

Fig. 2.- Geographical Setting and sink-hole paleostructure distribution.

te en los acantilados costeros del levante de la isla. Dichos depósitos corresponden a plataformas calcáreo-dolomíticas tabulares que se hallan afectadas únicamente por algunas fallas y ligeros basculamientos ocurridos durante el Plioceno y el Pleistoceno (Pomar y Ward, 1994; Pomar *et al.*, 1996).

Las paleoestructuras de colapso kárstico se han desarrollado tanto en las capas correspondientes a sedimentos de *lagoon* arrecifal como, y sobre todo, en las calizas correspondientes a la denominada Unidad de Santanyí (Fig. 2). La unidad arrecifal está formada por un sistema de arrecifes progradante de edad Tortoniense superior-Messiniense (zona N17 de Blow) (Pomar, *et al.*, 1996). La unidad superior (Calizas de Santanyí), atribuida al Messiniense (Fornós y Pomar, 1982), contiene diversidad de facies, incluidas calizas oolíticas y estromatolíticas (Fornós y Pomar, 1984), dolomías y margas con yesos, y conglomerados de *fan-delta*. Ambas unidades responden a complejas fluctuaciones eustáticas.

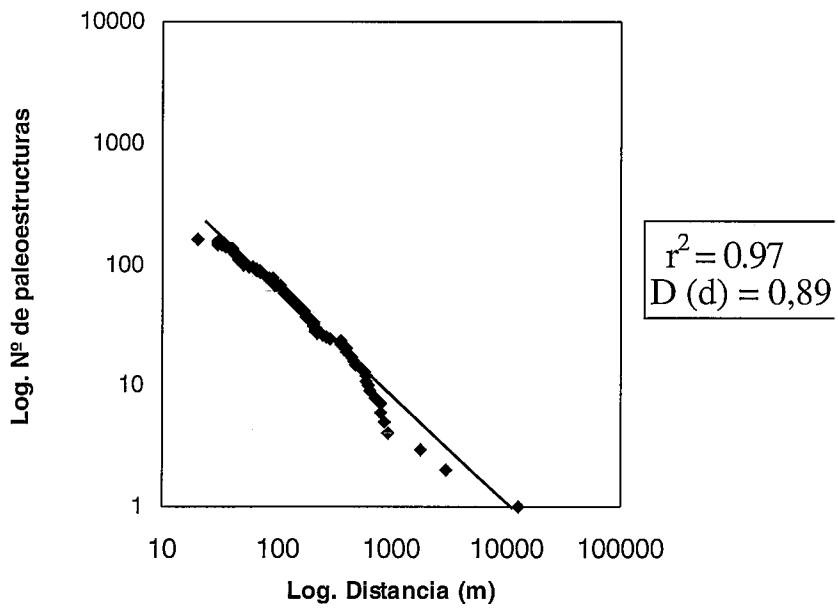

Fig. 4.- Variación de la distancia entre paleoestructuras de colapso.

Fig. 4.- Distance variation between collapse paleostructure.

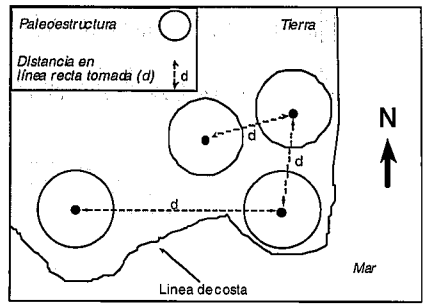

Fig. 3.- Distancia en línea recta entre paleoestructura de colapso.

Fig. 3.- Straight line distance between collapse paleostructure.

Metodología y datos obtenidos

El tratamiento estadístico se ha efectuado sobre las medidas de las distancias en línea recta entre pares de paleoestructuras, considerando siempre las más cercanas, según una transversal de dirección SO-NE (Fig. 3). Se han tenido en cuenta únicamente los colapsos situados en la Marina de Llevant. Las medidas se han obtenido a partir de la cartografía a escala 1:25.000, identificando cada paleoestructura con un punto en el mapa. Se han cartografiado un total de 158 afloramientos a lo largo de 79 km de perímetro litoral, con un acumulado de distancias entre paleoestructuras de 41 km.

El análisis pretende demostrar si la distribución de las paleoestructuras en el levante de Mallorca presenta un comportamiento fractal que pudiera cuantificarse mediante la dimensión fractal de su distribución de distancias (D)d.

El método utilizado para el análisis de la dimensión fractal ha sido a partir de la medida de las distancias intercolapsos en una transversal unidimensional (*scan line*). Se han considerado las distancias en línea recta así como el número de eventos (paleocolapsos). Las distancias del número de paleocolapsos (N) que se escalan con una distancia mínima (d) considerada presentan una distribución hiperbólica (fractal) según la ecuación $N \alpha d^{-D}$, (Gumiel y Paredes, 1995; Paredes, 1995) siendo N el número de paleocolapsos y d la distancia entre ellos. El exponente D está relacionado con la dimensión fractal del sistema (en este caso de la distribución de las distancias consideradas) y se obtiene de la ecuación anterior aplicando logaritmos (Gumiel y Paredes, 1995). En un gráfico bilogarítmico log N° de paleoestructuras (N) – log distancia (d), la dimensión fractal D (d) es la pendiente de la recta de ajuste de la distribución.

Resultado del análisis fractal

Como puede observarse en el diagrama bilogarítmico (Fig. 4), la D(d) obtenida es <1, D(d)= 0,89, con un alto coeficiente de correlación: r^2= 0,97. La recta de ajuste de la distribución de estas paleoestructuras muestra que hay un conjunto numeroso de paleoestructuras espaciadas a intervalos inferiores a 1000 m y otro conjunto más reducido con intervalos superiores a 1000 m. Por consiguiente, la distribución de distancias intercolapsos puede considerarse invariante al cambio de escala (fractal) en un intervalo comprendido entre 30 m y 600 m.

El cambio de pendiente en la recta de ajuste (entre 400 y 800 m), puede interpretarse como debido a la existencia de dos poblaciones con distinta dimensión fractal.

Discusión y conclusiones

El intervalo en el que los paleocolapsos muestran un comportamiento fractal parece estar relacionado con la hipótesis del modelo genético descrito por Robledo y Pomar (2000 a y b) sobre la distribución espacial de los mismos. Según estos autores, dicha distribución está relacionada con las zonas donde aparecen parches aragoníticos de forma masiva (zonas de *lagoon* externo). Por el contrario, las estructuras que mantienen intervalos de distancia superiores, se desvían de la recta de ajuste y se sitúan en el margen del *lagoon* interno, donde no se tiene constancia de afloramientos coralinos masivos, siendo en consecuencia, no susceptibles de presentar hundimientos de los estratos suprayacentes (Caliza de Santanyí).

Por consiguiente, la distribución espacial de las paleoestructuras de colapso kárstico del Mioceno superior de Mallorca, está estrechamente relacionada con la distribución del aragonito en la plataforma carbonatada. La disolución pudo producirse preferentemente en esos parches de coral, en la interfase agua dulce-agua salada, dando lugar al posterior hundimiento de las capas suprayacentes.

De este estudio preliminar se puede deducir la existencia de una buena correlación entre los datos aportados por el análisis estadístico de la distribución espacial de los paleocolapsos, confirmándose invariante al cambio de escala, al menos en dos órdenes de magnitud, y el modelo geológico propuesto.

Agradecimientos

El presente trabajo se ha realizado en el marco de una beca de investigación concedida por el Instituto Geológico y Minero de España al primero de los firmantes, durante el año 2001. Es también una contribución del Grupo Español de Trabajo del Proyecto 448 del Programa Internacional de Correlación Geológica (IGCP).

Referencias

Curl, R.L. (1986): *Math. Geol.* 18, 765-783 p.

Fornós, J. y Pomar, L. (1982): *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears,* 26, 207-228 p.

Fornós, J. y Pomar, L. (1984): *Publi. Geol.Univ. Auton. Barcelona.* 20, 319-318 p.

Gumiel, P. y Paredes, C. (1996): *Tierra y Tecnología*, 13/14, 12-21 p.

Paredes, C. (1995): *Tesis doctoral,* U.P.M., *(Inédita).* Madrid. 286 p.

Pomar, L. y Ward, W.C. (1994): *Geology*, 22, 131-134 p.

Pomar, L. y Ward, W.C. y Green, D.G. (1996): *S.E.P.M Concepts in Sedim.and Paleont. 5,* 191-225 p.

Reams, M.W. (1991): *Geomorphology*, 5 159-165 p

Robledo, P. y Pomar, L. (2000 a): *Acta Karsológica.* 2, 177-185 p.

Robledo, P. y Pomar, L. (2000 b): *Geotemas*, 2, 189-193 p.

White, E.L. y White W.B. (1979): *Geol. Soc. Am. Bull.* 90, 285-396 p.