

**Cómo citar este artículo:**

Ezequiel Andréu Cazalla *et al.* “Determinación de un modelo funcional de uso del espacio del delfín común (*Delphinus delphis*) y delfín listado (*Stenella coeruleoalba*) en el estrecho de Gibraltar mediante análisis multifractal e índices de similitud estructural (ssim)”. *Almoraima. Revista de Estudios Campogibraltares*, 49, diciembre 2018. Algeciras. Instituto de Estudios Campogibraltares, pp. 33-46

Recibido: septiembre de 2017  
Aceptado: octubre de 2017

# DETERMINACIÓN DE UN MODELO FUNCIONAL DE USO DEL ESPACIO DEL DELFÍN COMÚN (*DELPHINUS DELPHIS*) Y DELFÍN LISTADO (*STENELLA COERULEOALBA*) EN EL ESTRECHO DE GIBRALTAR MEDIANTE ANÁLISIS MULTIFRACTAL E ÍNDICES DE SIMILITUD ESTRUCTURAL (SSIM)

*Ezequiel Andréu Cazalla* / Departamento de Investigación Turmares Tarifa

*Daniel Patón Domínguez* / Área de Ecología. Facultad de Ciencias, Universidad de Extremadura

*Salvador Román del Valle* / Departamento de Biología, Universidad de Cádiz

*Iris Anfruns* / Universidad de Barcelona

*Cristina Martín Bernal* / Departamento de Investigación Turmares Tarifa

## RESUMEN

En el estrecho de Gibraltar se pueden observar hasta cuatro especies residentes de cetáceos. Entre estas se encuentran el delfín común (*Delphinus delphis*) y el delfín listado (*Stenella coeruleoalba*). Se han recopilado datos de ambas especies durante doce años desde plataformas oportunistas de observación de cetáceos, obteniéndose un total de 436 registros de delfín común y 1138 de delfín listado. Se han determinado funciones Kernel y se han rasterizado con una resolución de 0,01 grados decimales. Posteriormente, ambas imágenes raster han sido analizadas mediante el índice de similitud estructural resultando un valor de 0,999~1,0, lo que indica una asociación absoluta entre ambas especies. Por otro lado, por medio de un análisis de la semivarianza se ha determinado el área de muestreo mínimo (uso espacial de máxima varianza) que ha resultado en 2,92 metros para el delfín común y 3,47 metros para delfín listado. Un análisis multifractal nos muestra las medidas fractales ( $Dq$ ) respecto a la densidad relativa (momentos  $q$ ) entre -10 y +10, lo que indica que el delfín común muestra mayor complejidad (mayor  $Dq$ ) en áreas de alta densidad, por lo tanto, el delfín común como el delfín listado ocupan el mismo espacio pero no usan del mismo modo el territorio. Probablemente el delfín común se alimente de presas más concentradas en el espacio, puede que diversificadas en tamaño, aunque también cabe la posibilidad de que exista una relación de comensalismo en la que individuos de delfín común aprovechan la masificación de delfines listados para buscar alimento en el Estrecho.

**Palabras clave:** cetáceos, estrecho de Gibraltar, avistamiento de cetáceos, delfín común, delfín listado.

## ABSTRACT

Up to 4 species of resident cetaceans can be observed in the Strait of Gibraltar. Between them we can find the common dolphin (*Delphinus delphis*) and the striped dolphin (*Stenella coeruleoalba*). Data from both species have been collected during twelve years from opportunistic platforms of whale watching, obtaining 436 records of common dolphin and 1138 records of striped dolphin. Kernel functions have been determined and have been rasterized with a resolution of 0.01 decimal degrees. Both raster images were analyzed by the structural similarity index, resulting in a value of 0.9999 ~ 1.0, indicating an absolute association between both species. On the other hand, through an analysis of the semivariance, the minimum sampling area (spatial use of maximum variance) has been determined, which has resulted in 2.92 meters for the common dolphin and 3.47 meters for the striped dolphin. A multifractal analysis shows the fractals ( $Dq$ ) related to the relative density (moments  $q$ ) between -10 and +10, indicating that the common dolphin shows high complexity (bigger  $Dq$ ) in areas of high density, Both the common dolphin and the striped dolphin use the same space but do not use the territory in the same way. Probably the common dolphin feed more concentrated prey, may be diversified in size, although there is also the possibility of a commensal relationship in which individuals of common dolphin take advantage of the large groups of striped dolphins to find food in the Strait.

**Key words:** cetaceans, Strait of Gibraltar, whale watching, common dolphin, striped dolphin.

## 1. INTRODUCCIÓN

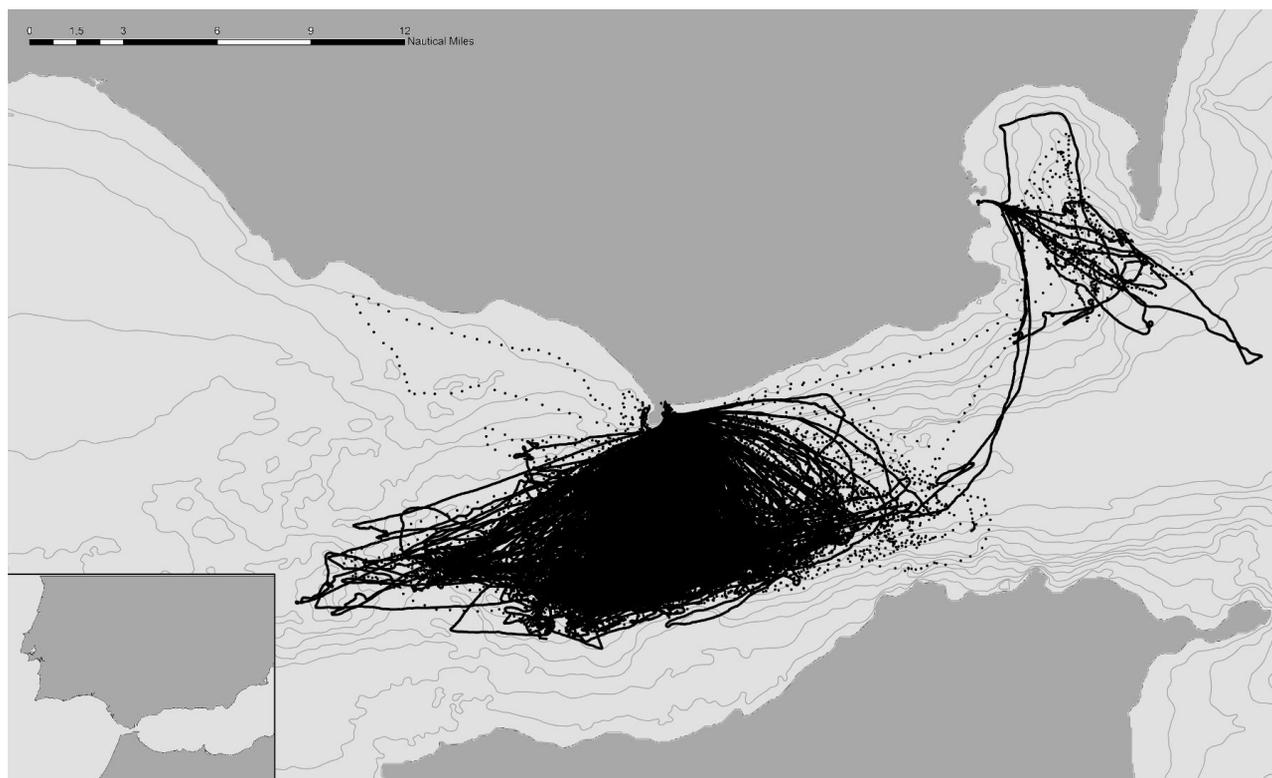
La población de delfín listado de la zona oeste del Mediterráneo se ha estimado en 225 000 individuos, siendo la especie más abundante en el Mediterráneo central (Perrin *et al.*, 1994; Reyes, 1991). En momentos en los que la temperatura aumenta en la franja sur del Mediterráneo, las poblaciones de delfín listado realizan desplazamientos hacia la franja norte. De acuerdo con Bourreau y Gannier (2003), los delfines listados en el Mediterráneo son normalmente pelágicos, y se suelen observar en zonas con profundidades de aproximadamente 1760 metros, y en un rango de

DETERMINACIÓN DE UN MODELO FUNCIONAL DE USO DEL ESPACIO DEL DELFÍN COMÚN (*DELPHINUS DELPHIS*) Y DELFÍN LISTADO (*STENELLA COERULEOALBA*) EN EL ESTRECHO DE GIBRALTAR MEDIANTE ANÁLISIS MULTIFRACTAL E ÍNDICES DE SIMILITUD ESTRUCTURAL (SSIM)

Ezequiel Andreu Cazalla *et al.*

temperatura comprendido entre 20°C y 24°C (Borrega, 2008). La dieta del delfín listado en las costas mediterráneas españolas se compone principalmente de cefalópodos aunque también se alimenta de pequeños peces pelágicos. Su dieta también varía de acuerdo con la disponibilidad de alimentos, en términos de cantidad y composición, reflejando cambios en la abundancia relativa de las especies de peces (Spiz *et al.*, 2003). Los delfines listados pueden alimentarse entre los 200 y los 700 metros de profundidad (Archer, 2009).

La población de delfín común ha disminuido en el último siglo y el mar de Alborán es ahora uno de los lugares más habitados por esta especie, donde su población se ha estimado en torno a 19 428 ejemplares (Cañadas y Hammond, 2008). La presencia de estos animales en grandes cantidades en el mar de Alborán contrasta con zonas donde la presencia del delfín común es rara o completamente nula (Bearzi *et al.*, 2004). Esta especie suele encontrarse en aguas con un rango de temperatura entre 10°C y 20°C, lo que marca sus límites de distribución al norte y al sur a pesar de que a veces se aleja de estos límites geográficos siguiendo corrientes de agua caliente (Culik 2010). En el estrecho de Gibraltar suelen observarse grupos de en torno a 200 individuos desplazándose hasta la plataforma de las Azores navegando al oeste al amanecer y al este al anochecer (Evans, 1994). De acuerdo con Bourreau y Gannier (2003), el delfín común en el Mediterráneo frecuentemente se observa en aguas costeras y con fondos abruptos, siendo la profundidad media de las observaciones 480 metros. Este tipo de hábitat también es favorable para pequeños peces pelágicos como anchoas y sardinas, que son las presas predominantes según los estudios de contenidos estomacales (Meynier *et al.*, 2008), aunque también se suelen alimentar de calamares.



**Mapa nº 1.** Mapa del esfuerzo realizado por las embarcaciones en el estrecho de Gibraltar durante el periodo de estudio (2003-2015).

Para estudiar la distribución y, por tanto, el uso del espacio de estos animales hemos usado un análisis multifractal. Este método permite determinar la relación de un proceso con diferentes escalas espaciales (Ristanović y Losa, 2013). Según Kinsner, (2007), la intensidad de estos cambios se puede asociar a una dimensión fractal (monofractalidad) o a un espectro de dimensiones (multifractalidad). Lo más común en la naturaleza es la multifractalidad, debido a la auto-similitud de muchos procesos naturales que coexisten y causan estructuras muy organizadas (Sugihara y May, 1990). Además de esto, el análisis multifractal tiene una ventaja respecto a otros análisis matemáticos y es que no requiere ninguna asunción estadística y puede ser aplicado a datos no estacionarios o anisotrópicos (Andreu y Patón, 2015). Otros estudios han usado el análisis multifractal como el de Laidre *et al.* (2004), el cual investigó los movimientos de varios grupos de ballenas y narvales donde la dimensión fractal fue alta durante el periodo de verano indicando movimientos más irregulares y aleatorios, descendiendo estos valores hasta un mínimo de dimensión fractal en la época de migración indicando movimientos más directos y lineales, y volviendo a valores altos en invierno, lo que muestra inexistencia de migración o una reducción en su viaje y etapas de descanso entre las placas de hielo. El uso de este método para el estudio de los cetáceos no posee un gran número de antecedentes bibliográficos ya que el uso del análisis fractal es más común en otros ámbitos como la modelización de las precipitaciones (Meseguer Martín, 2014; Kantehardt *et al.*, 2006) o el análisis de imágenes de satélite (Redondo 2008). Por otro lado, el índice de similitud estructural permite la comparación de dos imágenes audiovisuales, normalmente, para determinar su calidad. En nuestro caso realizaremos la comparación mediante este método de los mapas de densidad Kernel obtenidos para ambas especies con el fin de comparar su distribución. El uso de este método es novedoso en este campo pero muy común en el ámbito del estudio de la calidad de imágenes.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

El estrecho de Gibraltar es el único canal de comunicación entre el océano Atlántico y el mar Mediterráneo. Su formación está relacionada con procesos geotectónicos entre las placas euroasiática y la africana, explicando su abrupta batimetría caracterizada por la sucesiva alternancia de zonas profundas y elevaciones submarinas a lo largo de su eje principal (Escobar, 2006). La batimetría en el Estrecho es muy cambiante y podemos encontrar zonas con pendientes y profundidades muy diversas, sin embargo uno de los accidentes más importantes es el umbral o bajo de Camarinal. Este tiene una profundidad inferior a 200 m en el eje principal y está situado 13 km al oeste de la sección de Tarifa y 21 km al este del umbral de Espartel (Escobar, 2006). El estrecho de Gibraltar también se caracteriza por los procesos de mezcla provocados por el ascenso de aguas profundas (*upwelling*) producidos por la marea y la abrupta batimetría de la zona (Echevarría, 2002). Otro lugar característico y de especial interés para este estudio es la bahía de Algeciras situada al noroeste del estrecho de Gibraltar. Esta cubre un área de unos 10 km<sup>2</sup> con una profundidad máxima en torno a los 400 m (Sánchez-Garrido *et al.*, 2014). Dicha profundidad se alcanza debido a la presencia de un cañón submarino que penetra en la Bahía provocando algunos sucesos de entrada de aguas profundas procedentes del Atlántico y su posterior ascenso a superficie en las zonas más someras, lo que conlleva una elevada tasa de renovación de aguas. Las condiciones en nuestra zona de estudio también están muy relacionadas con el flujo de las diferentes masas de agua. El mar Mediterráneo es una cuenca con un balance hidrológico negativo, es decir, la pérdida de agua por evaporación en superficie es mayor que la entrada de agua a través de aportes fluviales y precipitaciones. Este déficit produce la pérdida anual de 0,5 a 1 m de agua en todo el mar Mediterráneo. Debido a la diferencia de salinidad y temperatura entre el agua mediterránea y la atlántica, en el Estrecho aparecen dos masas de agua bien diferenciadas. El agua procedente del Mediterráneo más salada y con mayor temperatura sale hacia el Atlántico en profundidad debido a su mayor densidad mientras que el agua atlántica fluye por superficie hacia el interior de la cuenca mediterránea. Entre estas capas existe una interfaz de separación caracterizada por un gradiente de salinidad muy elevado.

DETERMINACIÓN DE UN MODELO FUNCIONAL DE USO DEL ESPACIO DEL DELFÍN COMÚN (*DELPHINUS DELPHIS*)  
Y DELFÍN LISTADO (*STENELLA COERULEOALBA*) EN EL ESTRECHO DE GIBRALTAR  
MEDIANTE ANÁLISIS MULTIFRACTAL E ÍNDICES DE SIMILITUD ESTRUCTURAL (SSIM)  
Ezequiel Andreu Cazalla *et al.*

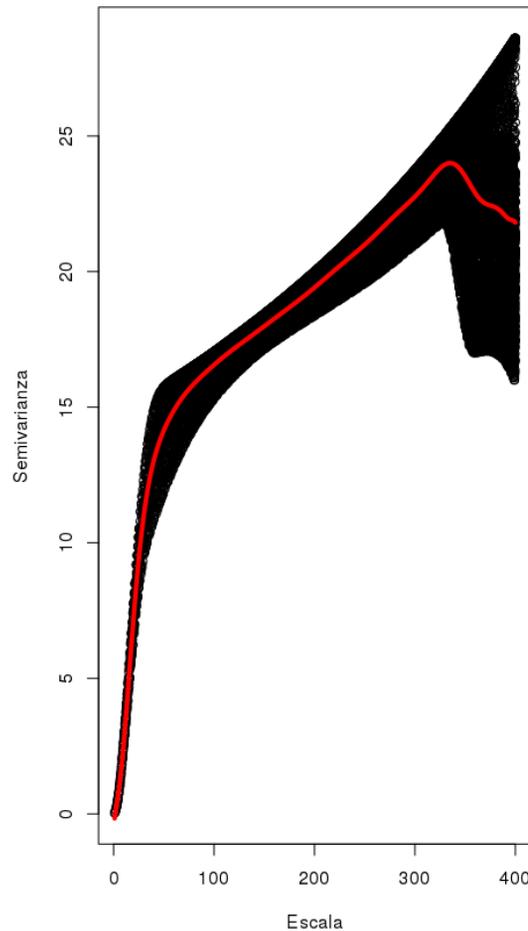
Los datos han sido obtenidos desde tres plataformas oportunistas de avistamiento de cetáceos según los protocolos definidos por la Sociedad Española de Cetáceos (SEC, 1999). Estos datos incluyen diversos factores tanto geográficos (latitud, longitud) como ambientales (dirección y fuerza del viento, mar de fondo, estado del mar,..) y de comportamiento (actividad general, respuesta al barco...). Los datos se recopilaron entre 2003 y 2015, ambos inclusive, durante el periodo comprendido desde abril a octubre. Por lo tanto, para este estudio se han usado los datos obtenidos a lo largo de 13 años de avistamientos en el estrecho de Gibraltar.



**Imagen nº 1.** Ejemplar de delfín listado (*Stenella coeruleoalba*) en el estrecho de Gibraltar.

Para los análisis estadísticos del uso del espacio del delfín listado y el delfín común, los datos se importaron a R “statistical environment analysis” (R Core Team, 2015). Luego se determinaron los diferentes semivariogramas globales utilizando las librerías Pixmap y Fields de R. Un semivariograma es una herramienta que permite analizar el comportamiento espacial de una variable sobre un área definida obteniendo la distancia máxima y la forma en la que un punto tiene influencia sobre otro punto a diferentes distancias. Una vez determinada la resolución espacial que nos indica la máxima varianza, utilizamos dicha resolución para construir las funciones de densidad Kernel a través de las librerías KernSmooth y Lattice. Las imágenes Kernel se analizaron por medio de un análisis multifractal usando el *plugin* FracLac adaptado al software ImageJ para Image Analysis (Ferreira y Rasband, 2012). En este análisis se usa el método conocido como Box-Counting (Ristanović y Losa, 2013). Dicho procedimiento forma, con la distribución espacial que analizamos, una malla la cual se divide en  $N(\delta)$  cuadrículas o píxeles de tamaño  $\delta$  (Saravia, 2014). En cada pixel se recoge un contenido determinado según la escala  $\delta$ , directamente relacionado con el Momento Q. FracLac define 20 momentos Q diferentes entre -10 y +10. Siguiendo la siguiente función potencial cuando  $\delta \rightarrow 0$ ,  $Z(Q, \delta)$ :

$$Z(Q, \delta) \approx \delta^\tau(Q) \quad [1]$$



**Grafico n° 1.** Semivariograma de delfin listado.

En la ecuación [1],  $T(Q)$  es el exponente de la escala multifractal, llamada también exponente de la función mass. Este parámetro mide la intensidad de los cambios en las imágenes de densidad Kernel entre las sucesivas  $\delta$  escalas para cada momento  $Q$ . El espectro multifractal finalmente usado se obtiene a través de la función:

$$DQ = \frac{\tau(Q)}{Q-1} \quad [2]$$

$DQ$  es la dimensión generalizada que un fractal mide para cada exponente  $Q$ . Esta dimensión se centra en regiones con alta densidad cuando  $Q$  es alto y en zonas de baja densidad si  $Q$  tiene un valor bajo o negativo (Saravia, 2014).

Estos cálculos los repetimos para determinar el análisis multifractal de las diferentes imágenes de densidad Kernel permitiéndonos de esta forma comparar la complejidad mostrada en la distribución de ambas especies a lo largo del Estrecho.

Para acabar con el análisis de la distribución de estas especies aplicamos el índice de similitud estructural (SSIM) el cual se usa para comparar la similitud entre dos imágenes. En nuestro estudio, con la finalidad de comparar el uso del espacio de ambas especies, hemos empleado los mapas de densidad Kernel obtenidos. El valor general del índice SSIM se define como el promedio de todos los valores del índice calculados para una matriz gaussiana, normalmente de 11x11, posada sobre la imagen, aunque también existen otros métodos para ello (Moorthy y Bovik, 2009). El valor del índice debe estar entre -1 y 1 alcanzándose este último valor, únicamente, en la comparación de dos imágenes idénticas.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El esfuerzo llevado a cabo entre 2003 y 2015 se muestra a continuación en la Tabla 1.

| Especie | ESFUERZO      |            | ESFUERZO/AVISTAMIENTO |         | TASA DE ENCUENTRO |       |       |
|---------|---------------|------------|-----------------------|---------|-------------------|-------|-------|
|         | Avistamientos | Kms        | Horas                 | Kms     | Horas             | Kms   | Horas |
| Sc      | 1132          | 154 059,84 | 8864,71               | 136,095 | 7831              | 0,007 | 0,128 |
| Dd      | 436           | 154 059,84 | 8864,71               | 353,348 | 20332             | 0,003 | 0,049 |

**Tabla 1.-** Esfuerzo realizado en el periodo de estudio.

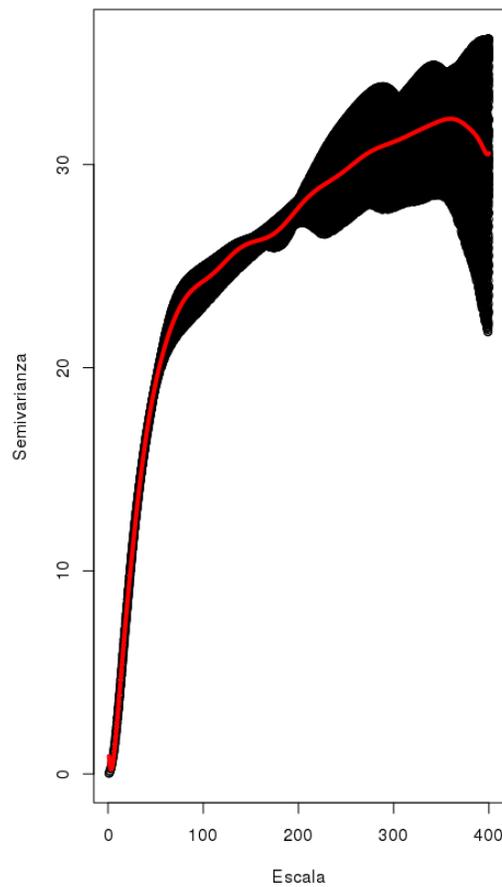
Los datos nos muestran que el delfin listado es mucho más frecuentemente observado que el delfin común. Se vislumbra que, de media, se produce un avistamiento de delfin listado aproximadamente cada 136 kilómetros recorridos siendo este esfuerzo por avistamiento de unos 353 kilómetros en el caso del delfin común.

Se realizó un Test de Wilcoxon para contrastar si difiere el tamaño grupal en función de si la observación se producía en la zona central del estrecho de Gibraltar o en el interior de la bahía de Algeciras obteniéndose valores que representan una diferencia significativa (Tabla 2).

|    | W     | P-Value   |
|----|-------|-----------|
| Sc | 37156 | 7,627e-09 |
| Dd | 12054 | 4,772e-11 |

**Tabla 2.** Test de Wilcoxon para determinar diferencias en tamaño grupal.

DETERMINACIÓN DE UN MODELO FUNCIONAL DE USO DEL ESPACIO DEL DELFÍN COMÚN (*DELPHINUS DELPHIS*)  
Y DELFÍN LISTADO (*STENELLA COERULEOALBA*) EN EL ESTRECHO DE GIBRALTAR  
MEDIANTE ANÁLISIS MULTIFRACTAL E ÍNDICES DE SIMILITUD ESTRUCTURAL (SSIM)  
Ezequiel Andreu Cazalla *et al.*



**Grafico n° 2.** Semivariograma del delfin común.

Se observa que el delfin listado tiene un mayor tamaño grupal en los avistamientos que no se han producido en la bahía de Algeciras, es decir, los grupos hallados en el centro del estrecho de Gibraltar son bastante más numerosos. En contraste, los grupos de delfin común suelen contener un mayor número de ejemplares en la bahía de Algeciras que en el Estrecho, lo que refleja la alta densidad de esta especie en la Bahía (Tabla 1).

|    |    | Mean  | sd     | IQR  | 0% | 25%  | 50%  | 75%  | 100%  | Data:n |
|----|----|-------|--------|------|----|------|------|------|-------|--------|
| Sc | NO | 101,9 | 119,94 | 100  | 1  | 25   | 55   | 125  | 1.100 | 1.089  |
|    | SI | 31,63 | 44,99  | 12,5 | 1  | 12,5 | 17,5 | 25   | 250   | 46     |
| Dd | NO | 26,92 | 37,82  | 20   | 1  | 7,0  | 12,5 | 27,5 | 250   | 305    |
|    | SI | 61,68 | 75,03  | 60   | 3  | 12,5 | 35   | 72,5 | 425   | 131    |

**Tabla 3.** Resumen estadístico sobre el tamaño grupal de ambas especies en el estrecho de Gibraltar y la bahía de Algeciras.

DETERMINACIÓN DE UN MODELO FUNCIONAL DE USO DEL ESPACIO DEL DELFÍN COMÚN (*DELPHINUS DELPHIS*)  
Y DELFÍN LISTADO (*STENELLA COERULEOALBA*) EN EL ESTRECHO DE GIBRALTAR  
MEDIANTE ANÁLISIS MULTIFRACTAL E ÍNDICES DE SIMILITUD ESTRUCTURAL (SSIM)  
Ezequiel Andreu Cazalla *et al.*

Por otro lado, hemos obtenido que aproximadamente en el 38% y 44% de los avistamientos de delfín común y delfín listado respectivamente se han observado crías en los grupos. A través de una tabla de contingencia (Tabla 4) hemos estudiado si hay diferencias entre el lugar en el que se avistó y la existencia o no de crías en el grupo.

|    | Chi cuadrado | Df | P-Value  |
|----|--------------|----|----------|
| Sc | 3,6225       | 1  | 0,057    |
| Dd | 55,997       | 1  | 7,26e-14 |

**Tabla 4.** Resultado de la tabla de contingencias para analizar la presencia de crías en el centro del estrecho de Gibraltar y en la bahía de Algeciras

En este caso, los resultados parecen diferir entre las dos especies. En el caso de *Stenella coeruleoalba*, en proporción, hay una leve mayoría de avistamientos con crías fuera de la bahía de Algeciras pero fijándonos en el p-valor dado no podemos decir de manera certera que exista una diferencia significativa. Sin embargo, para *Delphinus delphis* el p-valor nos indica de manera inequívoca la existencia de una diferencia significativa entre el lugar de avistamiento y la presencia o no de crías. En este último caso, observando la tabla de frecuencias dada por el análisis podemos decir que es más probable ver grupos de delfín común con crías dentro de la Bahía que fuera, lo que podría sugerir que esta fuese un área de cría para esta especie.

Además, ambas especies se observan conformando grupos mixtos que evidencian posibles interacciones entre ellas. Un dato que dilucida claramente esta aseveración es que, en aproximadamente uno de cada tres avistamientos de delfín común, se ven delfines listados formando dichos grupos mixtos (Tabla 5). Esta es una relación que podría tener significado ecológico como relación de comensalismo, donde una especie, el delfín listado, no se ve perjudicada en la relación, y el delfín común se ve beneficiado de su interacción con el delfín listado. Probablemente el beneficio de esta interacción se base en la localización de presas, que pudiendo no ser las mismas podrían ubicarse en las mismas zonas.

Otra ventaja para el delfín común en su interacción con grandes grupos de delfín listado sería la seguridad en el agrupamiento. Una característica particular que se deriva de los datos recopilados es que en estas interacciones los delfines comunes conforman subgrupos muy cohesionados dentro de las grandes manadas mixtas que forman ambas especies.

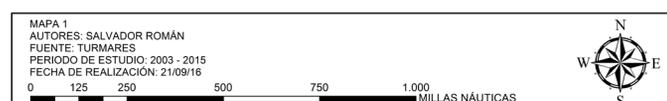
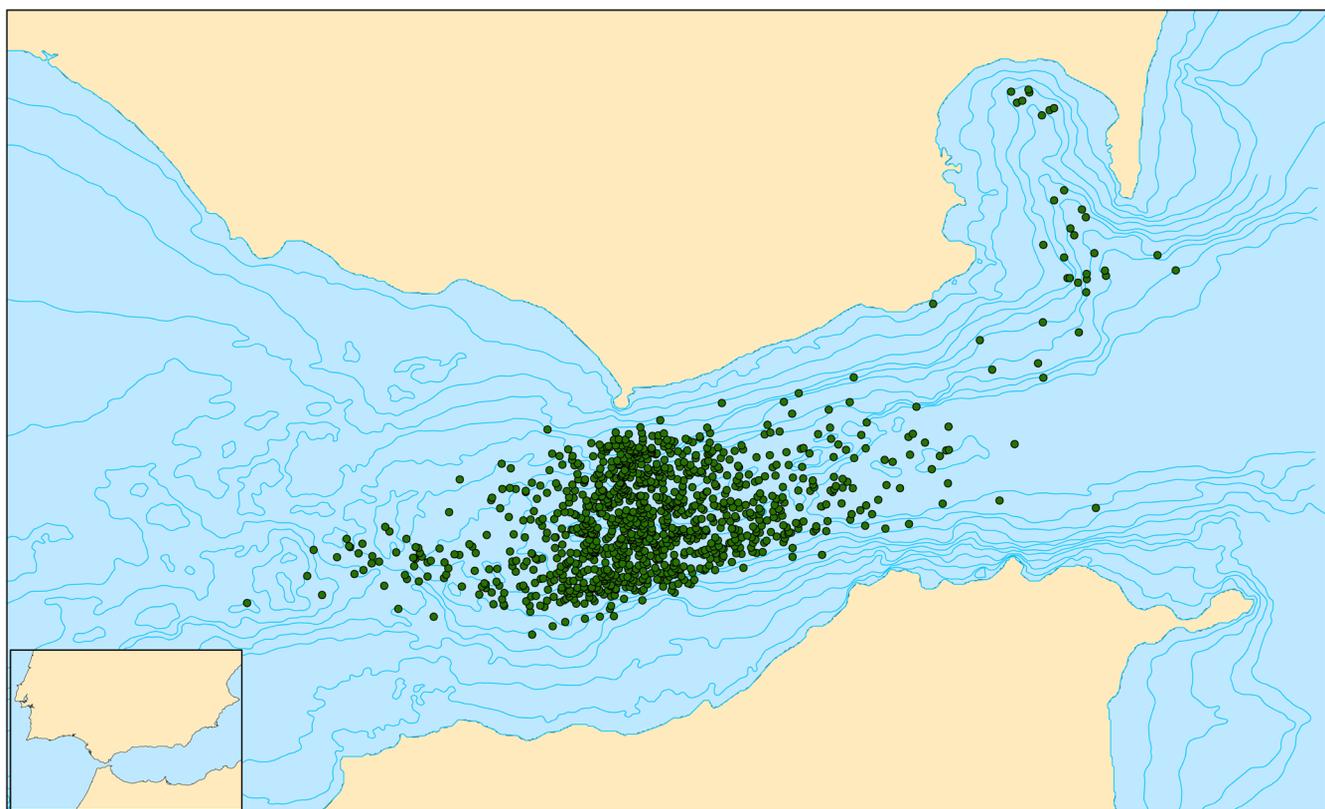
|                       | Especie Avist. totales | Avist. mezclados | Asociación |
|-----------------------|------------------------|------------------|------------|
| Stenella coeruleoalba | 1132                   | 151              | 13 %       |
| Delphinus delphis     | 436                    | 148              | 34 %       |
| Total                 | 1568                   | 299              | 19 %       |

**Tabla 5.** Relación de avistamientos interespecíficos.

DETERMINACIÓN DE UN MODELO FUNCIONAL DE USO DEL ESPACIO DEL DELFÍN COMÚN (*DELPHINUS DELPHIS*) Y DELFÍN LISTADO (*STENELLA COERULEOALBA*) EN EL ESTRECHO DE GIBRALTAR MEDIANTE ANÁLISIS MULTIFRACTAL E ÍNDICES DE SIMILITUD ESTRUCTURAL (SSIM)

Ezequiel Andreu Cazalla *et al.*

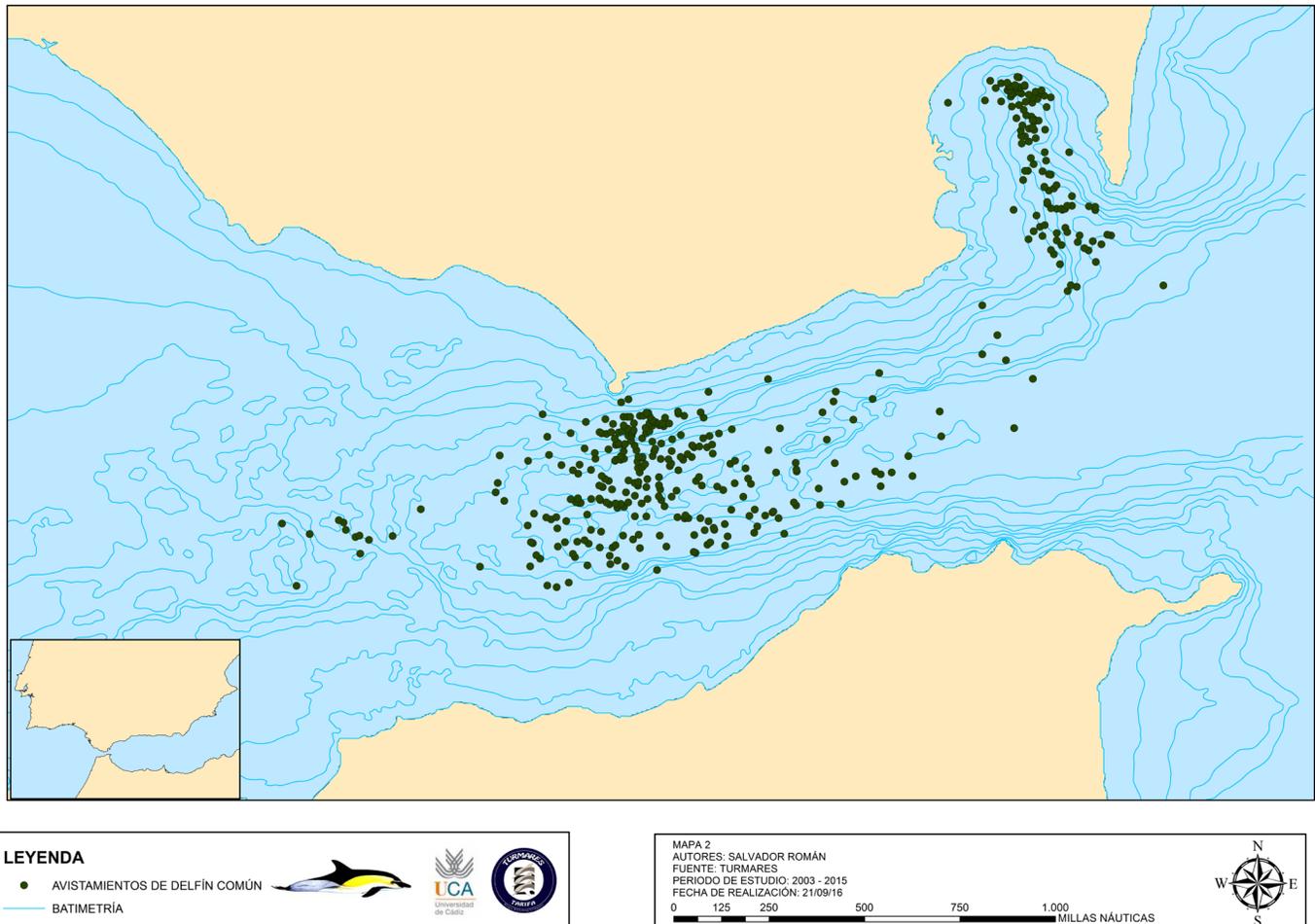
En cuanto a la distribución de las especies en el estrecho de Gibraltar, observamos que el delfín listado es más frecuentemente avistado en el centro del canal, aunque también tiene presencia en la bahía de Algeciras, y en el caso del delfín común, ocupa exactamente los mismos espacios, teniendo una mayor presencia en la bahía del Algeciras. El semivariograma desarrollado para el delfín listado (gráfico 1) nos muestra que su distribución en el estrecho de Gibraltar es parcialmente anisométrica, por lo tanto, se aprecia la preferencia por la zona centro-norte del Estrecho aunque a partir de esa zona de máxima concentración, la distribución es equitativa a lo largo de la zona de estudio. El uso preferencial de esta zona del Estrecho coincide con las zonas más profundas y escarpadas provocadas por el cañón submarino que recorre el Estrecho y la elevada pendiente hacia la plataforma continental de la cara norte del Estrecho. La resolución espacial que muestra la máxima varianza son los 350 píxeles, usando esta variabilidad para construir el mapa de densidad Kernel. Este estudio de densidad de Kernel nos corrobora la máxima concentración de avistamientos en una zona y la distribución equitativa hacia ambos lados a partir de ella. En cambio, el delfín común presenta una distribución totalmente anisométrica (gráfico 2) con dos zonas preferenciales bastante distinguidas. Uno de estos puntos, al igual que para el delfín listado, sería la zona centro-norte del Estrecho, el otro corresponde a la bahía de Algeciras. Al igual que para el delfín listado, a partir de la resolución que muestra la máxima varianza (aproximadamente 400 píxeles en esta ocasión), construimos el mapa de densidad Kernel. Esto demuestra que el delfín común tiene preferencia por la bahía de Algeciras, aunque conforma grupos reducidos que frecuentemente



Mapa nº 2. Distribución del delfín listado en el estrecho de Gibraltar.

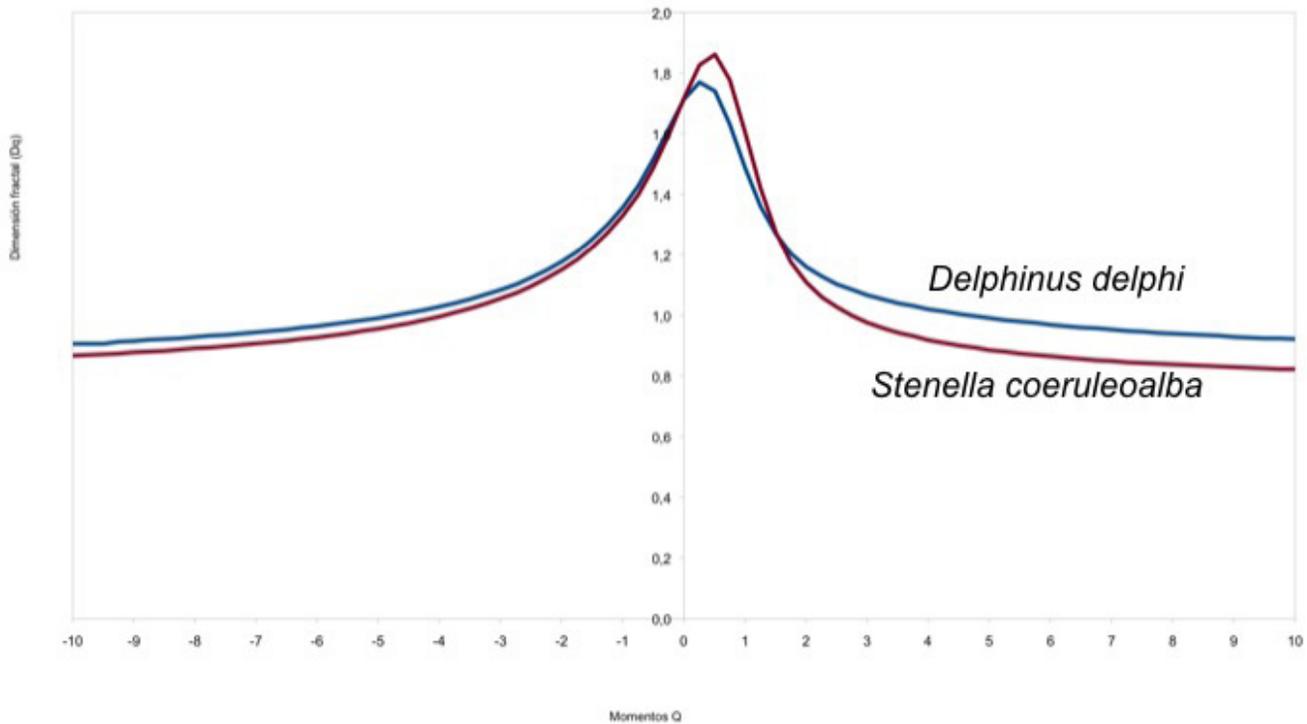
DETERMINACIÓN DE UN MODELO FUNCIONAL DE USO DEL ESPACIO DEL DELFÍN COMÚN (*DELPHINUS DELPHIS*) Y DELFÍN LISTADO (*STENELLA COERULEOALBA*) EN EL ESTRECHO DE GIBRALTAR MEDIANTE ANÁLISIS MULTIFRACTAL E ÍNDICES DE SIMILITUD ESTRUCTURAL (SSIM)

Ezequiel Andreu Cazalla *et al.*



Mapa nº 3. Distribución del delfín común en el estrecho de Gibraltar.

interaccionan en el centro del canal con delfín listado. Las imágenes kernel se analizaron mediante un análisis multifractal. En este caso hemos realizado dicho análisis de manera conjunta para ambas especies facilitando así su posterior comparación (gráfico 3). El estudio multifractal revela un comportamiento muy parecido para las especies estudiadas. Dicho comportamiento es idéntico para ambas en zonas de baja densidad de avistamientos, es decir, en momentos  $Q < 0$ . Sin embargo, en momentos  $Q$  positivos, donde la concentración de avistamientos es mayor vemos cómo el delfín común muestra mayor complejidad en su distribución que el delfín listado, lo que viene a ratificar la existencia de dos zonas preferenciales como son la bahía de Algeciras y el centro-norte del Estrecho. Por último se han comparado los mapas de densidad Kernel de ambas especies a través del índice de similitud estructural. Este nos ha dado un valor de 0,999, es decir, un valor muy cercano a 1 lo que nos indica que los píxeles de ambas imágenes coinciden casi idénticamente. Con esto, podemos decir que ambas especies tienen prácticamente la misma distribución espacial en la zona estudiada a pesar de que el delfín común presenta una distribución más concentrada en las dos zonas preferenciales y que el delfín listado posea un mayor número de avistamientos y una distribución más amplia y dispersa.



**Gráfico n° 5.** Dimensión fractal de la distribución de *Stenella coeruleoalba* y *Delphinus delphis*.

## CONCLUSIONES

- El delfín listado muestra un gran número de avistamientos y un amplio rango de distribución aunque muestra preferencia por la zona centro-norte del estrecho de Gibraltar coincidiendo con las zonas de mayor pendiente de la cara norte del cañón submarino del Estrecho.
- El delfín común tiene un uso bastante concentrado del espacio en la zona de estudio mostrando dos puntos de alta densidad de avistamientos, uno en la zona centro-norte del Estrecho y otro en la bahía de Algeciras.
- El índice de similitud estructural SSIM aplicado a los mapas de densidad Kernel muestra que, aunque el delfín listado desarrolle un uso más disperso del espacio debido también a su mayor número de avistamientos, ambas especies coexisten casi exactamente en el mismo espacio del estrecho de Gibraltar. Corroborando así, la preferencia de estas por zonas con una batimetría escarpada y con sucesos de ascenso de aguas profundas, es decir, lugares con una alta productividad.
- La bahía de Algeciras podría ser considerada como un área de cría para el delfín común debido al alto porcentaje de grupos con crías que hemos evidenciado en dicha zona. Este hecho debería causar cambios en las labores de inspección y vigilancia de la zona en materia de protección y conservación de un área que, actualmente, está siendo el foco de usuarios recreativos en búsqueda de cetáceos, sin respetar el Real Decreto 1727/2007 que establece un espacio de protección para las actividades de observación de cetáceos.

DETERMINACIÓN DE UN MODELO FUNCIONAL DE USO DEL ESPACIO DEL DELFÍN COMÚN (*DELPHINUS DELPHIS*)  
Y DELFÍN LISTADO (*STENELLA COERULEOALBA*) EN EL ESTRECHO DE GIBRALTAR  
MEDIANTE ANÁLISIS MULTIFRACTAL E ÍNDICES DE SIMILITUD ESTRUCTURAL (SSIM)  
Ezequiel Andreu Cazalla *et al.*



**Imagen nº 2.** Ejemplar de delfin común (*Delphinus delphis*) en el estrecho de Gibraltar. Autor: Pierre Gallego.

- La relación entre ambas especies parece clara no solo porque hagan un uso espacial muy parecido sino debido al gran número de interacciones entre ellas. La presencia de pequeños grupos compactos de delfin común en grandes grupos de delfin listado nos revela una relación interespecífica de comensalismo entre ellos. En esta relación probablemente el delfin común se vea favorecido mejorando su capacidad de depredación y/o en materia de protección.
- El estudio multifractal supone un análisis viable para determinar el uso del espacio de las especies y su vinculación a las características del medio en el que se observan. El Índice de Similitud Estructural (SSIM) muestra que una herramienta con una función específica es útil en un estudio ecológico, proporcionando información muy válida sobre una comparativa en el uso del espacio de dos especies.
- Las plataformas oportunistas de observación suponen un medio logístico viable y económico para la realización de estudios específicos cetológicos.

DETERMINACIÓN DE UN MODELO FUNCIONAL DE USO DEL ESPACIO DEL DELFÍN COMÚN (*DELPHINUS DELPHIS*)  
Y DELFÍN LISTADO (*STENELLA COERULEOALBA*) EN EL ESTRECHO DE GIBRALTAR  
MEDIANTE ANÁLISIS MULTIFRACTAL E ÍNDICES DE SIMILITUD ESTRUCTURAL (SSIM)

Ezequiel Andreu Cazalla *et al.*

## BIBLIOGRAFÍA

- ANDREU, E., PATÓN, D. (2015). “Uso del análisis multifractal en la determinación de un modelo funcional de la distribución del Cachalote (*Physeter macrocephalus*) en el estrecho de Gibraltar”. *VIII Congreso de la SEC (Sociedad Española de Cetáceos)*, Vigo, Spain.
- ARCHER F. (2009). “Striped dolphins – *Stenella coeruleoalba*”. In: *Encyclopedia of marine mammals* (Perrin WF, Würsig B, Thewissen JGM, eds.) *Academic Press, Amsterdam*, pp. 1127-1129.
- BOURREAU, S., GANNIER, A. (2003). “Distribution of *Delphinus delphis* in the Mediterranean Sea: competition with striped dolphin or fisheries?” *Annual Meeting of the European Cetacean Society*, Tenerife, Spain.
- BORREGA, B. (2008). “Imágenes satélite como herramienta para el estudio de la distribución de *Stenella coeruleoalba*: aplicación en el estrecho de Gibraltar”. *Tesis de Máster*, Universidad de Cádiz.
- CULIK, F. (2010). “Odontocetes - the toothed whales”. *Distribution, Behaviour, Migration and Threats. Illustrations by Maurizio Würtz, Artescienza. Maps by IUCN, Published by UNEP / CMS Secretariat*, Bonn, Germany.
- ECHEVARRÍA, F., GARCÍA LAFUENTE, J., BRUNO, M., GORSKY, G. y otros 15. (2002). “Physical–biological coupling in the Strait of Gibraltar. *Deep-Sea Res II* 49:4115–4130.
- ESCOBAR, A.V.L., (2006). “Ondas internas en el Estrecho de Gibraltar y procesos de mezcla inducidos” (*Doctoral dissertation*, Universidad de Cádiz).
- EVANS, W. (1994). “Common dolphin, white-bellied porpoise” – *Delphinus delphis* Linnaeus, 1758. In: *Handbook of marine mammals* (Ridgway SH, Harrison SR, eds.) Vol. 5: *The first book of dolphins*. *Academic Press*, London, pp. 191-224.
- FERREIRA, T., RASBAND, W. (2012). ImageJ user guide, from <https://imagej.nih.gov/ij/docs/guide/user-guide.pdf>.
- KINSNER, W. (2007). “A unified approach to fractal dimensions”. *Int. J. Cog. I. Nat. Intell.* 1(4), 26-46.
- LAIDRE, K., HEIDE, M.P., LOGSDON, M.L., HOBBS, R.C., DIETZ, R., VAN BLARICOM, G.R. (2004). “Fractal analysis of narwhal space use patterns”. *Zoo.* 107, 3-11.
- MOORTHY, A.K., BOVIK, A.C. (2009). “Visual importance pooling for image quality assessment”. *IEEE J. Sel. Top. Signal Process* 3(2), 193–201.
- MEYNIER, L., PUSINERI, C., SPITZ, J., SANTOS, M.B., PIERCE, G.J., RIDOUX, V. (2008). “Intraspecific dietary variation in the short-beaked common dolphin *Delphinus delphis* in the Bay of Biscay: importance of fat fish”. *Mar Ecol Prog Ser* 354: 277-287.
- PERRIN, W., WILSON C., ARCHER F. (1994). “Striped dolphin - *Stenella coeruleoalba* (Meyen, 1833). In: *Handbook of marine mammals*” (Ridgway SH, Harrison SR, eds.) Vol. 5: *The first book of dolphins*. *Academic Press*, London, pp. 129-160.
- PERRIN, W., F. (2009). “Common dolphins”. In: *Encyclopedia of marine mammals 2nd Ed.* (Perrin WF, Würsig B, Thewissen JGM, eds.) *Academic Press*, Amsterdam, pp. 255- 259.
- R CORE TEAM. (2015). “A language and environment for statistical computing”. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.Rproject.org/>.
- RISTANOVIĆ, D., LOSA, G.A. (2013). “A contribution to definitions of some fractal concepts”. *The Fractal Laboratory Journal* 2, 1-19.
- REYES, J.C. (1991). “The conservation of small cetaceans: a review”. Report prepared for the Secretariat of the Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals. UNEP/CMS Secretariat, Bonn.
- SARAVIA, L. A. (2014). mFSBA: Multifractal analysis of spatial patterns in ecological communities. F1000Research, 3.
- S.E.C. (Sociedad Española de Cetáceos). (1999). Recopilación, Análisis, Valoración y Elaboración de Protocolos sobre las Labores de Observación, Asistencia a Varamientos y Recuperación de Mamíferos y Tortugas Marinas de las Aguas Españolas. Ministerio de Medio Ambiente Español. Secretaria General de Medio Ambiente, Informe Técnico de la Sociedad Española de Cetáceos, Nalón 16, E-28240 Hoyo de Manzanares, Madrid, España.
- SPITZ, J, POULARD, J-C., RICHARD, E., MEYNIER, L., PUSINERI, C., RIDOUX, V. (2003). May changes in the diet of striped dolphins (*Stenella coeruleoalba*) from the Bay of Biscay reflect trends from gourd fish surveys? *Annual Meeting of the European Cetacean Society*, Tenerife, Spain.
- SUGIHARA, G., MAY, R.M. (1990). “Applications of fractal in ecology” *Trends Ecol. Evol.* 5(3).