

Variabilidad espacio-temporal de la biomasa de la capa profunda de reflexión en aguas canarias

Paula Caldentey y Fernando Bordes
 Santiago Hernández-León (director)

La Capa Profunda de Reflexión (Deep Scattering Layer, DSL) es una capa de reflexión bioacústica formada por organismos mesopelágicos y constituye uno de los recursos biológicos marinos más abundantes de las Aguas de Canarias. Utilizando los datos obtenidos mediante técnicas acústicas y de arrastres pelágicos realizados en estas aguas durante diferentes campañas, investigamos la distribución espacio-temporal de la biomasa de las comunidades mesopelágicas que la componen.

The Deep Scattering Layer (DSL) is a bioacoustic scattering layer formed by mesopelagic organisms, constituting one of the most abundant biological marine resources of the Canary Island waters. Using the information obtained by acoustic techniques and pelagic trawling surveys carried out in these waters during different research cruises, we investigate the temporary and spatial distribution of the biomass of these mesopelagic communities.

Introducción

El Archipiélago Canario, situado en la zona subtropical del Atlántico centro oriental, está formado por siete islas principales de origen volcánico y presenta una hidrología particular. Las islas se localizan en la vertiente sur de la corriente de Canarias (Tomczak y Godfrey, 2003) que además se encuentra con corrientes profundas del Atlántico Norte, del Mediterráneo y del Antártico (Mittelstaedt, 1983). Asimismo se localizan meandros topológicamente inducidos (Longhurst, 1998), remolinos (Aristegui *et al.*, 1994, 1997) y afloramientos estacionales, así como filamentos de agua aflorada y zonas de estela de isla (Barton *et al.*, 1998). Toda esta variabilidad meso-escalar tiene influencia sobre los valores de clorofila y producción pri-

maria y determinan que la distribución de los peces carnívoros primarios y secundarios esté controlada por factores tanto bióticos como físicos, los cuáles se hayan relacionados entre sí (Barnett, 1984). Un elemento de máxima importancia es el sistema de afloramientos existente entre los paralelos 23°-28°N, en la plataforma noroeste de África, por su magnitud y constancia a lo largo del año, hacen de esta zona una de las más productivas del planeta. Este fenómeno de enriquecimiento en nutrientes de las aguas superficiales situadas en la zona eufótica puede así alcanzar las Islas, incrementando levemente la producción biológica de estas aguas.

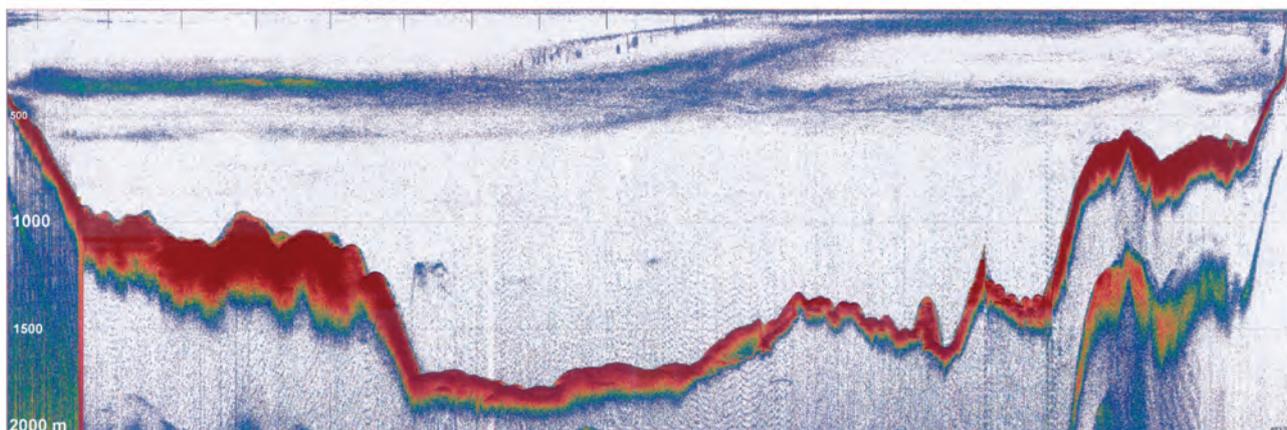
Las características topográficas e hidrológicas de las islas permiten la presencia de una fauna de particular interés, ya que se intensifican

las interacciones entre organismos neríticos y oceánicos, bentónicos y bentopelágicos (Uiblein y Bordes, 1999). Lo anterior ha sido puesto de manifiesto para las Islas Canarias por Bordes *et al.* (1999), quienes encontraron dos especies típicamente costeras en aguas oceánicas junto con peces mesopelágicos, y por Wienerroither (2003) que indica la presencia de numerosos mictófidios en aguas neríticas. A pesar de que la mayor parte de los estudios biológicos llevados a cabo en esta región se han centrado en la evaluación de los recursos explotados comercialmente, podemos encontrar algunos estudios sobre la DSL en Canarias tales como Bordes *et al.* (1999, 2000), Hernández-León (2001), Wienerroither (2003; 2005) y Hernández-García *et al.* (2006) entre otros.



Artículo patrocinado por
Astican

Figura 1. Ecograma obtenido a 18 kHz de frecuencia que muestra la migración nictimera hacia la superficie de la DSL al anochecer (Bordes et al., 2009)



Los organismos mesopelágicos, que componen las DSLs, juegan un importante papel en el ecosistema oceánico, al ser responsables de una intensa dinámica que relaciona las aguas profundas con las más superficiales mediante migraciones verticales (Fig. 1) que facilitan el transporte de materia y energía a diferentes niveles tróficos, tanto inferiores como superiores.

A lo largo de siete campañas oceanográficas llevadas a cabo en las aguas del Archipiélago Canario en el período comprendido entre 1997 y 2002, se realizaron una serie de arrastres, tanto epipelágicos como mesopelágicos, obteniéndose peces pelágicos de profundidades que variaron entre 8 y 1035 m. También se emplearon técnicas de evaluación acústica para la detección y caracterización de los recursos epipelágicos. La combinación de las técnicas acústicas junto a los datos físicos y biológicos obtenidos durante las pescas, puede permitirnos evaluar

la biomasa de los organismos mesopelágicos, lo cual potencialmente podría proporcionar una valiosa información para la gestión de las pesquerías, planificación de proyectos marinos y monitorización de los efectos del cambio climático.

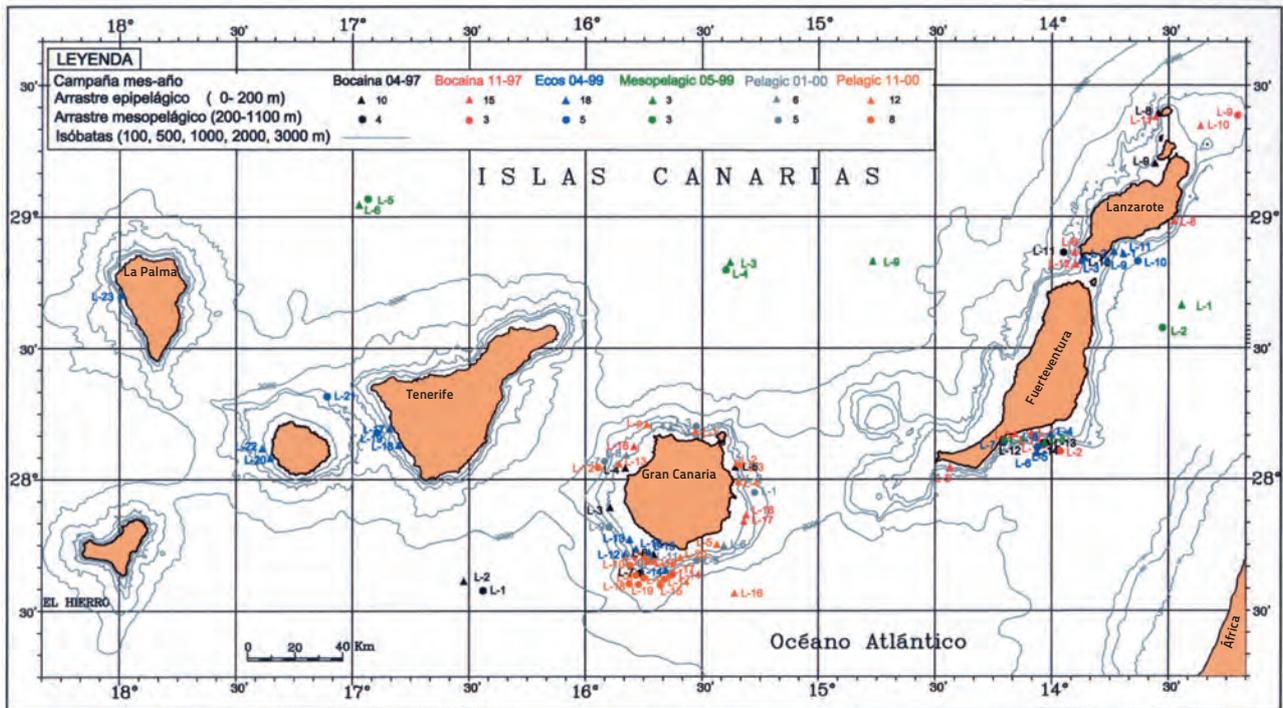
Este trabajo de investigación aporta nuevos conocimientos acerca de la Capa Profunda de Reflexión en las aguas Canarias, así como de los organismos mesopelágicos que la componen, ya que por vez primera se estima la biomasa de los organismos mesopelágicos migradores y la ingestión por parte de esta comunidad en Canarias.

Material y métodos

Entre 1997 y 2002 se llevaron a cabo siete prospecciones acústicas en las aguas del Archipiélago Canario ("Bocaina 04/97", "Bocaina 11/97", "Ecos 04/99", "Mesopelagic 05/99", "Pelagic 01/00", "Pelagic 11/00" y "Bocaina 03/02") a bordo del bu-

que B/E 'La Bocaina'. Las pescas de arrastre se llevaron a cabo durante una hora aproximadamente, a una velocidad media de 3 nudos. Se llevaron a cabo horizontalmente, tanto de día como de noche, a diferentes profundidades (los arrastres epipelágicos entre 7 y 200 m de profundidad, y los arrastres mesopelágicos entre 200 y 1035 m) y sobre diferentes batimetrías, desde aguas costeras a aguas oceánicas. Las estaciones de muestreo se muestran en la Figura 2. Para la captura se utilizó una red de arrastre comercial semipelágica de 55 m de longitud, 10 m de longitud de copo y 120 m de círculo de pesca. La luz de malla en el copo fue de 10 mm, y de 5 mm la del sobrecopo (Bordes et al., 1997). Durante la campaña "BOCAINA 11/97", la apertura del copo fue reforzada con un aro de acero inoxidable de 1,5 m de diámetro que ayudó a mantenerlo abierto (Bordes et al., 1998). Durante la campaña "BOCAINA 03/02" se sustituyó el

Figura 2. Mapa de las diferentes campañas y las estaciones de muestreo (Bordes et al., 2009), indicando el tipo de lance (epipelágico o mesopelágico)



arte de arrastre y puertas por un arte de arrastre pelágico de 60 m de longitud, 10 m de longitud de copo, 160 m de círculo de pesca y un copo interno de luz de malla estirada de 10,4 mm.

En todas las campañas se efectuó un seguimiento continuo del arte durante las operaciones de pesca a través de telemetría acústica, con una sonda de red SCANMAR que suministró los principales parámetros de la red (profundidad, abertura vertical y horizontal de la boca, proximidad al fondo, etc.). Además, se utilizaron dos ecosondas científicas SIMRAD EK-500 (*Split-beam*) de 38 y 120 kHz de frecuencia y debidamente calibradas, registrando desde 5 a 2000 m de profundidad (Fig. 3). En la campaña "Bocaina 03/02" se actualizó el sistema de eco-evaluación por las de nueva generación SIMRAD EK-60. Además de registrar los ecogramas junto a

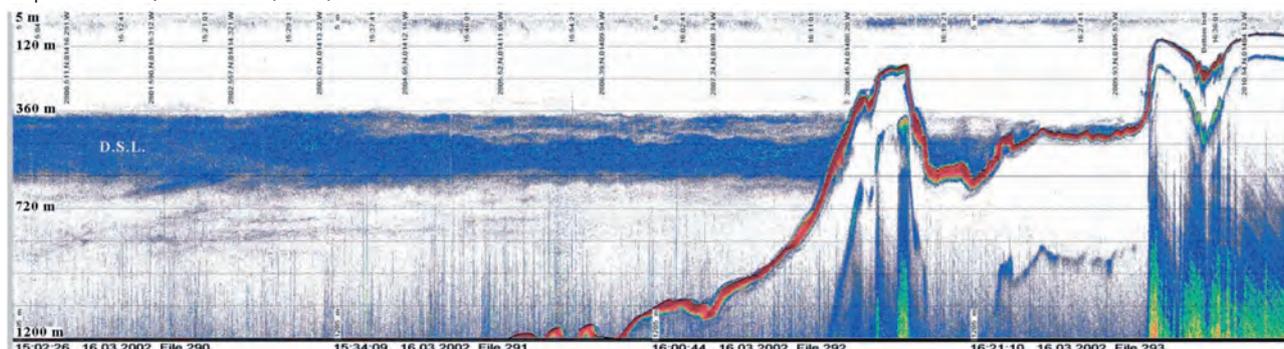
la posición GPS, la señal de eco suministrada por las ecosondas se introdujeron en un econtegrador SIMRAD BEI-2000 (Knudsen, 1990) y BI-60 que daban los valores de eco-integración cada milla, a partir de los cuales se determinó y cartografió la abundancia de las especies epipelágicas-costeras y se estimó su biomasa en el área prospectada.

Las capturas se separaron en fresco a bordo del barco para determinar la captura total por lance y la contribución a la misma por especie. Las capturas procedentes de los arrastres pelágicos efectuados en aguas oceánicas, así como los organismos mesopelágicos que aparecieron en los arrastres neríticos, se fijaron primero en formol tamponado al 7% y posteriormente se transfirieron a etanol al 70% para su posterior clasificación en el laboratorio. Los peces de la campaña 04/97 se conservaron direc-

tamente en etanol para el análisis de su ADN. El volumen de agua filtrado por la red durante los lances se calculó a partir del área de la embocadura de la red y la velocidad del arrastre.

El valor de econtegración medio s_A (área equivalente reflejada, expresada en $m^2 \cdot mn^{-2}$) de cada lance y de cada estrato se convirtió en densidad de peces dividiendo el s_A por la sección acústica transversal ($\sigma_{bs} = I_b/I_i$ donde I_b : intensidad de sonido reflejado, I_i : intensidad de sonido incidente) para peces mesopelágicos, donde la fuerza del blanco (*target strength* TS, en decibelios) es $TS = 10 \cdot \log_{10} \sigma_{bs}$ (MacLennan y Simmonds, 1992). Actualmente no existe ninguna relación entre el TS y longitud de los organismos de ninguna de las especies de peces mesopelágicos presentes en las aguas de Canarias. Para llevar a cabo este estudio utilizamos una

Figura 3. Ecograma de 38 kHz, registrado en el sur de Fuerteventura el 16-03-2002, mostrando la DSL de día entre 350 y 750 m de profundidad (Bordes et al., 2009)



distribución de TS de la zona, tanto de día como de noche, para calcular una σ_{bs} modal, siendo el TS medio de $-66,5\text{dB}$ para los lances diurnos y de $-80,4\text{dB}$ para los nocturnos. A los resultados derivados de la utilización de estos TS, los denominaremos TS1. También utilizamos unos valores de TS medios obtenidos por diferentes autores (Benoit-Bird y Au, 2003a, b; Bordes *et al.*, 1998; 1999) como valores de referencia para peces epipelágicos y mesopelágicos. En este caso se utilizó el TS de $-49,9\text{dB}$ y $-58,8\text{dB}$ para los lances diurnos y nocturnos, respectivamente (tratamiento TS2). Finalmente, se utilizó un único valor de $-66,5\text{dB}$ para todas las estaciones (tratamiento TS3), que es el TS medio de los valores diurnos utilizados en TS1, descartando la distribución de TS obtenida durante la noche ya que las altas densidades registradas durante la noche hace muy difícil obtener una distribución significativa de TS al no detectarse ecos individualizados. La estimación de densidad media de cada estrato se multiplicó por el peso húmedo medio de los peces mesopelágicos con el fin de obtener una estimación de la biomasa. Debido a que no existe ningún estudio biométrico previo de ninguna especie mesopelágica en Canarias, el peso medio de los orga-

nismos se calculó mediante una relación lineal entre el número de individuos y el peso total de dichos organismos capturados en cada lance.

Tras esto, se transformó el valor de las biomazas en peso húmedo (wet weight, WW) a peso seco (dry weight, DW) mediante la relación $DW=14\%WW$ (Ikeda, 1996) y ésta a carbono (C) mediante la relación $C=38\%DW$ (Parsons *et al.*, 1984). Estas transformaciones también se aplicaron a las estimaciones de biomasa procedentes de las pescas con el fin de comparar las proporciones relativas de la densidad y la biomasa capturada en los lances en relación a la estimación acústica de estos parámetros.

Resultados

A partir de las muestras obtenidas durante las pescas de arrastre se ha estimado que la biomasa diurna en la capa epipelágica (hasta 200 m de profundidad) es de $0,024\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ y la biomasa nocturna, de $0,42\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Calculando la diferencia de biomasa entre el día y la noche obtenemos la biomasa media migrante de los organismos mesopelágicos, que fue de $4,9\text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$ (en peso húmedo). Si tenemos en cuenta el 14% de eficiencia de las redes de arrastre (Koslow *et al.*, 1997), entonces la

biomasa media migrante aumenta en un orden de magnitud, siendo de $35,7\text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}$. La biomasa micronectónica media de los lances nocturnos en la zona epipelágica excedió los $3\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, que es significativamente diferente a la media diurna, de $0,17\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (en peso húmedo). Todos estos resultados se muestran en la Tabla 1.

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos de la estimación de la biomasa a partir de las prospecciones acústicas, calculando los valores de ecointegración medios de cada estación con los diferentes tratamientos de TS medios elegidos. La Figura 4 muestra como la biomasa estimada mediante métodos acústicos es mucho más elevada durante la noche que durante el día gracias a las migraciones verticales, tanto en la capa mesopelágica como en la capa epipelágica. El tratamiento TS1 a partir de una distribución de TS local mostró una biomasa epipelágica diurna media de $2,7\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}$ y de $279,6\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}$ durante la noche, lo que supone que la biomasa micronectónica migrante sería de $276,9\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}$. Los resultados de TS2, utilizando unos valores de TS de referencia, son de $0,05$ y $1,9\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}$ de biomasa media para el día y la noche respectivamente, lo que supondría $1,9\text{ gC}\cdot\text{m}^{-2}$

Tabla 1. Medias y desviaciones estándar de la biomasa mesopelágica en la capa epipelágica (0-200m de profundidad) de las aguas de Canarias a partir de las capturas realizadas

Unidades	Biomasa diurna	Biomasa nocturna	Biomasa migrante	Proporción Lances/ Acústica (TS2) (%)
mg/m ³	0,024	0,42±0,72	0,4	4,50%
mg/m ^{3*}	0,17	3,03±5,21	2,8	32,11%
mg/m ²	0,012±0,021	4,9±8,2	4,9	
mg/ m ^{2*}	0,08±0,15	35,7±58,9	35,7	
mg C/ m ^{2*}	0,004±0,008	1,89±3,13	1,89	
g C/ m ^{2*}	4,6·10 ⁻⁶ ±8,1·10 ⁻⁶	1,9·10 ⁻³ ±3,1·10 ⁻³	1,9·10 ⁻³	

*Asumiendo el 14% de eficiencia de captura de las redes de arrastre.

Tabla 2. Medias y desviaciones estándar de la biomasa mesopelágica en la capa epipelágica (0-200m de profundidad) de las aguas de Canarias a partir de los datos acústicos

Tratamiento	Unidades	Biomasa diurna	Biomasa nocturna	Biomasa migrante	Biomasa migrante/ Biomasa nocturna (%)
TS1	g C/m ²	2,7±1,6	279,6±161,9	276,9	99,02%
(-66,5dB y -80dB)	g/m ^{2*}	51,1±30,1	5256,1±3044,7	5204,9	
	g/m ^{3*}	0,26±0,1	27,2±15,7	26,9	
TS2	g C/m ²	0,05±0,03	1,9±1,1	1,9	97,04%
(-49,9dB y -58,8dB)	g/m ^{2*}	1,1±0,6	37,4±21,4	36,3	
	g/m ^{3*}	0,005±0,003	0,2±0,1	0,18	
TS3	g C/m ²	2,7±1,6	11,3±6,5	8,5	75,94%
(-66,5dB)	g/m ^{2*}	51,1±30,1	212,7±123,2	161,5	
	g/m ^{3*}	0,26±0,15	1,1±0,63	0,83	

*peso húmedo (WW)

de micronecton migrante; mientras que los resultados del tercer tratamiento, TS3, con un TS intermedio y común para todos los lances, son 2,7 y 11,3 gC·m⁻² respectivamente, y la biomasa migrante sería de 8,5 gC·m⁻².

La proporción de la biomasa estimada a partir de las capturas respecto a la acústica (Tabla 1) es de tan solo un 4,5%, que aumenta hasta un 32,11% si consideramos la biomasa de los lances con la corrección que contempla el 14% de efectividad de las redes de arrastre comerciales (Koslow *et al.*, 1997).

Una vez obtenida la estimación de la biomasa migrante y asumiendo como la estimación más conservativa la estimación TS2, se llevó

a cabo el cálculo de la tasa de ingestión diaria de los peces mesopelágicos, siguiendo algunos de los estudios previos presentados en la Tabla 3. Considerando el 0,7% que propone Childress (1980) obtendríamos 13,52 mgC·m⁻², mientras que aplicando el 2,8% que propone Ikeda (1996) tendríamos una tasa de ingestión diaria de 54,11 mgC·m⁻². Dado que la tasa de ingestión puede llegar a ser de 4,4% (Tabla 3), el valor máximo aplicado se sugiere también como conservativo.

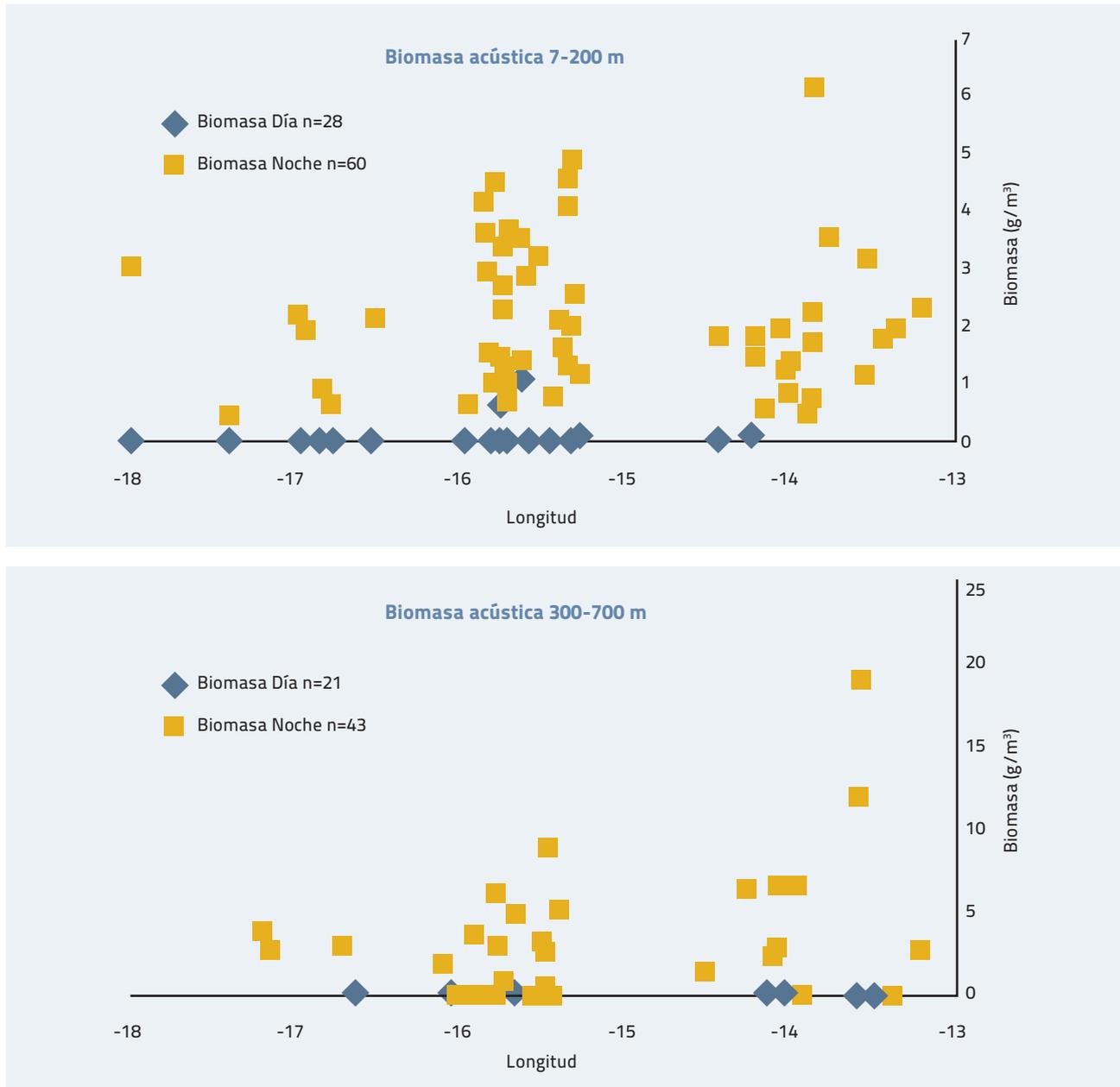
Discusión

Este estudio estima por primera vez los valores de biomasa migrante de

la fauna mesopelágica en las Aguas de Canarias, y se determina que constituye más del 97% de la biomasa presente en la capa epipelágica durante la noche, y se calcula la tasa ingestión por parte de esta comunidad.

La investigación mediante pescas de arrastre ha sido muy valiosa para la identificación de especies y la obtención de información general de la estructura espacial de la comunidad nectónica en Canarias (Bordes *et al.*, 2009). Sin embargo, las técnicas de pesca presentan algunas desventajas importantes, ya que, por ejemplo, los estudios que utilizan estas técnicas son muy limitados y localizados espacialmen-

Figura 4. Representación de la estimación de la biomasa acústica en a) la capa epipelágica (de 7-200 m de profundidad) y en b) la capa mesopelágica (300-700 m de profundidad)



te. Además, las redes de arrastre deben ser lanzadas de un barco grande y son por lo tanto, caras y consumen mucho tiempo. Existen dos fuentes de sesgo importantes que han de tenerse en cuenta cuando se utilizan redes de arrastre: la evasión donde los organismos perciben la red y se apartan de su ca-

mino, y el escape cuando los organismos atraviesan el paño después de entrar en la red. Ambos dependen del tamaño, el comportamiento, la sensibilidad y la capacidad de natación de los organismos. El escape, además depende de la forma del cuerpo. Asimismo, son dependientes del tamaño de los aparejos

de pesca, la luz de malla de la red, la velocidad del arrastre, etc. Además, la pesca al arrastre no puede evaluar la heterogeneidad espacial y temporal a pequeña escala con eficacia. Las dificultades combinadas de la utilización exclusiva de las pescas de arrastre dificultan severamente cualquier tentativa de

Tabla 3. Tasa de ingestión diaria de peces mesopelágicos (relativo a su peso seco, DW)

Especies	Ingestión Diaria (%)	Región	Referencia
Peces Mesopelágicos	0,7%	Sur de California	Childress, 1980
Maurolicus muelleri	2,8%	Mar de Japón	Ikeda, 1996
Ceratospelus warmingii	1,89-4,4%	Regiones templadas y subtropicales	Pakhomov et al., 1996
Lampanyctus alatus	2-4%*	Golfo de Méjico	Hopkins y Baird, 1985

*peso seco sin cenizas (AFDW)

evaluar la biomasa, la diversidad, la estructura de comunidad, y la organización trófica de las comunidades marinas (Koslow *et al.*, 1997).

Los valores de densidad y biomasa micronectónica generalmente se subestiman. Según Koslow *et al.* (1997) una red de arrastre comercial captura entre el 7-14% del stock permanente de micronecton basándose en comparaciones entre capturas con red y estimaciones acústicas. El área de la boca y el tamaño de la luz de malla de la red de arrastre usada en nuestro estudio son comparables por aquellos usados por Koslow *et al.* (1997) e Hidaka *et al.* (2001). La composición de las capturas también es similar a la de Koslow *et al.* (1997) e Hidaka *et al.* (2001). Sus capturas estuvieron dominadas por peces (aproximadamente el 89 y 87% de la biomasa micronectónica total, respectivamente), principalmente pertenecientes a la familia Myctophidae, seguido de cefalópodos, y eufausiáceos.

Durante las campañas que estudiamos en este trabajo, las pescas se realizaron en distintos puntos geográficos, en distintas épocas del año y la mayoría de los lances se llevaron a cabo durante la noche.

Prácticamente todas las pescas diurnas se llevaron a cabo en la región mesopelágica, por lo que apenas tenemos información de la biomasa en la zona epipelágica durante el día. Debido a las fuentes de sesgo ya mencionadas, cualquier estimación de la biomasa basada en pescas con red de arrastre comercial constituirá una subestimación de la biomasa real. Así, al comparar las estimaciones de biomasa de las capturas y la acústica, incluso aplicando el 14% de eficiencia de las redes de arrastre comerciales (Koslow *et al.*, 1997), la biomasa calculada a partir de las capturas tan sólo supone un 32% de la biomasa estimada mediante métodos acústicos (tratamiento TS2).

El empleo de métodos acústicos para estimar la abundancia de organismos en el hábitat natural requiere información sobre el tamaño acústico, la fuerza del blanco (TS), o sección transversal reflejada (*backscattering cross section*) de organismos individuales (MacLennan, 1990), así como conocimiento sobre otras características reflectantes de los organismos dentro de dicha comunidad (Love, 1969). Sin embargo, apenas existen medidas de TS disponible para mictófididos, los cuales

comprenden más del 50% de las especies e individuos de la comunidad mesopelágica (Reid *et al.*, 1991), y no existe ningún estudio previo de las características acústicas así como de las características biológicas de los organismos mesopelágicos en la región de Canarias.

De los tres tratamientos a los que se han sometido los datos acústicos en este estudio, los resultados obtenidos de TS2 parecen ser los que más se acercan a valores de estimación de la biomasa en otros lugares. Así, adoptando la eficiencia de muestreo más elevada del 14%, Hidaka *et al.* (2001) estimó la biomasa micronectónica migrante en 3,6 gC·m⁻² y 2,1 gC·m⁻² en el Pacífico Norte occidental, lo cual muestra cierta similitud con los resultados obtenidos en este estudio de 1,9 gC·m⁻² (tratamiento TS2) mediante métodos acústicos, donde la biomasa migrante constituiría aproximadamente el 97% de la biomasa media durante la noche (Tabla 2). Sin embargo, no ocurre lo mismo con la estimación de la biomasa de las capturas, que son muy inferiores, alcanzando tan sólo 1,9·10⁻³ gC·m⁻² de media (Tabla 1), probablemente debido a las razones anteriormente explicadas. Por otro

Tabla 4. Estimación de la abundancia y la biomasa de los stocks de peces mesopelágicos en distintas áreas, basadas en capturas con redes de micronecton y comerciales, y en prospecciones acústicas (en relación a su peso húmedo, WW)

Abundancia	Biomasa	Técnica	Región	Referencia
4x10 ⁻⁴ -3x10 ⁻⁵ ind/m ³	0,5 g/m ²	Red IKMT 10	E Azores	Kashin, 1974
	1,1, 1,5 y 1,7 g/m ² respectivamente	Red RMT 1+8	Atlántico NE 40° ,53° , 60° N/20° W	Backock y Merret, 1977
	0,5 – 2 g/m ²	Acústica	Atlántico NE	Chapman et al., 1975
11-15 ind /m ²	4 - 6 g/m ²	Red RMT 8	Atlántico CE	Backock y Merret, 1976 y 1977
	15 g/m ²	Acústica	Afloramiento NW África	Gjøsaeter y Blindheim, 1978
	0.1 – 1 g/m ²	Acústica Red IKMT Red Tucker	Atlántico CW	Chapman et al., 1975 Backus y Craddock, 1977 Baird and Wilson, 1977
	1,62 g/m ² 29,08 g/m ²	Acústica (eco-integración y eco-counting)	Mar de Tasmania	Kloser et al., 2009
	15,67 g/m ²	Red comercial		
	36,3g/m ² y 1,9 gC·m ⁻² 3,5·10 ⁻² g/m ²	Acústica (eco-integración) Red comercial	Archipiélago Canario	Presente estudio

lado, los resultados de TS1 y TS3 son extremadamente elevados, lo cual puede deberse a que los TS elegidos (TS1: -66,5dB y -80dB; TS3: -66,5dB) son muy pequeños y por lo tanto al transformar S_A en densidad de individuos, da una mayor cantidad de individuos por unidad de área. Esto mismo podría explicar por qué la estimación de biomasa TS2 es menor que lo propuesto por Hidaka *et al.*, (2001), ya que además de que proceden de zonas geográficas diferentes, los TS utilizados de -49,9dB y -58,8dB,

son TS medios para peces epipelágicos en Canarias y peces mesopelágicos en Hawaii respectivamente. Por tanto, los organismos más pequeños presentes en la columna de agua como el mesozooplankton, que dan señales más pequeñas, al ser transformadas con un TS para organismos de mayor tamaño, reduce la densidad de individuos y por tanto, la estimación de la biomasa. Aún así estos TS son los que proporcionan una aproximación de la biomasa local más acorde con estudios realizados en otras regio-

nes, si bien hemos de considerar esta estimación de la biomasa migrante como conservativa, de modo que los resultados obtenidos probablemente constituyan el límite inferior del rango.

Globalmente, las estimaciones de biomasa de peces mesopelágicos procedentes de muestreos con redes de micronecton, como las redes Isaacs-Kidd y RMT, oscilaron entre 0,1 y 5 g·m⁻² (Tabla 4). Las redes de arrastre mayores parecen capturar organismos de mayor talla, pero las estimaciones de bio-

masa son del mismo orden y generalmente añaden un elemento de incertidumbre respecto a la eficiencia de la red, debido al efecto de escape a través de la mayor luz de malla de la red cerca de la embocadura (Gjøsaeter y Kawaguchi, 1980; Kenchington, 1989). Koslow *et al.* (1997) estimaron una biomasa de $6,5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, cercano al límite superior de este rango, lo cual podría deberse al uso de una red más grande y muestreos a mayor profundidad (900 m) que otros estudios, así como la posibilidad de que la biomasa pelágica fuera relativamente más alta en su zona de estudio (Mar de Tasmania). En este estudio, la biomasa migrante obtenida mediante capturas considerando el 14% de eficiencia de la red de arrastre se ha estimado en $0,035 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Este valor se encuentra muy por debajo de los valores medios mostrados en la Tabla 4 y probablemente se deba a que estos organismos no han sido capturados eficientemente con las redes utilizadas en este estudio. La abertura de la boca del copo, donde la luz de malla es de 10 mm y de aproximadamente $1,75 \text{ m}^2$, es muchísimo menor que la apertura de la boca de las redes, de 218 y 225 m^2 respectivamente. Para el micronecton, que compone la mayor parte de las capturas y en especial la fracción que queremos capturar, la apertura efectiva de la boca debe ser considerablemente menor que el área de apertura de la boca.

La estimación acústica de la biomasa mesopelágica (WW) en este

estudio, de $36,3 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$, es más del doble de la que Gjøsaeter y Blindheim (1978) estimaron para la región del afloramiento de África noroccidental mediante técnicas acústicas, pero que a su vez es un valor cercano al obtenido por Kloser *et al.* (2009) en el Mar de Tasmania (Tabla 4).

El siguiente paso hacia el avance de nuestra comprensión de esta gran biomasa en los ecosistemas marinos requiere una evaluación más precisa del papel en la cadena trófica de estos organismos en las Aguas de Canarias y su influencia en otros niveles tróficos, lo cual requeriría información detallada de su distribución, migraciones, impacto de predación, tasa de alimentación estacional y estimación de su consumo por otros predadores. Para ello, los futuros estudios deberán contar con un mayor rango de herramientas de muestreo, incluyendo mayores redes con menor luz de malla para minimizar la evasión y el escape de los organismos así como aumentar el rango de tallas de los individuos que se capturan. También será importante la utilización de técnicas de acústica de multifrecuencia para evaluar la biomasa y la estructura de la comunidad mesopelágica y de las DSLs, así como para obtener medidas de TS de las especies de los organismos mesopelágicos más frecuentes así como las proporciones de mezcla entre ellos. También es importante estudiar la relación entre las frecuencias resonantes (firma acústica), las tallas y las especies

para optimizar el uso de la acústica. Y finalmente, la utilización de técnicas visuales para el muestreo de los frágiles organismos gelatinosos, así como para evaluar las migraciones verticales y horizontales de dichos organismos en zonas costeras.

Finalmente, asumiendo que los migradores verticales pueden alimentarse con tasas comunitarias entre 13.5 y $54.1 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ (1.1 y $4.5 \text{ mmolC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$) y que estos valores son los más conservativos de nuestro estudio, se sugiere que esta comunidad puede transportar hacia la zona mesopelágica una significativa cantidad de carbono. Dichos valores serían comparables con los flujos gravitacionales en nuestras aguas (rango entre 0.7 y $6 \text{ mmolC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$). Esto significaría que la mitad o más del carbono secuestrado por la bomba biológica en el océano se pueden deber al fenómeno de la migración vertical en el océano. Este aspecto, de crucial importancia para los estudios de cambio climático, debe ser considerado en futuros trabajos.

Conclusiones

Gracias a este trabajo se ha podido estimar por vez primera en Canarias, la biomasa de los organismos mesopelágicos que migran hacia la superficie cada noche desde la región mesopelágica para alimentarse, contribuyendo así al trasvase de materia y energía hacia la zona mesopelágica del océano.

Los valores tanto de biomasa de organismos mesopelágicos como

de migradores verticales muestran, aún utilizando estimaciones conservativas, una importancia destacable en el ecosistema oceánico. Evaluar el transporte activo por parte de estos organismos debe ser

una tarea de futuro próximo. El presente trabajo pone de relieve la implicación de estos organismos en el transporte del dióxido de carbono antropogénico hacia los estratos profundos del océano. Las estimas

encontradas en este trabajo indican que su importancia puede ser considerable e importante como reguladores del transporte de carbono y por tanto del cambio climático.

Referencias bibliográficas

- Arístegui, J., Sangrá, P., Hernández-León, S., Cantón, M., Hernández-Guerra, A. y J.L. Kerling (1994): "Island-induced eddies in the Canary Islands", *Deep-Sea Research I*, núm. 41, págs. 1509-1525.
- Arístegui, J., Tett, P., Hernández-Guerra, A., Basterretxea, G., Montero, M.F., Wild, K., Sangrá, P., Hernández-León, S., Cantón, M., García-Braun, J.A., Pacheco, M. y E.D. Barton (1997): "The influence of island-generated eddies on chlorophyll distribution: a study of mesoscale variation around Gran Canaria", *Deep-Sea Research I*, núm. 44, págs. 71-96.
- Backus, R.H. y J.E. Craddock (1977): "Pelagic faunal provinces and sound scattering levels in the Atlantic Ocean", en N.R. Andersen & B.J. Zahuranec (eds.): *Oceanic sound-scattering prediction*. New York, Plenum Press, págs. 529-49.
- Badcock, J. y N.R. Merrett (1976): "Midwater fishes in the eastern North Atlantic. I. Vertical distribution and associated biology in 30N, 23W, with developmental notes on certain myctophids", *Progress in Oceanography*, núm. 7 (I), págs. 3-58.
- Baird, R.C. y D.F. Wilson (1977): "Sound-scattering and oceanic midwater fishes", en N.R. Andersen & B.J. Zahuranec (eds.): *Oceanic sound-scattering prediction*, New York, Plenum Press, págs: 549-67.
- Barnett, M.A. (1984): "Mesopelagic fish zoogeography in the central tropical and subtropical Pacific Ocean: species composition and structure at representative locations in three ecosystems", *Marine Biology*, núm. 82, págs. 199-208.
- Barton, E.D., Arístegui, J., Tett, P., Cantón, M., García-Braun, J., Hernández-León, S., Nykjaer, L., Almeida, C., Almunia, J., Ballesteros, S., Basterretxea, G., Escáñez, J., García-Weill, L., Hernández-Guerra, A., López-Laatzén, F., Molina, R., Montero, M.F., Navarro-Pérez, E., Rodríguez, J.M., van Lenning, K., Vélez, H. y K. Wild (1998): "The transition zone of the Canary Current upwelling region", *Progress in Oceanography*, núm. 41, págs. 455-504.
- Benoit-Bird, K.J. y W.W.L. Au (2003a): "Echo strength and density structure of Hawaiian mesopelagic boundary community patches", *Journal of the Acoustical Society of America*, núm. 114, págs. 1888-1897.
- Benoit-Bird, K.J. y W.W.L. Au (2003b): "Spatial dynamics of a nearshore micronekton sound-scattering layer", *ICES Journal of Marine Science*, núm. 60, págs. 899-913.
- Bordes F., Barrera, A., Carrillo, J., Castillo, R., Castro, J.J., Gómez, J.A., Hansen, K., Hernández, V., Moreno, T., Pérez, F. y F. Uiblein (1997): "Evaluación acústica de los recursos epipelágicos y estudio de la capa de reflexión en Lanzarote, Fuerteventura y Gran Canaria (Islas Canarias)", Viceconsejería de Pesca. Gobierno de Canarias.
- Bordes, F., Almeida, C., Barrera, A., Carrillo, J., Castillo, R., Coca, J., Gómez, J.A., Hansen, K.A., Pérez, F., Ramos, A.G. y F. Uiblein (1998): "Prospección acústica y pesquera de los recursos pelágicos en Lanzarote, Fuerteventura y Gran Canaria (Islas Canarias). Resultados de la Campaña *Bocaina 1197*". Viceconsejería de Pesca. Gobierno de Canarias.
- Bordes, F., Uiblein, F., Castillo, R., Barrera, A., Castro, J.J., Coca, J., Gómez, J., Hansen, K., Hernández, V., Merrett, N., Miya, M., Moreno, T., Pérez, F., Ramos, A., Sutton,

- T. y M. Yamaguchi (1999): "Epi- and mesopelagic fishes, acoustic data, and SST images collected off Lanzarote, Fuerteventura and Gran Canaria, Canary Islands, during cruise *La Bocaina 04-97*". *Informe Técnico ICCM*, núm. 5, págs. 1-45.
- Bordes, F., Moreno, T., Uiblein, F., Wienerroither, R. y R. Castillo (2000): "Determinación de las muestras de peces recogidas con arrastres mesopelágicos en las Islas Canarias durante tres campañas a bordo del B/O *La Bocaina*". Viceconsejería de Agricultura, Pesca y Alimentación, Telde, Las Palmas, Gran Canaria.
- Bordes, F., Wienerroither, R., Uiblein, F., Moreno, T., Bordes, I., Hernández, V. y C. Caballero (2009): *Catálogo de especies meso y batipelágicas. Peces, moluscos y crustáceos. Colectadas con arrastres en las Islas Canarias durante las campañas realizadas a bordo del B/E "La Bocaina"*, Instituto Canario de Ciencias Marinas (ICCM), Agencia Canaria de Investigación, Innovación y Sociedad de la Información - Gobierno de Canarias, Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, Viceconsejería de Pesca, 326 pp.
- Chapman, R.P., Bluy, O.Z., Adlington, R.H. y A.E. Robison (1975): "Deep-scattering layer spectra in the Atlantic and Pacific Oceans and adjacent seas", *Journal of the Acoustical Society of America*, núm. 56 (6), págs. 1722-34.
- Childress, J.J., Taylor, S.M., Cailliet, G.M. y M.H. Price (1980): "Patterns of growth, energy utilization and reproduction in some meso- and bathypelagic fishes off southern California", *Marine Biology*, núm. 61, págs. 27-40
- Gjøsaeter, J. y J. Blindheim (1978): "Observations on mesopelagic fish off northwest Africa between 16 and 27N". Paper presented to the Symposium on the Canary Current: upwelling and living resources, Las Palmas, 11-14 April, 21pp.
- Hernández-García, V., Bordes, F. y E. Almonacid (2006): "Can the bathymetric distribution of cephalopods be studied with commercial fishing gears?", *Acta Universitatis Carolinae - Geologica*, núm. 49, págs. 129-134.
- Hernández-León, S., Gómez, M., Pagazaurtundua, M., Portillo-Hahnefeld, A., Montero, I., y C. Almeida (2001): "Vertical distribution of zooplankton in Canary Island waters: implications for export flux", *Deep-Sea Research I*, núm. 48, págs. 1071-1092.
- Hidaka, K., Kawaguchi, K., Murakami, M. y M. Takahashi (2001): "Downward transport of organic carbon by diel migratory micronekton in the western equatorial Pacific: its quantitative and qualitative importance", *Deep-Sea Research I*, núm. 48, págs. 1923-1939.
- Hopkins, T.L. y R.C. Baird (1985): "Aspects of the trophic ecology of the mesopelagic fish *Lampanyctus alatus* (Myctophidae) in the eastern Gulf of Mexico", *Biological Oceanography*, núm. 3(3), págs. 285-313.
- Ikeda, T. (1996): "Metabolism, body composition, and energy budget of the mesopelagic fish *Maurolicus muelleri* in the sea of Japan", *Fisheries Bulletin*, núm. 94(1), págs. 49-58.
- Kashkin, N.E. (1974): "Ichthyofauna of the sound-scattering layers in the northeastern Atlantic", *Oceanology*, núm. 14, págs. 446-450.
- Kloser, R.J., Ryan, T.E., Young, J.W., y M.E. Lewis (2009): "Acoustic observations of micronekton fish on the scale of an ocean basin: potential and challenges", *ICES Journal of Marine Science*, núm. 66, págs. 998-1006.
- Knudsen, H.P. (1990): "The Bergen echo integrator: An introduction", *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, núm. 47, págs. 167-174.
- Koslow, J.A., Kloser, R.J. y A. Williams (1997): "Pelagic biomass and community structure over the mid-continent slope off southeastern Australia based upon acoustic and midwater trawl sampling", *Marine Ecology Progress Series*, núm. 146 (1-3), págs. 21-35.
- Longhurst, A. (1998): *Ecological geography of the sea*, Academic Press.
- Love, R.H. (1969): "Maximum side-aspect target strength of an individual fish", *Journal of the Acoustical Society of America*, núm. 46, págs. 746-752.
- MacLennan, D.N. (1990): "Acoustical measurement of fish abundance", *Journal of the Acoustical Society of America*, núm. 87, págs. 1-15.

- MacLennan, D.N., y E.J. Simmonds (1992): *Fisheries Acoustics*, Chapman and Hall, New York.
- Mittelstaedt, E. (1983): "The upwelling area off north-west Africa - a description of phenomena related to coastal upwelling", *Progress in Oceanography*, núm. 12, págs. 307-331.
- Parsons, T.R., Takahashi, M., y B. Hargrave (1984): *Biological Oceanographic Processes*, Pergamon Press, Oxford. plc.
- Pakhomov, E.A., R. Perissinotto y C.D. McQuaid. (1996): "Prey composition and daily rations of myctophid fishes in the Southern Ocean", *Marine Ecology Progress Series*, núm. 134, págs. 1-14.
- Reid, S.B., Hirota, J., Young, R.E. y L.E. Hallacher (1991): "Mesopelagic-boundary community in Hawaii: micronekton at the interface between neritic and oceanic ecosystems", *Marine Biology*, núm. 109, págs. 427-440.
- Tomczak, M. y J.S. Godfrey (2003): *Regional Oceanography: an introduction*, Daya Publishing House, Delhi (2ª ed.).
- Uiblein, F. y F. Bordes (1999): "Complex trophic interactions around ocean islands", *Ocean Challenge*, núm. 9, págs. 15-16.
- Wienerroither, R.M. (2003): "Species composition of mesopelagic fishes in the area of the Canary Islands, Eastern Central Atlantic", *Informe Técnico ICCM*, núm. 9, págs. 1-110.
- Wienerroither, R. M. (2005): *Meso- and bathypelagic fishes of the Canary Islands: an annotated species list, species composition, and biogeographic distribution*, PhD Thesis, Paris Lodron University of Salzburg, 141 pp.
- Wienerroither, R.M., Uiblein, F., Bordes, F. y T. Moreno. (2009): "Composition, distribution, and diversity of pelagic fishes around the Canary Islands, Eastern Central Atlantic", *Marine Biology Research*, núm. 5, págs. 328-344.

Reseña curricular

Paula Caldentey. Obtiene el título de Licenciada en Biología en la Universidad de La Laguna en 2005. Ese mismo año se embarca en el Programa de Doctorado OCEANOGRAFÍA en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y entra a formar parte del grupo de investigación de Oceanografía Biológica bajo la dirección del Dr. Santiago Hernández-León. En 2007 disfrutó de una beca LEONARDO en Polonia y en 2008, de la beca INTEGRANTS en Estados Unidos realizando prácticas profesionales. Actualmente se encuentra realizando el proyecto de Tesis en colaboración con Mote Marine Laboratory (Sarasota, Florida, EEUU) tras la obtención del DEA en el área de Zoología.

Laboratorio B201, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Tafira, Gran Canaria 35017
E-mail: pawl81@yahoo.es

Fernando Bordes Caballero. Es Coordinador de Programas del Departamento de Recursos Pesqueros del Instituto Canario de Ciencias Marinas desde 1977.

Instituto Canario de Ciencias Marinas. Carretera de Taliarte s/n, Gran Canaria 35200
E-mail: fbordes@iccm.rcanaria.es

Santiago Hernández León. Catedrático de Universidad en el área de conocimiento de Zoología. Ha sido Vicedecano de la Facultad de Ciencias del Mar desde 1994 a 1998 y Decano desde 2004 a 2009. Ha publicado más de 100 artículos.

Laboratorio B201, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Tafira, Gran Canaria 35017
E-mail: shernandez@dbio.ulpgc.es