

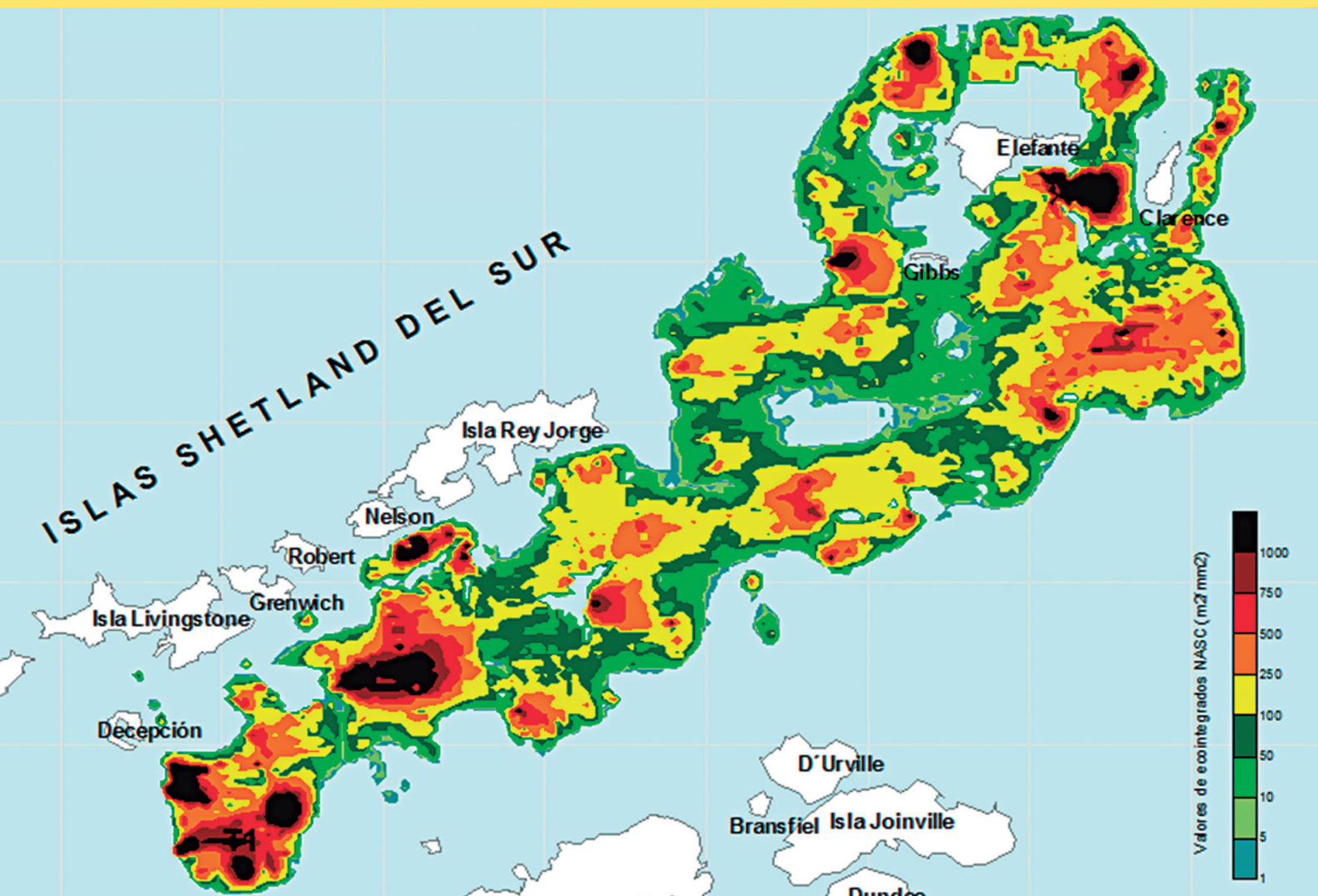


# BOLETÍN

## INSTITUTO DEL MAR DEL PERÚ

ISSN 0458 – 7766

VOLUMEN 31, Número 1



Enero - Junio 2016  
Callao, Perú

# DISTRIBUCIÓN, ABUNDANCIA Y PROXIMIDAD ESPACIAL DE ENJAMBRES DE KRILL (*Euphausia superba*) EN EL ESTRECHO DE BRANSFIELD Y ALREDEDORES DE LA ISLA ELEFANTE, VERANO AUSTRAL 2006

## DISTRIBUTION, ABUNDANCE AND SPATIAL PROXIMITY SWARMS OF KRILL (*Euphausia superba*) ALONG BRANSFIELD STRAIT AND ELEPHANT ISLAND, AUSTRAL SUMMER 2006

Mariano Gutiérrez<sup>1</sup>Salvador Peraltilla<sup>2</sup>Arnaud Bertrand<sup>3</sup>Adolfo Gonzales<sup>2</sup>Gordon Swartzman<sup>4</sup>Ramiro Castillo<sup>2</sup>

### RESUMEN

GUTIÉRREZ M, PERALTILLA S, BERTRAND A, GONZALES A, SWARTZMAN G, CASTILLO R. 2016. *Distribución, abundancia y proximidad espacial de enjambres de krill (Euphausia superba) en el estrecho de Bransfield y alrededores de la isla Elefante, verano austral 2006. Bol Inst Mar Perú. 31(1): 9-23.*- Se realizó a bordo del BIC Humboldt una prospección de pequeña escala entre las islas Elefante, Clarence y Gibbs, además de una evaluación sinóptica a lo largo del estrecho de Bransfield, en enero 2006, con la finalidad de medir la distribución, abundancia y proximidad de enjambres de krill (*Euphausia superba*) en relación con sus depredadores. Los resultados más saltantes fueron: (i) la abundancia de krill se halló en el valor más bajo de la serie construida por el Instituto del Mar del Perú (IMARPE) desde 1988, habiéndose calculado 425 mil toneladas de krill (CV: 35%) bajo la hipótesis de que la relativa ausencia de hielos durante la prospección ha retraído la mayor parte de la población sobre las costas de la península Antártica, fuera del alcance del barco de investigación, (ii) la distribución del krill arrastraría a la de sus depredadores a juzgar por las variaciones sincrónicas que se observó entre cada uno de los nueve giros sobre un área de 18 mn<sup>2</sup> que se efectuó entre las islas Elefante, Clarence y Gibbs, (iii) el ascenso del krill hacia la superficie implica una disminución temporal en su capacidad de retrodispersión acústica, lo que confirmaría que este fenómeno se explica por la variación temporal del ángulo de natación del krill durante sus migraciones verticales. Se concluye que el análisis de estos hallazgos debe ser profundizado a través de nuevos experimentos sobre escalas geográficas más amplias.

PALABRAS CLAVE: Distribución, abundancia, enjambres de krill, estrecho de Bransfield, isla Elefante

### ABSTRACT

GUTIÉRREZ M, PERALTILLA S, BERTRAND A, GONZALES A, SWARTZMAN G, CASTILLO R. 2016. *Distribution, abundance and spatial proximity swarms of krill (Euphausia superba) along Bransfield strait and Elephant Island, austral summer 2006. Bol Inst Mar Perú. 31(1): 9-23.*- It has been performed a synoptic acoustic survey aboard RV Humboldt along Bransfield Strait and surroundings of Elephant Island, and a small scale experiment between Elephant, Clarence and Gibbs islands during austral summer 2006 in order to assess the distribution, abundance and spatial proximity of swarms of krill (*Euphausia superba*) in relation to its predators. Main results were: (i) abundance of krill along Bransfield Strait and surroundings of Elephant Island is the lowest value of the time series built up by Instituto del Mar del Perú (IMARPE) since 1988. It has been calculated an abundance of 425 thousand tons of krill (CV: 35%) under the hypothesis that the observed relative absence of ice has confined the krill population toward the Antarctic Peninsula, out of reach of the survey, (ii) it has been observed that the distribution of krill would drag the local presence of its predators by observing the synchronous variations in the location of sea birds and mammals in every of the nine gyres performed over a small area (18 mn<sup>2</sup>) located between Elephant, Clarence and Gibbs islands, (iii) the ascent of krill toward sea surface implies a temporal reduction of its acoustic reflectivity, which would confirm that swimming angle during vertical migrations explains the measured variations of backscattered energy between diel cycles. Nevertheless it is concluded that these findings must be validated by new experiments to be performed on wider geographical ranges.

KEYWORDS: Distribution, abundance, krill swarms, Bransfield Strait, Elephant Island

1 Universidad Nacional Federico Villarreal UNFV, Calle Francia 726, Lima, Perú (correspondencia a margon@ec-red.com)

2 Instituto del Mar del Perú IMARPE, Esquina Gamarra y Valle s/n Chucuito, Callao

3 Instituto de Investigación para el Desarrollo IRD, Avenue Jean Monnet, BP 171, 34203 Sète Cedex, France

4 Universidad de Washington UoW, School of Fisheries, Box 355640, Seattle, WA 98195, USA

## 1. INTRODUCCIÓN

El Instituto del Mar del Perú (IMARPE) participa desde 1988 en proyectos científicos para la exploración de la Antártida y sus especies marinas. Además, con el propósito de contribuir al esfuerzo internacional en la investigación antártica, se planificó el Proyecto COPEPOD (Dinámica y Ecología de las Principales Comunidades Pelágicas del Océano Antártico), para ser llevado a cabo entre los años 2005 y 2010. La fase 2005-2006 se denominó COPEPOD I, y la recolección de datos se efectuó en enero 2006 a bordo del BIC Humboldt en la sub-Área 48.1 a lo largo del estrecho de Bransfield y en los alrededores de la isla Elefante.

La pregunta central de COPEPOD es: ¿Cómo se interrelacionan las principales especies de la comunidad pelágica en función a las condiciones ambientales usualmente variables en el ecosistema de la sub-área antártica 48.1?

Para ello se hipotetiza que adoptando un enfoque basado en el Modelo de Cubeta (Basin Model, McCALL 1990) será posible describir y conceptualizar los procesos físicos y químicos que gobiernan la ocupación del espacio y el comportamiento de las especies en estudio, tomando en cuenta que este modelo postula que los organismos se dispersan o se contraen para cubrir todo el hábitat "favorable", por lo que estudiar estos procesos implica la prospección exhaustiva de las zonas de estudio elegidas.

Habiéndose realizado una prospección de pequeña escala entre las islas Elefante, Clarence y Gibbs, además de una sinóptica a lo largo del estrecho de Bransfield, se obtuvo valiosa información que fue analizada durante talleres interdisciplinarios en IMARPE. Las zonas de estudio elegidas fueron seleccionadas por razones logísticas (cercanía a la Estación Científica Antártica Machu Picchu, ECAMP) y científicas: la sub-Área 48.1 y las zonas del estrecho de Bransfield e isla Elefante congregan normalmente alta abundancia de krill (*Euphausia superba*), especie clave en el funcionamiento del ecosistema antártico, así como de especies dependientes de aquella, como aves, mamíferos y peces (MAC CAULAY 1987, GREENE et al. 1991, AGNEW 1992, ARNTZ 1997, ALONSO et al. 2003, HEWITT et al. 2004, SIEGEL et al. 2004).

El presente documento describe el análisis de la información, así como los resultados y conclusiones de la investigación realizada por el Área de Detección y Comportamiento del Proyecto COPEPOD.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó una investigación multidisciplinaria como parte del Proyecto COPEPOD I en la sub-área antártica 48.1 (península Antártica) a bordo del BIC Humboldt en enero 2006. Las Áreas participantes fueron: Depredadores Superiores, Oceanografía, Biología y Ecología y, Detección y Comportamiento. El trabajo de campo fue planificado para cubrir dos estrategias: un muestreo de mesoescala orientado a determinar las condiciones ambientales generales y un muestreo de pequeña escala espacio-temporal cuyo objetivo fue estudiar las posibles relaciones entre los recursos, el ambiente y las reacciones etológicas relacionadas (la migración vertical nictemeral, por ejemplo).

### EQUIPAMIENTO

El BIC Humboldt, está equipado con un ecosonda científica marca SIMRAD que opera frecuencias de 38 y 120 kHz, transductores compuestos y transceptores digitales. Dos estaciones o terminales de trabajo y un navegador GPS SHIPMATE se hallan conectados con la ecosonda a través de una red interna LAN; además, se utilizó una net-sonda SIMRAD ITI para el monitoreo de la red durante faenas de pesca. Complementariamente, se registró información térmica utilizando un sensor marca FURUNO instalado en la Sala de Acústica de la embarcación.

Antes de proceder a realizar la fase de toma de datos (cruceos de meso y pequeña escala) se llevó a cabo la calibración acústica de la ecosonda en la bahía Fildes de la isla Rey Jorge; los procedimientos utilizados se hallan descritos en SIMMONDS y MACLENNAN (2005). Posteriormente, se realizó una medición del nivel de ruido de fondo captado por la ecosonda según lo descrito en ICES (2002).

El BIC Humboldt, está equipado con un parque de pesca de arrastre pelágica y de fondo. Como aparejo de pesca se utilizó una red tipo Engel 988/400 (988 mallas en la boca de la red, de 400 mm cada una). Este arte de pesca fue empleado en la captura de especímenes (krill) para el muestreo biológico y para la identificación auxiliar de blancos acústicos. El muestreo biológico incluyó la consignación de mediciones biométricas del cefalotórax según lo descrito en HOOKER et al. (1998). En el caso de estudios acústicos, conocer las tallas es esencial para determinar los valores de TS que serán utilizados en la estimación de abundancia (HEWITT et al. 2004).

### ZONAS DE ESTUDIO

El ámbito geográfico de COPEPOD es la sub-Área estadística FAO 48.1 (Península Antártica), y dentro de ésta, la región conocida como estrecho de Bransfield

que se extiende a lo largo del borde septentrional de la península Antártica desde el estrecho de Gerlache (límite del círculo polar antártico) en el oeste hasta el grupo de las islas Piloto Pardo en el Este, siendo la principal la isla Elefante.

En el caso del estudio de mesoescala, se prospectaron cuatro transectos a lo largo del estrecho de Bransfield, de oeste a Este desde la isla Decepción hasta la isla Elefante. La Unidad Básica de Muestreo fue de 0,25 mn. Se efectuaron 7 lances de pesca para determinar la estructura de tallas y pesos (Fig. 1).

En el caso del experimento de pequeña escala se eligió como área de estudio la zona ubicada al sur de la isla Elefante, a fin de determinar, entre otros aspectos, la dinámica vertical del krill y su relación con el zooplancton. El barrido de pequeña escala fue diseñado para cubrir consecutivamente dos cuadrantes contiguos de 3 x 3 mn. Cada giro (de un total de nueve) a esta zona fue seguido de una estación y un lance de pesca en el vértice común de los dos cuadrantes. La figura 2 muestra un arreglo tridimensional de un ecograma en dos dimensiones

con el propósito de graficar la estrategia de colección de datos.

**ALGORITMO DE IDENTIFICACIÓN**

La figura 3 presenta el algoritmo virtual a través del cual las señales acústicas (ecoregistros) fueron separadas según la presencia de krill o zooplancton en base al algoritmo de GREENLAW y JOHNSON (1983) quienes hallaron una diferencia de 2 a 16 dB en las señales retrodispersadas por el krill utilizando frecuencias de 38 y 120 kHz. Esta metodología, es ampliamente utilizada en estudios relativos al krill en la Antártica (HEWITT et al. 2003, 2004; DEMER y CONTI 2003, 2005; WATKINS et al. 2004). La identificación de especies y generación de ecogramas para krill y otras especies del zooplancton por separado, fue realizada utilizando el programa Echoview (Sonar Data, Tasmania, Australia) según lo descrito por HIGGIMBOTTOM et al. (2000). La utilización de dos o más frecuencias de sonido simultáneamente para identificar y extraer las señales de interés fueron definidas por HOLLIDAY (1977) y GREENLAW y JOHNSON (1983).

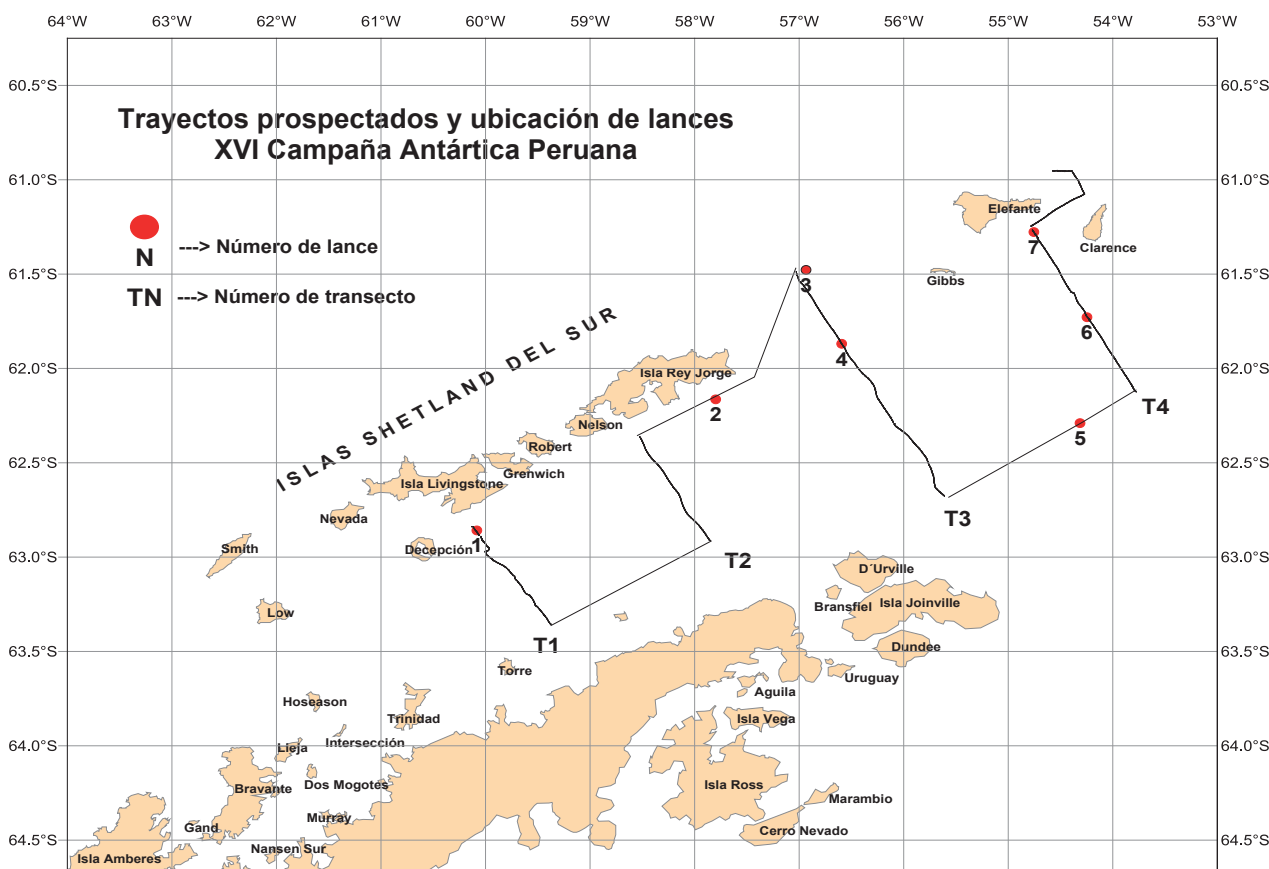


Figura 1.- Carta de Trayectos y ejecución de lances de pesca

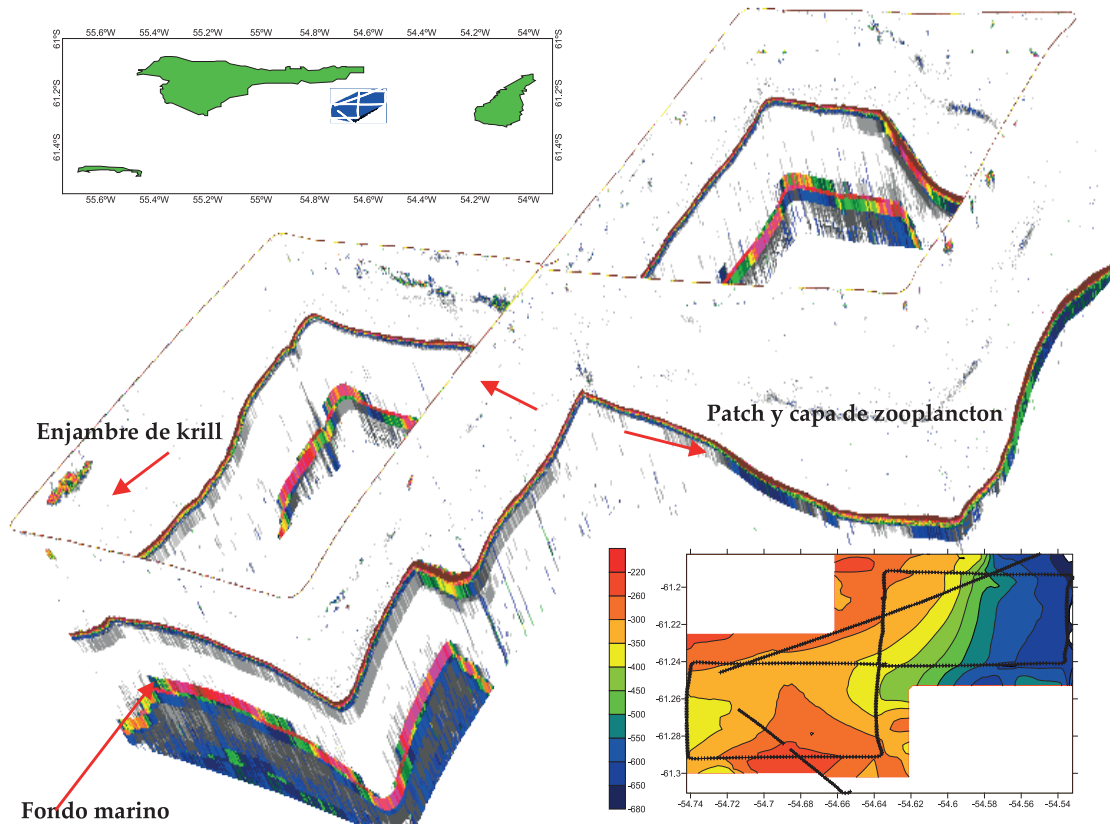


Figura 2.- Infografía acerca de la investigación de pequeña escala espacio-temporal al sureste de la isla Elefante. En la esquina superior izquierda: la zona de estudio, así como su batimetría (esquina inferior derecha). Se aprecia de manera relevante un arreglo tridimensional de un ecograma en dos dimensiones con indicación superpuesta de los principales elementos detectados

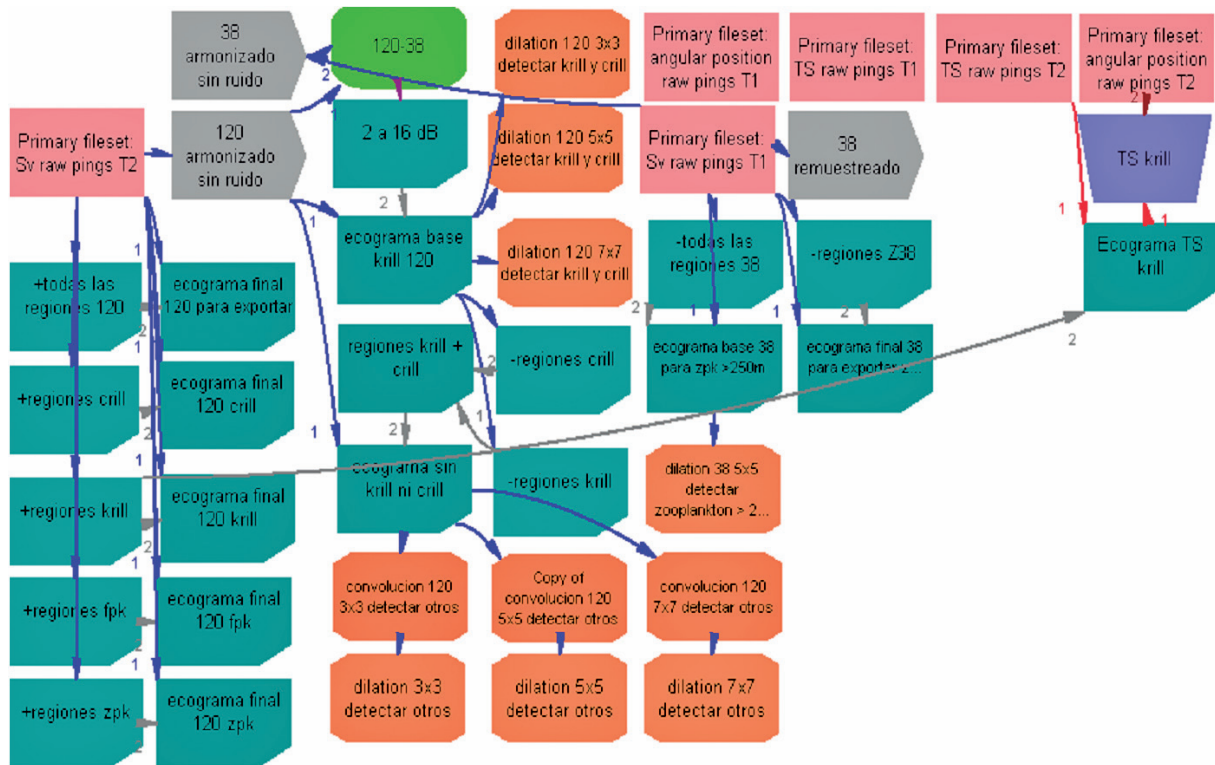


Figura 3.- Algoritmo relacional en Echoview para la identificación del krill y zooplankton en base a la insonificación empleando dos frecuencias: 38 y 120 kHz

**ECUACIONES PARA LA OBTENCIÓN DE LA ABUNDANCIA**

Para la estimación de la abundancia se siguió el método de estratificación por transectos según lo descrito por JOLLY y HAMPTON (1990). La secuencia de ecuaciones empleadas en la estimación de la abundancia (biomasa) es la siguiente (CCAMLR, 2005):

La biomasa (en toneladas t) en el i-ésimo intervalo es:

$$B_i = C F_i \cdot N A S C_i \cdot A_i$$

Donde, CF es el factor de conversión que se utiliza en transformar la densidad en abundancia; NASC es el Coeficiente Náutico de Dispersión Acústica o bien la eointegración media por intervalo de muestreo; A es el área representada por cada unidad de muestreo (15 mn<sup>2</sup>).

El factor de conversión CF (en t/mn<sup>2</sup>) en el i-ésimo intervalo es:

$$C F_i = W_i / S_i$$

Donde, W es el peso medio del krill en toneladas y S es la sección transversal de retrodispersión.

El área A (en mn<sup>2</sup>) en el i-ésimo intervalo se define de la siguiente manera:

$$A_i = d \cdot L \cdot k_i$$

Donde, d es la extensión del intervalo de muestreo (0,25 mn en este caso); L es la separación entre transectos (60 mn en este caso); y k es un factor que varía entre 0 y 1 según la unidad de muestreo que ha sido prospectada en la dirección general de los transectos (330°), en cuyo caso k=1.

El peso (en toneladas) en el i-ésimo intervalo se define de la siguiente manera:

$$W_i = a \cdot L_i^b \times 10^{-6}$$

Donde, a y b son constantes que provienen de la determinación de la relación talla-peso; L<sub>i</sub> es la talla que corresponde a cada clase en el intervalo.

La sección transversal (mn<sup>2</sup>) de dispersión acústica en el i-ésimo intervalo se define como:

$$S_i = 4 \cdot \pi \cdot 10^{TS/10} \times 1852^{-2}$$

La ecuación de fuerza de blanco (TS, en dB) utilizada ha sido desarrollada por DEMER y CONTI (2005) y se le conoce como modelo SDWBA (Stochastic Distorted-Wave Born Approximation):

$$TS(kL) = A \cdot \left[ \frac{\text{Log}_{10}(BkL)}{BkL} \right] + D(kL)^6 + E(kL)^5 + F(kL)^4 + G(kL)^3 + H(kL)^2 + IkL + J + 20 \cdot \text{Log}_{10} \left( \frac{L}{L_{\infty}} \right)$$

Los coeficientes de la ecuación anterior son:

$$A = -9,30429983e^{+2} \quad B = 3,211027896e^{+0}$$

$$C = 1,74003785e^{+0} \quad D = 1,36133896e^{-8}$$

$$E = -2,26958555e^{-6} \quad F = 1,50291244e^{-4}$$

$$G = -4,86306872e^{-3} \quad H = 7,38748423e^{-2}$$

$$I = -4,08004891e^{-1} \quad J = -7,39078690e^{+1}$$

$$L_{\infty} = 3,835e^{-2} \text{ (m)}$$

**INFORMACIÓN OCEANOGRÁFICA**

Se utilizó un CTD con el que se realizaron mediciones de la estructura de la temperatura, salinidad y oxígeno en la columna de agua. Con esta información suministrada por el Área de Oceanografía del proyecto, se analizó la posible existencia de relaciones respecto a la distribución vertical del krill.

**INFORMACIÓN SOBRE DEPRADADORES SUPERIORES**

El Área de Depredadores Superiores del proyecto, efectuó avistamientos continuos de la presencia de aves y mamíferos en los alrededores de la embarcación durante sus desplazamientos. Dicha información ha sido facilitada para explorar la posible relación entre la proximidad espacial de los enjambres de krill y la presencia de depredadores superiores. La unidad de muestreo empleada fue de 0,25 mn.

**ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

Se ha considerado como período diurno el rango entre 4 AM y 21 PM, y el periodo nocturno entre 22 PM y 4 AM del día siguiente.

Se utilizaron series de tiempo simples en hoja de cálculo para estimar parámetros tales como la profundidad media del krill y zooplancton por hora. La posible existencia de correlaciones entre los parámetros ambientales (temperatura, salinidad, oxígeno), el krill y sus depredadores ha sido analizada recurriendo a la estadística exploratoria GAM (Modelos Aditivos Generalizados, VENABLES y RYPLEY 1994, HASTIE y TIBSHIRANI 1990) implementada en el programa S-Plus (Insightfull Corp., EUA).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### CALIBRACIÓN DE LA ECOSONDA EK60

La calibración de la ecosonda SIMRAD modelo EK60 operando a frecuencias sónicas de 38 y 120 kHz del BIC Humboldt, se llevó a cabo el 5 de enero en la bahía Fildes de la isla Rey Jorge. Los resultados se aprecian en la tabla siguiente:

Factor	38 kHz	120 kHz
Coeficiente de absorción (dB/m)	0,0102	0,02720
Velocidad del sonido (m/s)	1457	1457
Angulo de haz equivalente (dB//Srd)	-20,6	-20,8
Ganancia del transductor (dB)	26,5	25,1
Largo de pulso transmitido (ms)	1,024	0,256

#### MEDICIÓN DE RUIDO

La medición del nivel de ruido del BIC Humboldt, se llevó a cabo mientras se navegaba hacia el punto de inicio del crucero. El resultado de la medición para ambas frecuencias, muestra que el nivel de ruido se encontró por debajo del nivel mínimo recomendado para embarcaciones científicas dedicadas a evaluaciones

acústicas (-130 dB ref 1m, ICES 2002). En el caso de la frecuencia de 120 kHz el nivel de ruido fue de -140 dB ref 1 m, y de -133 dB ref 1m en el de 38 kHz.

#### DISTRIBUCIÓN HORIZONTAL DEL KRILL

El krill presentó la abundancia relativa más baja de la serie comprendida entre 1988 y 2006. Los valores econtegrados (NASC) predominantes estuvieron situados en un orden de magnitud que puede ser calificado como 'dispersos'. Densidades medias y altas fueron únicamente observadas en el extremo oriental del estrecho y con mayor presencia de krill en el extremo sur, frente a la isla Rey Jorge y al sur de la isla Elefante. En general, se aprecian dos grandes zonas de distribución: al Este del estrecho predominaron densidades medias, y al oeste predominaron bajas densidades; estas dos zonas se encuentran separadas por una zona de muy baja densidad, sin que se haya podido determinar la relación oceanográfica con este patrón general de agregación (Fig. 4).

#### ESTRUCTURA DE TALLAS Y PESOS

Durante el estudio en el estrecho de Bransfield, se efectuaron siete lances de comprobación de ecotrazos

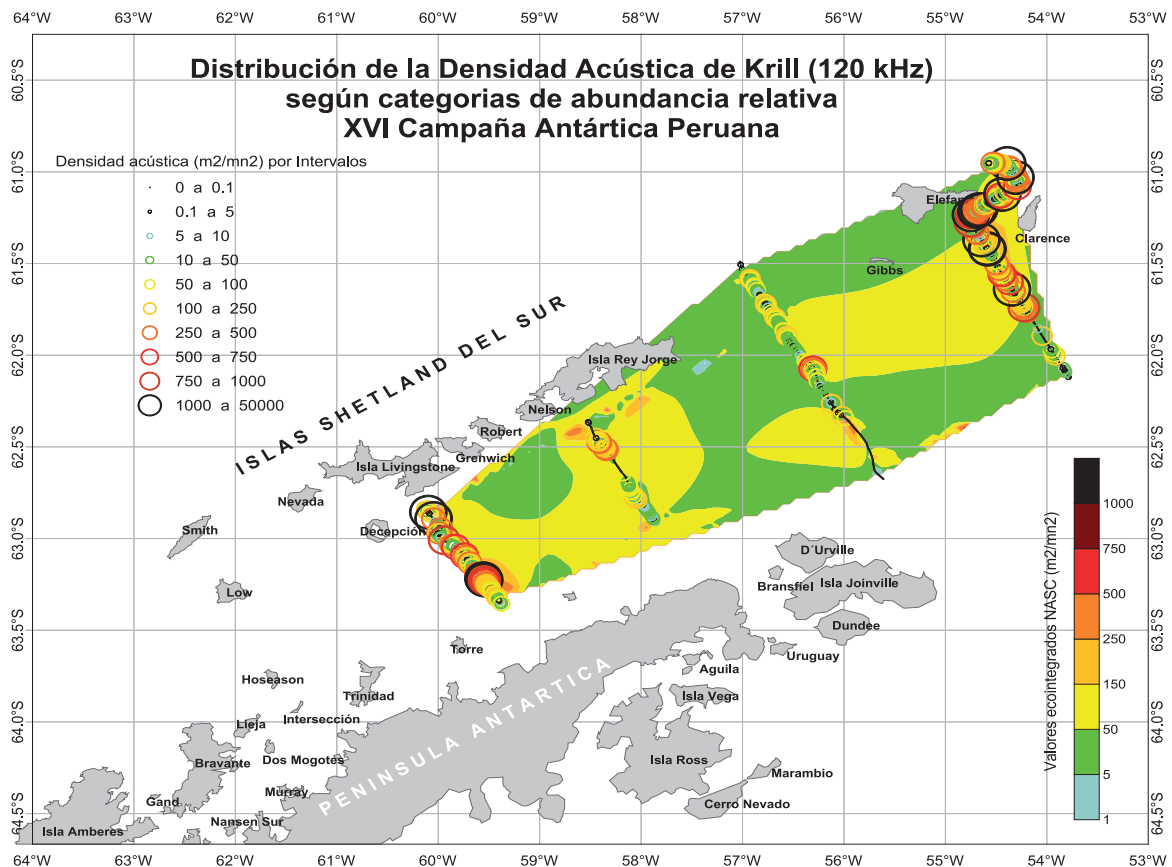


Figura 4.- Distribución y abundancia acústica de krill en el estrecho de Bransfield, con indicación de los valores puntuales medidos

y muestreo biológico (Fig. 1); el segundo lance fue negativo. El muestreo biológico proveyó información acerca de las relaciones talla-peso por lances para la estimación de biomasa, así como los rangos y tallas medias de krill para cada punto de muestreo.

En general, se apreció tres zonas con distinta estructura de tallas: las tallas más grandes fueron observadas entre las islas Elefante y Rey Jorge (lance 3); dos grupos de talla media fueron detectados en las cercanías de las islas Decepción y al sur de la isla Elefante (lances 1 y 7); los restantes lances indicaron estructuras de tallas menores en la zona prospectada al Este de la isla Rey Jorge (lances 4, 5 y 6) (Fig. 1).

### ESTIMACIÓN DE LA ABUNDANCIA DE KRILL

Se utilizó la estructura de tallas derivadas de los lances de pesca efectuados durante el rastreo del estrecho de Bransfield (7 en total) a fin de obtener los factores de corrección (CF) utilizados en la estimación de la abundancia por tallas en la estratificación por transectos. Este cálculo de biomasa fue realizado para las dos frecuencias sonoras empleadas (38 y 120 kHz).

Los datos de peso por talla, provinieron de la utilización de valores estandarizados por el Área de Biología y Ecología. Los factores de conversión CF fueron derivados según la ecuación de DEMER y CONTI (2005).

El CF promedio para 38 kHz fue 1,63 t/m<sup>2</sup>, valor que para DEMER y CONTI es 1,61; en el caso de 120 kHz el CF promedio fue 0,39 t/m<sup>2</sup>, valor similar al hallado por DEMER y CONTI.

Los resultados de la estimación de biomasa fueron similares para las dos frecuencias, totalizando alrededor de 425 mil toneladas, que fue la más baja determinada durante campañas antárticas peruanas. Esta disminución estaría asociada a la falta de hielo (ARNTZ 1997, HEWITT et al. 2003). Los resultados de la estimación acústica de abundancia, para UBMs de 0,25 mn de extensión y 15 mn<sup>2</sup> de área individual, para las dos frecuencias utilizadas, está en el siguiente cuadro:

Frecuencias	120 kHz	38 kHz
Número de valores:	1,041	1,041
NASC (m <sup>2</sup> /mn <sup>2</sup> ) ponderado	70,88	20,70
Varianza ponderada (NASC)	665,62	42,94
CF ponderado	0,41	1,40
Densidad media de krill (g/m <sup>2</sup> )	28,96	28,96
Varianza (de la densidad)	111,15	84,06
Coefficiente de variación	36%	32%
Área (mn <sup>2</sup> )	14.679	14.679
Desviación estándar (de la densidad)	10,54	9,17
Biomasa (toneladas)	425.149,02	425.071,54
Número de individuos	5,42E+11	5,84E+11

La estructura de tallas en términos de abundancia fue polimodal, revelando la presencia de varias clases, principalmente en 30, 34, 38, 44, 48, 54, 57 y 62 mm. El rango de tallas varió entre 26 y 63 mm con moda principal en 48 mm. El mismo patrón, se observó en la biomasa expresada en número de individuos (Fig. 5). De acuerdo a los grados de latitud prospectados, la mayor biomasa estuvo en el grado 61°S y, en menor medida en el 63°S, lo que corresponde a los sectores de la isla Elefante y el extremo sur del área evaluada (Fig. 5). Según grados de longitud, la biomasa se congregó principalmente en tres grados (59, 56 y 54°W), lo que corresponde, respectivamente, a las zonas cubiertas por los transectos 1, 3 y 4 (Fig. 5).

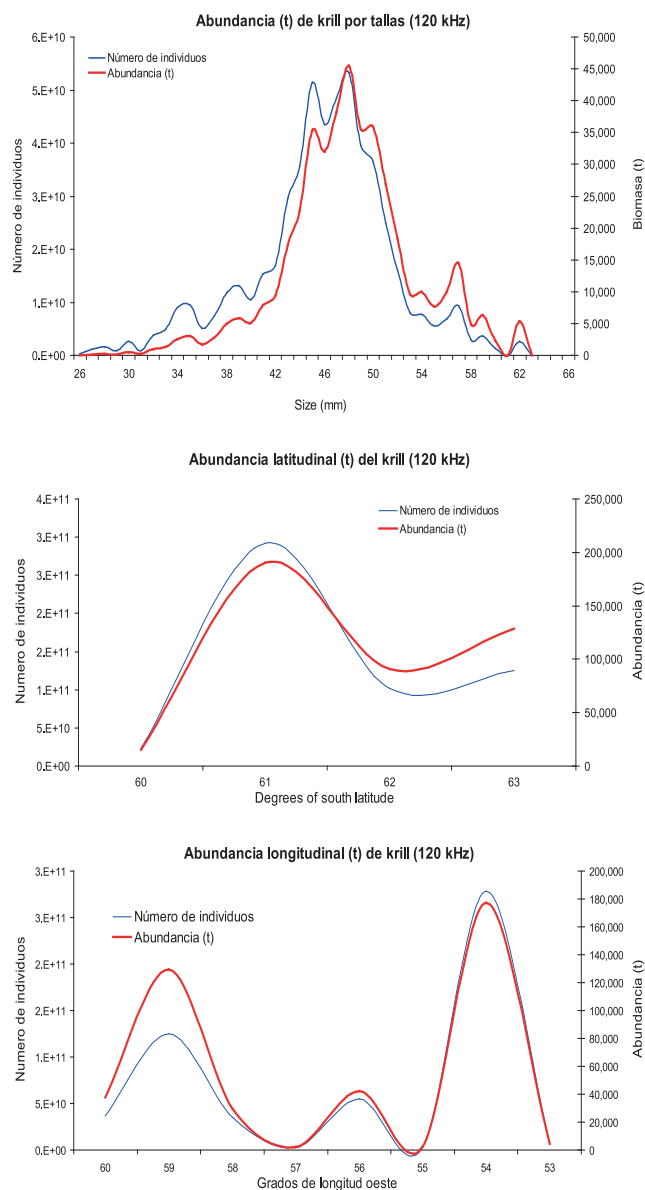


Figura 5.- Demografía del krill en el estrecho de Bransfield tanto en términos de abundancia (toneladas) como de número de individuos. Panel superior: composición por tallas; Panel central: componente latitudinal; Panel inferior: componente longitudinal



**RELACIÓN ENTRE PROFUNDIDADES MEDIAS DE ENJAMBRES DE KRILL Y EL AMBIENTE MARINO**

Se examinó la influencia del medio ambiente marino con las profundidades medias de los enjambres del krill, mediante análisis GAM, en los transectos hidrográficos 2, 3 y 4 del rastreo acústico en el estrecho de Bransfield. La descripción que se presenta a continuación está condicionada por la hora en que se realizó cada medición.

**Transecto 2.-** Verticalmente los enjambres de krill se presentaron en profundidades no mayores a 60 m; el rango de la temperatura estuvo entre 0 y 2 °C, las mejores relaciones variaron entre 0 y 1 °C. Con respecto a salinidad y densidad del agua, las agregaciones del krill fueron observadas en un amplio rango con valores entre 33,90 y 34,35 ups y 27 y 27,8 kg/m<sup>3</sup> (Fig. 6).

**Transecto 3.-** La profundidad media del krill alcanzó los 120 m. Las mayores concentraciones se observaron en la capa de los primeros 40 m; con respecto a la temperatura hubo una mejor relación con valores entre 0,5 y 1,0 °C; las salinidades entre 34,1 y 34,3 ups fueron observadas de preferencia con la presencia de las concentraciones del krill y densidades de agua no mayores a 27,8 kg/m<sup>3</sup> (Fig. 7).

**Transecto 4.-** Los enjambres de krill presentaron mayor rango de distribución vertical, la profundidad media estuvo alrededor de 200 m. La temperatura presentó el rango más bajo en relación con los perfiles anteriores, el krill se desplegó entre -0,5 y 1,0 °C. Lo inverso ocurrió con los valores de salinidad, que presentaron un mayor rango respecto a los perfiles anteriores; la mejor relación se detectó entre 34,2 y 34,45 ups (Fig. 8).

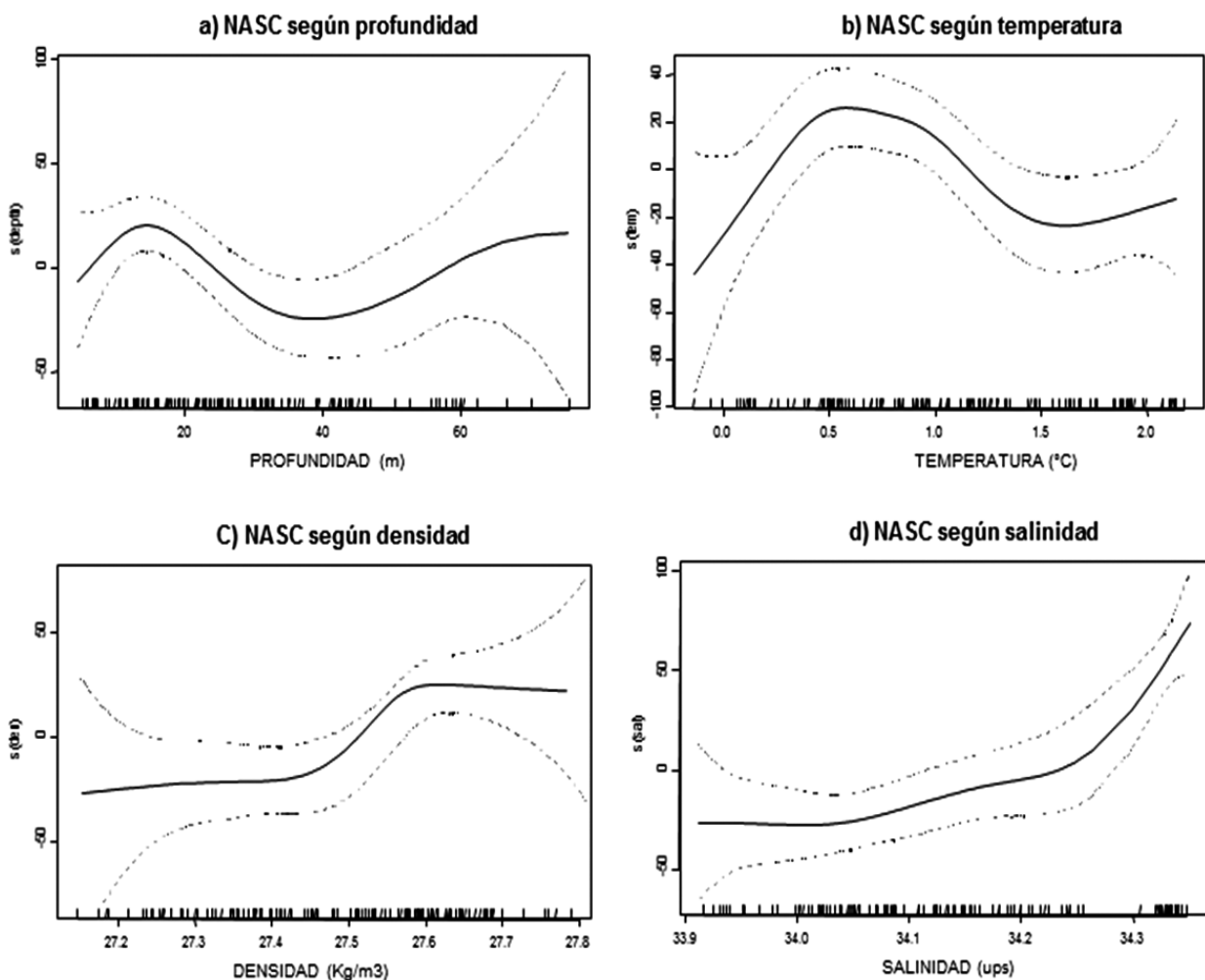


Figura 6.- Relaciones GAM determinadas para el transecto 2 respecto a los valores eointegrados por intervalo (NASC) en función a la profundidad (a), temperatura (b), densidad (c) y salinidad (d)

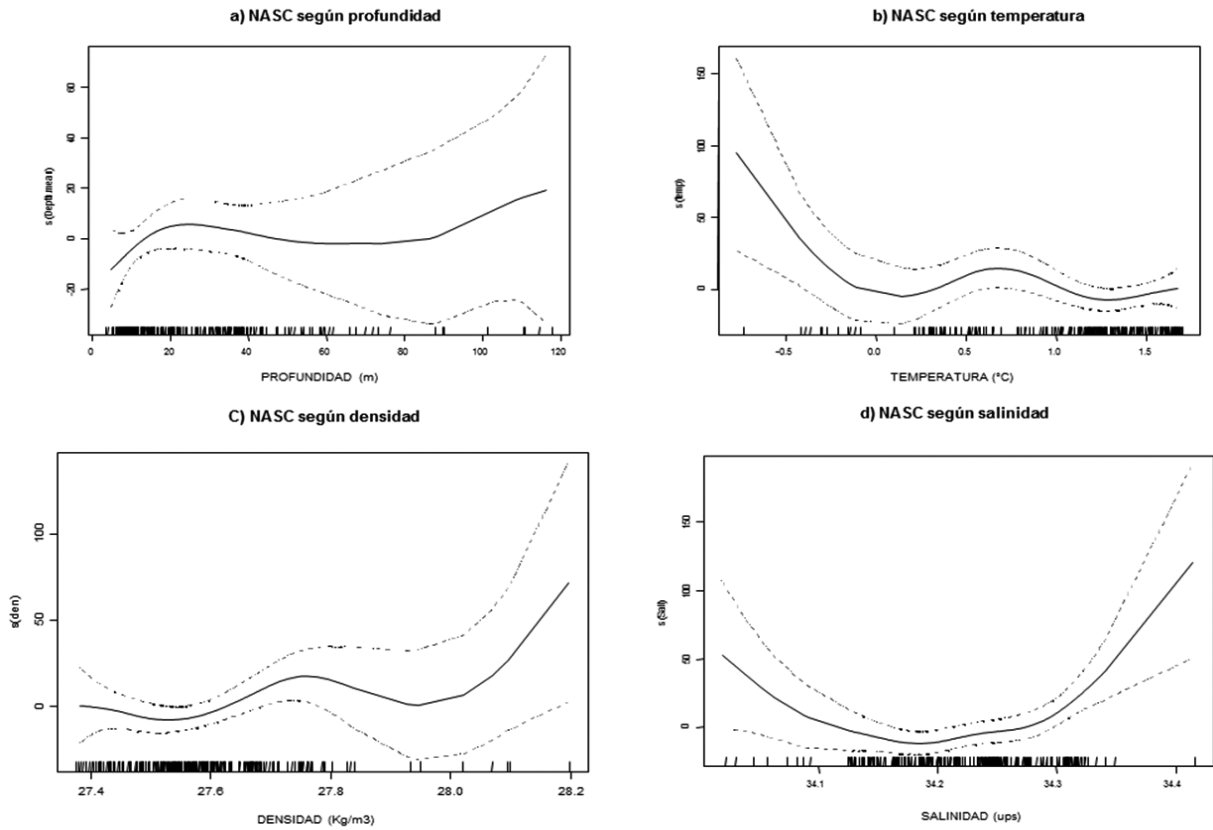


Figura 7.- Relaciones GAM determinadas para el transecto 3 respecto a los valores eointegrados por intervalo (NASC) en función a la profundidad (a), temperatura (b), densidad (c) y salinidad (d)

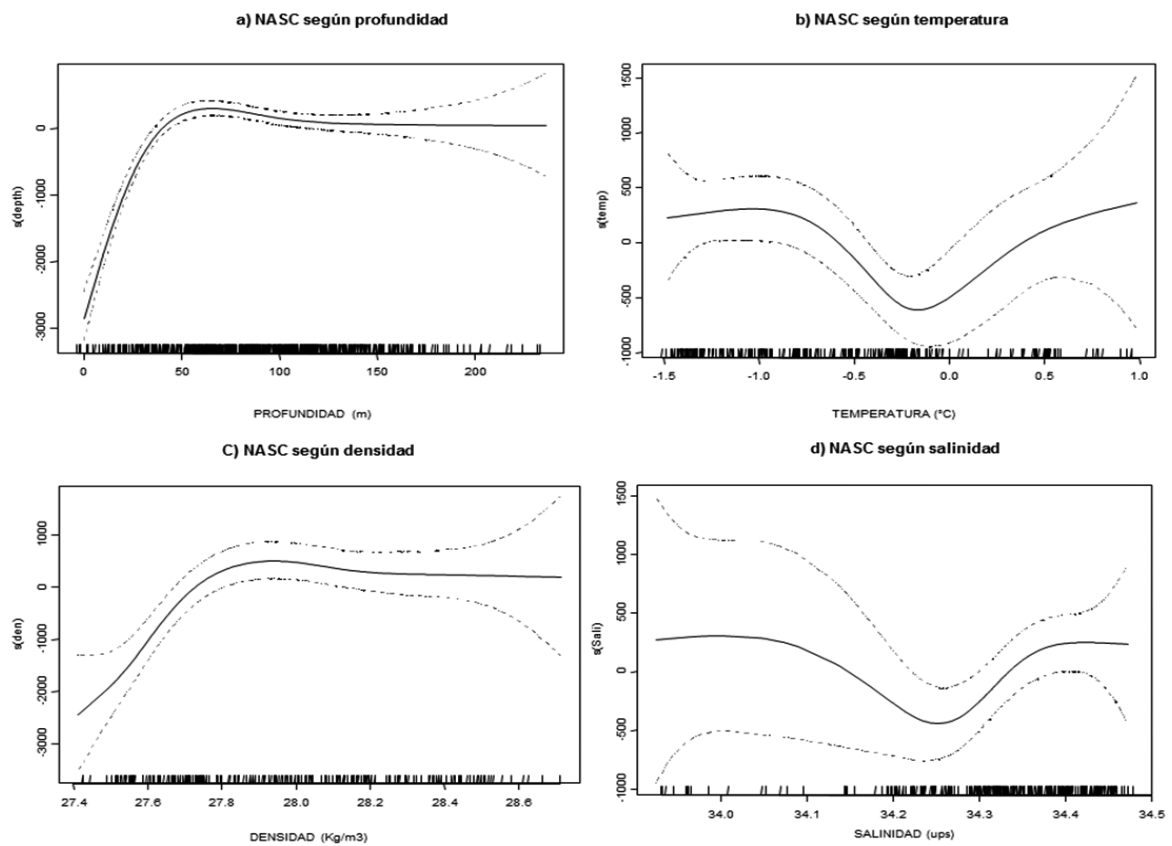


Figura 8.- Relaciones GAM determinadas para el transecto 4 respecto a los valores eointegrados por intervalo (NASC) en función a la profundidad (a), temperatura (b), densidad (c) y salinidad (d)

**ANÁLISIS DE CLUSTERS, PROXIMIDAD ESPACIAL**

Del análisis de la información acústica por enjambres detectados en el estrecho de Bransfield (ubicación de cada uno de ellos en el espacio geográfico) se determinó la existencia de 39 clusters con un alto índice de proximidad espacial, si bien algunos son más densos que otros (Fig. 9); en la misma figura se presentan algunas fuentes de información superpuesta: clusters acústicos de krill indicados por círculos negros, presencia de depredadores superiores indicados por triángulos azules y aspas rojas y, los

perfiles oceanográficos con indicación relativa de la temperatura en segmentos oblicuos a lo largo de los 4 transectos efectuados en el estrecho de Bransfield. A simple vista, se comprueba que la zona ubicada entre las islas Elefante, Gibbs y Clarence es la que presentó la mayor cantidad de fauna marina. En general, la mayor proximidad entre presas y predadores se da en las cercanías de las islas. Debe puntualizarse que la escala de observación utilizada (mesoescala) es apropiada para observar el patrón general de dispersión espacial, que no puede ser apreciado en escalas menores.

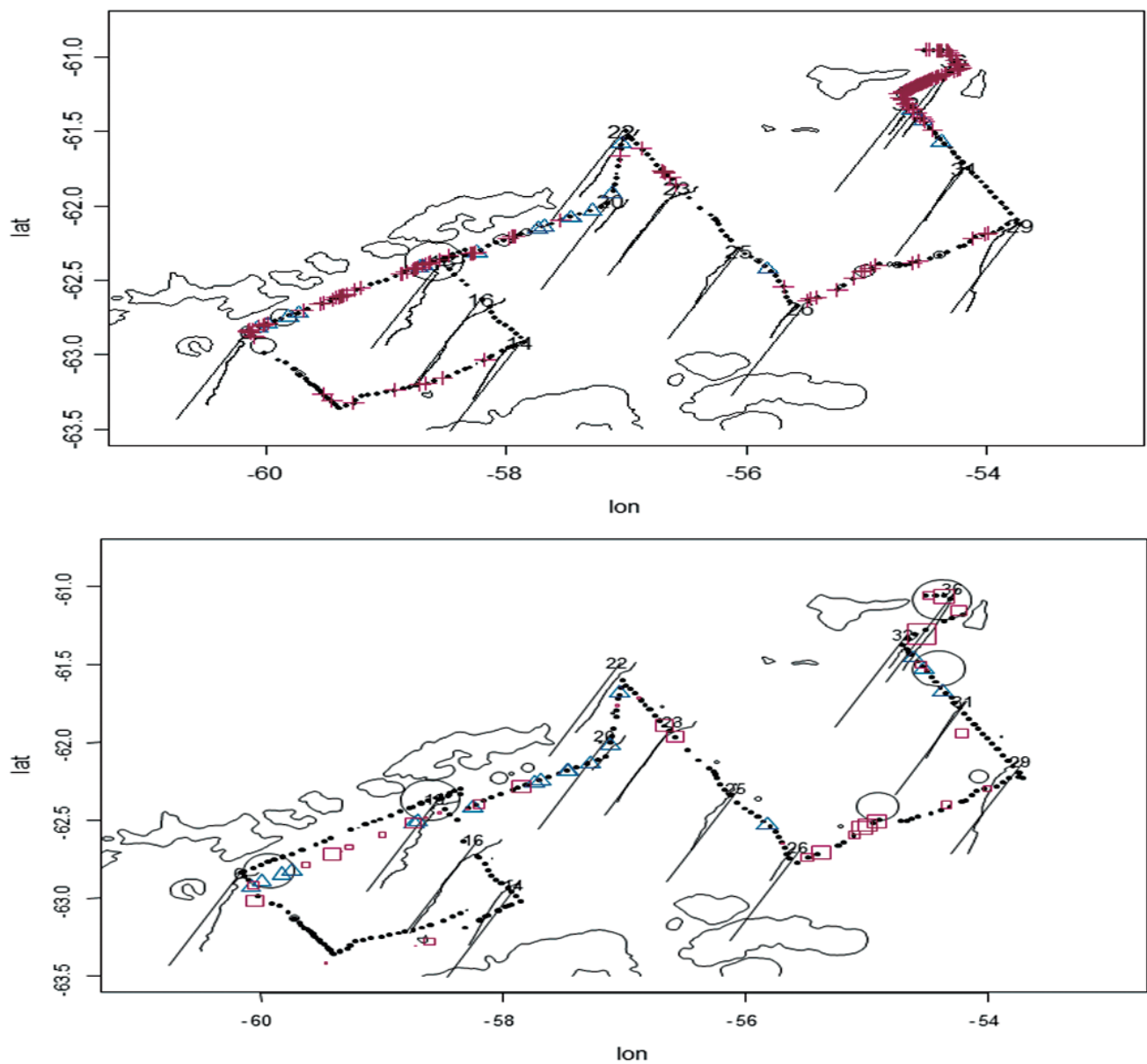


Figura 9.- Proximidad espacial entre los enjambres de krill y sus depredadores durante la prospección de mesoescala en el Estrecho de Bransfield. Nótese en el panel superior la mayor concentración de clusters de krill en la zona de la isla Elefante así como el sector meridional de las islas Shetland del Sur. En el panel inferior se presenta la distribución espacial de los depredadores superiores: presencia de aves (cuadrados) pingüinos (triángulos) y cetáceos (círculos) durante el crucero, la escala de observación es adecuada (mesoescala), ya que permita apreciar la existencia de un patrón de distribución que no se observa en escalas muy pequeñas

### ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA DISTRIBUCIÓN DEL KRILL Y ZOOPLANCTON A PEQUEÑA ESCALA

Si bien las pequeñas escalas de observación espacio-temporal no permiten apreciar aspectos de la distribución general, facilita en cambio otro tipo de análisis, como por ejemplo el que se relaciona a la migración nictemeral y las condiciones ambientales específicas de cada lugar.

Utilizando ecogramas digitales de 38 y 120 kHz, se separó del zooplancton los registros atribuidos al krill, basando su identificación en la existencia de una diferencia en la reflectividad acústica entre 38 y 120 kHz comprendida entre 2 y 16 dB (HEWITT et al. 2004). El zooplancton fue detectado aplicando arbitrariamente un filtro comprendido entre -65 y -90 dB al ecograma libre de krill. Naturalmente, la detección de zooplancton ha sido enfocada únicamente en aquellos registros acústicamente detectables, sin que sea posible determinar la identidad de éstos. Una muestra de los resultados obtenidos procesando los ecogramas digitales se presenta en la figura 10. Estos ecogramas resultan de aplicar el algoritmo de la figura 3 y permite contar con bases de datos separadas para el krill, y para el zooplancton detectable con 38 y 120 kHz, lo que facilita el análisis de series de tiempo.

### KRILL ARRASTRARÍA LA DISTRIBUCIÓN DE SUS DEPRADADORES

La figura 11 presenta, a izquierda y derecha, la superposición de bases de datos acústicos y de depredadores para las primeras dos vueltas a la zona de estudio (experimento de pequeña escala) ubicada al sur de la isla Elefante. El gráfico, es una muestra del escrutinio visual realizado para corroborar la existencia de una relación entre la morfología del fondo, la presencia de krill y la de depredadores superiores. En ambos casos, la batimetría (paneles de la parte inferior) muestra que el experimento realizado en la zona de la isla Elefante posee dos marcados niveles de profundidad: la terraza cuya profundidad se sitúa entre 200 y 300 m, el talud comprendido entre 300 y 550 m y la planicie más profunda comprendida entre 550 y 680 m.

Sobre la terraza se ubicó –durante la vuelta N<sup>o</sup>1 en este caso- la mayor parte y los más grandes enjambres de krill, y también la mayor cantidad de enjambres superficiales. En la vuelta 2, la mayor densidad de krill se trasladó a la zona más profunda. En los primeros tres paneles de la figura (de arriba hacia abajo) se aprecia con claridad que la mayor cantidad de cetáceos, pingüinos y otras aves se ubican también sobre la terraza profunda

durante la vuelta 2. En apariencia, la presencia de krill superficial arrastraría la presencia de sus depredadores y, la morfología del fondo ejercería un rol en la dinámica vertical que influencia la concentración de krill en la región de estudio. Sin embargo, debe hacerse notar que en el caso de los avistamientos de depredadores se trata de una actividad que no es continua, es decir que no es posible desarrollarlo durante el período nocturno (22 PM a 4 AM), lo que interrumpe la continuidad del análisis.

### PATRÓN DE DISTRIBUCIÓN VERTICAL NICTEMERAL DE ENJAMBRES DE KRILL

El krill se distribuyó hasta los 100 m en promedio durante las horas del día (04:00 a 22:00) y hasta los 40 m durante la noche. Este patrón ha sido observado por autores como KILS (1981), KIRKWOOD (1982), SUN (1997) y DEMER y CONTI (2005) si bien la distribución vertical puede ser más amplia. En este caso, el krill se distribuyó en un rango comprendido entre 15 y 195 m, habiéndose observado en ocasiones hasta 400 m (GUTIÉRREZ 1998).

Se observó que junto con los cambios en la profundidad, se produjeron variaciones en la magnitud del volumen acústicamente retrodispersado, es decir que en tanto el krill se desplaza verticalmente se producen variaciones en su reflectividad. De acuerdo con los trabajos de KILS (1981), MILLER y HAMPTON (1990), GREENE et al. (1991) y DE ROBERTIS et al. (2003) los eufáusidos en general se desplazan con ángulos corporales variables, ofreciendo respuestas acústicas diferentes frente a una insonificación regular como la del caso presente. Además, estudios más recientes como el de DEMER y CONTI (2005) son concluyentes respecto a la naturaleza estocástica de la reflectividad acústica del krill, es decir que aún en condiciones controladas se deben esperar variaciones en la capacidad reflectiva, que dependen fundamentalmente de características biológicas en el desplazamiento de estos eufáusidos.

Con la llegada de la penumbra (22:00 para el lugar y zona) el krill inicia su migración vertical, ofreciendo un ángulo más cerrado respecto al sonido insonificado, lo que explica la disminución de la reflectividad. Además, la permanencia del krill cerca de la superficie en periodos nocturnos es más bien breve y luego se inicia el descenso, con ángulos inclinados del cuerpo, que provocarán ecos más débiles que los que corresponden cuando el krill ha cesado su desplazamiento vertical.

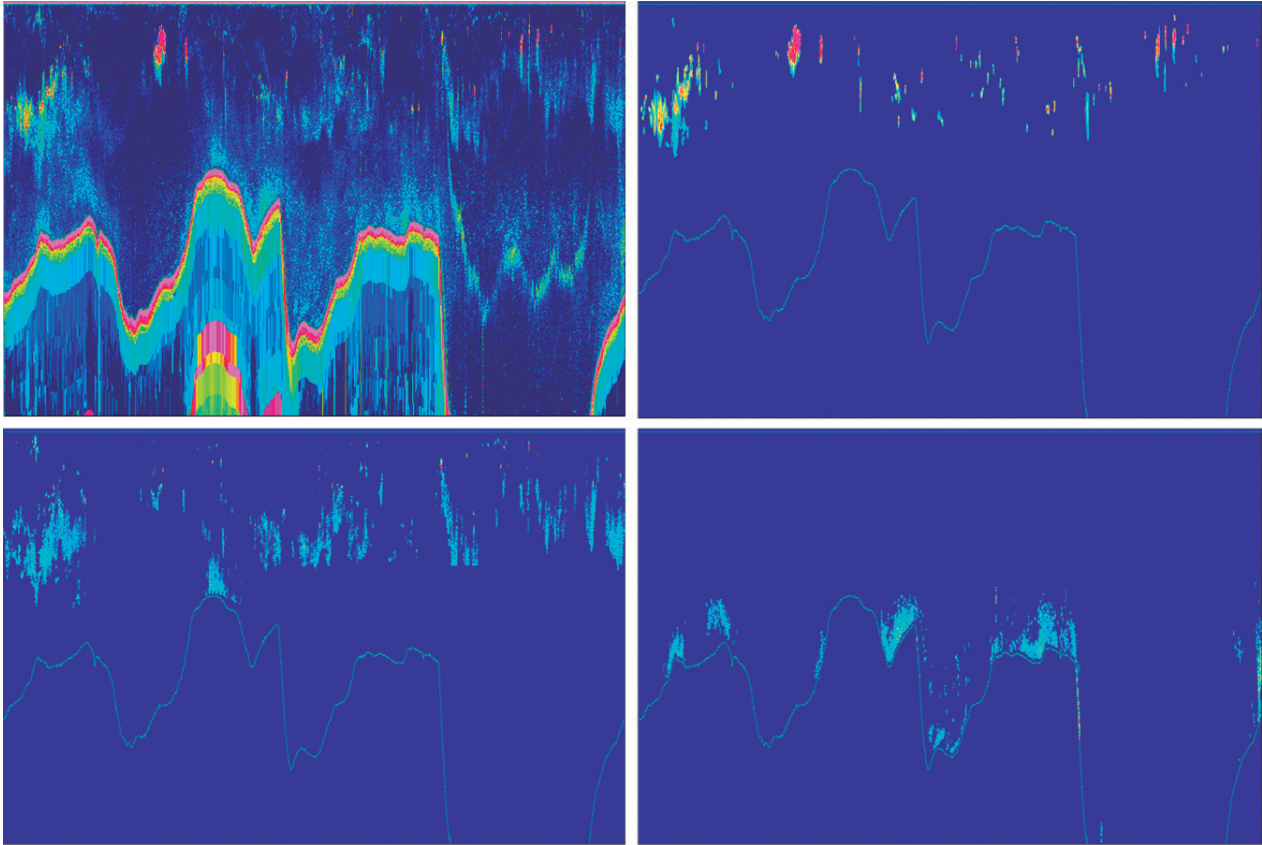


Figura 10.- Resultado del procesamiento de imágenes derivado del conocimiento de la diferencia en la detección acústica del krill entre las frecuencias de 38 y 120 kHz. A manera de muestra el panel superior izquierdo muestra el ecograma 2D del giro N°5. La aplicación del algoritmo de la figura 3 permite identificar el krill y crear un ecograma exclusivo (arriba la derecha), así como para el zooplancton en general detectado con 120 kHz (abajo a la izquierda) y 38 kHz (abajo derecha).

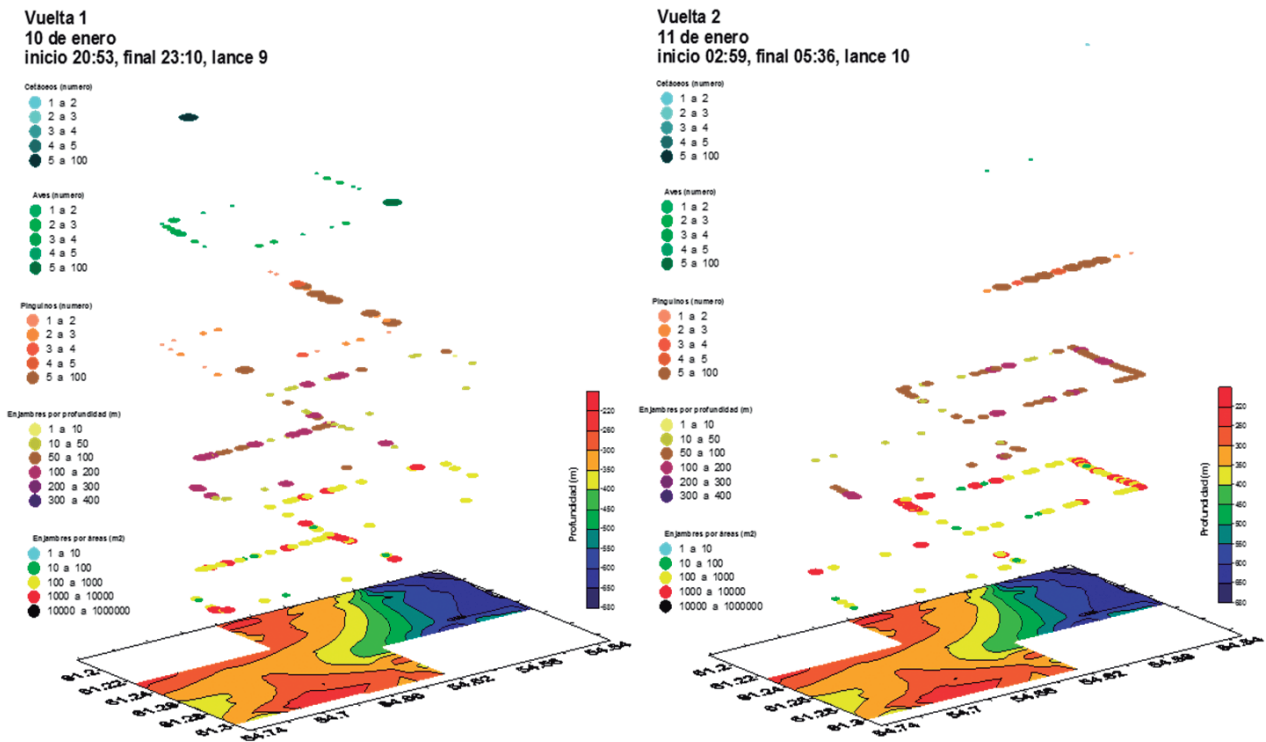


Figura 11.- Sobreposición de las bases de datos sobre abundancia relativa de krill y predadores en función a la morfología del fondo marino en la zona del experimento en la isla Elefante.

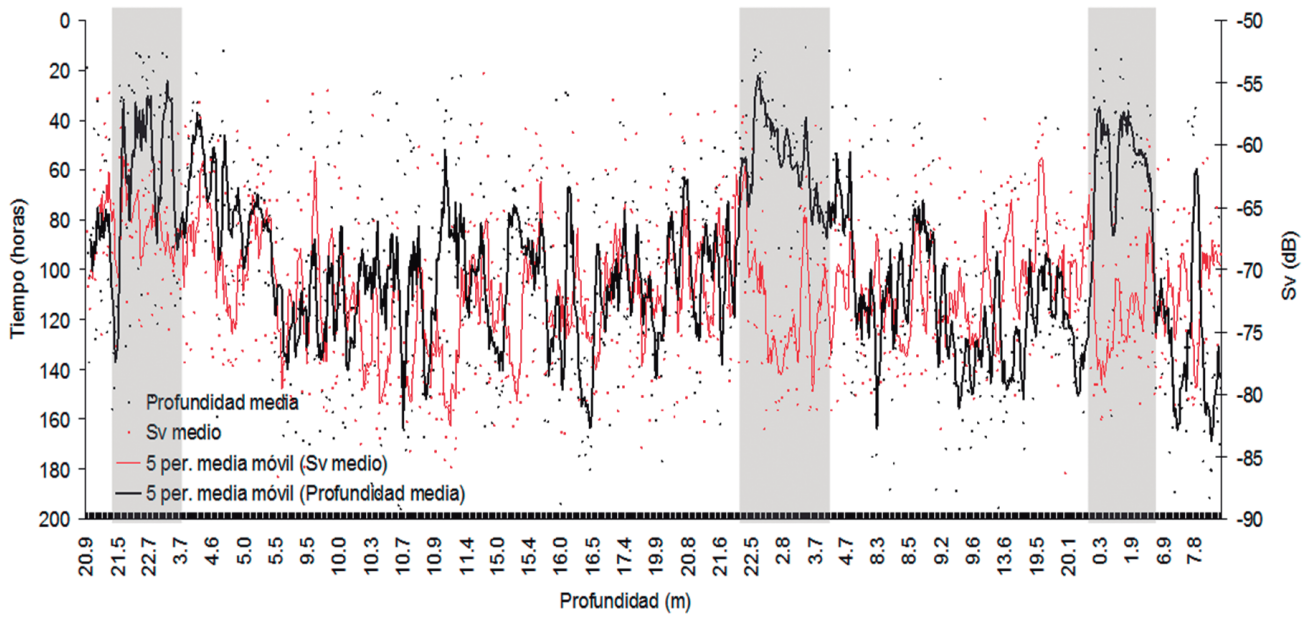


Figura 12.- Variación de la profundidad media horaria de los enjambres de krill en función a los cambios paralelos en la magnitud media del volumen acústico retrodispersado (Sv), con indicación del período nocturno (barras grises verticales)

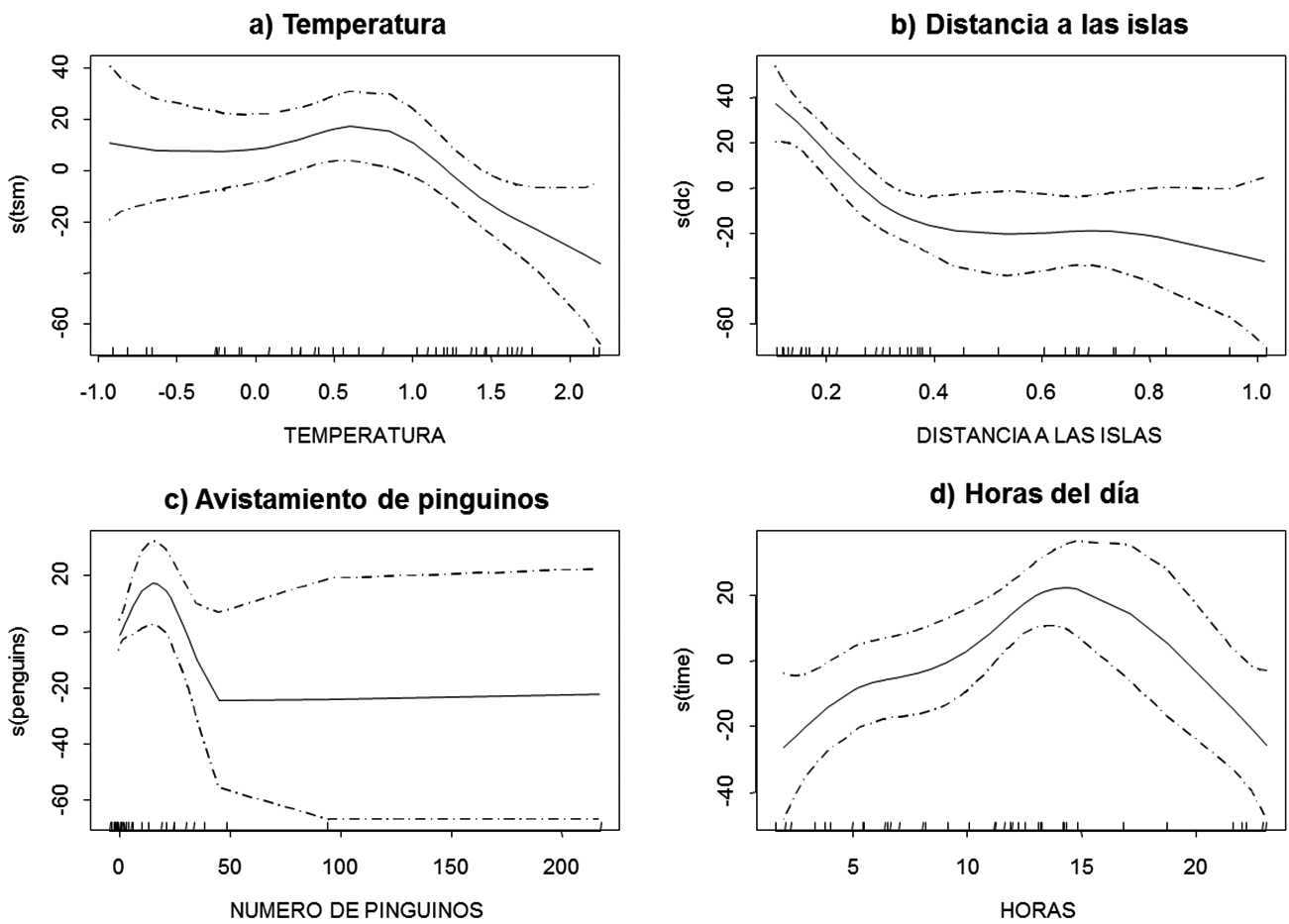


Figura 13.- Modelos GAM que representan el valor relativo de diversas variables relacionadas con la abundancia de krill. En (a) no se aprecia una relación clara respecto a la temperatura, lo que representa una distribución amplia del krill; respecto a la distancia relativa a las islas (b) es evidente una mayor abundancia en sus proximidades; respecto a los avistamientos de pingüinos (c) se observa una tendencia positiva, es decir que en lugares con mayor abundancia de krill tienden a estar presentes también mayor número de aves; y en (d) la profundidad media a la que se distribuyen los enjambres de krill aumenta durante las horas diurnas

Los resultados de los análisis se dan a conocer en la figura 12, en la que se presenta la profundidad media (línea negra) ocupada por enjambres a lo largo de las nueve vueltas efectuadas en la zona de la isla Elefante durante dos días y medio continuos (60 horas). La línea roja, permite apreciar la densidad acústica (Sv, dB), y las zonas sombreadas revelan los períodos nocturnos (de 22:00 a 4:00 horas). La gráfica muestra que el krill asciende a la superficie en horas nocturnas y se profundiza en las diurnas; cuando el krill asciende la densidad acústica decrece, y al profundizarse disminuye, es decir, estos dos procesos (ascenso y descenso) se hallan en fases acústicamente opuestas.

#### DISTRIBUCIÓN DE ENJAMBRES DE KRILL A MESOESCALA

El análisis de mesoescala recurriendo a modelos GAM, ha permitido determinar las relaciones globales entre los parámetros estudiados; si bien los resultados no son concluyentes, son en cambio coincidentes con estudios realizados por otros investigadores. De otro lado, la prospección realizada contribuye al monitoreo de los patrones de distribución de krill y otras especies.

La figura 13 presenta cuatro ejemplos de los resultados obtenidos a mesoescala en relación con la locación geográfica de los enjambres de krill, mostrándose las implicancias espacio-temporales del proyecto; los aspectos ambientales (temperatura en este caso), espaciales (distancia a las islas Shetland), ecológicos (presencia de depredadores) y temporales (variación horaria en la distribución vertical del krill).

#### 4. CONCLUSIONES

Para la escala de estudio elegida (zona del experimento en la isla Elefante) se cuenta con material y resultados suficientes para describir consistentemente el comportamiento vertical nictemeral del krill. Sin embargo, es necesario realizar mayores análisis especialmente en lo que se refiere a la identificación de las comunidades del zooplancton, así como validar estadísticamente todos los hallazgos y continuar con la construcción de series de tiempo acerca de la superposición vertical de las comunidades relacionadas con el krill.

Se determinó la abundancia del krill. En ambas conclusiones los resultados deben ser discutidos a la luz de los sesgos y/o limitaciones propios del diseño de la prospección. En particular, es una meta efectuar una revisión de los resultados de cruceros anteriores para describir la evidente disminución de la abundancia de krill en la zona de estudio.

La presencia de depredadores no parece tener influencia evidente; el patrón de migración observado para el krill y sus depredadores es en general coincidente en pequeña escala geográfica, que no permite apreciar cómo influyen las condiciones del entorno (corrientes, por ejemplo) en los desplazamientos de todas las especies en la zona de estudio. No ha sido posible tampoco determinar la influencia de la radiación solar en estos procesos. Se requiere incorporar más variables tales como la intensidad del viento y la transparencia del agua.

Se requiere un análisis especial que permita demostrar que la disminución de la abundancia del krill en la sub-área 48.1 estaría ligada al aumento de la temperatura promedio en la zona y a la disminución de los hielos.

Los análisis realizados permiten concluir que los depredadores no juegan un papel decisivo en la distribución vertical al menos en pequeña escala geográfica; a mesoescala se han logrado resultados (relación positiva depredador-presa), pero se requiere de una serie más extensa para arribar a conclusiones. Asimismo, es indispensable realizar mediciones sobre escalas progresivamente más grandes, siguiendo el enfoque multidisciplinario que se ha presentado en el caso presente.

Al contar solo con información sobre ciclos nictemerales que tienen un valor descriptivo, se requiere incrementar el número de variables medidas, incluyendo las de carácter meteorológico que podrían aportar claves para comprender los desplazamientos de las especies en la zona de estudio.

#### 5. REFERENCIAS

- AGNEW D J. 1992. Distribution of krill (*Euphausia superba* Dana) catches in the South Shetlands and South Orkneys. In: Selected Scientific Papers 1992 (SC-CAMLR-SSP/9). Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources, Hobart, Australia, pp. 287-303.
- ALONSO S H, SWITZER P V, MANGEL M. 2003. An ecosystem-based approach to management: using individual behavior to predict the indirect effects of Antarctic krill fisheries on penguin foraging. *Journal of Applied Ecology* 40, 692-702.
- ARNTZ W. 1997. Investigación Antártica en biología marina: situación actual, proyectos internacionales y perspectivas. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Biol.)*, 93 (1-4), 13-44.
- CCAMLR. 2005. Report of the first meeting of the Subgroup on Acoustic Survey and Analysis Methods (SG-ASAM). 25 pp.
- DE ROBERTIS A C, SCHELL J. 2003. Acoustic observations of the swimming behaviour of the euphausiids *Euphausia pacifica* Hansen. *ICES Journal of Marine Science*, 60: 885-898.
- DEMER D A, CONTI S. G. 2003. Reconciling theoretical versus empirical target strengths of krill; effects of phase

- variability on the distorted-wave Born-approximation. ICES Journal of Marine Science, 60(2): 429-434.
- DEMÉR D, CONTI S. 2005. New target-strength model indicates more krill in the Southern Ocean. ICES Journal of Marine Science, 62: 25-32.
- GREENE C H, STANTON T K, WIEBE P H, MC CLATCHIE S. 1991. Acoustic estimates of Antarctic krill. Nature, 349: 110.
- GREENLAW C, JOHNSON R. 1983. Multiple frequency acoustical estimation. Biological Oceanography, Vol.2, Number 2, 3-4: 227-252.
- GUTIÉRREZ M. 1998. Biomass and distribution of krill (*Euphausia superba*) in the Bransfield Strait during the Peruvian ANTAR Expeditions I, II and III. 1998. Korean Journal of Polar Research 8 (1, 2): 117-125.
- HASTIE T, TIBSHIRANI R. 1990. Generalized Additive Models. Chapman and Hall, London, UK.
- HEWITT R P, DEMÉR D A, EMERY J H. 2003. An eight-year cycle in krill-biomass density inferred from acoustic surveys conducted in the vicinity of the South Shetland Island during the austral summers of 1991/1992 through 2001/2002. Aquatic Living Resources, 16(3): 205-213.
- HEWITT R, KIM S, NAGANOBU M, GUTIERREZ M, KANG D, TAKAO Y, QUINONES J, LEEG Y-H, SHING H, KAWAGUCHI S, EMERY J H, DEMÉR D A, LOEB V J. 2004. Variation in the biomass density and demography of Antarctic krill in the vicinity of the South Shetland Islands during the 1999/2000 austral summer. Deep-Sea Research II 51: 1411-1419.
- HIGGINBOTTOM I R, PAULY T J, HEATLEY D C. 2000. Virtual echograms for visualization and post-processing of multiple-frequency echo sounder data. Proceedings of the Fifth European Conference on Underwater Acoustics, ECUA 2000 (Ed. M.E. Zakharia), 1497-1502.
- HOLLIDAY D V. 1977. Extracting biophysical information from acoustic signatures of marine organisms. Oceanic Sound Scattering Prediction. Edited by N. Andersen and B. Zahurane, Plenum Press: 619-624.
- ICES. 2002. Noise radiation measurements aboard Research Vessels. Cooperative Research Report N° 255, International Council for the Exploration of the Sea, 74 pp.
- JOLLY G M, HAMPTON I. 1990. A stratified random transect design for acoustic surveys of fish stocks. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science 47, 1282-1291.
- KILS U. 1981. The swimming behaviour, swimming performance and energy balance of Antarctic krill *Euphausia superba*. BIOMASS Scientific Series No. 3.122 pp.
- KIRKWOOD J. 1982. Anare Research Notes, Australian National Antarctic Research Expeditions, a guide to the Euphausiacea of the Southern Ocean. Antarctic Division, Kingston, Tasmania Australian.
- MAC CAULAY M. 1987. Biomass estimates of krill in the Bransfield Strait-Elephant Island ecosystem monitoring area of CCAMLR. CCAMLR.
- McCALL A D. 1990. Dynamic Geography of Marine Fish Populations. University of Washington Sea Grant Program, Seattle.158 pp.
- MILLER D, HAMPTON I. 1990. Biology and Ecology of the Antarctic Krill (*Euphausia superba*). BIOMASS Scientific Series 9. Cambridge, England.
- SIEGEL V, TRATHAN P N, EMERY J H, EVERSON I, MILLER D GM. 2004. Biomass of Antarctic krill in the Scotia Sea in January/February 2000 and its use in revising an estimate of precautionary yield. Deep-Sea Research II. [doi: 10.1016/j.dsr2.2004.06.011].220-230.
- SIMMONDS J N, MACLENNAN D N. 2005. Fisheries Acoustics, second edition. Chapman and Hall Books series, London, 480 pp.
- SUN S. 1997. Using Antarctic krill as an indicator of environmental interannual change. Korean Journal of Polar Research Vol 8 (1 2): 97-103.
- VENABLES W N, RIPLEY B D. 1994. Modern Applied Statistics with S-Plus. New York: Springer -Verlag.
- WATKINS J L, NAGANOBU M, SUSHIN V A, BRIERLEY A S, DEMÉR D A, KASATKINA S, TAKAO Y, GOSS C, MALYSHKO A, BRANDON M A, KAWAGUCHI S, SIEGEL V, TRATHAN P N, EMERY J H, EVERSON I, MILLER D G M. 2004. Biomass of Antarctic krill in the Scotia Sea in January/February 2000 and its use in revising an estimate of precautionary yield. Deep-Sea Research II, this issue [doi: 10.1016/j.dsr2.2004.06.011]. 220-230.