

Análisis preliminar del cálculo de la dimensión fractal de diferentes tipos de costa en el litoral andaluz.

Preliminary analysis for the calculation of the fractal dimension of different types of shorelines on the Andalusian coast.

M. López-Martín¹ y P. Fraile-Jurado²

¹ Investigador freelance; mazzagon@hotmail.com

² Departamento de Geografía Física y A.G.R., Universidad de Sevilla. C/ María de Padilla s/n CP 41004; pfraile@us.es

Resumen: En este trabajo se analiza la correlación entre la dimensión fractal de diferentes tipos de costas en Andalucía en función de la escala de digitalización y tipo de costa. Para ello se han digitalizado, a diferentes escalas que van 1:1.000 a 1:20.000, tramos significativos de la costa andaluza utilizando ortofotografías de alta resolución. Para testar la metodología desarrollada, los tramos elegidos son de una amplia variedad morfológica, como playas abiertas, costas acantiladas, sectores con amplias infraestructuras y marismas mareales. Los resultados del análisis, plasmados en el cálculo de la dimensión fractal para cada tipo de costa, vierten información sobre la importancia de la escala en las mediciones costeras y cómo varía su impacto en función de las características de la costa.

Palabras clave: fractal, línea de costa, escala, digitalización.

Abstract: *The correlation between the fractal dimension of different types of costs in Andalusia in terms of digitizing scale and type of expense is analyzed in this work. Significant sections of the Andalusian coast were digitized at different scales ranging from 1:1,000 to 1:20,000, by means of the use of high resolution orthophotos. In order to test the developed methodology, the chosen sections show a wide morphological variety, as open beaches, coastal cliffs, sectors with large infrastructures and tidal marshes. The results of the analysis, reflected in the calculation of the fractal dimension for each type of expense, provide information about the importance of scale in coastal measurements and how their impact varies depending on the characteristics of the coast.*

Key words: *fractal, shoreline, scale, digitation.*

INTRODUCCIÓN

"La evidencia empírica sugiere una regla que, si se extrapola, muestra que la longitud se incrementa sin límite a medida que la longitud del tramo disminuye." (Mandelbrot 1967).

Los fractales, del latín *fractum*, quebrado, son formas de geometría no euclidiana caracterizadas por cierta autosimilitud dentro de una continua irregularidad. En este artículo se aborda un acercamiento a la geometría fractal desde el punto de vista de la línea de costa. Siendo la propia línea de costa el ejemplo paradigmático de fractal, fue este elemento geográfico sobre el que se desarrolló el primer acercamiento científico y matemático a los fractales (Mandelbrot 1967). La necesidad de representación de una amplísima cantidad de modelos, terrenos y objetos geográficos hace que no siempre sea tan simple la reducción a los clásicos puntos, líneas y polígonos. En el caso del presente análisis preliminar la línea, un elemento aparentemente perfecto para la reproducción de la costa se convierte en sí misma en un objeto problemático y cuya delimitación se aleja mucho de la exactitud dada la propia naturaleza fractal

de la costa, así como su progresividad en cuanto a su delimitación. Enlazando los conceptos de escala de medición y longitud resultante en una digitalización de la costa andaluza, se pretende conseguir una visión general sobre el comportamiento de las costas al ser medidas, proporcionando información preliminar para futuras decisiones respecto a la escala al afrontar digitalizaciones costeras.

ÁREA DE ESTUDIO

Se eligieron cuatro áreas diversas morfológicamente dentro de la costa andaluza, cuya representatividad se explica más adelante. Estas cuatro áreas son:

-Caño este del Río Piedras (Huelva): El río Piedras es un cauce fluvial onubense con una cuenca pequeña, cuya desembocadura genera diversas formas litorales, la más representativa de las cuales es la Flecha del Rompido. El estudio se efectúa en los caños mareales localizado en las marismas formados al abrigo de la flecha (Fig. 1). El área digitalizada pertenece íntegramente al Paraje Natural Marismas del Río

Piedras y Flecha del Rompido, y no presenta ningún elemento de origen antrópico.

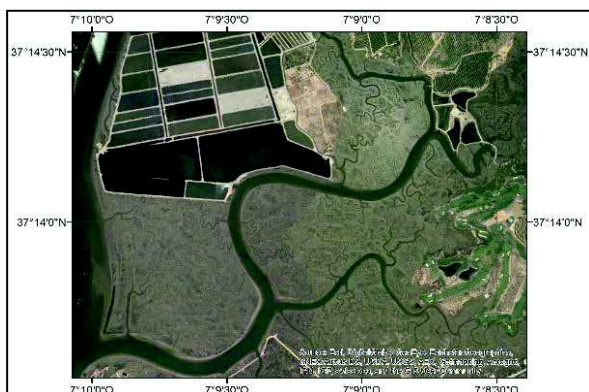


FIGURA 1. Zona de estudio del caño este del Río Piedra, Huelva.

-Puerto Deportivo de Mazagón-Playa del Parador Nacional de Turismo de Mazagón (Huelva): Sección del litoral onubense, comprendida entre la arista sur del muro de contención del Puerto Deportivo de Mazagón hasta el punto de la costa perpendicular al acceso a la playa desde el Parador Nacional de Turismo de Mazagón (Fig. 2). Se trata de una costa uniforme, continua, la más larga de la provincia que continúa sin ningún tipo de interrupción hasta la desembocadura del Guadalquivir.



FIGURA 2. Tramo Puerto Deportivo de Mazagón-Playa del Parador Nacional de Turismo de Mazagón, Huelva.

-Playa del Pedregalejo-Faro Candado (Málaga): Es un sector de playa urbana localizado en el este del núcleo urbano de Málaga capital. Se trata de un segmento fuertemente antropizado, urbanizado y con actuaciones destinadas al control de la arena con pequeños espigones en forma de “T” que delimitan calas (Fig. 3).

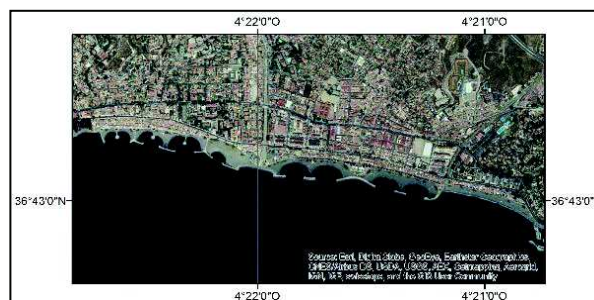


FIGURA 3. Zona de estudio de Faro de Pedregalejo – Faro Candado, Málaga.

-Cabo de Gata-Puerto de San José: El sector más largo de todos los digitalizados, comprende una costa heterogénea, en la que podemos encontrar ejemplos de playas sedimentarias, calas, promontorios volcánicos e infraestructuras (Fig. 4). Dicha costa pertenece al Parque Natural Cabo de Gata-Níjar.

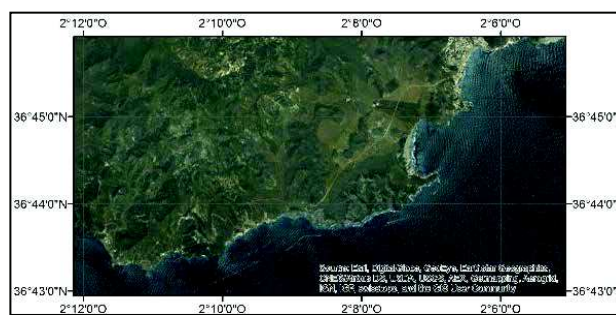


FIGURA 4. Tramo de Cabo de Gata – Puerto de San José, Almería.

DATOS Y MÉTODOS

Los datos utilizados son la serie de ortofotos en color 0,5 metros/píxel de las zonas digitalizadas. Estas ortofotos pertenecen a la serie 2010/2011 de la Junta de Andalucía y presentan una base homogénea en cuanto a su sistema de coordenadas, resolución y criterios de medición, así como en los tipos de archivos digitales.

Respecto a la metodología, se digitalizaron líneas de costa en diferentes tipos de espacio a escalas de 1:20.000, 1:10.000, 1:5.000, 1:2.500 y 1:1.000, empleando los criterios descritos por Casal et al. (2010), en el que se identifica la línea de costa como el límite entre lo húmedo y seco delimitado por la marca de la última pleamar observada en la foto. Se digitalizaron entre 4 y 7 líneas de costa de diferente tamaño en cada tramo de estudio, eligiendo los sectores en función de su homogeneidad interna, registrando la longitud de cada tramo digitalizado a cada una de las escalas (Fig. 5). Se descartó el uso de escalas mayores, como 1:500, debido a que, por las características de las ortofotografías empleadas, la visualización no mejoraba con respecto a la escala 1:1.000, dificultando en todo caso las tareas de digitalización.

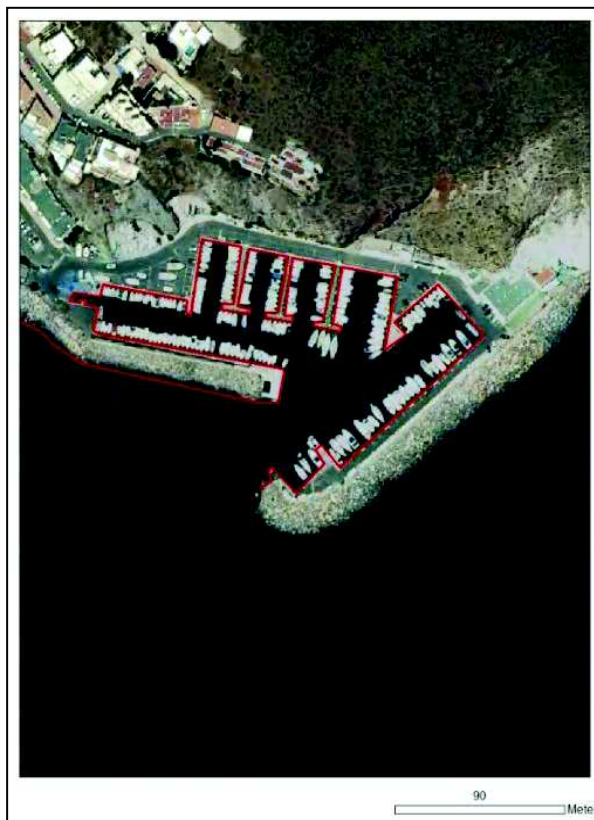


FIGURA 5. Detalle de la digitalización del puerto deportivo, dentro del tramo de Cabo de Gata.

A continuación, y empleando el software *fractalyse*, se calculó la dimensión fractal de cada sector costero, para lo cual fue necesario recalcular en base 1 tanto la longitud como el número de vértices, pudiendo así realizar comparaciones homogéneas entre las variables registradas. La dimensión fractal responde a la expresión (1), permitiendo describir la autosimilitud o fractalidad de una línea.

$$D = \frac{\log N}{\log S} \quad (1)$$

Donde *N* son el número de piezas necesarias para cubrir la longitud de la figura inicial, y *S* es el factor de escala, es decir, el cociente entre una medida tomada en la figura grande y la misma medida tomada en la figura pequeña en una misma unidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se obtuvieron dos tipos de resultados. En primer lugar, el incremento de cada tramo de costa digitalizado en función de su escala. En la figura 6 aparecen sintetizados los tramos más representativos de cada sector costero. En el caso de las marismas, se aprecia un incremento constante de la longitud costera a partir de la escala 1:10.000, observándose semejanza entre las longitudes a 1:10.000 y 1:20.000. En las líneas digitalizadas en Málaga, la longitud costera se mantiene prácticamente estable en las escalas 1:10.000,

1:5.000, 1:2.500 y 1:1.000, mientras que en Cabo de Gata el incremento es suave pero constante en todas las escalas.

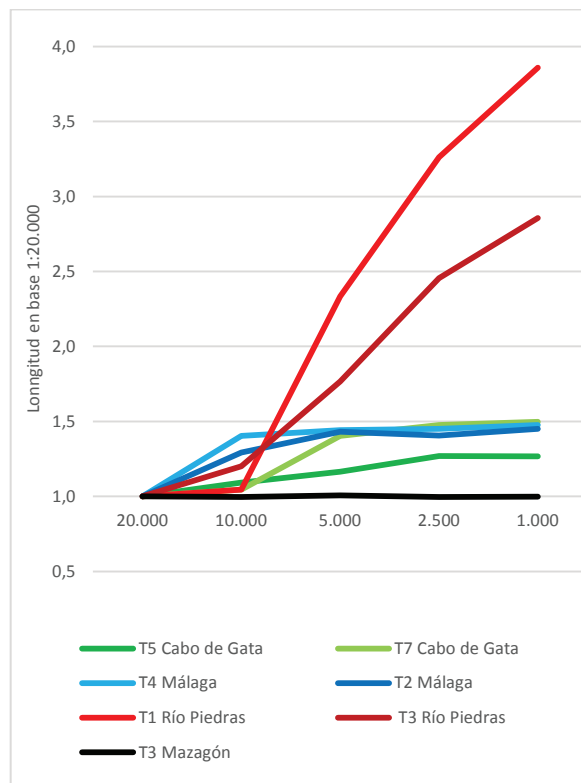


FIGURA 6. Incremento de la longitud de tramos costeros significativos en base 1:20.000.

En la tabla 1 se representa la dimensión fractal obtenida para el total de cada sector estudiado. La dimensión fractal más elevada se encuentra en las escalas de mayor detalle en las áreas de marisma. Al igual que sucede con los registros de la longitud, en los casos de Málaga y Cabo de Gata, la dimensión fractal parece permanecer estable, mientras que en la costa casi rectilínea de Mazagón los valores son bajos independientemente de la escala.

ZONA	FRACTALIDAD				
	1:20.000	1:10.000	1:5.000	1:2.500	1:1.000
Málaga	1,024	1,04	1,051	1,055	1.043
Mazagón	1	0,99	0,92	0,92	0,959
Cabo de Gata	1,027	1,03	1,033	1,051	1,03
Río Piedras	1,148	1,21	1,253	1,293	1,263

TABLA 1. Dimensión fractal obtenida de la suma total de los tramos objeto de estudio en cada localización.

Los resultados obtenidos muestran un notable grado de coherencia interna. Tal y como ha sido reportado en algunas publicaciones sobre esta cuestión (Dai et al., 2004), las costas rectilíneas muestran una baja

fractalidad, frente a las áreas de marismas y estuarios, cuya fractalidad se incrementa paralelamente al aumento de la escala de análisis, coincidiendo con los resultados obtenidos tanto para las relaciones entre escala y fractalidad como para escala y longitud. Según Tanner et al. (2006), las marismas del Río Piedras serían costas de fractalidad media alta, frente a las de Cabo de Gata y Mazagón, de valores medios y bajos respectivamente.

En las gráficas lineales generadas a partir de las tablas se pueden observar las tendencias generales que toma en los diferentes tipos de costa la relación entre la escala de digitalización y la longitud obtenida. Por ejemplo, en el tramo de Málaga se puede concluir que mantiene un comportamiento asintótico en todos sus tramos a partir de la escala 1:10.000. La digitalización de elementos antrópicos como pequeños espigones queda a veces imposibilitada en escalas más pequeñas, pero resulta semejante a escalas mayores. El ejemplo de la playa lineal de Mazagón mantiene características que hace poco recomendable la digitalización en cualquier escala de alto detalle. En el caso de la marisma la digitalización se torna en un elemento que define en gran medida el resultado.

CONCLUSIONES

Las principales conclusiones obtenidas de este trabajo son las siguientes:

La fractalidad de una línea de costa depende esencialmente de dos variables: la escala de digitalización y las características morfológicas del tramo costero.

Las infraestructuras, caracterizadas por la presencia de elementos rectilíneos, presentan un comportamiento diferente de las costas naturales, en tanto en cuanto muestran un comportamiento asintótico en incremento de longitud y de su dimensión fractal a partir de una escala que permita observar adecuadamente la forma de la infraestructura.

A la hora de tomar decisiones sobre las características de un proceso de digitalización, es esencial conocer la fractalidad de la línea de costa a digitalizar. Es posible descartar escalas inadecuadamente amplias (es decir, de mayor detalle) de digitalización, permitiendo ahorrar costes y tiempo de procesamiento de información.

Asimismo, y desde un punto de vista de la gestión, es preciso considerar la importancia de la fractalidad de determinados tipos de áreas costera de alta fractalidad (como las marismas) frente a otros cuya variación de la longitud resulta despreciable, independientemente de la escala a la que se estudien.

REFERENCIAS

- Casal, G., Sánchez-Carnero, N. y Freire, J. (2010): Generación de una línea de costa digital de Galicia (NW España) a gran escala, utilizando fotointerpretación y segmentación dinámica. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (53): 7-19.
- Dai, Z. J., Li, C. C. y Zhang, Q. L. (2004): Fractal analysis of shoreline patterns for crenulate-bay beaches, Southern China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 61(1): 65-71.
- Mandelbrot, B. B. (1967): How long is the coast of Britain. *Science*, 156(3775), 636-638.
- Tanner, B. R., Perfect, E. y Kelley, J. T. (2006): Fractal analysis of Maine's glaciated shoreline tests established coastal classification scheme. *Journal of coastal research*, 22-5, 1300-1304.