

**INFORME DE LA PRIMERA REUNIÓN DEL SUBGRUPO DE TRABAJO SOBRE  
PROSPECCIONES ACÚSTICAS Y MÉTODOS DE ANÁLISIS (SG-ASAM)**  
(La Jolla, EEUU, 31 de mayo al 2 de junio de 2005)

## ÍNDICE

	Página
ANTECEDENTES .....	599
Introducción .....	599
Antecedentes históricos del modelo de TS de kril aplicado actualmente por la CCRVMA .....	599
Desarrollo de un modelo de la potencia del blanco de kril basado en principios físicos: el DWBA y el SDWBA .....	601
Antecedentes históricos de la técnica de clasificación de $S_v$ aplicada actualmente por la CCRVMA .....	602
INFORMACIÓN CONSOLIDADA POR EL SUBGRUPO .....	602
Modelos de TS para el kril .....	602
Algoritmos de clasificación del $S_v$ de kril .....	604
RECOMENDACIONES DEL SUBGRUPO .....	605
Adaptación del SDWBA para su utilización general .....	605
Caracterización de los parámetros y pasadas del modelo SDWBA simplificado .....	606
Algoritmos de clasificación de $S_v$ .....	606
Estudios adicionales de los modelos de TS y clasificación de $S_v$ recomendados .....	607
RESUMEN .....	608
REFERENCIAS .....	608
Tablas .....	613
Figuras .....	614
Apéndice .....	618

# INFORME DE LA PRIMERA REUNIÓN DEL SUBGRUPO DE TRABAJO SOBRE PROSPECCIONES ACÚSTICAS Y MÉTODOS DE ANÁLISIS (SG-ASAM)

(La Jolla, EEUU, 31 de mayo al 2 de junio de 2005)

## ANTECEDENTES

### Introducción

El subgrupo de trabajo sobre prospecciones acústicas y métodos de análisis (SG-ASAM) se reunió en el Centro de Ciencias de Pesquerías del Suroeste en La Jolla, EEUU, del 31 de mayo al 2 de junio de 2005, como fuera recomendado por WG-EMM (SC-CAMLR-XXIII, anexo 4, párrafos 4.89 al 4.93), WG-FSA (SC-CAMLR-XXIII, anexo 5, párrafo 10.8) y SC-CAMLR (SC-CAMLR-XXIII, párrafo 13.5).

2. El cometido de esta reunión se limitó a dos temas pertinentes a las prospecciones hidroacústicas de *Euphausia superba* (kril antártico, en adelante denominado “kril”), a saber:

- i) Modelos del índice de la potencia del blanco del kril (TS)
- ii) Clasificación del índice de reverberación volumétrica ( $S_v$ ).

3. La reunión, coordinada por el Dr. R. Hewitt (EEUU), contó con la participación de los Dres. S. Conti (EEUU), D. Demer (EEUU), T. Jarvis (Australia), S. Kasatkina (Rusia), R. Korneliussen (Noruega), y J. Watkins (RU) y del Sr. Y. Takao (Japón).

4. El subgrupo agradeció las publicaciones sometidas a revisiones paritarias y los documentos de trabajo redactados por los Dres. Demer y Conti que formaron la base de esta reunión; este volumen de conocimiento fue resumido por el Dr. Demer en una presentación al comienzo de la reunión.

### Antecedentes históricos del modelo de TS de kril aplicado actualmente por la CCRVMA

5. Desde que se llevó a cabo la prospección FIBEX en 1981, se han utilizado las prospecciones hidroacústicas para estimar la biomasa de kril antes de la explotación ( $B_0$ ) en un área en particular (Trathan et al., 1992).

6. La CCRVMA utiliza la estimación de  $B_0$  para fijar un límite de captura precautorio para la pesquería de kril mediante un modelo de rendimiento. El modelo de rendimiento actual GYM (Constable y de la Mare, 1996) fue desarrollado a partir del modelo KYM descrito por primera vez en 1991 (Butterworth et al., 1991, 1994).

7. La potencia del blanco (TS, medido en dB por  $1 \text{ m}^2$ ) es el factor utilizado para ajustar proporcionalmente los datos hidroacústicos (el promedio del índice de reverberación de volumen,  $S_v$ , medido en dB por  $1 \text{ m}^2$ ) a la biomasa (densidad de área de la biomasa,  $\rho$ , medida en  $\text{g m}^{-2}$ ). De todos los factores contribuyentes, se cree que las estimaciones de  $B_0$  a partir de datos hidroacústicos son los más sensibles al modelo de TS utilizado (Demer, 2004).

8. El modelo de TS de kril actualmente aplicado por la CCRVMA es el de Greene et al. (1991), un modelo de regresión lineal empírico que relaciona el TS al logaritmo de la talla ( $\log_{10}L$ ). La regresión se basa en mediciones empíricas de TS a una frecuencia de 420 kHz efectuadas en 43 ejemplares de “taxones representativos del zooplancton y micronecton” (no incluida *E. superba*) en un área cerrada de 30 m<sup>3</sup> (Wiebe et al., 1990). La proporción del número de ondas acústicas ( $10\log_{10}k_f / k_{420\text{kHz}}$ , donde  $k = 2\pi f/c$ ) se utiliza para cambiar la frecuencia ( $f$ ) del modelo a una velocidad del sonido dada ( $c$ ).

9. Desde un principio se ha reconocido que la aplicación del modelo de Greene et al. (1991) al kril presenta cuatro problemas, a pesar de que ha sido corroborado mediante datos empíricos (Foote et al., 1990; Hewitt y Demer, 1991a, 1991b; Pauly y Penrose, 1997, 1998), y se le considera como una mejora con respecto al modelo anterior de BIOMASS TS (SC-CAMLR-X, párrafo 3.34, y anexo 5, párrafo 4.30(i)). Estos son:

- i) Como fuera indicado por los mismos autores (Greene et al., 1991), no es compatible con la ley de dispersión de Rayleigh, por lo tanto solamente es correcto cuando la talla de los ejemplares de kril es mayor que la longitud de onda del pulso sonoro (p.ej.:  $\lambda_{120\text{kHz}} = 12.5$  mm).
- ii) No toma en cuenta los cambios de la morfología, fisiología y orientación del blanco, todos los cuales han demostrado tener un efecto significativo en el TS (Demer y Martin 1994, 1995).
- iii) No fue derivado de mediciones de *E. superba* a 120 kHz, sino de “taxones representativos del zooplancton y micronecton” a una frecuencia de 420 kHz (Wiebe et al., 1990); la especie medida más parecida fue *E. pacifica*.
- iv) Predice que el TS de los crustáceos del zooplancton depende del volumen del animal, cuando en efecto se piensa que depende de su superficie (Demer y Martin, 1994, 1995).

10. Cuando el Comité Científico de la CCRVMA aprobó el modelo original de Greene et al. (1991), también aprobó la recomendación del grupo de trabajo WG-Kril en cuanto a la labor que debía realizarse en el futuro (SC-CAMLR-X, párrafo 3.35, y anexo 5, párrafo 4.30(ii)), a saber:

- i) Mediciones individuales de TS en cada ejemplar realizadas *in situ* con ecosondas de haz doble;
- ii) Mediciones de TS *in situ* y experimentales efectuadas en concentraciones de kril en una gama de frecuencias y de tallas de kril, así como de condiciones fisiológicas del recurso;
- iii) Mediciones de la morfología, orientación y propiedades físicas del kril cuando sea posible;
- iv) Utilización de modelos teóricos que permitan predecir la distribución *in situ* de as TS individuales, con parámetros derivados de los datos empíricos disponibles.

## Desarrollo de un modelo de la potencia del blanco de kril basado en principios físicos: el DWBA y el SDWBA

11. Con referencia al párrafo 10(iv), se ha estado desarrollando un modelo de TS basado en principios físicos (el modelo de aproximación de onda distorsionada de Born (DWBA), Morse y Ingard, 1968; Stanton et al., 1993, 1998; Chu et al., 1993a, 1993b; McGehee et al., 1998, 1999), que representa una mejora en relación con el de Greene et al. (1991) porque no sólo considera el tamaño sino también todos los demás parámetros que contribuyen al TS (figura 1), a saber:

- i) La talla, medida como el largo total en mm ( $L$  = desde el borde anterior del ojo a la punta del telson, Morris et al., 1988);
- ii) La forma, descrita mediante una serie de  $n$  cilindros adyacentes de radio  $r$  en mm y largo  $l$  en mm;
- iii) Propiedades físicas, descritas en términos del contraste entre las densidades ( $g$ ) y las velocidades del sonido ( $h$ ) en tejido animal y en el agua de mar circundante;
- iv) El ángulo de incidencia de la onda sonora en relación con el eje longitudinal del kril, llamada en adelante orientación ( $\theta$ , medida en grados), a la que se aplica una distribución normal de Gauss ( $\theta = N[\bar{\theta} = x^\circ, \text{s.d.} = y^\circ]$ ).

12. McGehee et al. (1998, 1999) convalidaron empíricamente el modelo DWBA haciendo mediciones de TS en 14 ejemplares de kril en un tanque refrigerado con una frecuencia de 120 kHz. Obtuvieron datos utilizando una gama de orientaciones, con un buen ajuste<sup>1</sup> entre las medidas empíricas y las predicciones del modelo DWBA cuando el pulso sonoro incidió en la cara dorsal, ventral o lateral del animal (denominado por los autores como ángulo de incidencia de 90°). No obstante, se obtuvo un mal ajuste cuando la orientación tuvo ángulos distintos de 90°, y la retrodispersión pronosticada fue mucho menor que la medida.

13 Demer y Conti (2002a, 2003a, 2004a) explicaron teóricamente las razones del mal ajuste entre las predicciones del DWBA y las mediciones empíricas cuando la orientación del blanco difería de 90°, utilizando un modelo modificado (el modelo DWBA “estocástico” o SDWBA), que toma en cuenta tres parámetros estocásticos adicionales: i) la reverberación acústica en un campo con ruido, ii) la complejidad de la morfología del kril, y iii) la flexión del cuerpo al nadar.

14 Demer y Conti (2002b, 2003b, 2004b) continuaron sus estudios y convalidaron el modelo teórico SDWBA con mediciones empíricas del TS total de kril (TTS) mediante una nueva técnica (De Rosny y Roux, 2001) cuyas mediciones son de alta precisión (Demer et al., 2003) e independientes de la orientación y de la calibración del equipo. Se obtuvieron valores de TTS para una amplia gama de frecuencias (36-202 kHz) y de  $L$  (17-58mm), y con una “forma” de kril representativa de los ejemplares experimentales. Las mediciones empíricas guardaron estrecha relación con las predicciones del modelo SDWBA en el intervalo de

---

<sup>1</sup> Nota: Los autores informaron que habían obtenido una precisión de  $\pm 15^\circ$  en las mediciones empíricas de la orientación, lo que ayudaría a entender la distribución de puntos empíricos alrededor de los máximos de 90°.

frecuencia 60–202 kHz (“con una precisión mayor de 1 dB”); a frecuencias menores (36–60 kHz) las mediciones empíricas fueron ligeramente mayores que las teóricas y la discrepancia fue atribuida al ruido.

15 En la última etapa del trabajo, Demer y Conti (2004c, 2005) aplicaron el SDWBA a los datos de la prospección CCAMLR-2000 (Watkins et al., 2004) a fin de evaluar los resultados de la aplicación del nuevo modelo de TS para la estimación total de  $B_0$ . Dependiendo de la distribución de orientaciones utilizada, la estimación original de  $B_0$  de 44.3 millones de toneladas (CV 11.4%) aumentó hasta 192.4 millones de toneladas (CV 11.7%).

Antecedentes históricos de la técnica de clasificación de  $S_v$  aplicada actualmente por la CCRVMA

16. En general, los estudios hidroacústicos iniciales de la clasificación de datos hidroacústicos por taxón se basaron en un análisis visual subjetivo de ecogramas en combinación con los datos de capturas de la red disponibles (p.ej. Yudanov, 1971; Forbes y Nakken, 1972; Jefferts et al., 1987; Rose y Legget, 1988; Richards et al., 1991). De la misma manera, la primera prospección hidroacústica oficial de la CCRVMA que estimó  $B_0$  (BROKE: Pauly et al., 2000) se basó en una “interpretación facilitada por los datos de captura de arrastres dirigidos” para seleccionar los datos utilizados.

17. El tema de la clasificación de  $S_v$  fue considerado nuevamente en la segunda prospección de kril de la CCRVMA (prospección CCAMLR-2000: Hewitt et al., 2004). En el “Taller de estimación de  $B_0$ ” realizado después de la prospección para analizar los datos “se aceptó que el método visual dependía demasiado de la pericia del operador y que estaba sujeto a una variabilidad individual considerable. El taller acordó que un algoritmo sería más conveniente porque proporcionaría un método formal y objetivo para el análisis de los datos” (SC-CAMLR-XIX, anexo 4, apéndice G, párrafo 3.22). La técnica que fue acordada se basa en la diferencia de las mediciones dB efectuadas con dos frecuencias ( $\Delta S_{v120-38kHz}$ ) descrita por Madureira et al. (1993a, 1993b), siendo posteriormente convalidada y refinada por Watkins y Brierley (2002). Se trata de una técnica empírica, derivada de observaciones de campo.

18. Si bien se han logrado avances de importancia para las prospecciones de la CCRVMA, como por ejemplo la utilización de algoritmos con tres frecuencias para reducir aún más la posibilidad de que se produzcan errores de clasificación (véase Azzali et al., 2000; Hewitt et al., 2003), el protocolo de clasificación de  $\Delta S_v$  de la prospección CCAMLR-2000 sigue siendo la técnica aplicada actualmente por la CCRVMA.

## INFORMACIÓN CONSOLIDADA POR EL SUBGRUPO

### Modelos de TS para el kril

19. El subgrupo reconoció que existen muchos parámetros que afectan el TS (figura 1), y que no todos eran considerados en el modelo de Greene et al. (1991).

20. El subgrupo se basó en el contenido del párrafo 19, y en la aceptación general de que los modelos teóricos son capaces de incorporar todos los parámetros pertinentes al cálculo de TS, para cambiar la utilización de un modelo estrictamente empírico de TS (como el de Greene et al., 1991) a la utilización de modelos teóricos pero convalidados empíricamente.

21. El subgrupo consideró el modelo teórico de TS más conveniente para ser aplicado al recurso kril:

- i) La técnica de rayos acústicos de Kirchoff (KRM) se utiliza para cuantificar la retrodispersión de peces y zooplankton en función de la frecuencia, talla (longitud) y orientación (e.g. Clay, 1992; Clay y Horne, 1994; Horne y Clay, 1998). Sin embargo, este modelo se considera apropiado para blancos de densidad muy variable, como por ejemplo, peces con vejigas natatorias, pero no para organismos llenos de líquido como el kril. Más aún, no es válido para el régimen de Rayleigh, ni para grandes ángulos de orientación.
- ii) El subgrupo reconoció que el compendio bibliográfico de Stanton y Chu (2000) contiene las guías más completas disponibles a la fecha sobre el tipo de modelo teórico más conveniente. Este documento recomendó la utilización del modelo DWBA para el kril, pero fue redactado antes del desarrollo del modelo SDWBA.
- iii) El subgrupo acordó, sobre la base de la información disponible en ese momento, que el modelo teórico más apropiado para el TS de kril era actualmente el SDWBA; sin embargo, estuvo de acuerdo asimismo que su utilización está sujeta a las salvedades descritas en el párrafo 22 a continuación.

22. Salvedades aplicables a la utilización del SDWBA:

- i) El SDWBA utiliza múltiples parámetros (figura 1). Debido a que el rango de valores para cada parámetro no ha sido caracterizado por completo, el subgrupo reconoció que se debe dar alta prioridad a la determinación de las distribuciones de estos parámetros.
- ii) El subgrupo subrayó cuán importante era determinar las distribuciones de las orientaciones del kril que son representativas de las que se forman debajo del barco durante las prospecciones.
- iii) La distribución de orientaciones ( $\theta = N[\bar{\theta} = 15^\circ, \text{s.d.} = 5^\circ]$ ) que figura en la publicación sobre la aplicación del SDWBA (Demer y Conti, 2005) fue derivada de los datos de la prospección CCAMLR-2000, y podría ser refinada. Otra solución ( $\theta = N[\bar{\theta} = 11^\circ, \text{s.d.} = 4^\circ]$ ) proporciona lo que podría ser un mejor ajuste de los datos de la prospección CCAMLR-2000 por el método de los mínimos cuadrados (Demer y Conti, comunicación personal), pero es posible que se haya subestimado el kril pequeño en menores densidades (figura 3). Otra interpretación es que esto podría ser un artefacto del análisis, y esto debería ser estudiado más a fondo.

- iv) La variabilidad de fase del SDWBA ( $\phi$ ) toma en cuenta el ruido, la complejidad de la forma y flexiones del cuerpo (Demer y Conti, 2003a). Si bien estos términos en teoría deberían ser caracterizados individualmente y utilizados en el DWBA, por ahora esto no resulta práctico y el SWDBA ofrece una opción pragmática.

#### Algoritmos de clasificación del $S_v$ de kril

23. El subgrupo admitió que cuando se utiliza el método  $\Delta S_v$  para clasificar el kril, los dos errores principales de clasificación que pueden ocurrir son: i) la clasificación de otros blancos como kril (“sobrestimación acústica”); y (ii) no se clasifica al kril como tal (“circunvalación acústica”). La “sobrestimación acústica” ocasionará una sobreestimación de la biomasa de kril, mientras que la “circunvalación acústica” producirá una subestimación de la biomasa de kril. Los dos fenómenos no necesariamente se excluyen mutuamente.

24. El subgrupo reconoció que es posible utilizar una variedad de datos y de protocolos de procesamiento para tratar de clasificar  $S_v$  (figura 2). Estos pueden utilizarse en forma aislada o, de preferencia, en combinación (véase la revisión Horne, 2000). El subgrupo reconoció también que con la aplicación de enfoques combinados se puede reducir tanto la “sobrestimación acústica” como la “circunvalación acústica”. Se alentó a seguir trabajando en el desarrollo de estas técnicas para su eventual aprobación como técnicas estándar de la CCRVMA.

25. El subgrupo reconoció que, en lo que se refiere a las aplicaciones de la CCRVMA, por lo general la clasificación se ha hecho mediante software SonarData Echoview. Sin embargo, hay varios otros programas de software para la clasificación de la retrodispersión volumétrica. A continuación se presenta un breve resumen de dos paquetes descritos por el Dr. Korneliussen en la reunión:

- i) Korneliussen y Ona (2002, 2003, 2004a, 2004b) describieron las técnicas de clasificación de  $S_v$  utilizadas en el software Bergen Echo Integrator (BEI). La retrodispersión acústica de los organismos marinos se clasifica en una categoría, o en una combinación de las tres categorías principales de retrodispersión: (i) “similar a la de un fluido”, (ii) “resonante”, y (iii) “dura”. Estas categorías de retrodispersión se caracterizan de acuerdo con su respuesta a la frecuencia relativa,  $r(f) = s_v(f)/s_v(38 \text{ kHz})$ . La  $r(f)$  medida con todas las frecuencias acústicas disponibles constituye el parámetro acústico principal utilizado por el BEI cuando se ha establecido el componente acústico de los algoritmos de separación; cuando la categoría acústica es idéntica a una sola especie se utilizan otras características como la profundidad, tiempo y posición. Los datos puntuales de múltiples frecuencias (con ajustes para corregir el ruido y la geometría) son utilizados como datos de entrada en el sistema de clasificación para distinguir entre las categorías acústicas. En la primera etapa (1) del sistema de clasificación BEI, los datos puntuales de múltiples frecuencias deben cumplir requisitos estrictos ya sea del modelo o empíricos para poder clasificar el segmento de volumen (píxel) en una de las categorías acústicas específicas de blanco. Los requisitos acústicos para los datos puntuales son cada vez menos



estrictos en cada una de las etapas de clasificación, pero el requisito de que la categoría sea idéntica a la del vecino (encontrada en la etapa anterior) se vuelve cada vez más importante.

- ii) Lebourges-Dhaussy (1996), Lebourges-Dhaussy y Ballé-Béganton (2004) y Lebourges-Dhaussy et al. (2004) han descrito un método de múltiples frecuencias y múltiples modelos aplicado en software Matlab y MOVIES, capaz de clasificar  $S_v$  por especie y tamaño. Este método se basa en el algoritmo de Holliday y Pieper (1995) para la clasificación de zooplankton de tamaño pequeño mediante altas frecuencias. La utilización de frecuencias más bajas permite la clasificación de organismos de mayor tamaño. Los datos utilizados son valores de  $S_v$  para cada frecuencia disponible. El método se basa en el algoritmo de inversión NNLS, aplicado a un sistema de ecuaciones que tiene tantas ecuaciones como frecuencias medidas. Se utiliza un conjunto de modelos de retrodispersión para describir los copépodos, los eufáusidos y los organismos repletos de gas. Para poder clasificar los organismos de una muestra, el algoritmo busca la población óptima (tipo, tamaño y abundancia) que reduce al mínimo el error residual entre la  $S_v$  medida y la  $S_v$  calculada con el modelo de retrodispersión correspondiente. El algoritmo tiene menos éxito al disminuir el número de frecuencias. Se ha descubierto que el rango del vector talla utilizado inicialmente en el algoritmo con respecto a las tallas presentes de hecho en la población es un parámetro importante.

26. SG-ASAM reconoció que con la adopción de un modelo para calcular el TS basado en principios físicos, se podrá derivar un espectro teórico de la reverberación acústica que podría ser utilizado para mejorar la clasificación de kril que ahora se deriva de observaciones empíricas.

## RECOMENDACIONES DEL SUBGRUPO

### Adaptación del SDWBA para su utilización general

27. El subgrupo recomendó la utilización del SDWBA para estimar el TS de kril (véanse los párrafos 20 y 21(iii)).

28. El subgrupo recomendó la utilización del “SDWBA simplificado” con parámetros restringidos para generar una estimación “básica” de  $B_0$  para las prospecciones acústicas de kril de la CCRVMA.

29. El subgrupo recomendó también poner a disposición de los investigadores el modelo SDWBA completo, y les alentó a trabajar en su perfeccionamiento y en la caracterización de los parámetros, así como en la evaluación de los efectos en las estimaciones de  $B_0$ . Los Dres. Demer y Conti aceptaron trabajar con la Secretaría para poner el código fuente a disposición de todos los miembros.

## Caracterización de los parámetros y pasadas del modelo SDWBA simplificado

30. El subgrupo recomendó que los parámetros del modelo (figura 1) fuesen considerados como probabilísticos en vez de determinísticos, es decir, que deberán ser caracterizados en la forma de una función de densidad de probabilidad total (FDP) y no como un único valor (por ejemplo, el promedio).

31. El subgrupo reconoció que la utilización de un modelo probabilístico significa que hay cierta incertidumbre relacionada con los parámetros de entrada, y que dicha incertidumbre debe ser tomada en cuenta en las estimaciones de TS, y por lo tanto, de  $B_0$ .

32. El subgrupo consideró las maneras de implementar el enfoque probabilístico en el modelo:

- i) Se acordó que el método más exhaustivo sería utilizar la función de densidad de probabilidad total (FDP) para cada parámetro en el cálculo de TS y de su variabilidad; esto se podría hacer aplicando un análisis de bootstrap o una simulación de Monte Carlo.
- ii) Se reconoció además que los aspectos computacionales de este enfoque exhaustivo eran extensos, y no se contaba con suficientes datos empíricos como para caracterizar adecuadamente la FDP de ningún parámetro con un mínimo grado de confianza.
- iii) A modo de compromiso, se acordó entonces considerar el promedio de cada parámetro  $\pm 1$  SD.

33. Los valores finales escogidos para parametrizar el modelo SDWBA simplificado se proporcionan en la tabla 1. Los detalles de la aplicación del modelo SDWBA simplificado utilizando estos parámetros se dan en el apéndice. A continuación figuran las razones que justifican la selección de estos valores:

- i) Orientación ( $\theta$ ): El subgrupo estimó que estos datos representan la información más objetiva que se dispone actualmente (véase el párrafo 22(iii) y la figura 3).
- ii) Contraste de densidad ( $g$ ) y contraste de la velocidad del sonido ( $h$ ): Estos valores fueron obtenidos de Foote (1990) porque ya habían sido aplicados en el código computacional del SDWBA (Demer y Conti, 2003a, McGehee et al., 1998), y porque el tiempo disponible no permitió la consideración de otras mediciones (e.g. Chu y Wiebe, 2005; Takao, comunicación personal).
- iii) Forma (“coeficiente del grosor”): El subgrupo estuvo de acuerdo en que el kril desnutrido descrito por McGehee et al. (1998) sería una buena aproximación de un valor mínimo del “grosor”. El valor máximo se obtuvo empíricamente de una fotografía de una hembra grávida durante la reunión (Demer, comunicación personal). El subgrupo acordó que una buena aproximación de la mediana entre los valores mínimo y máximo seleccionados era la forma con un “40% más de grosor” descrito por Demer y Conti (2005).

- iv) Velocidad del sonido en el agua ( $c$ ): La media armónica ponderada calculada por Demer (2004) para la prospección CCAMLR-2000 cubría todos los entornos que el kril podría encontrar en el Océano Austral; por tanto, el subgrupo decidió que la utilización de este valor era apropiada.

34. Los resultados de la pasada del modelo SDWBA simplificado con los parámetros restringidos acordados se muestran en el gráfico de la figura 4 (TS de kril en función de  $L$  a frecuencias de 38, 70, 120 y 200 kHz), figura 5 (TS de kril en función de  $\theta$  a frecuencias de 38, 70, 120 y 200 kHz) y figura 6 ( $\Delta S_v$  de kril en función de  $L$  para tres casos de doble frecuencia).

35. La figura 4 demuestra que hay un gran margen de incertidumbre asociada al TS (y por ende a  $B_0$ ), que depende de la frecuencia y de la talla. Por ejemplo, a una frecuencia  $f = 120$  kHz donde (i)  $L = 25$  mm, el TS de kril proyectado mediante el SDWBA va de -88 a -73 dB (rango = 15 dB); y (ii) cuando  $L = 50$  mm, el TS predicho por el SDWBA va de -77 a -71 dB (rango = 6 dB). El subgrupo recomendó que esta incertidumbre fuera incorporada a las estimaciones del TS de kril, y por lo tanto en la estimación de  $B_0$ .

#### Algoritmos de clasificación de $S_v$

36. El subgrupo estuvo de acuerdo en que por ahora, la técnica  $\Delta S_v$  sigue siendo la más objetiva y pragmática para la clasificación de  $S_v$  por taxón.

37. También acordó que cuando se utiliza la técnica  $\Delta S_v$ , la sobrestimación acústica y la circunvalación acústica deberán reducirse al mínimo mediante la restricción del rango de  $\Delta S_v$  al intervalo de tallas del kril medido en el área de prospección. Para facilitar este paso, el subgrupo calculó los valores mínimo y máximo de  $\Delta S_v$  para distintos intervalos de tallas de kril mediante el modelo SDWBA simplificado con valores límites (tabla 3).

#### Estudios adicionales de los modelos de TS y clasificación de $S_v$ recomendados

38. El subgrupo subrayó la importancia de contar con información sobre la distribución de las orientaciones, el contraste entre las velocidades del sonido, el contraste de las densidades y de la forma del kril situado debajo del barco de prospección. El subgrupo dio alta prioridad a los estudios adicionales sobre estos temas.

39. El subgrupo reconoció que la utilización de transductores de 70 kHz debería mejorar la detección de kril, la clasificación y la estimación de  $B_0$  (Furusawa et al., 1994; Korneliussen, comunicación personal; Demer, comunicación personal), y recomendó su uso durante las prospecciones de kril cuando fuese posible.

## RESUMEN

40. Con respecto a los temas considerados en esta reunión (párrafo 2), el subgrupo recomendó que las prospecciones hidroacústicas de la CCRVMA realizadas para calcular el  $B_0$  de kril implementaran lo siguiente:

- i) La utilización del modelo simplificado SDWBA (ecuación 10 del apéndice; tabla 2) con parámetros restringidos (tabla 1) para definir el TS de kril en función de  $L$  a una  $f$  dada (figura 4);
- ii) Los valores mínimo y máximo de TS mostrados en la figura 4 deberán ser utilizados como una estimación preliminar del error del cálculo de TS de kril;
- iii) La clasificación de  $S_v$  para eliminar los blancos distintos al kril deberá efectuarse mediante la técnica de  $\Delta S_v$ , restringiendo el rango de  $\Delta S_v$  de manera commensurable con el rango de tallas de kril, como lo especifica la tabla 3.

## REFERENCIAS

- Azzali, M., J. Kalinowski and G. Lanciani. 2000. A multiple-frequency method for identifying and assessing the Antarctic krill stock in the Ross Sea (1989/90, 1997/98 and 1999/2000). Document *WG-EMM-00/37*. CCAMLR, Hobart, Australia: 35 pp.
- Butterworth, D.S., A.E. Punt and M. Basson. 1991. A simple approach for calculating the potential yield of krill from biomass survey results. In: *Selected Scientific Papers, 1991 (SC-CAMLR-SSP/8)*. CCAMLR, Hobart, Australia: 207–217.
- Butterworth, D.S., G.R. Gluckman, R.B. Thomson, S. Chalis, K. Hiramatsu and D.J. Agnew. 1994. Further computations of the consequences of setting the annual krill catch limit to a fixed fraction of the estimate of krill biomass from a survey. *CCAMLR Science*, 1: 81–106.
- Chu, D. and P.H. Wiebe. 2005. Measurements of sound-speed and density contrasts of zooplankton in Antarctic waters. *ICES J. Mar. Sci.*, 62: 818–831.
- Chu, D., K.G. Foote and T.K. Stanton. 1993a. Further analysis of target-strength measurements of Antarctic krill at 38 and 120 kHz: comparison with deformed-cylinder model and inference of orientation distribution. *J. Acoust. Soc. Am.*, 93: 2985–2988.
- Chu, D., K.G. Foote and T.K. Stanton. 1993b. Further analysis of target strength measurements of Antarctic krill at 38 and 120 kHz: comparison with deformed cylinder model and inference of orientation distribution. Document *WG-Krill-93/6*. CCAMLR, Hobart, Australia.
- Clay, C.S. 1992. Composite ray-mode approximations for backscattered sound from gas-filled cylinders and swimbladders. *J. Acoust. Soc. Am.*, 92: 2173–2180.
- Clay, C.S. and J.K. Horne. 1994. Acoustic models of fish: the Atlantic cod (*Gadhus morua*). *J. Acoust. Soc. Am.*, 96: 1661–1668.

- Constable, A. and W.K. de la Mare. 1996. A generalised model for evaluating yield and the long-term status of fish stocks under conditions of uncertainty. *CCAMLR Science*, 3: 31–54.
- De Rosny, J. and P. Roux. 2001. Multiple scattering in a reflecting cavity: Application to fish counting in a tank. *J. Acoust. Soc. Am.*, 109: 2587–2597.
- Demer, D.A. 2004. An estimate of error for CCAMLR 2000 estimate of krill biomass. *Deep-Sea Res., II*, 51: 1237–1251.
- Demer, D.A. and L.V. Martin. 1994. Zooplankton target strength: volumetric or areal dependence? Document *WG-Krill-94/13*. CCAMLR, Hobart, Australia: 21 pp.
- Demer, D.A. and L.V. Martin. 1995. Zooplankton target strength: volumetric or areal dependence? *J. Acoust. Soc. Am.*, 98: 1111–1118.
- Demer, D.A. and S.G. Conti. 2002a. Reconciling theoretical versus empirical target strengths of krill: effects of phase variability on the distorted-wave Born approximation. Document *WG-EMM-02/50*. CCAMLR, Hobart, Australia: 19 pp.
- Demer, D.A. and S.G. Conti. 2002b. Broadbandwidth total target strength measurements of Antarctic krill (*Euphausia superba*) from reverberation in a cavity. Document *WG-EMM-02/49*. CCAMLR, Hobart, Australia: 37 pp.
- Demer, D.A. and S.G. Conti. 2003a. Reconciling theoretical versus empirical target strengths of krill: effects of phase variability on the distorted-wave Born approximation. *ICES J. Mar. Sci.*, 60: 429–434.
- Demer, D.A. and S.G. Conti. 2003b. Validation of the stochastic distorted-wave Born approximation model with broad bandwidth total target strength measurements of Antarctic krill. *ICES J. Mar. Sci.*, 60: 625–635.
- Demer, D.A. and S.G. Conti. 2004a. Erratum – Reconciling theoretical versus empirical target strengths of krill: effects of phase variability on the distorted-wave Born approximation. *ICES J. Mar. Sci.*, 61: 157–158.
- Demer, D.A. and S.G. Conti. 2004b. Erratum – Validation of the stochastic distorted-wave Born approximation model with broad bandwidth total target strength measurements of Antarctic krill. *ICES J. Mar. Sci.*, 61: 155–156.
- Demer, D.A. and S.G. Conti. 2004c. Sounds like more krill. Document *WG-EMM-04/41*. CCAMLR, Hobart, Australia: 17 pp.
- Demer, D.A. and S.G. Conti. 2005. New target-strength model indicates more krill in the Southern Ocean. *ICES J. Mar. Sci.*, 62: 25–32.
- Demer, D.A., S.G. Conti, J. De Rosny and P. Roux. 2003. Absolute measurements of total target strength from reverberation in a cavity. *J. Acoust. Soc. Am.*, 113: 1387–1394.
- Foote, K.G. 1990. Speed of sound in *Euphausia superba*. *J. Acoust. Soc. Am.*, 87: 1405–1408.

- Foote, K.G., I. Everson, J.L. Watkins and D.G. Bone. 1990. Target strengths of Antarctic krill (*Euphausia superba*) at 38 and 120 kHz. *J. Acoust. Soc. Am.*, 87 (1): 16–24.
- Forbes, S. and O. Nakken. 1972. Manual of methods for fisheries resource survey and appraisal. Part 2. The use of acoustic instruments for fish detection and abundance estimation. FAO: 138 pp.
- Furusuwa, M., Y. Miyanohana, M. Ariji and Y. Sawada. 1994. Prediction of krill target strength by liquid prolate spheroid model. *Fish. Sci.*, 60: 261–265.
- Greene, C.H., P.H. Wiebe, S. McClatchie and T.K. Stanton. 1991. Acoustic estimates of Antarctic krill. *Nature*, 349: 110 pp.
- Hewitt, R.P. and D.A. Demer. 1991a. Target strength of Antarctic krill. Document *WG-Krill-91/13*. CCAMLR, Hobart, Australia.
- Hewitt, R.P. and D.A. Demer. 1991b. Krill abundance. *Nature*, 353: p. 310.
- Hewitt, R.P., D.A. Demer and J.H. Emery. 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 1991/92 through 2001/02. *Aquat. Living Resour.*, 16 (3): 205–213.
- Hewitt, R.P., J. Watkins, M. Naganobu, V. Sushin, A.S. Brierley, D. Demer, S. Kasatkina, Y. Takao, C. Goss, A. Malyshko, M. Brandon, S. Kawaguchi, V. Siegel, P. Trathan, J. Emery, I. Everson and D. Miller. 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 Res., II*, 51: 1215–1236.
- Holliday, D.V. and R.E. Pieper. 1995. Bioacoustical oceanography at high frequencies. *ICES J. Mar. Sci.*, 52: 279–296.
- Horne, J.K. 2000. Acoustic approaches to remote species identification: a review. *Fish. Oceanogr.*, 9: 356–371.
- Horne, J.K. and C.S. Clay. 1998. Sonar systems and aquatic organisms: matching equipment and model parameters. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 55: 1296–1306.
- Jefferts, K., J. Burczynski and W.G. Percy. 1987. Acoustical assessment of squid (*Loligo opalescens*) off the central Oregon coast. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 44: 1261–1267.
- Korneliussen, R.J. and E. Ona. 2002. An operational system for processing and visualizing multi-frequency acoustic data. *ICES J. Mar. Sci.*, 59: 291–313.
- Korneliussen, R.J. and E. Ona. 2003. Synthetic echograms generated from the relative frequency response. *ICES J. Mar. Sci.*, 60: 636–640.
- Korneliussen, R.J. and E. Ona. 2004a. Validated acoustic identification of Atlantic Mackerel. *ICES CM 2004/R:20*. ICES, Copenhagen, Denmark.

- Korneliussen, R.J. and E. Ona. 2004b. Combined algorithms for detection of acoustic categories. *ICES CM 2004/R:38*. ICES, Copenhagen, Denmark.
- Lebourges-Dhaussy, A. 1996. Caractérisation des populations planctoniques par acoustique multifréquence. *Océanis*, 22: 71–92.
- Lebourges-Dhaussy, A. and J. Ballé-Béganton. 2004. Multifrequency multimodel zooplankton classification. *ICES CM 2004/R:22*. ICES, Copenhagen, Denmark.
- Lebourges-Dhaussy, A., T. Knutsen and R.J. Korneliussen. 2004. Acoustic backscatter from zooplankton and fish explored through an optimized model framework. *ICES CM 2004/R:39*. ICES, Copenhagen, Denmark.
- McGehee, D.E., R.L. O'Driscoll and L.V.M. Traykovski. 1998. Effects of orientation on acoustic scattering from Antarctic krill at 120 kHz. *Deep-Sea Res., II*, 45: 1273–1294.
- McGehee, D.E., R.L. O'Driscoll and L.V. Martin-Traykovski. 1999. Effects of orientation on acoustic scattering from Antarctic krill at 120 kHz. Document *WG-EMM-99/42*. CCAMLR, Hobart, Australia.
- Madureira, L.S.P., P. Ward and A. Atkinson. 1993a. Differences in backscattering strength determined at 120 and 38 kHz for three species of Antarctic macroplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 93 (1–2): 17–24.
- Madureira, L.S.P., I. Everson and E.J. Murphy. 1993b. Interpretation of acoustic data at two frequencies to discriminate between Antarctic krill and other scatterers. *J. Plankton. Res.*, 15 (7): 787–802.
- Morris, D.J., J.L. Watkins, C. Ricketts, F. Bucholz and J. Priddle. 1988. An assessment of the merits of length and weight measurements of Antarctic krill *Euphausia superba*. *Brit. Ant. Surv. Bull.*, 79: 27–50.
- Morse, P.M. and K.U. Ingard. 1968. *Theoretical Acoustics*. Princeton University Press, Princeton, NJ: 927 pp.
- Pauly, T. and J.D. Penrose. 1997. Laboratory target strength measurements of free-swimming Antarctic krill. Document *WG-EMM-97/75*. CCAMLR, Hobart, Australia: 40 pp.
- Pauly, T. and J.D. Penrose. 1998. Laboratory target strength measurements of free-swimming Antarctic krill (*Euphausia superba*). *J. Acoust. Soc. Am.*, 103: 3268–3280.
- Pauly, T., S. Nicol, I. Higginbottom, G. Hosie and J. Kitchener. 2000. Distribution and abundance of Antarctic krill (*Euphausia superba*) off East Antarctica (80–150°E) during the Austral summer of 1995/96. *Deep-Sea Res., II: Topical Studies in Oceanography*, 47 (12–13): 2465–2488.
- Richards, L.J., R. Kieser, T.J. Mulligan and J.R. Candy. 1991. Classification of fish assemblages based on echo-integration surveys. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 48: 1264–1272.

- Rose, G.A. and W.C. Legget. 1988. Hydroacoustic signal classification of fish schools by species. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 45: 597–604.
- Stanton, T.K. and D. Chu. 2000. Review and recommendations for the modelling of acoustic scattering by fluid-like elongated zooplankton: euphausiids and copepods. *ICES J. Mar. Sci.*, 57 (4): 793–807.
- Stanton, T.K., D. Chu, P.H. Wiebe and C.S. Clay. 1993. Average echoes from randomly oriented random-length finite cylinders: Zooplankton models. *J. Acoust. Soc. Am.*, 94: 3463–3472.
- Stanton, T.K., D. Chu and P.H. Wiebe. 1998. Sound scattering by several zooplankton groups. II. Scattering models. *J. Acoust. Soc. Am.*, 103: 236–253.
- Trathan, P.N., D.J. Agnew, D.G.M. Miller, J.L. Watkins, I. Everson, M.R. Thorley, E.J. Murphy, A.W.A. Murray and C. Goss. 1992. Krill biomass in Area 48 and Area 58: recalculation of FIBEX data. In: *Selected Scientific Papers, 1992 (SC-CAMLR-SSP/9)*. CCAMLR, Hobart, Australia: 157–181.
- Watkins, J.I. and A. Brierley. 2002. Verification of acoustic techniques used to identify and size Antarctic krill. *ICES J. Mar. Sci.*, 59: 1326–1336.
- Watkins, J.L., R. Hewitt, M. Naganobu and V. Sushin. 2004. The CCAMLR-2000 Survey: a multinational, multi-ship biological oceanography survey of the Atlantic sector of the Southern Ocean. *Deep-Sea Res., II*, 51: 1205–1213.
- Wiebe, P.H., C.H. Greene, T.K. Stanton and J. Burczynski. 1990. Sound scattering by live zooplankton and micronekton: empirical studies with a dual-beam acoustical system. *J. Acoust. Soc. Am.*, 88: 2346–2360.
- Yudanov, K.J. 1971. Interpretation of echograms of hydroacoustic fish finding instruments. Israel Program for Scientific Translations, Kyriat Moshe, Jerusalem, Israel.



Tabla 1: Rango de valores límites de los parámetros utilizados en el modelo SDWBA simplificado para estimar el error de la estimación del TS de kril, donde la frecuencia ( $f_0$ ) = 120 kHz, el número de cilindros ( $n_0$ ) = 14, la talla de kril ( $L_0$ ) = 38.35 mm y la variabilidad de fase ( $\varphi_0$ ) =  $\sqrt{2}$ .

	-1 s.d. (Caso 1)	Promedio (Caso 2)	+1 s.d. (Caso 3)
Radio de cilindros (multiplicador $r_0$ : ver el texto)	1.0	1.4	1.7
Contraste de densidades (g: de Foote, 1990)	1.0290	1.0357	1.0424
Contraste de velocidades de sonido (h: de Foote, 1990)	1.0255	1.0279	1.0303
Orientación ( $\bar{\theta}$ , s.d.: Demer y Conti, com. pers.)	N(7, 4)	N(11, 4)	N(15, 4)
Velocidad del sonido en el agua ( $c$ m s <sup>-1</sup> : de Demer, 2004)	1451	1456	1461

Tabla 2: Promedios de los coeficientes y talla de referencia ( $L_0$ ) del modelo SDWBA simplificado del TS de kril (ecuación 10 del apéndice) en relación con la distribución de las orientaciones ( $\theta = N[\bar{\theta} = 11^\circ, \text{s.d.} = 4^\circ]$ ). La notación exponencial ( $\times 10^x$ ) se expresa como “e±x”. El modelo simplificado tiene un error rms de 0.75 dB para este rango de  $kL$ .

<i>A</i>	6.64558746e+000
<i>B</i>	1.27909076e-001
<i>C</i>	4.46318146e-001
<i>D</i>	-1.19209591e-011
<i>E</i>	7.42324712e-009
<i>F</i>	-1.73916236e-006
<i>G</i>	1.86327198e-004
<i>H</i>	-8.67465215e-003
<i>I</i>	1.32140873e-001
<i>J</i>	-8.09830343e+001
$L_0$	38.35e-003 m

Tabla 3: Los valores límites recomendados (mín–máx) de  $\Delta S_v$  (en dB) para clasificar las distribuciones de tallas de kril en los ecogramas hidroacústicos. Los valores que se muestran en las líneas superior, media e inferior de cada casilla representan el rango de  $\Delta S_v$  de las frecuencias 120–38 kHz, 200–120 kHz y 200–38 kHz respectivamente y se basan en los cálculos del modelo simplificado SDWBA con valores límites para una distribución de orientaciones ( $\theta = N[\bar{\theta} = 11^\circ, \text{s.d.} = 4^\circ]$ ).

Talla mínima de kril (mm)	Talla máxima de kril (mm)			
	30	40	50	60
10	11.1–17.7	7.7–17.7	4.6–17.7	2.5–17.7
	0.4–6.8	-0.3–6.8	-0.5–6.8	-0.5–6.8
	11.5–24.5	7.4–24.5	4.1–24.5	2–24.5
20	11.1–14.7	7.7–14.7	4.6–14.7	2.5–14.7
	0.4–2.1	-0.3–2.1	-0.5–2.1	-0.5–2.1
	11.5–16.8	7.4–16.8	4.1–16.8	2–16.8
30	-	7.7–11.1	4.6–11.1	2.5–11.1
	-	-0.3–0.4	-0.5–0.4	-0.5–0.4
	-	7.4–11.5	4.1–11.5	2–11.5
40	-	-	4.6–7.7	2.5–7.7
	-	-	-0.5–-0.3	-0.5–-0.3
	-	-	4.1–7.4	2–7.4

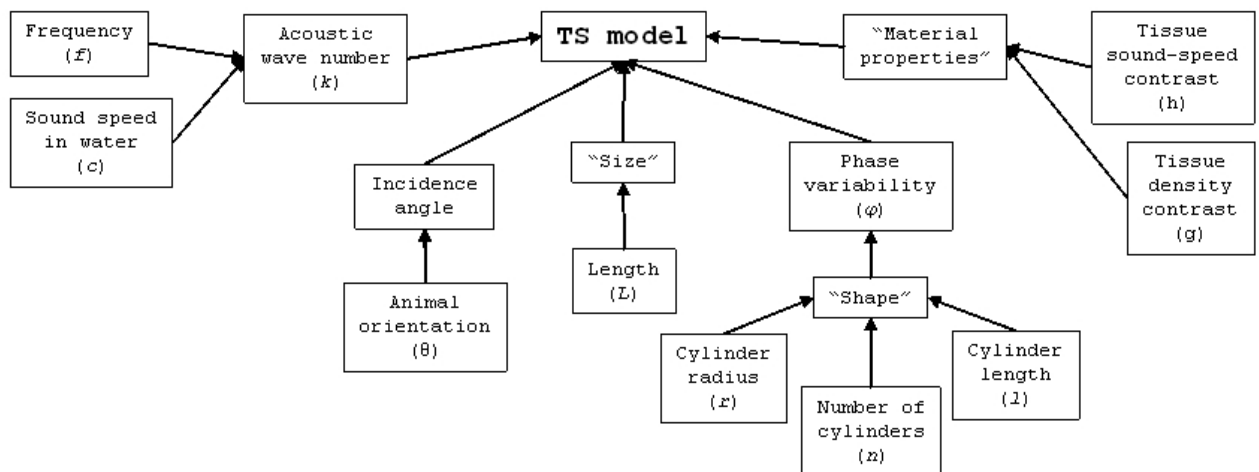


Figura 1: Relaciones entre los parámetros que contribuyen a la potencia del blanco del kril antártico. Nótese que esto representa una aproximación simplificada y no toma en cuenta las dependencias entre las relaciones.

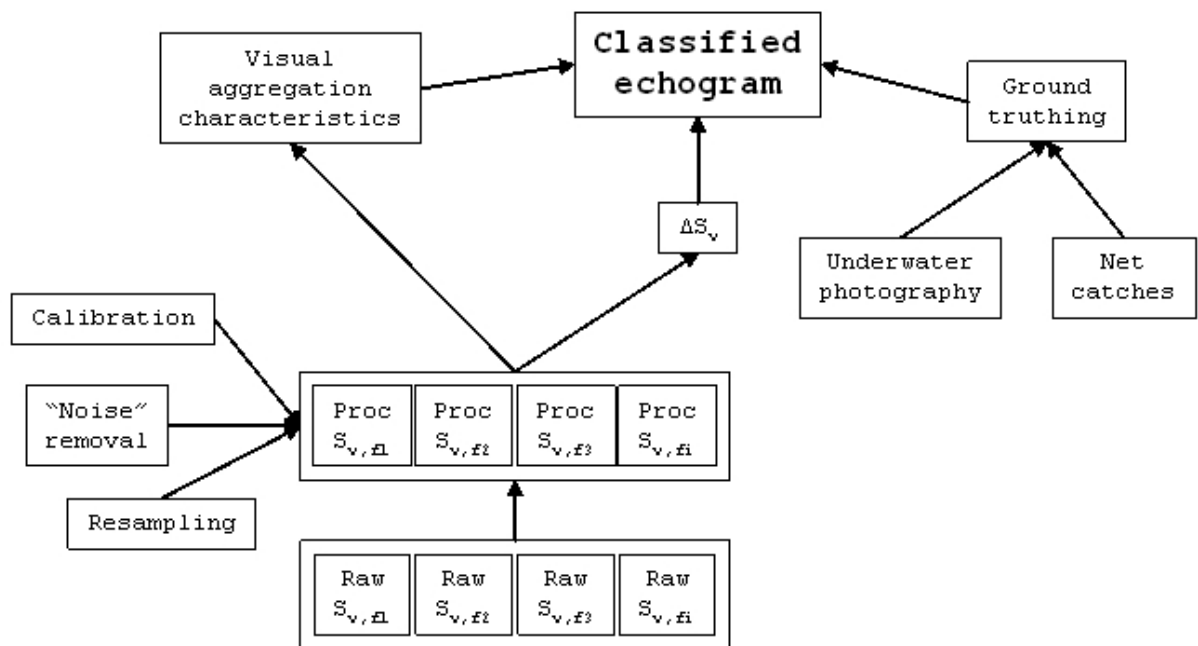


Figura 2: Relaciones entre la información generalizada y categorías de procedimientos disponibles actualmente para clasificar los datos  $S_v$  por taxón. Proc – datos  $S_v$  procesados.

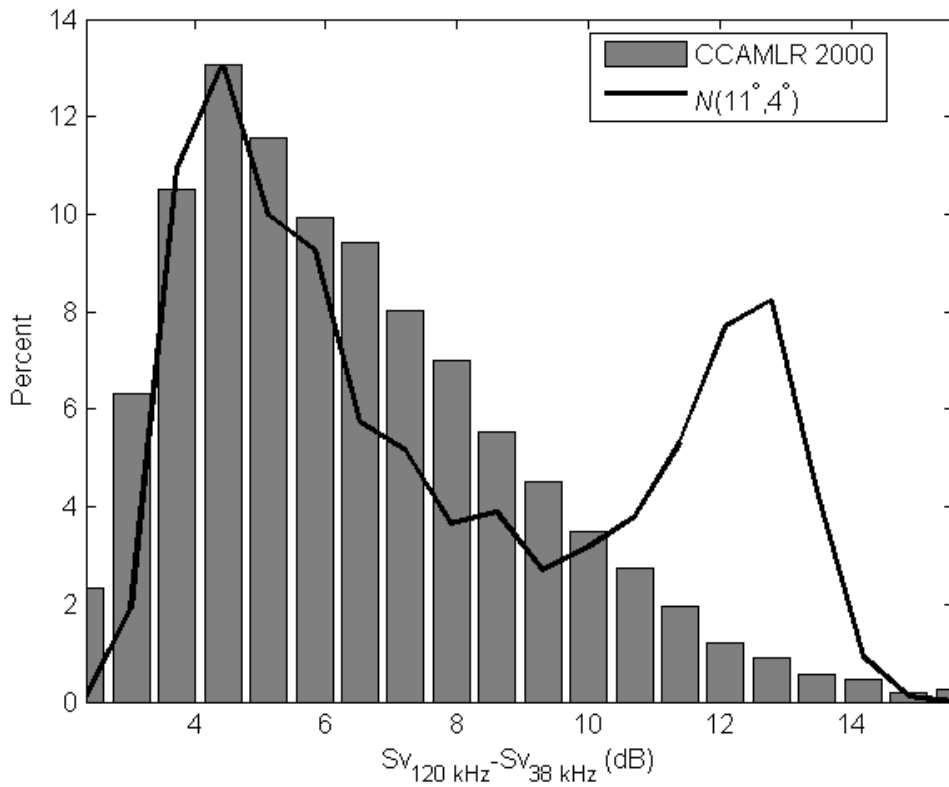


Figura 3: Diferencias entre los índices de reverberación de volumen ( $\Delta S_v$ ) atribuidos al kril medidos a frecuencias de 120 y 38 kHz a bordo del barco de investigación *Yuzhmorgeologiya* durante la prospección CCAMLR-2000 (barras grises), en comparación con las predicciones del modelo SDWBA utilizando la distribución de frecuencia de tallas de kril de la prospección CCAMLR-2000 y la distribución de orientaciones de kril ( $\theta = N[\bar{\theta} = 11^\circ, \text{s.d.} = 4^\circ]$ ) (línea negra).

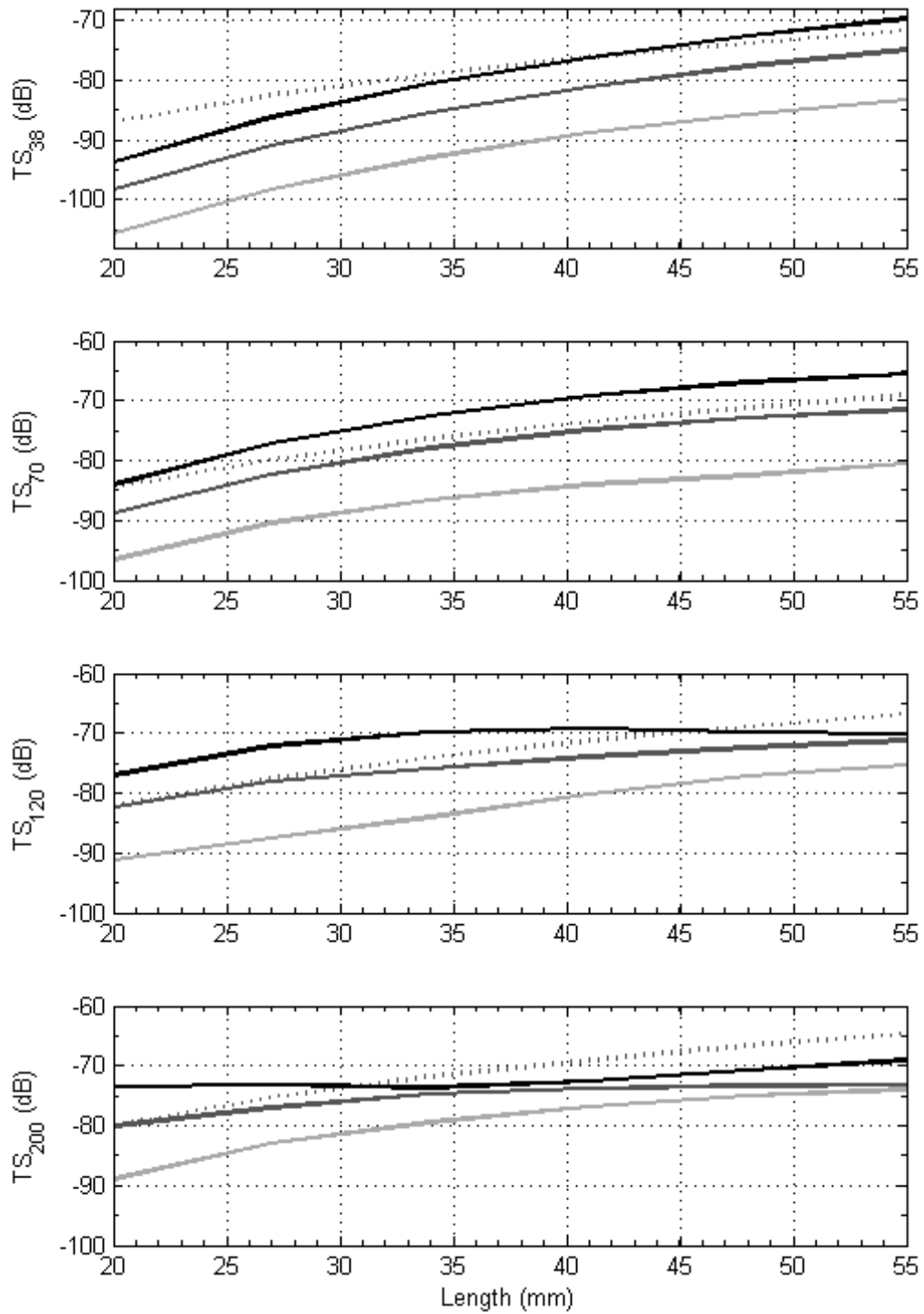


Figura 4: TS estimado por el modelo SDWBA simplificado con valores límites, medido en función de  $L$  a frecuencias de 38, 70, 120 y 200 kHz. Los parámetros del modelo son los de la tabla 1 para el caso 1 (línea gris claro), 2 (línea gris oscuro) y 3 (línea negra). La línea punteada representa las estimaciones de Greene et al. (1991).

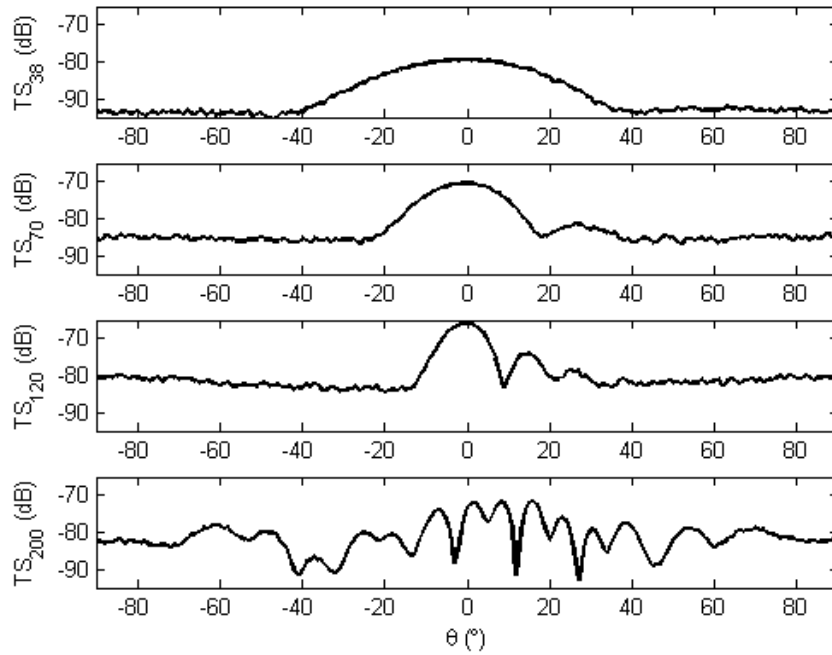


Figura 5: TS estimado por el modelo SDWBA simplificado con valores límites medido en función del ángulo de orientación a frecuencias de 38, 70, 120 y 200 kHz. Los parámetros de los modelos son los del Caso 2 de la Tabla 1.

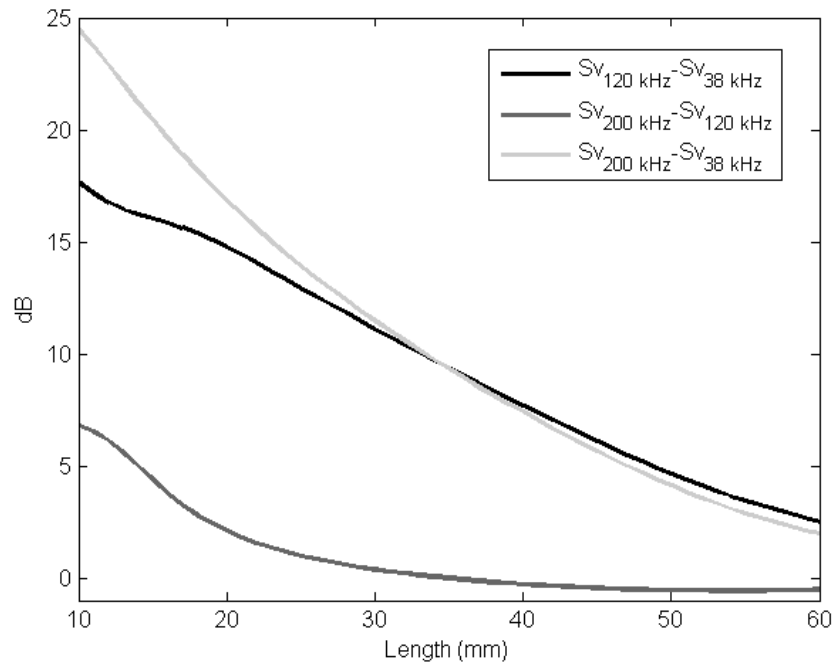


Figura 6: Diferencias entre las estimaciones de  $S_v$  del modelo SDWBA simplificado con valores límites a frecuencias 200, 120, y 38 kHz en función de  $L$ . Estas correlaciones pueden ser utilizadas para minimizar la sobrestimación acústica y la circunvalación acústica (véase la tabla 3).

**MODELO ESTOCÁSTICO DE APROXIMACIÓN DE ONDA DISTORSIONADA DE BORN (SDWBA)**

Se logra representar de manera aproximada al kril mediante  $N$  cilindros discretos de distintos radios  $a_j$ . En ese caso, la representación aproximada de la retrodispersión para el cilindro  $j$  y el ángulo de incidencia  $\theta$  adquiere la siguiente forma:

$$f_{bs_j}(\theta) = \frac{k_1}{4} \int [\gamma_\kappa - \gamma_\rho] \exp(-2i\vec{k}_i \cdot \vec{r}_0) \frac{a_j J_1(2k_2 a_j \cos \beta_{ult})}{\cos \beta_{ult}} dr_0 \quad (1)$$

donde  $\gamma_\kappa = (\rho_1 c_1^2 / \rho_2 c_2^2) - 1$ ,  $\gamma_\rho = (\rho_2 - \rho_1) / \rho_2$ , el subíndice 1 corresponde al agua de mar ambiental, y el 2 al kril.  $J_1$  es la función Bessel de primer orden 1,  $\vec{r}_0$  el vector de posición,

$\vec{k}_i = k_1 \begin{bmatrix} \sin \theta \\ 0 \\ \cos \theta \end{bmatrix}$  el vector de incidencia de la onda, y  $\beta_{ult}$  el ángulo entre el cilindro y el eje

central del cuerpo. La función para el SDWBA se obtiene sumando los componentes de cada cilindro con una fase aleatoria diferente  $\varphi_j$ :

$$f_{bs}(\theta) = \sum_{j=1}^N f_{bs_j}(\theta) \exp(i\varphi_j) \quad (2)$$

La variabilidad de fase  $\varphi_j$  se obtiene de una distribución de Gauss centrada en 0, con una desviación típica  $sd_\varphi$ , para cada cilindro  $j$  a lo largo del cuerpo. Finalmente, la sección transversal de la retrodispersión  $\sigma_{bs}(\theta)$  se obtiene del promedio de todos los conjuntos de fase  $\varphi_j$ :

$$\sigma_{bs}(\theta) = \left\langle |f_{bs}(\theta)|^2 \right\rangle_\varphi, \quad (3)$$

y

$$TS(\theta) = 10 \log_{10}(\sigma_{bs}(\theta)). \quad (4)$$

La forma genérica de kril fue definida por McGehee et al. (1998, talla estándar  $L_0 = 38.35$  mm). El grosor de la forma genérica fue aumentado en un 40% por Demer y Conti (2003a), porque se observó que los animales recién capturados eran más gruesos que los animales desnutridos medidos por McGehee et al. (1998). De comparaciones entre las estimaciones del SDWBA y las mediciones experimentales se estimó  $sd_{\varphi_0}$  en  $\sqrt{2}/2$  radianes a una frecuencia  $f_0 = 120$  kHz, y utilizando  $N_0 = 14$  cilindros. Debido a que los factores  $N$ ,

$sd_\varphi$ ,  $f$  y  $L$  son co-dependientes en relación con sus efectos en los resultados del SDWBA, se mantuvo  $sd_\varphi(f)f$  constante,

$$sd_\varphi(f)f = sd_{\varphi_0}f_0. \quad (5)$$

De manera similar, ya que tanto  $f$  como  $L$  fueron modificados,  $N$  también fue ajustado de manera que la resolución espacial del cuerpo de kril permaneciera constante en relación con la longitud de onda. Por lo tanto, la razón entre la longitud de onda  $\lambda$  y la longitud de cada cilindro se mantuvo constante:

$$\frac{L}{N\lambda} = \frac{L_0}{N_0\lambda_0} \quad (6)$$

o

$$\frac{Lf}{N} = \frac{L_0f_0}{N_0}. \quad (7)$$

De las ecuaciones (5) y (7):

$$N(f, L) = N_0 \frac{fL}{f_0L_0} \quad (8)$$

y

$$sd_\varphi(f, L) = sd_{\varphi_0} \frac{N_0L}{N(f, L)L_0}. \quad (9)$$

Así,  $sd_\varphi$  y  $N$  fueron ajustados al valor deseado de  $L$  y  $f$ . Se estimó el TS versus  $L$  a las frecuencias  $f = 38, 70, 120, \text{ y } 200$  kHz (figura 4) mediante una pasada del modelo SDWBA con una forma genérica para kril grueso, y ajustando  $N$  y  $sd_\varphi$  de conformidad con las ecuaciones (8) y (9). Los parámetros se presentan en la tabla 1.

Las estimaciones de  $TS$  del SDWBA se expresan de manera concisa en función del producto del número de ondas sonoras  $k=(2\pi/\lambda)$  y  $L$ . Demer y Conti (2005) presentaron una representación simplificada polinómica de la función  $TS(kL)$  utilizando el promedio de esta función con una distribución normal ( $\theta = N[\bar{\theta} = x^\circ, \text{ s.d.} = y^\circ]$ ) de las orientaciones de kril,:

$$TS(kL) = A \left[ \frac{\log_{10}(BkL)}{BkL} \right]^C + D(kL)^6 + E(kL)^5 + F(kL)^4 + G(kL)^3 + H(kL)^2 + I(kL) + J + 20 \log_{10} \left( \frac{L}{L_0} \right). \quad (10)$$

Se generaron nuevos parámetros para este modelo a partir de los parámetros de la tabla 2, con valores de  $kL$  de 0 a 200, para  $(\theta = N[\bar{\theta} = 11^\circ, \text{s.d.} = 4^\circ])$  (tabla 1). El error rms promedio para este rango de  $kL$  es de 0.75 dB.

La distribución  $(\theta = N[\bar{\theta} = 11^\circ, \text{s.d.} = 4^\circ])$  de las orientaciones fue estimada mediante los datos de la prospección CCAMLR-2000. Las diferencias del  $S_v$  medido a las frecuencias de 120 y 38 kHz durante la prospección fueron comparadas con los valores estimados mediante el modelo y la distribución de tallas medida durante la prospección (figura 3). Se obtuvo el mejor ajuste para  $(\theta = N[\bar{\theta} = 11^\circ, \text{s.d.} = 4^\circ])$  mediante una optimización de cuadrados mínimos y con un promedio y desviación típica de las orientaciones de entre  $0^\circ$  a  $25^\circ$  y  $1^\circ$  a  $30^\circ$  respectivamente.