

Seminario de Título

**Entregado a la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile
para optar al Título de Biólogo con mención en Medio Ambiente**

Desarrollo de un modelo numérico para estudiar la superposición espacial de la flota pesquera del kril antártico (*Euphausia superba*) y sus depredadores naturales

Ignacio Emilio Bruhn Larraín



**Dirigida por:
Dr. Víctor H. Marín
Lab. De Modelación Ecológica
Departamento de Ciencias Ecológicas
Facultad de Ciencias
Universidad de Chile**

Santiago de Chile, 13 de mayo del 2004

UCH-FC
D. Ambiental
B. 894
C. 1

ESCUELA DE PREGRADO - FACULTAD DE CIENCIAS - UNIVERSIDAD DE CHILE

UNIVERSIDAD DE CHILE



3 5601 15882 7786



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias que el Seminario de Título presentado por el candidato:

IGNACIO BRUHN LARRAÍN

ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación de Seminario de Título, como requisito parcial para optar al título de Biólogo con mención en Medio Ambiente, en el Examen de defensa de Seminario de Título rendido el día 13 de Mayo de 2004.

Director de Memoria de Título

Dr. Victor Marin

Comisión de Evaluación de Seminario de Título

Dr. Italo Serey

Dr. Luis Morales

M.Sc. Ana María Ruz



INDICE DE CONTENIDOS

	Página
AGRADECIMIENTOS	2
INDICE DE FIGURAS	3
INDICE DE TABLAS	4
INDICE DE ANEXOS	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	6
INTRODUCCIÓN	
• El kril antártico	6
• Modelación ecológica	8
• Autómatas celulares	8
• Área de estudio	9
• Los modelos	10
• Supuestos	11
MÉTODOS	12
• Componentes biológicos de los modelos	13
RESULTADOS	14
• Importancia de los depredadores	15
• Comparación de los modelos de pesca	16
• Disponibilidad mínima de kril	20
DISCUSIÓN	23
CONCLUSIÓN	25
REFERENCIAS	25
ANEXOS	29

AGRADECIMIENTOS

Primero debo agradecer al profesor Víctor Marín por su paciencia y su forma de enseñarme a autoenseñarme. Lo que además de ser muy estimulante es muy enriquecedor cuando se logra de buena manera. Por supuesto también debo agradecer su paciencia ya que la necesite un par de veces.

A la profesora Luisa por sus consejos además de su talento para volver el ambiente sumamente grato y alegre, ideal para el trabajo.

Por supuesto debo agradecer a mis padres que siempre me han apoyado en todo lo que les es posible y han aceptado o han aprendido a aceptar cariñosamente lo que no han apoyado.

A mi madre Ana María debo decirle que sin ella nada de esto sería posible y que es y será el roble que me da la sombra y me indica como se debe actuar en la vida para lograr las cosas.

A mi padre Roberto agradecerle sus consejos y su continuo apoyo que en momentos difíciles me fueron útiles de las más diversas formas.

Debo agradecer a mi hermano que de una forma muy particular como es todo en él me hizo sentir su apoyo y cariño.

A todos mis amigos especialmente a mi gran amigo Javier y por supuesto a todos los integrantes de la Family que al igual que en toda gran familia me brindaron su apoyo, consejo o simplemente un momento de esparcimiento cuando las cosas se ponían un poco negras.

Finalmente agradezco a esta mujer que he conocido o más bien estoy empezando a conocer este último tiempo. Quien me ha apoyado incondicionalmente en todo, ha compartido su sabiduría conmigo, ha logrado que pueda ver la vida con más ligereza lo que sin duda hace que se disfrute mucho más. Y es sin duda la mujer más increíble que he conocido en mi vida. Gracias Natalia por hacerme sentir el más afortunado.

Y finalmente gracias a todos los que sin querer ayudarme lo han hecho bastante bien.

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1: Modelo de circulación en el Océano Austral que muestra las principales corrientes que caracterizan al Océano Austral.
- Figura 2: Muestra un esquema de un vecindario 3x3 de un autómata celular. Mediante el cual se modifican los valores definidos para la celda blanco(0,0)
- Figura 3: Modelo de circulación en las Islas Shetland del Sur que muestra la mayor complejidad de la circulación oceánica a una menor escala.
- Figura 4: Diagrama del modelo de pesca PESC3, los cuadrados rojos representan la ubicación de los buques pesqueros en el área de estudio.
- Figura 5: Diagrama del modelo de pesca PESC5, los cuadrados rojos representan la ubicación de los buques pesqueros en el área de estudio.
- Figura 6: Gráfico que muestra la captura total de kril en la Subárea 48.1 entre los años 1992/2001.
- Figura 7: Modelo conceptual de los componentes del sistema de estudio.
- Figura 8: Gráfico que muestra el consumo diario de kril por los depredadores y el consumo diario de la suma de todos los depredadores.
- Figura 9: Variación de la biomasa de kril en el área de estudio debido solo al efecto de la advección.
- Figura 10: Biomasa remanente de kril para los modelos de pesca PESC3 (línea lila) y PESC5 (línea azul)
- Figura 11: Variación de la biomasa remanente de kril debido a la pesca tipo PESC5 en Isla Elefante.
- Figura 12: Variación de la biomasa remanente de kril debido a la pesca tipo PESC5 en Isla King George.
- Figura 13: Variación de la biomasa remanente de kril debido a la pesca tipo PESC3 en Isla King George.
- Figura 14: Variación de la biomasa de kril remanente en Isla Elefante debido a los depredadores (línea azul) y a los depredadores y el tipo de pesca PESC3 (línea lila)
- Figura 15: Variación de la biomasa de kril remanente en Isla Livingston por efecto de los depredadores (línea azul) y de los depredadores y el tipo de pesca PESC3 (línea lila)
- Figura 16: Gráfico que muestra la biomasa de kril remanente al consumo de cada depredador dependiente de la variación de la disponibilidad de kril del sistema.
- Figura 17: Gráfico que muestra la relación entre la disponibilidad de kril del sistema y la biomasa remanente de kril en Isla Livingston. PESC3 corresponde a la línea lila y PESC5 a la línea azul.
- Figura 18: Gráfico que muestra la relación entre la disponibilidad de kril del sistema y la biomasa remanente de kril en Isla King George. PESC3 corresponde a la línea lila y PESC5 a la línea azul.
- Figura 19: Gráfico que muestra la relación entre la disponibilidad de kril del sistema y la biomasa remanente de kril en Isla Elefante. PESC3 corresponde a la línea lila y PESC5 a la línea azul.
- Figura 20: Gráfico que muestra la relación entre la disponibilidad de kril del sistema y la biomasa remanente de kril en todo el área estudio. PESC3 corresponde a la línea lila y PESC5 a la línea azul.

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Disponibilidad mínima de kril a gran escala que tiene cada ítem depredador y la suma de todos los depredadores antes de que la biomasa de kril remanente se haga cero.

Tabla 2: Disponibilidad mínima de kril para cada ítem depredador a escala local.

Tabla 3: Valores mínimos de kril disponible antes que el kril remanente de cada tipo de pesca se haga cero.

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Divisiones estadísticas de la FAO para el territorio antártico

Anexo 2: Continente antártico con ampliación de las Islas Shetland del Sur (área de estudio)

Anexo 3: Cálculos realizados para determinar el consumo de kril por viaje de forrajeo los ítem depredadores.

Anexo 4: Áreas de forrajeo creadas y usadas en el Modelo.

Desarrollo de un modelo numérico para estudiar la superposición espacial de la flota pesquera del kril antártico (*Euphausia superba*) y sus depredadores naturales

Ignacio Bruhn Larrain*

* Laboratorio de Modelación Ecológica, Departamento de Ciencias ecológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile, Santiago, Chile

Se desarrolló un modelo numérico por medio de un sistema de información geográfico para estudiar la superposición espacial entre la flota pesquera del kril antártico (*Euphausia superba*) y sus depredadores naturales en la plataforma norte de las Islas Shetland del Sur. Para ello se usaron dos modelos de pesca, PESC3 (flota pesquera al norte de Isla Livingston) y PESC5 (la flota pesquera al norte de Isla Elefante). Existe una superposición a escala local (zonas cercanas a las islas) dando como resultado valores negativos en la biomasa remanente de kril en las Islas Elefante y King George. A gran escala el modelo de pesca PESC5 fue el que produjo un menor efecto en las concentraciones remanentes de kril. La disponibilidad mínima de kril necesaria para los depredadores incorporados en el estudio es de $5,2 \times 10^5$ toneladas. Con respecto a la importancia de los ítem depredadores en el consumo total de kril, el ítem de peces es el más importante con 86,5% del consumo total, el pingüino antártico (*Pygoscelis antarctica*) alcanza el 13,1%. La suma del consumo de los otros depredadores no alcanza el 1%, esto se debe al pequeño tamaño de las poblaciones en el área de estudio. Se propone una estrategia de manejo a escala local, con la implementación de unidades de baja extracción de kril en la zona de 100 Km alrededor de las Islas, considerando la interacción entre distintas áreas locales al interior de la Subárea 48,1.

Palabras Claves: *Euphausia superba*, superposición espacial, modelo numérico

A numerical model was developed, by means of a geographic information system, to study the spatial overlap among the fishing fleet of Antarctic krill (*Euphausia superba*) and krill predators. The study area corresponded to the northern platform of the South Shetland Islands. Two fishing models were used, PESC3 (fishing fleet north of Livingston Is.) and PESC5 (fishing fleet north of Elephant Is.). Model results show an overlap at local scale, generating negative biomass remnant krill values north of Elephant and King George Islands. PESC5 generated the lesser effects at large scale. The minimum available krill for the predators included in this study, within the modelled period, amounted to 5.2×10^5 metric tonnes. Fishes, among the considered predators, consumed the largest amount of krill with an 86.5% of the total catch. The antarctic penguin (*Pygoscelis antarctica*) followed with 13.1%. The total consumption of all other predators was less than 1% of the total catch. We proposed a management strategy targeted at local scale, with low catch levels within 100 km from the islands and a consideration of local area interactions at large scale within Subarea 48.1.

Key words: *Euphausia superba*, spatial overlap, numeric model

Introducción

El kril antártico

El continente antártico está rodeado por una masa de agua que representa el 15% de la superficie total de los océanos, El Océano Austral. Su límite norte es la Convergencia Antártica o frente polar antártico. En esta zona, las aguas frías y menos salinas que fluyen hacia el norte desde la Antártica se

encuentran con las aguas subantárticas más tibias que fluyen hacia el Sur desde los océanos Atlántico, Índico y Pacífico. El Océano Austral está constituido por varias cuencas profundas separadas por cordilleras medio-oceánicas y la plataforma continental que es angosta en casi su totalidad. Las características que dominan el océano austral son: la Corriente Circumpolar

Antártica que fluye de Oeste a Este en el norte, y la Corriente Oriental de Deriva o Corriente Polar que fluye desde el Este cerca del continente y se divide en una serie de Vórtices y giros (Fig. 1)

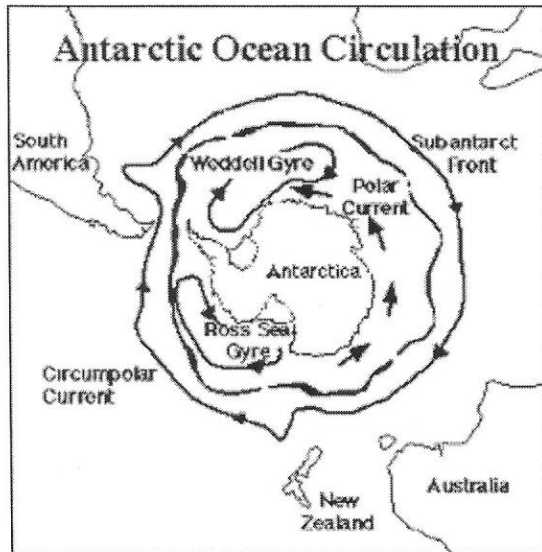


Fig. 1: Modelo de circulación en el Océano Austral (modificado de: http://www.glacier.rice.edu/oceans/4_anturfwater.html)

Se pueden distinguir tres zonas de importancia ecológica en el océano austral: la zona sin hielo; la zona intermedia de campo de hielo estacional y la zona de hielo de alta latitud, la que corresponde a la zona de hielo permanente. La más productiva de las tres es la de campo estacional donde predomina el kril antártico (Kock, 2000)

El ecosistema marino antártico tiene como especie pilar de la red trófica al kril antártico *Euphausia superba* (Jackowski, 2001; Mitchell and Sandbrook, 1980; Tratan, 2001). Esta especie presenta una gran variabilidad interanual (Berman et al, 1989; Brinton et al, 1984; Gordon, 1967; Hempel, 1985; Heywood et al, 1985; Macaulay et al, 1984; Priddle et al, 1988), la que se podría explicar, en parte, por factores físicos tales como radiación solar, temperatura del mar, variación geográfica de las corrientes y sus límites o variación en la cantidad de mar congelado en invierno. Estos factores afectarían las poblaciones de fitoplancton que

están bajo el hielo en invierno, las que a su vez afectarían las poblaciones de kril que se alimentan de él en la misma época (Nicol, 2001). Estas variaciones en la biomasa de kril podrían afectar la dinámica poblacional de las especies depredadoras de kril, y a la industria pesquera que depende de él en eventos de bajo reclutamiento.

La Convención para la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos (CCRVMA) es, desde 1982, el organismo encargado de la conservación de los recursos marinos de los mares australes sin excluir su explotación mientras sea de manera racional. Para facilitar su administración, y con el propósito de llevar de mejor manera las estadísticas de pesca, la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) ha creado áreas estadísticas de pesca. Las que corresponden a los mares australes son las áreas 48 (sector océano atlántico), área 58 (sector océano índico) y el área 88 (sector océano pacífico); De la misma manera estas se dividen en subáreas. El área de estudio corresponde al subárea 48.1 (ANEXO 1).

La pesca industrial de kril antártico comenzó en la temporada 1972/73, con una captura que no superó las $1,0 \times 10^2$ toneladas. Actualmente tiene valores de captura cercanos a las $1,0 \times 10^5$ toneladas al año. CCRVMA establece anualmente, de acuerdo a la información entregada por el Comité Científico, los límites de captura. Los establecidos en la última reunión para el área 48 son de $4,0 \times 10^6$ de toneladas anuales y $1,0 \times 10^6$ de toneladas para la Subárea 48,1 (medida de conservación 51-01, 2002; <http://www.ccamlr.org/pu/s/pubs/cm/02-/51-01.pdf>). En la temporada 2000/01 se extrajeron 98.414 toneladas del área 48, siendo la Subárea 48,1 la de mayor extracción (SC-CCAMLR-XX, punto 2, párrafo 2.1).

Existe una falta de conocimiento, sobre todo a pequeña escala, sobre la capacidad del ecosistema para sostener la industria pesquera. Por ello, es importante establecer

los requerimientos mínimos de kril que tienen los depredadores. Especialmente crítico es definir la disponibilidad para las especies depredadoras basadas en tierra (e.g. colonias de pingüinos), debido a que sus zonas de forrajeo están acotadas a zonas cercanas a las islas, especialmente durante la estación reproductiva.

El kril es el componente más importante en la dieta de una gran gama de especies presentes en el área como son ballenas, aves, lobos, peces (Reid, 1995; Daneri y Coria, 1992; Miller and Hampton, 1989; Schlatter, 1987) En publicaciones recientes se ha observado una disminución en el stock de kril en zonas con alto impacto pesquero que además son zonas de forrajeo de muchas de estas especies de depredadores (e.g. Área 48,1). De hecho, se ha propuesto que la disponibilidad de kril está en valores cercanos a la demanda de los depredadores (SC-CCAMLR-XX, párrafo 3,73). La disponibilidad de información limita seriamente trabajar con todos los depredadores de kril para una zona específica.

¿De que manera la flota pesquera de kril esta afectando la dinámica trófica del ecosistema antártico? Esta es la pregunta fundamental en la que esta enfocado este trabajo. El objetivo es contribuir a responder esta pregunta a través del desarrollo de un modelo numérico. Los objetivos específicos son: (1) determinar la importancia de cada depredador en el consumo total de kril, (2) evaluar los efectos de dos estrategias de pesca, y (3) definir valores de disponibilidad mínima de kril para cada depredador en el área de estudio.

Modelación ecológica

Los modelos matemáticos y sistemas de información geográficos (SIG) son herramientas utilizadas para el análisis y la síntesis de problemas ecológicos. Los sistemas de información geográfica pueden definirse como programas que almacenan, gestionan, manipulan y representan

gráficamente datos con algún tipo de componente espacial (Chuvieco,2002). El propósito de un sistema de información geográfico es el proveer una estructura de trabajo espacial capaz de apoyar decisiones para el uso de los recursos y el manejo ambiental. Un sistema de información geográfico presenta información en forma de mapas y símbolos. Un modelo de datos geográficos es una abstracción del mundo real que emplea un conjunto de objetos detallados que permiten el despliegue, las preguntas, la corrección y análisis de mapas (Zeiller, 1999). El uso de modelos numéricos, por otra parte, ha acelerado el conocimiento sobre los procesos ecológicos. Estos permiten poner a prueba hipótesis, estimar cantidades inmedibles u obtener masas exactas para mejorar la comprensión de los ecosistemas (Jørgensen, 1994). Los objetivos generales de un modelo ecológico son.

- Obtener respuestas sobre lo que sucederá en el mundo físico
- Influir en la experimentación u observaciones posteriores
- Promover el progreso y la comprensión conceptuales

En este trabajo se ha usado y modificado un modelo de pesquería de kril antártico para el área de las Islas Shetland del Sur, diseñado por Marín y Delgado (2001). Este es un modelo matemático espacialmente explícito capaz de generar un ecosistema virtual en una zona particular (Subárea 48,1), en el que se pueden manejar distintos escenarios de pesca de kril y la posible superposición espacial de la flota pesquera con las áreas de forrajeo de los depredadores.

Autómatas celulares

Un autómata celular es un sistema dinámico discreto, gobernado por reglas simples deterministas. Corresponden a una idealización matemática en donde el espacio y el tiempo son caracterizados de manera discreta, así las cantidades relacionadas toman valores discretos. Una autómata

celular consiste de una grilla uniforme y regular, que es por lo regular extenso con una variable discreta para cada sitio, la cual se denomina "célula" o "celda". El valor de la variable en cada celda puede ser modificado por otras celdas que se encuentra en un "vecindario" en tiempos previos determinados. Los vecindarios son los sitios alrededor de cierta celda (Fig. 2).

(-1, -1)	(-1,0)	(-1,1)
(0, -1)	(0,0)	(0,1)
(1, -1)	(1,0)	(1,1)

Fig. 2: El vecindario de la celda (0,0) usando un vecindario 3x3, formación que incluye cada una de las celdas cercanas además de la celda blanco. El autómata celular se define en términos de una función F, también llamada regla local. La regla local o función local establece el estado de la celda (0,0) en el tiempo (t + 1) con relación al estado de las celdas vecinas.

El software usado fue ARCINFO para UNIX versión 7.1 (ESRI 1994). Las características del autómata celular usado en este estudio son las siguientes.

1. Dos dimensiones (95 filas X 103 columnas)
2. Las celdas son cuadradas y tienen un tamaño de 87,75 km²
3. Se uso una vecindad de 3X 3(Fig. 2)

Una función local es una regla que determina los cambios en el autómata celular. Estos cambios ocurren celda por celda en cada iteración. De tal manera que a cada celda se le hace un tratamiento de celda blanco y su cambio en cada iteración dependerá de los valores de sus celdas vecinas. La función local del autómata es la siguiente:

$$\text{Kril}(0) = \sum \text{Kril}(i) \times P(i)$$

Donde i identifica a cada una de las celdas vecinas, Kril (0) corresponde a la biomasa de kril de la celda blanco, Kril (i) es la biomasa de kril de la celda i y $P(i)$ es la fracción de biomasa de kril de la celda i que es transferida a la celda blanco.

La base de datos SIG incluye:

1. Datos topográficos: distribución de masas de tierra en el área y profundidad oceánicas.
2. Distribución y abundancia de depredadores en el área de estudio.
3. Pesca de kril: distribución

Área de estudio

El área de estudio corresponde a la zona norte de la plataforma continental de las islas Shetland del sur ubicadas al norte de la península Antártica, (Anexo 1) entre las coordenadas 60° y 65° latitud Sur y 50° y 70° longitud Oeste. Estas islas se encuentran dentro del Territorio Antártico Chileno y según la ordenación estadística de la FAO usada por CCRVMA, dentro del Subárea 48,1.

Esta área se ha visto bajo la presión de las actividades humanas de pesca y caza durante muchos años. Las islas Shetland del Sur fueron avistadas por primera vez por balleneros y foqueros en 1819. Dentro de estas actividades esta la pesca de kril antártico. Esta comenzó en la temporada 1975/76. En la temporada 1999/00 llegó a 69,9 x 10³ toneladas (SC-CCAMLR-XX, párrafo 2.1)

La zona norte de las Islas Shetland del Sur presenta características hidrográficas y físicas que la hacen muy favorable para el asentamiento de colonias de aves y mamíferos basados en tierra (lobos y pingüinos), ya que en las aguas adyacentes se desarrollan grandes concentraciones de kril (Everson y Goss, 1991; Ichii et al., 1996). Esto se debe a que la circulación oceánica

en la zona adyacente a las islas (Fig. 3), se caracteriza por presentar vórtices (Ichii and Naganobu, 1996). Estas características se consideran como el principal factor ambiental que afecta la distribución y advección del kril antártico (Miller and Hampton, 1989; Everson and Murphy, 1987; Huntley and Niiler, 1995).

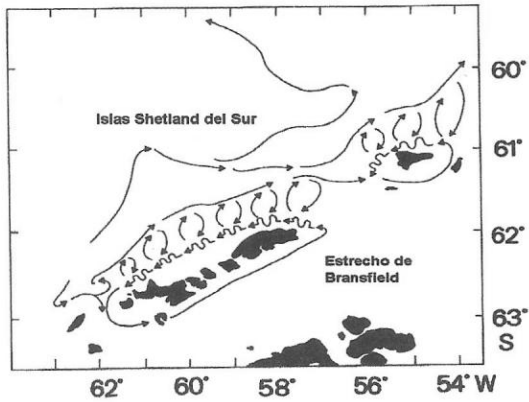


Fig. 3: Modelo de circulación en las Islas Shetland del Sur (modificado de Ichii and Naganobu, 1996)

Por otra parte, también se encuentran en el área grandes concentraciones de peces (Notothenidae y Channichthyidae) que se distribuyen alrededor de las islas y se alimentan de kril entre otras especies (Kock, 1992)

Los modelos

Se implementaron dos modelos (cp2 y cpf2). El cp2 es un modelo de la variación de la biomasa de kril debido a la advección y al consumo de sus depredadores. El modelo cpf2 es un modelo de la variación de la biomasa de kril debido a la advección, el consumo de depredadores y de la flota pesquera.

En el caso del modelo cpf2 se usaron dos modelos de la ubicación espacial de la flota pesquera (PESC3 y PESC5). Estos dos modelos de pesca fueron desarrollados y utilizados originalmente por Marín y Delgado (2001). En el modelo PESC3 (Fig. 4), la flota pesquera se ubica al norte de la isla Livingston, en el modelo PESC5 (Fig. 5),

la flota pesquera fue ubicada alrededor de la isla Elefante.

Estos modelos de pesca fueron seleccionados por ser los que tenían efectos más significativos en la biomasa de kril (Marín y Delgado, 2001). PESC3 fue el que produjo la mayor disminución en la biomasa de kril y PESC5 fue el modelo de pesca que produjo la menor disminución de la biomasa de kril. Las flotas pesqueras en estos modelos consisten en 20 barcos que pescan durante 150 días una cuota de 100 toneladas diarias lo que corresponde a una captura anual para la Subárea 48,1 de $3,0 \times 10^5$ toneladas de kril. Este valor es entre cuatro y ocho veces mayor a la captura anual realizada por la flota pesquera de kril en la Subárea 48.1 en los últimos diez años (Boletín estadístico de CCRVMA, 2002) (Fig. 6).

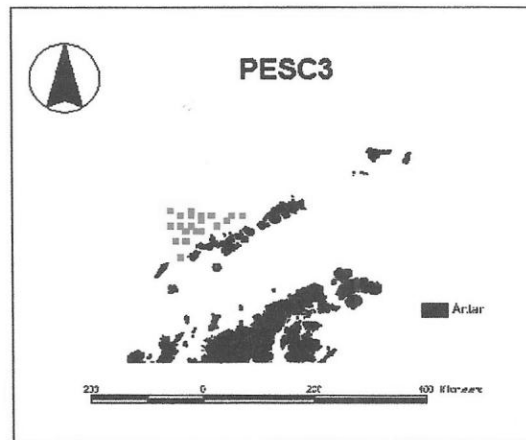


Fig. 4: Diagrama del modelo de pesca PESC3, los cuadrados rojos representan la ubicación de los buques pesqueros en el área de estudio (modificado de Marín y Delgado, 2001)

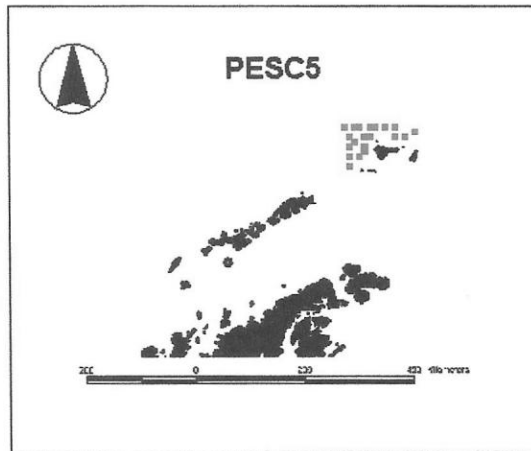


Fig. 5: Diagrama del modelo de pesca PESC5, los cuadrados rojos representan la ubicación de los buques pesqueros en el área de estudio (modificado de Marín y Delgado, 2001)

En cada corrida del modelo se incorporó un flujo de kril variable desde el Oeste. Este flujo consistió en una secuencia de 6 días que se repitió durante los 150 días de iteración. La secuencia consistió en seis valores diarios: 15000, 15000, 15000, 0, 0, y 32000 toneladas. Los valores usados se basaron en el reporte del taller de evaluación de factores del flujo de kril (SC-CCAMLR-XIII, 1994). El valor inicial de kril en el área de estudio fue generado utilizando las estimaciones realizadas por AMLR de NOAA y extrapolándolas al área de estudio (Marín y Delgado, 2001) Se analizó el efecto de cada tipo de pesca en la disponibilidad de kril para cada ítem depredador por separado y para todos los ítems depredadores juntos a las diferentes escalas. También se analizó la relación entre la disponibilidad de kril y la biomasa remanente de kril para cada depredador a gran escala y a escala local. Se denominará de ahora en adelante escala local a sectores específicos de cada isla, y gran escala a toda el área de estudio.

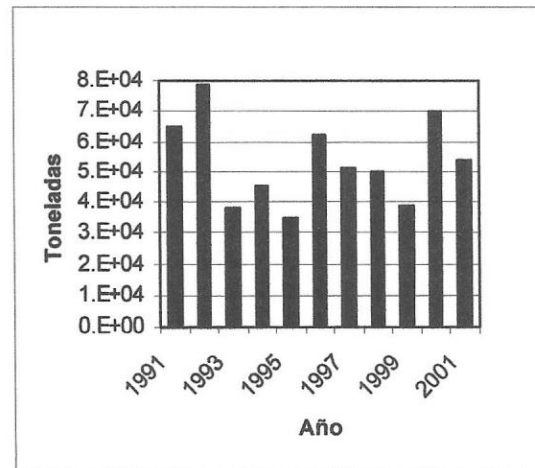


Fig. 6: Captura de kril en el Subárea 48.1 entre los años 1992/2001(Fuente Boletín Estadístico de CCRVMA, 2002)

Supuestos

Los supuestos en los que se basó la implementación de los modelos fueron:

- Con respecto al kril solo es tomado en cuenta el movimiento horizontal del kril debido a la advección. Miller y Hampton, (1989), Everson y Murphy (1987), Huntley y Niiler (1995) afirman que la circulación oceánica es el factor principal ambiental en la distribución total y movimiento de kril antártico. Este supuesto ha sido usado por el Comité Científico de CCRVMA en el cálculo del flujo de kril a través de la Subárea 48,1 (SC-CCAMLR-XIII, 1994). Por otra parte Schneider (1994) dice que aún si bien el kril individual tiene suficiente fuerza locomotriz para superar el movimiento del agua, parches de escala mayor a un kilómetro pueden ser considerados hasta cierto punto, solo dependientes de la hidrodinámica (fide Marín y Delgado, 2001).
- Los parches de kril se encuentran cercanos a la costa (prof. $\leq 200\text{m}$) y la biomasa inicial de kril en el área de estudio es de 3×10^6
- La velocidad de la corriente es uniforme a lo largo del área de estudio y tiene un

valor de 0,1 m/s. Este valor es comparable con el promedio de la velocidad reportada en el área de la Península Antártica (Ichii y Naganobu, 1996).

- Al constituir las colonias de lobo fino en el área de estudio una población tan pequeña, alrededor de 20000 ejemplares, se supuso que el 100% de las hembras estaba forrajeando. Además se simuló a todas las hembras de lobo fino antártico forrajeando al mismo tiempo. Esto se hizo con el fin de maximizar el consumo de las colonias de lobo fino. A pesar de esto, los resultados están muy por debajo de las estimaciones hechas por el comité científico a los depredadores basados en tierra en las islas Shetland del Sur (8,3 x 10⁵ toneladas SC-CCAMLR-XVIII, Anexo 4, párrafo 6.20).
- Se usó para el modelo una biomasa de peces homogénea entre los 0 y 1000 m con un valor de 3,27 toneladas km⁻², y un consumo de kril promedio de 5% de su peso corporal (Kock, 1992)
- Los parches de kril ocupan principalmente zonas cercanas a la costa (profundidad ≤ 200 m).
- Los parches de kril ingresan al área de estudio por el oeste debido a que es la dirección dominante de la corriente que moviliza los parches de kril en el área de estudio.
- Debido a la escala de tiempo del modelo (5 meses) no es evaluado en el modelo como afectaría el consumo de la flota pesquera y los depredadores en la estructura poblacional del kril y su tasa de crecimiento
- La dieta de cada ítem depredador consistió en 100% de kril antártico. Esto con la base de que en el área de estudio *Euphausia superba* es el zooplanktonte más abundante (Mújica, 1999; Raymont, 1983; Kirkwood, 1982; Jazdzewski et al, 1978) y el principal ítem alimenticio en la dieta de muchos peces, calamares, aves marinas y

mamíferos marinos (Reid, 1995; Daneri y Coria, 1992; Schlatter, 1987; Torres et al., 1988).

Métodos

La primera etapa consistió en el desarrollo de un modelo conceptual del ecosistema y sus componentes (Fig. 7). Después de definir los componentes, basado en la aproximación poblacional-comunitaria, se recopilaron datos bibliográficos necesarios para desarrollar las variables de estado en forma numérica. Luego de tener los datos necesarios se modificó y desarrolló un modelo del ecosistema en el área de estudio generado por Marín y Delgado (2001).

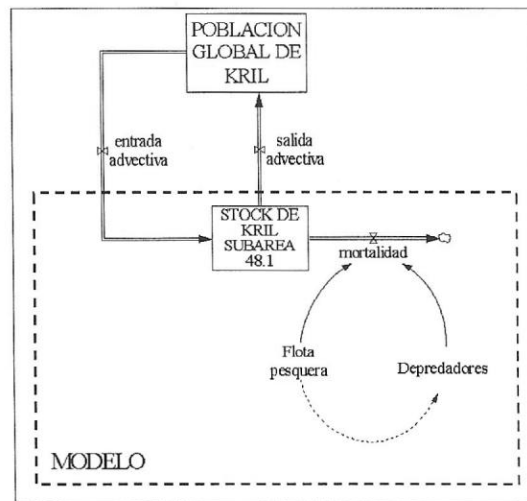


Fig. 7: modelo de los componentes del sistema en estudio

El modelo se corrió con cada ítem depredador por separado y también todos los ítems depredadores. Los modelos de pesca PESC3 y PESC5 se corrieron junto a todos los ítems depredadores.

Dentro de los análisis realizados, se analizó la importancia de cada depredador en el consumo total de kril. También se analizó el efecto de los distintos tipos de pesca en la biomasa remanente de kril. Se hizo un análisis de disponibilidad de kril v/s biomasa remanente para cada ítem depredador a

escala local y a gran escala. Se hizo una regresión lineal para calcular la mínima disponibilidad de kril para cada depredador.

Componentes biológicos del modelo

Krill antártico *Euphausia superba* (Dana, 1850).

Crustáceo de la familia *Euphausiidae*. Tiene distribución circumpolar bajo los 60° S. Su longitud máxima es de 7,0 cm. y peso es de alrededor de $1,5 \times 10^{-3}$ Kg. (Kils, 1983). En la temporada estival se producen grandes concentraciones en zonas antárticas. Es el eufausido más abundante y uno de los componentes más numerosos del zooplancton antártico; constituyendo uno de los pilares de la malla trófica del ecosistema marino. El del kril antártico tiene la madurez sexual alrededor de los 2 años y llega a vivir 5 años. Tiene un gran valor nutricional y es utilizado como complemento alimenticio para animales y para el consumo humano (Grantham, 1979)

Depredadores del krill

Con la información recopilada fue posible incluir cuatro ítems depredadores en el modelo. Aunque algunos, como en el caso de del pingüino papua, se presentan en colonias pequeñas en la zona norte de las islas. Sin embargo, la sumatoria total de los ítems hace importante que sea incluido cada uno de ellos.

Pingüinos

Se supuso que ambos pingüinos se alimentan exclusivamente de kril. Debido a la disponibilidad de este en el área de estudio (Torres, 1982; Schlatter, 1987). Se supuso además que la población está dividida en parejas con una cría, y que solo un miembro

de la pareja sale a cazar (Trivelpiece y Volkman, 1979).

Pingüino de Barbijo *Pygoscelis antarctica* (Foster, 1781)

Este pingüino vive en aguas cercanas a la Antártica. Anida una vez al año en islas donde se reúnen en grandes colonias. Un adulto llega a medir entre 68 y 76 cm. y pesar entre 4 y 7 Kg. Se alimenta prácticamente en su totalidad de kril antártico. En el modelo se usó una distancia de forrajeo de 36 ± 2 km, y un ángulo de forrajeo de 40° a cada lado de la línea perpendicular a la costa (Marín y Delgado, 2001; Agnew y Pegan, 1995). La duración del viaje de forrajeo usada fue de 16,7 horas, con un contenido estomacal de 0,5 Kg por viaje (Croxall et al. 1988). Se usó una tasa de consumo máximo al día de 1,0 Kg (Ichii et al. 1994, Mangel and Switzer 1998)

Pingüino Papua *Pygoscelis papua* (Foster, 1781)

Este pingüino se ubica en el océano glacial antártico durante todo el año. La población total de estos pingüinos en 1990 se estimaba alrededor de unas 300 mil parejas. Nidifica una vez por año, en las islas oceánicas y en la península Antártica. *P. papua* llega a medir entre 70 y 80 cm de longitud, con un peso que oscila entre los 5 y 8 Kg. Las poblaciones que habitan cerca de la península antártica y al sur se alimentan principalmente de kril antártico. En el modelo se usó una distancia de forrajeo de 18 km (Agnew and Pegan, 1995) y un contenido estomacal de 0.52 Kg.

Lobos Marinos (Pinipedios)

Lobo Fino Antártico *Arctocephalus gazella* (Peters, 1875)

Esta especie de lobo marino se encuentra presente en la mayoría de las islas ubicadas al sur de la convergencia Antártica (Shetland del Sur, Orcadas del Sur, Georgia del Sur, Sándwich del Sur, Bouvet, Kerguelen y

Heard). Los machos adultos alcanzan una longitud de hasta 2 mts. y un peso entre 90 y 210 Kg. Por otro lado las hembras son más pequeñas alcanzando una longitud de 1,2 a 1,4 m. y un peso de 25 a 55 Kg. Habita lugares muy rocosos, escarpados y sometidos a intenso oleaje (Bonner, 1968). Se alimenta fundamentalmente de kril antártico (Bonner, 1968; Sielfield, 1983; Schlatter, 1987; Miller and Hampton, 1989; Green et al., 1989; Daneri and Coria 1992; Reid, 1995). Su población en el área de estudio es en la actualidad cercana a los 20000 individuos (Hucke-Gaete *et al.*, 2001). En el modelo se usó un rango de forrajeo de 83,3 Km y una duración promedio de forrajeo de 4,5 días. Para calcular el consumo de kril durante el viaje se hizo un calculo fisiológico usando el FMR (tasa metabólica de campo) que consiste en gasto metabólico durante el viaje de forrajeo 9,73 W/Kg. (Costa et al 2000). Este valor se transformó a kilogramos de kril y se le sumó al contenido estomacal de la hembra 1,35 Kg. (Costa et al 1999), lo que dio como resultado un consumo total de 28,47 Kg. por viaje de forrajeo (Anexo 2)

Se supuso que el número de hembras era igual al número de crías. Esto esta de acuerdo con su estructura poblacional (machos 58,8%; hembras 21%; crías 20,2%; Bengtson J. L. et al., 1990), que dan una razón hembra / cría de 1,03/1, por lo que se estima que el valor de individuos en el agua es igual al número de crías. Se usó el valor del censo de *Arctocephalus gazella* en las Islas Shetland del Sur para la temporada 2001/02 que dio un total de 9842 crías vivas (Hucke-Gaete *et al.*, 2002)

Peces

Los peces antárticos están adaptados a vivir en aguas que tienen temperaturas que oscilan entre -2° y 6° . Las especies incluidas en el modelo corresponden a las familias Nototheniidae y Channichthyidae que son aquellas más ampliamente distribuidas y abundantes en el área de estudio. El 97% de las especies son endémicas (Eastman et. Al,

2000). Los peces antárticos se alimentan de kril antártico además de anfípodos y salpas. Se supuso que los peces se alimentaban exclusivamente de kril debido a que es muy abundante en el área de estudio. Se usó para el modelo una biomasa de 3,27 toneladas por km^2 entre los 0-1000 mts. de profundidad, y un consumo diario por pez es de un 5% de su peso corporal (Kock, 1992) Estos datos fueron utilizados para calcular el consumo del ítem peces (Anexo 2)

Para esto se agregó al modelo original otros depredadores, grandes consumidores de krill como ballenas y cefalópodos por falta de información. Se construyeron grillas de forrajeo para cada depredador. Es importante hacer notar que se usó la denominación ítem depredador ya que no se clasificó a todos los depredadores por especie debido a la falta de información. Estas grillas consisten en áreas ubicadas geográficamente, las que son capaces de representar la actividad de alimentación de los depredadores en una zona determinada y su variabilidad espacial. Estas grillas se construyen primero definiendo áreas de forrajeo para cada ítem depredador. Estas áreas de forrajeo consisten en zonas donde los individuos de una colonia determinada son capaces de alimentarse. Esta capacidad esta definida por los viajes de forrajeo de los individuos de la colonia, o sea, la distancia que se aleja un individuo de la colonia para alimentarse. Estas áreas de forrajeo se transformaron en grillas, usando un tamaño de celda de $85,75 \text{ km}^2$. Esta área corresponde al cuadrado de la distancia que recorre (9,26 Km) el contenido de una celda a la velocidad de 0,1 m/s hasta llegar a la siguiente celda en cada iteración (24 h) Los valores de cada grilla de forrajeo corresponden a toneladas por día.

Resultados

Es importante destacar que al correr el modelo y observar la variación de la biomasa de kril en el área de estudio solo debido al proceso de advección (transporte de kril por

corrientes) se puede observar una clara disminución la que finalmente se estabiliza cerca de las $8,8 \times 10^5$ toneladas (Fig. 8) esta variación se debe exclusivamente a factores físicos, como es el sistema de circulación oceánica y las condiciones iniciales y de borde de biomasa.

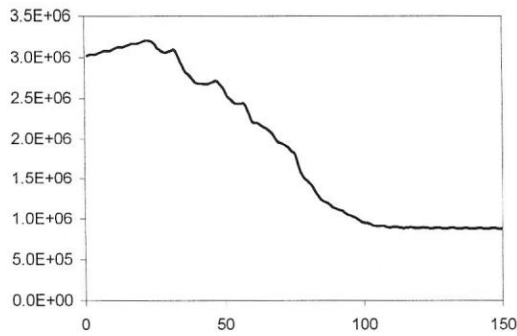


Fig. 8: Variación de la biomasa de kril debido solo al efecto de la advección.

Importancia de los depredadores con respecto al consumo total

El consumo total de los depredadores en el área de estudio durante los 150 días fue de $4,4 \times 10^5$ toneladas. Los resultados mostraron que el ítem peces es el que tiene el mayor consumo con un total de $3,8 \times 10^5$ toneladas. Esto representa cerca del 86 % del consumo total de los depredadores. El ítem depredador que lo sigue es *Pygoscelis antarctica* con un total de $5,9 \times 10^4$ toneladas, el que corresponde al 13.1% del consumo total. *Arctocephalus gazella*, a pesar de ser el depredador basado en tierra de mayor tamaño incluido en el modelo, representa un consumo total de solo $4,0 \times 10^3$ toneladas, correspondiendo a un 0,9% del consumo total. *Pygoscelis papua* presenta el consumo más bajo con $2,5 \times 10^2$ toneladas, y correspondiendo al 0,056% del consumo total. El consumo de todos los depredadores en el modelo de $4,5 \times 10^5$ toneladas.

Los resultados del modelo fueron graficados por depredador y consumo total (Fig. 9). Se aprecia que después de alrededor de los 75 días el consumo se comienza a estabilizar.

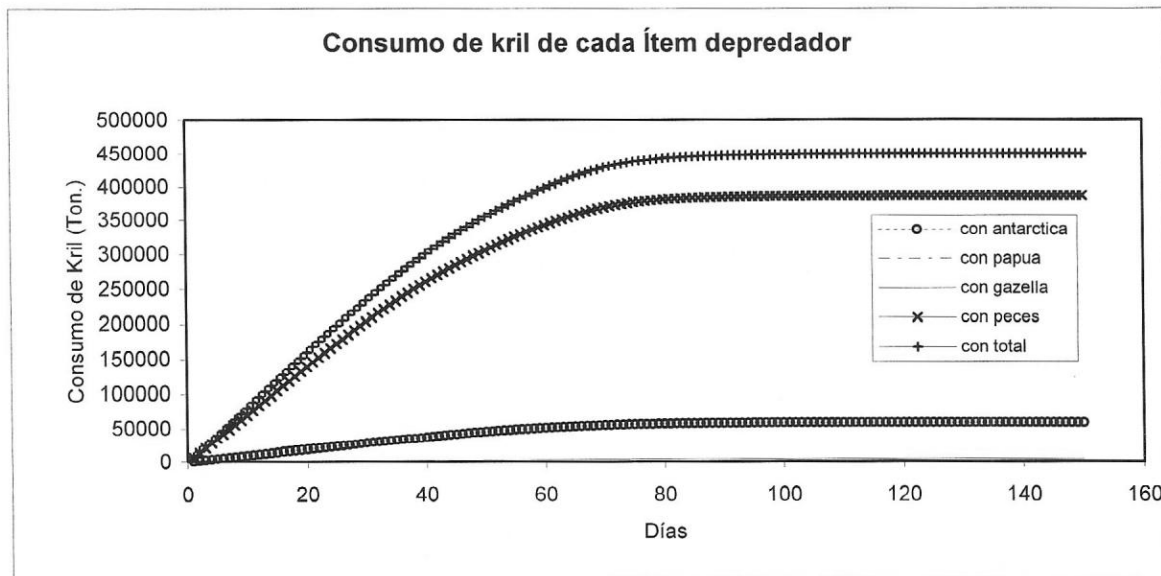


Fig. 9: Gráfico del consumo diario de kril por depredadores y consumo diario de todos los depredadores(línea superior)

Comparación de dos modelos de pesca

Los resultados indican que el tipo de pesca PESC3 tiene un efecto más negativo sobre la biomasa de kril remanente que el modelo PESC5, coincidente con lo obtenido por

Marín y Delgado (2001). El consumo total con el modelo cpf2 que incluye a los depredadores y los modelos de pesca PESC3 es de $5,9 \times 10^5$ toneladas y $7,1 \times 10^4$ toneladas más que el consumo total del modelo de pesca PESC5 (Fig. 10)

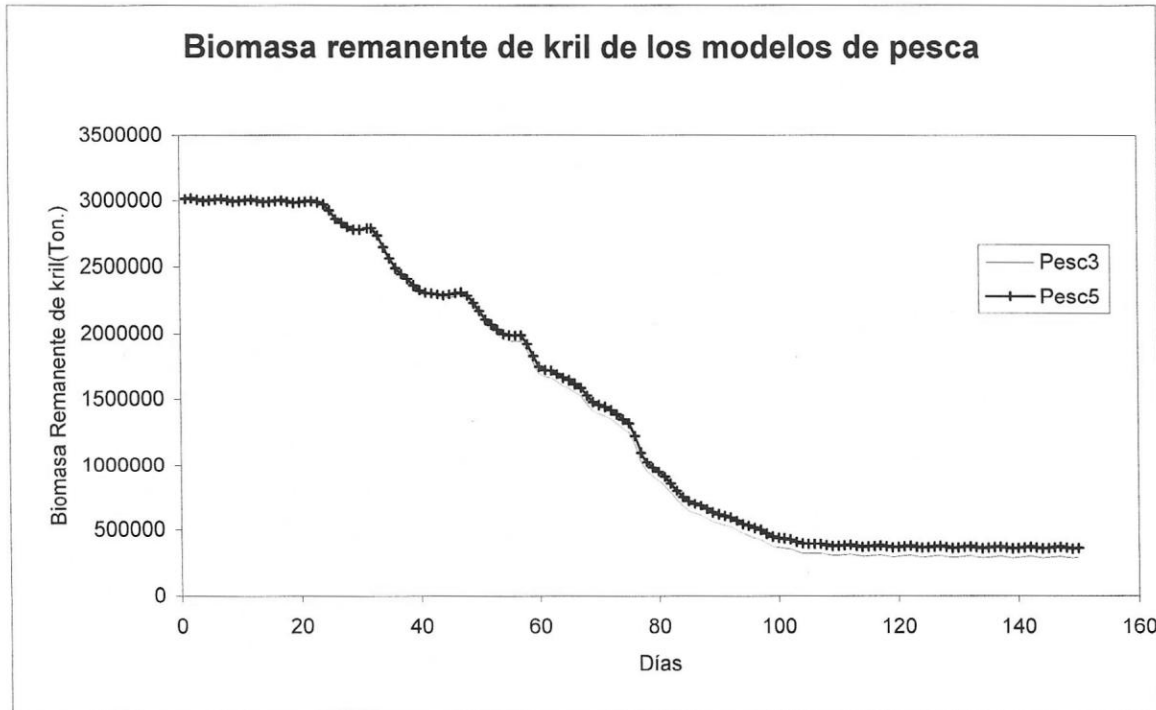


Fig. 10: Biomasa remanente de kril para los modelos de pesca PESC3 (línea continua) y PESC5 (línea punteada)

El kril capturado por la flota pesquera tipo PESC3 tiene un valor de $1,4 \times 10^5$ toneladas y corresponde a aproximadamente al 23,4% del consumo total. La flota pesquera tipo PESC5 tiene una captura de $6,6 \times 10^4$ toneladas y representa un 12,8% del consumo total.

Si pensamos en el menor impacto de la pesca sobre el ecosistema, el modelo PESC5, o sea, la pesca dirigida a los alrededores de la isla Elefante es la que provoca una menor disminución en la biomasa de kril disponible para los depredadores naturales.

Sin embargo, su impacto local en Isla Elefante es una disminución de la biomasa de kril remanente a valores negativos cercanos al cero (Fig. 11). No existe una mayor diferencia entre el efecto de los depredadores y los depredadores con la flota pesquera en la variación de la biomasa de kril en isla Elefante. Solo alrededor del día 80 comienzan a observarse diferencias entre ambos, cayendo la curva que incluye al modelo de pesca PESC5 a valores negativos cercanos a cero (Fig. 11).

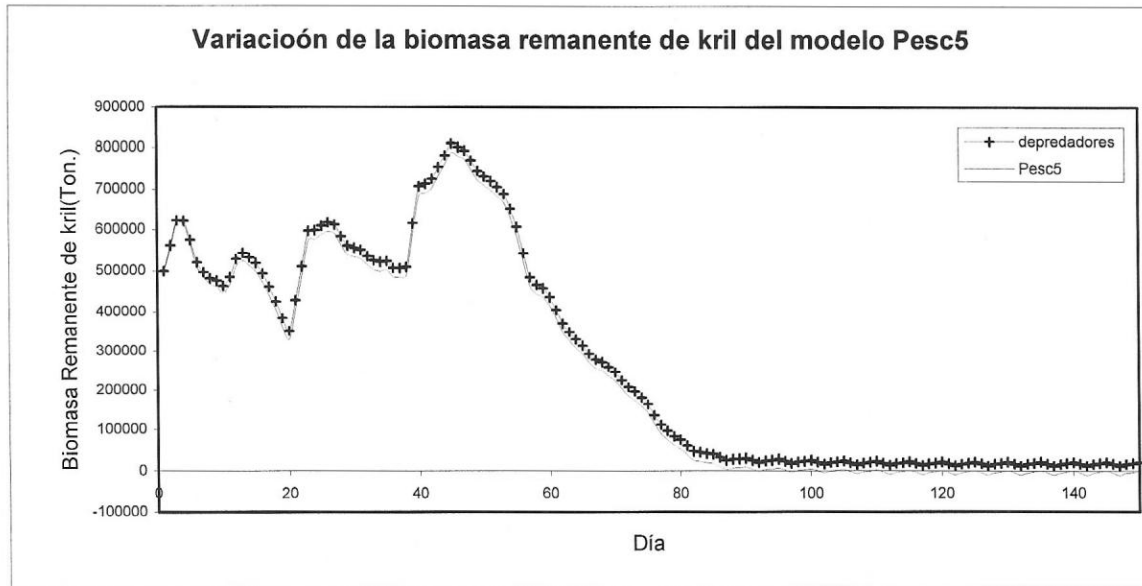


Fig. 11: Variación de la biomasa restante de kril debido a la pesca tipo PESC5 en Isla Elefante. La línea marcada corresponde al remanente de los depredadores y la línea continua corresponde al consumo de los depredadores y el modelo PESC5.

El modelo PESC5 en Isla Rey Jorge produce, luego de 70 iteraciones, una caída de la biomasa a valores negativos, los que se estabilizan alrededor de las $-1,7 \times 10^4$

toneladas de kril. Sin embargo, es importante hacer notar que no existen diferencias entre la biomasa remanente de kril con o sin la presencia de la flota pesquera (Fig. 12).

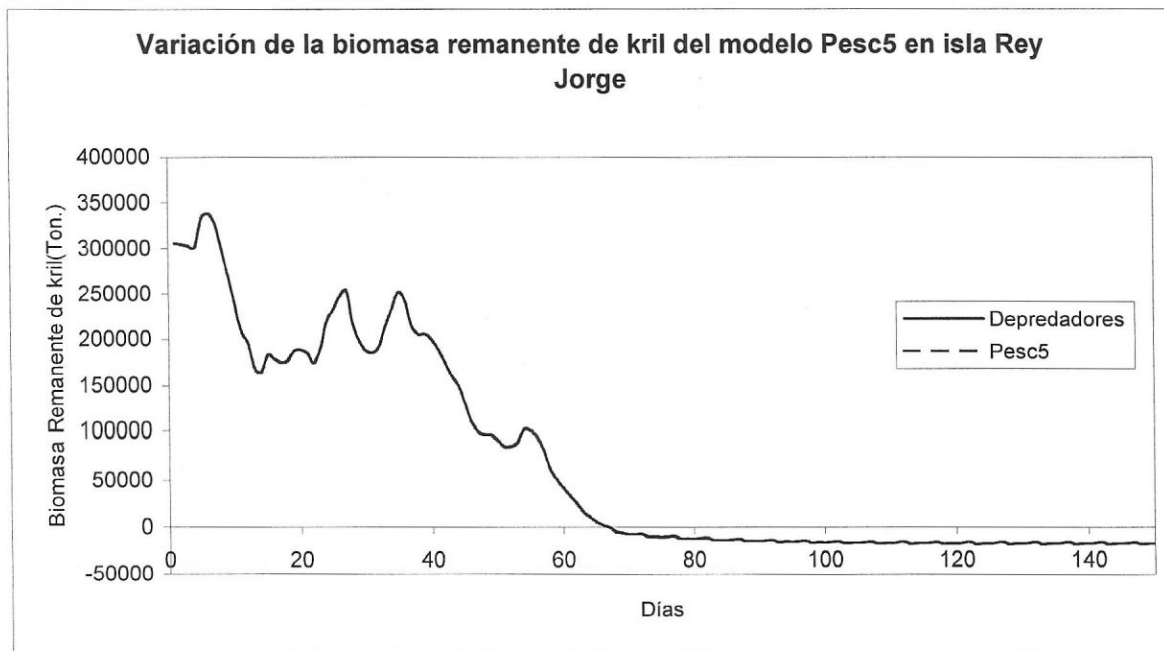


Fig. 12: Variación de la biomasa remanente en isla Rey Jorge por efecto de PESC5.

En isla Livingston no se observan diferencias en la variación de la biomasa remanente de

kril entre depredadores y, los depredadores y el modelo de pesca PESC5 juntos.

Para el caso del modelo de pesca PESC3 en isla Rey Jorge se puede observar que después de los 60 días se produce una caída de la biomasa remanente de kril a valores

negativos que se estabilizan en $-3,4 \times 10^4$ toneladas (Fig. 13). Esta es la caída más importante de la biomasa de kril en el modelo.

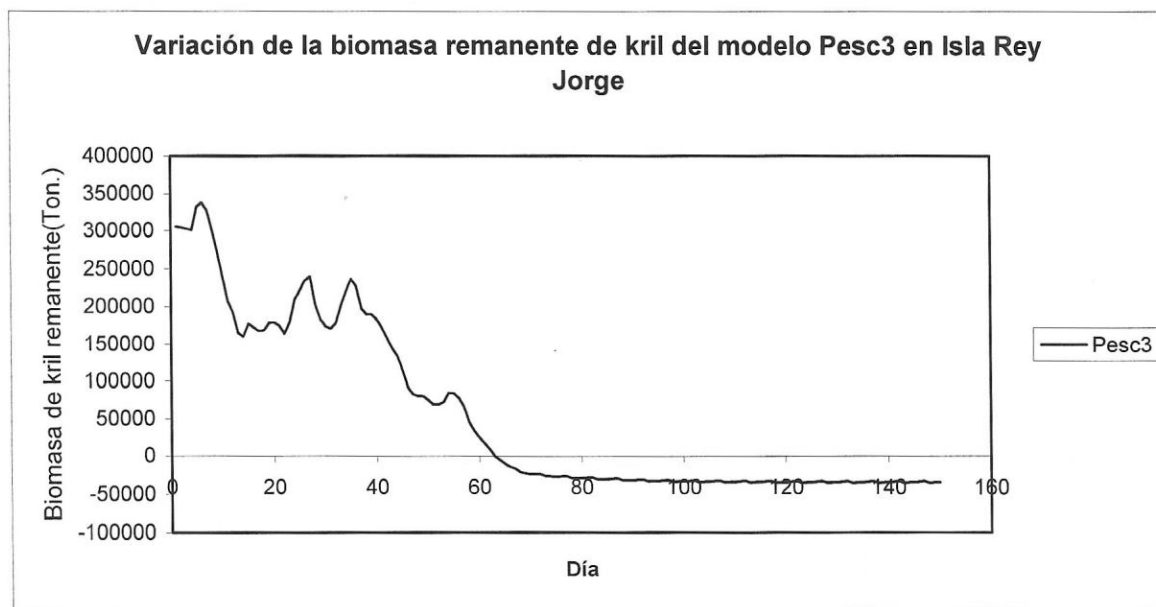


Fig. 13: Variación de la biomasa restante de kril debido a la pesca tipo PESC3 en Isla King George.

En el caso de isla Elefante no parece haber efecto del modelo de pesca PESC3 en la biomasa de kril. El gráfico muestra que no existe diferencias entre la biomasa remanente de kril entre la presencia de los depredadores y los depredadores con la flota pesquera. La biomasa de kril remanente del modelo que incluye la flota pesquera empieza a caer hasta llegar a valores negativos que se mantienen cercanos a cero (Fig. 14).

Estos resultados indican que tomando en cuenta los valores de captura de la flota pesquera usados en el modelo se deben replantear los límites de captura y definir áreas buffer cercanas a las islas donde no debiera actuar la flota pesquera.

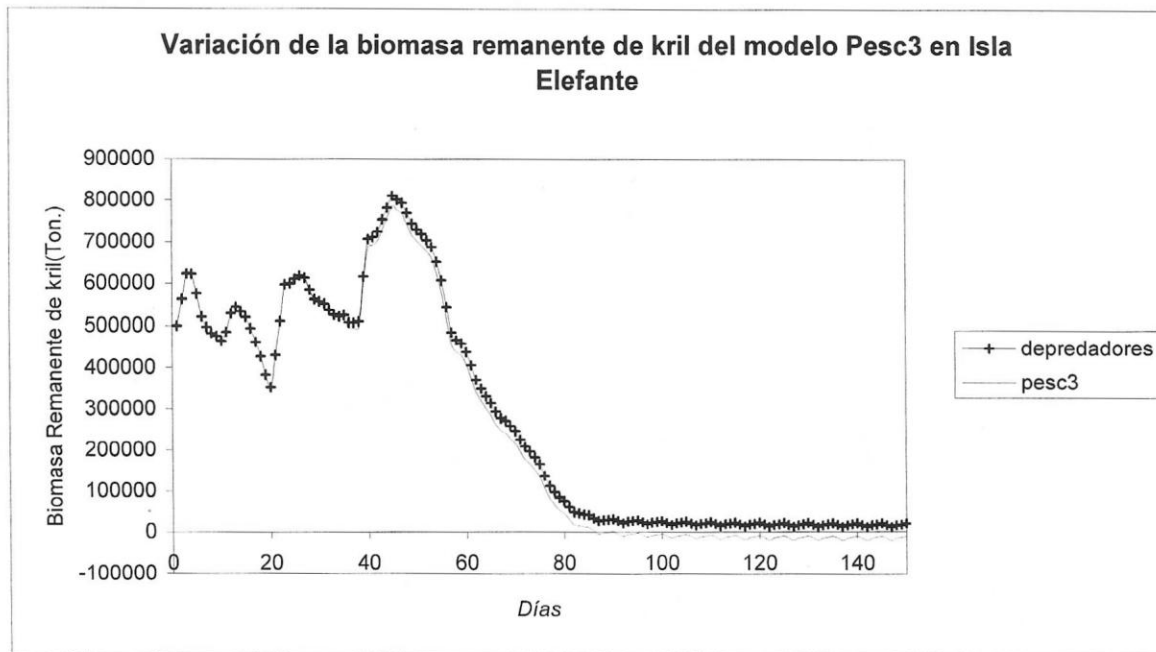


Fig. 14: variación de la biomasa de kril remanente en isla Elefante. La línea marcada muestra la variación debido al consumo de los depredadores y la línea continua debido al consumo de los depredadores junto al modelo de pesca PESC3.

El efecto del modelo PESC3 en la Isla Livingston no es tan importante como en las otras islas. De todas formas hay una caída en

la biomasa llegando a valores mínimos cercanos a las $3,5 \times 10^3$ toneladas (Fig. 15).

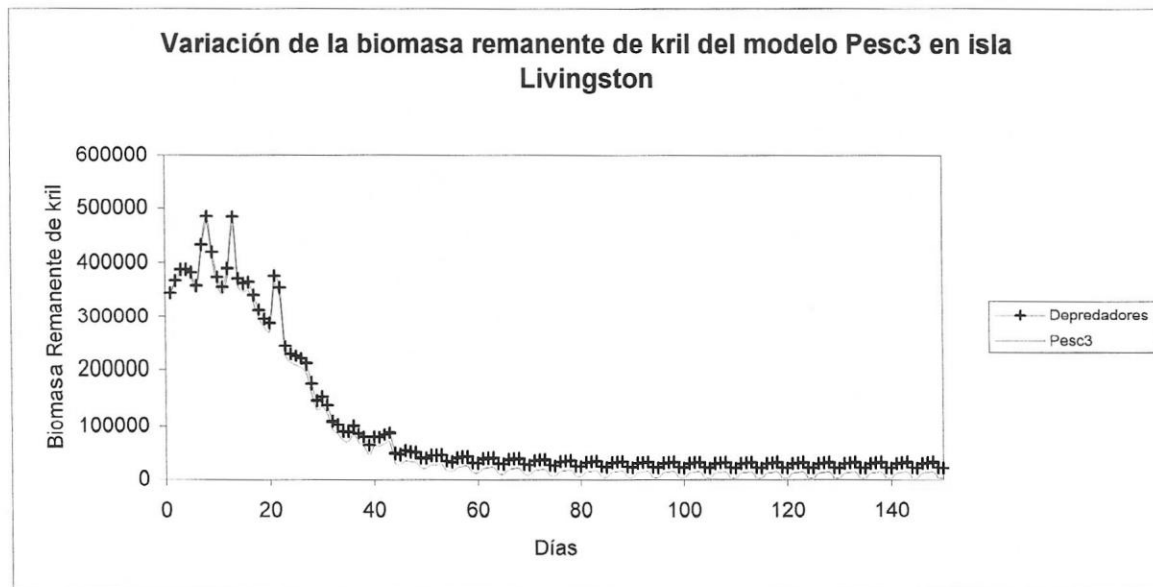


Fig. 15: variación de biomasa de kril remanente en Isla Livingston por efecto de PESC3. La línea marcada corresponde al consumo de los depredadores, la línea continua corresponde al consumo de los depredadores junto a PESC3

Disponibilidad Mínima de kril

Al hacer una relación entre la disponibilidad de kril en el área de estudio con la biomasa de kril remanente y el consumo de los depredadores y la flota pesquera, se pudo observar que existe una correlación lineal

entre la disponibilidad de kril del sistema y biomasa remanente de kril (Fig. 16). Esto implica que de la cantidad de kril disponible dependerá el kril remanente en el sistema para los otros depredadores. Esto es más evidente al observar a gran escala, o sea, tomando el sistema en estudio en su totalidad.

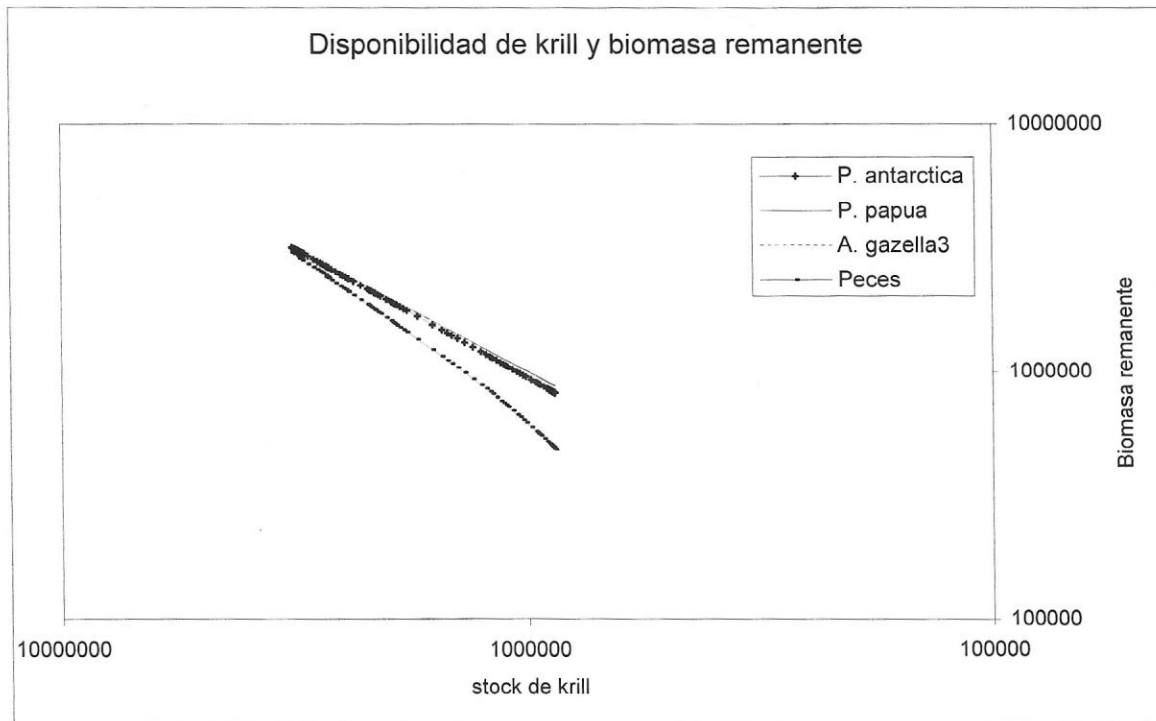


Fig. 16: Relación entre la disponibilidad de kril del sistema (eje x) y la biomasa remanente de kril a gran escala (eje y) al consumo de cada depredador.

A escala local también se puede observar una correlación lineal entre la disponibilidad de kril la y la biomasa remanente de kril de los depredadores y la flota pesquera aunque la relación no es lineal. Lo que se traduce en

que existe más de un valor para un mismo valor de kril disponible. Esto se debe a que hay ingreso de nuevo kril al sistema por las mayores variaciones de la biomasa de kril a escala local (Fig. 17-19).

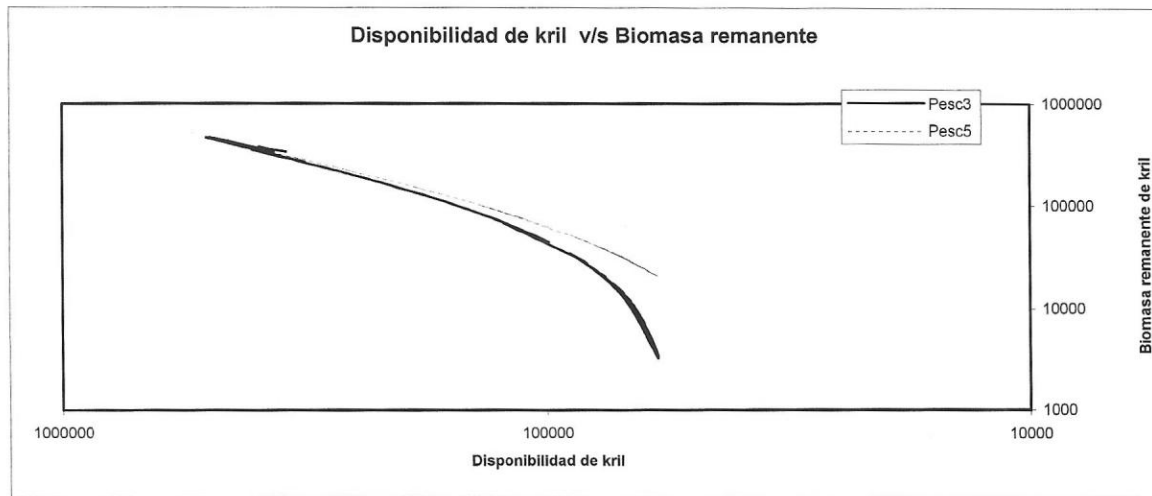


Fig. 17: Relación entre la disponibilidad de kril del sistema (eje x) y la biomasa remanente de kril en isla Livingston(eje y) La línea continua corresponde a PESC3 y la punteada a PESC5

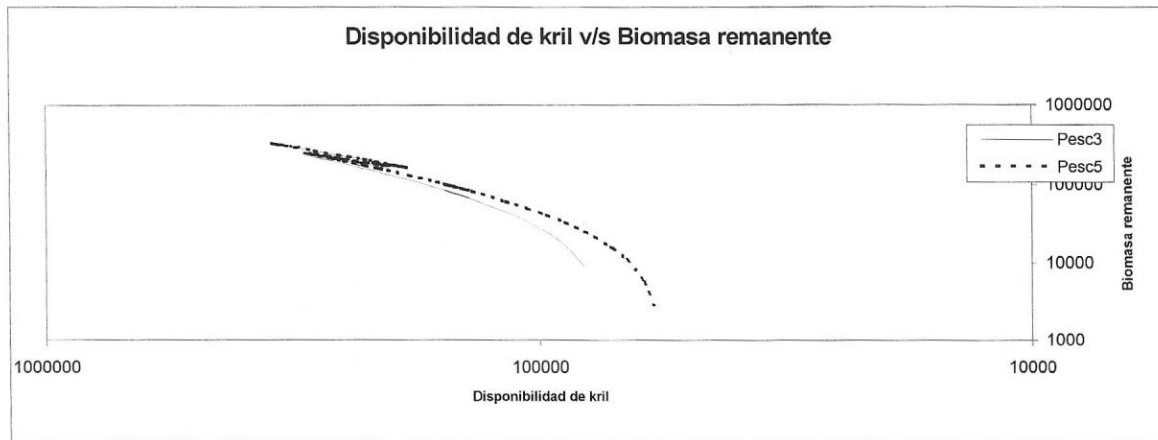


Fig. 18: Relación entre la disponibilidad de kril (eje x) y la biomasa remanente de kril en isla Rey Jorge(eje y). La línea continua corresponde a PESC3 y la punteada a PESC5.

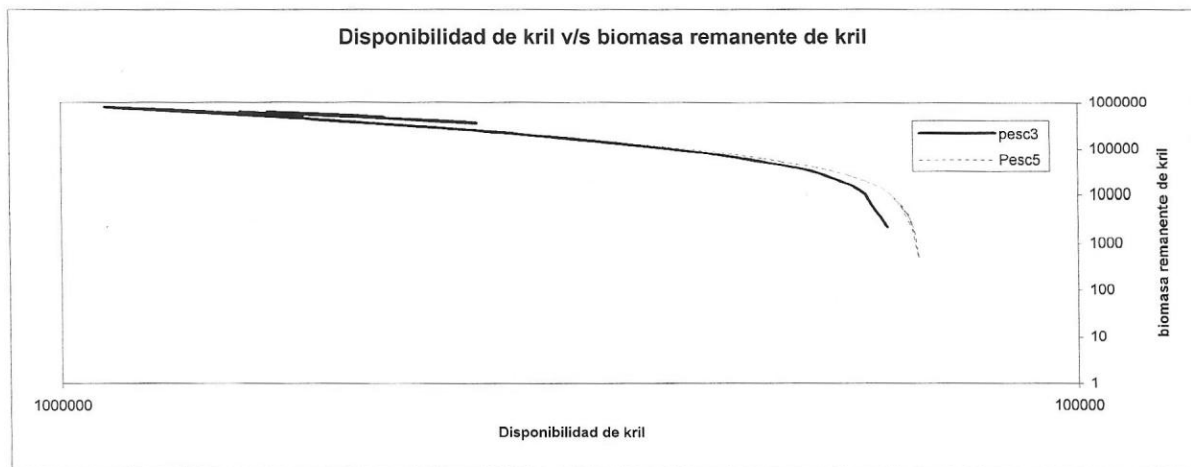


Fig. 19: Relación entre la disponibilidad de kril en el sistema y la biomasa remanente de kril en isla Elefante. La línea lila corresponde a PESC3 y la azul a PESC5.

Al hacer una relación entre la biomasa de kril remanente de los modelos de pesca a gran escala y su disponibilidad se puede observar

que el modelo de pesca PESC3 produce una caída más brusca en la biomasa de kril donde su disponibilidad es menor (Fig. 22).

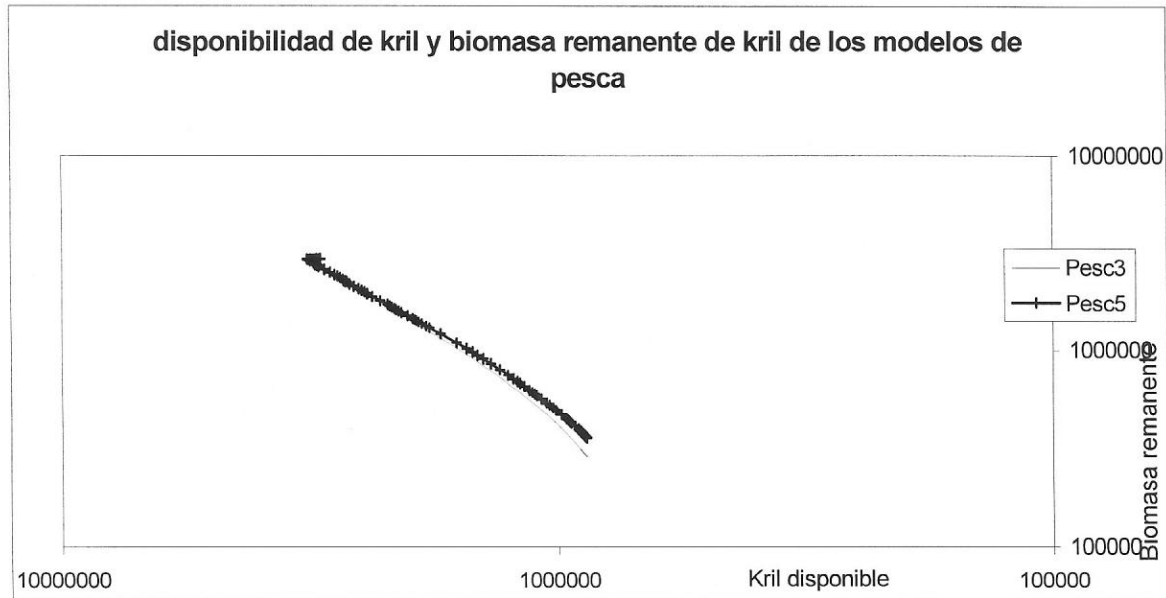


Fig. 20: Relación entre Disponibilidad de kril del sistema y la biomasa de kril remanente del modelo PESC3(línea lila) y PESC5(línea azul) .

Mediante una regresión lineal se calculó la mínima disponibilidad de kril necesaria para cada ítem depredador sin que el kril se agote a gran escala. Esto representaría el mínimo kril que debiera estar disponible en el área solo para los depredadores. Estos datos se presentan en la (Tabla 1). El cálculo se repitió considerando la disponibilidad de kril para cada depredador a escala local (Tabla 2).

Estos datos indican la mínima cantidad necesaria para cada depredador antes que se haga cero el remanente de kril. Esto implica que con este valor alcanza para sus necesidades, pero no alcanza para los otros depredadores, o mirado de otra forma, es el mínimo kril que debe haber disponible en el sistema para que el ítem depredador pueda alimentarse.

Con el fin de establecer cual de las islas es más vulnerable a la acción de la flota pesquera se hizo un análisis sobre los datos de disponibilidad de kril v/s biomasa de kril remanente de los modelos de pesca a escala local(Tabla 3).

Ítem Depredador	Mínimo kril disponible
P. antarctica	76110
P. papua	322
A. gazella	5341
Peces	453873
Depredadores	520589

Tabla 1: Disponibilidad mínima de kril a gran escala que tiene cada ítem depredador y todos los depredadores antes de que la biomasa de kril remanente se transforme en cero

Ítem depredador	mínima disponibilidad de kril		
	I. Living.	I. King George	Isla Elef.
Pygoscelis antarctica	8894	13509	16237
Peces	31049	47444	103270
Pygoscelis papua	33	28	67
Arctocephalus gazella	257	276	811

Tabla 2: Disponibilidad mínima de kril para cada ítem depredador a escala local

Los resultados indican que Isla elefante es la más sensible al efecto de la pesca ya que a valores más altos de kril disponible la biomasa de kril remanente se hace cero. Debido a la presencia de una mayor cantidad de depredadores alrededor de la Isla. También bajo estas condiciones la isla que resiste más el consumo de la flota pesquera es Isla Livingston

Modelo	Isla Livingston	Isla King George	Isla Elefante
PESC3	56631	69846	144898
PESC5	39501	55413	137925

Tabla 3: valores mínimos de kril disponible antes que el kril remanente de la flota pesquera se haga cero.

Discusión

El objetivo general de este estudio fue determinar si existe superposición espacial entre la flota pesquera de kril y sus depredadores naturales y estimar la biomasa mínima de kril que se debe tener el sistema disponible para los depredadores, de tal manera que permita la dinámica normal de sus poblaciones. Además, de acuerdo a los resultados obtenidos, cuales serían las alternativas más apropiadas para el manejo del recurso kril en el área de estudio.

Implicancias de una biomasa de kril menor a cero

Los resultados de los modelos de pesca muestran que a gran escala existe una disminución de la biomasa de kril remanente, pero esta se mantiene dentro de valores positivos y la pesca alrededor de Isla Elefante es la que tiene un menor efecto en la biomasa remanente de kril a gran escala. A escala local existe una superposición espacial de la flota pesquera y los depredadores, siendo especialmente evidente en Isla Rey Jorge e Isla Elefante. Allí la pesca provoca que la biomasa remanente de kril caiga a valores muy negativos.

Estos valores negativos tienen una relevancia no menor debido a que si bien se trató de

maximizar el consumo de depredadores, este se mantuvo siempre bajo las estimaciones hechas por CCRVMA y sin embargo el kril desapareció alrededor de estas islas. Por lo que se presume que la cercanía a las islas de la flota pesquera es lo que produce el efecto negativo. Además existe un efecto de cascada de oeste hacia este del efecto de la flota pesquera. Esto es muy claro observando el efecto de la pesca en Isla Livingston, esta fue la que produjo los valores más negativos en la biomasa de kril en Isla Rey Jorge. Debido a esto, a la hora de implementar una zona de protección como estrategia de manejo de kril en una isla específica es muy importante tener en cuenta este efecto pues si bien se quiere proteger las colonias de una isla en particular se debiera restringir la pesca de kril en esta isla y hacia el oeste. Finalmente es importante destacar que los valores de la biomasa de kril en el área de estudio podrían disminuir más si tomamos en cuenta que existen otros consumidores de kril en la zona que no fueron incluidos en el modelo como ballenas, cefalópodos y otras aves que según algunos autores llegarían a consumir entre 132 y 213×10^5 toneladas al año (Miller y Hampton, 1989) Por otro lado las tasas de consumo de estos grandes depredadores pueden decirnos que existe una biomasa de kril en la Subárea 48.1 mayor a la usada en el modelo.

Disponibilidad mínima de kril para los depredadores

Es muy importante para fines de manejo del recurso establecer la biomasa mínima de kril que debe estar disponible para los depredadores presentes en el área de estudio. La disponibilidad mínima de los depredadores que fueron utilizados en este trabajo es aproximadamente de $5,2 \times 10^5$ toneladas. Este valor es menor al de $8,3 \times 10^5$ toneladas estimado por CCRVMA para los depredadores basados en tierra (SC-CCAMLR-XVIII, Anexo 4, párrafo 6.20), lo que puede deberse a la falta de algunos depredadores en el modelo. A escala local Isla Elefante es la que tiene la mayor disponibilidad mínima de kril ($1,2 \times 10^5$

toneladas). Estos valores son muy cercanos a la biomasa total disponible, por lo que es muy probable que el stock de kril disponible en la subárea 48.1 este acercándose a la mínima necesaria para los depredadores.

De acuerdo con los resultados y debido a las características de la circulación que presenta el sistema, las estrategias de manejo deben tener una visión multi-escalar. Deben desarrollarse planes de manejo para toda la subárea 48.1, debido a que tiene una dinámica a gran escala caracterizada por la corrientes de advección que domina la distribución y abundancia de kril. Además deben implementarse estrategias de protección a escala local como unidades de extracción específicas para cada isla que dependan de las reales necesidades de los depredadores. Una alternativa de protección para los depredadores sobre todo los basados en tierra sería unidades de baja extracción de kril desde la costa hasta 100 Km. de las Islas. Una unidad de extracción es un área más pequeña que una Subárea estadística que permite un mejor manejo de los recursos. Esta actuaría como una zona buffer. Y no afectaría a la industria pesquera ya que las concentraciones de kril se mantienen más allá de esta zona. En esta zona buffer quedarían incluidas las áreas de forrajeo de todos los depredadores basados en tierra del área de estudio. Además esta medida podría favorecer la pesca de especies depredadoras del kril como Peces y Cefalópodos.

La imposibilidad de validar este modelo se debe primeramente a que los valores primarios del modelo son heurísticos y por otro lado al estar enfocado a un problema a gran escala, como son modelos ecosistémicos y de circulación oceánica se hace imposible llevar a cabo su repetición en campo o laboratorio.

Complejidad del modelo

La formación de concentraciones de kril es el resultado de varios factores interactuantes, factores físicos (circulación) y conductuales (permanencia del kril en corrientes lentas y

migración vertical). En el área de estudio se presentan corrientes lentas asociadas a vórtices cerca de las islas y corrientes rápidas cercanas al talud continental, lo que provocaría mecanismos de retención en el área (Ichii et al, 1996). Los valores negativos de la biomasa remanente de kril se podrían deber a que el modelo de circulación en el área de estudio, no incorporó los procesos físico de meso-escala que controlan la formación de parches de kril. Estos parches podrían estar asociados a vórtices, que tienen velocidades menores a las corrientes de advección de manera de que el tiempo de permanencia del kril en zonas cercanas a las islas se hace más largo. Estos tipos de vórtices son comunes en el área de estudio.

Por otro lado al usar los datos de flujo de kril de entrada y salida en el área de estudio (SC-CCAMLR-XIII 1994) se puede observar que los flujos de entrada son menores a los flujos de salida. Lo que puede deberse a que el kril puede estar llegando desde otras zonas de o que se está acumulando en zonas de las islas Shetland del Sur. Esto implica que podrían existir otros mecanismos que afectan los flujos de entrada y la distribución y abundancia de los parches de kril en el área de estudio.

Con el fin de afinar los modelos de circulación utilizados en este trabajo se deberían incluir en el futuro una mayor complejidad que estaría dada por la existencia de corrientes lentas y rápidas y la presencia de vórtices que afectarían la distribución y abundancia del kril en el área de estudio a escala local.

También es posible que la capacidad del kril para realizar migraciones verticales y movimientos independientes a las corrientes advectivas pueda afectar la distribución y abundancia de los parches de kril.

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo es muy importante redefinir los límites de captura para la Subárea 48.1 para mantener un stock de kril para los depredadores presentes en la temporada estival. También es recomendable especificar espacialmente las unidades de baja extracción (CCAMLR, 2002) propuesta para el manejo del recurso kril de acuerdo a las necesidades específicas asociadas a cada isla.

Finalmente la utilización de modelos numéricos para resolver problemas ambientales tiene la ventaja de que al generar ecosistemas virtuales se pueden evaluar daños a gran escala espacial sin tener que hacerlo en la naturaleza misma mientras su mayor desventaja es lograr que el modelo represente la complejidad de los sistemas naturales.

Referencias

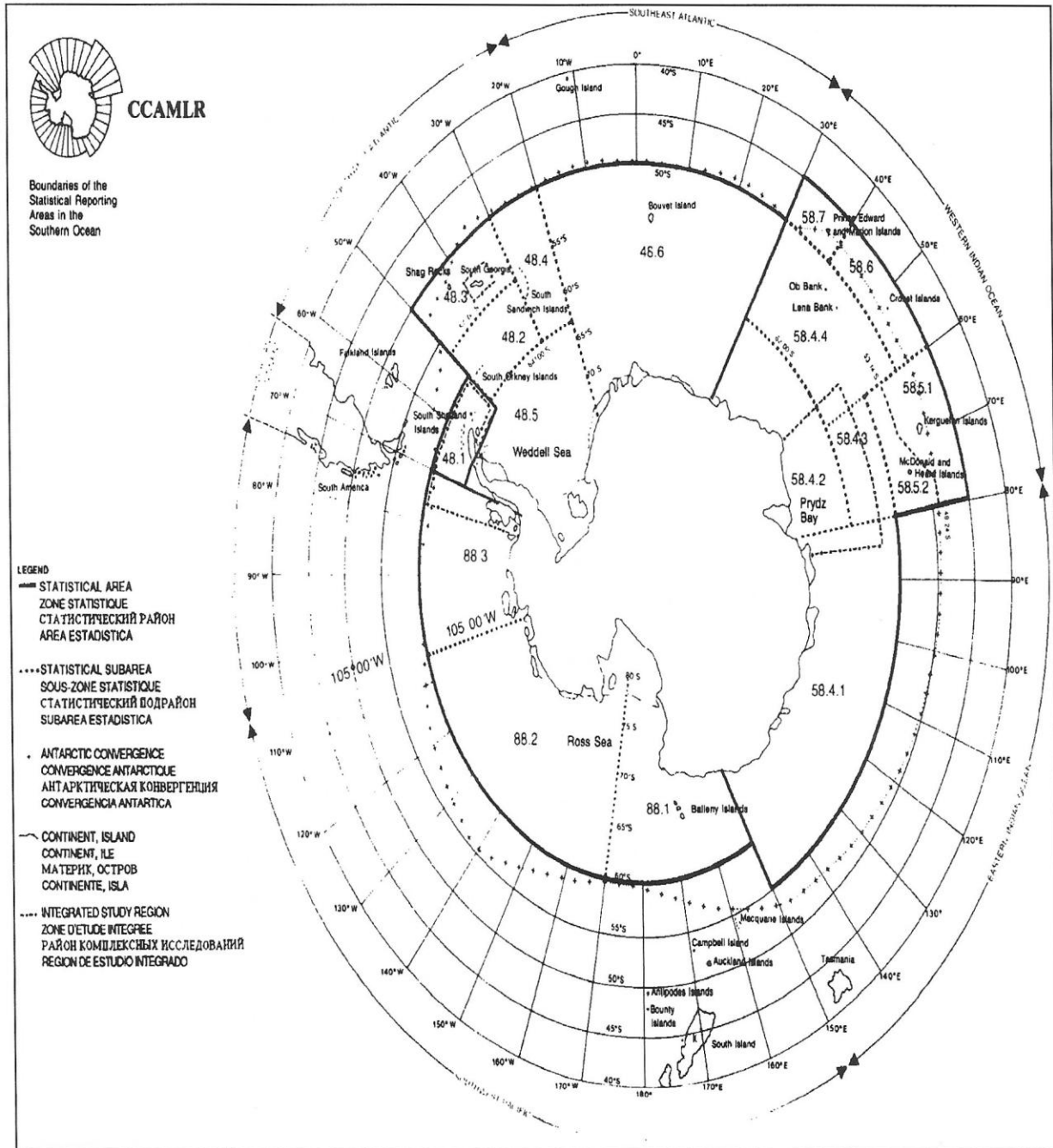
- Acevedo, J., V. Vallejos, R. Vargas, J.P. Torres & D. Torres. (2002) Informe Científico, ECA XXXVIII (2001/2002), Proyecto INACH-018, "Estudios ecológicos sobre el lobo fino antártico, *Arctocephalus gazella*", cabo Shirreff, isla Livingston, Shetland del Sur, Antártica. Instituto Antártico Chileno, abril de 2002. 71 pp. No publicado.
- Agnew, D.J. and Phegan, G. (1995) A fine-scale model of the overlap between penguin foraging demands and the krill fishery in the South Shetland Island and Antarctic Peninsula. *CCAMLR science*. Vol 2 pp. 99-1110
- Araya, B. y G. Millie (1998) Guía de Campo de las Aves de Chile. Chile. 8 edición
- Bengtson J.L., (1990) Abundance of Antarctic Fur Seals in the South Shetland Islands, Antarctica, During the 1986/87 Austral Summer. *Antarctic Ecosystems. Ecological Change and Conservation*. pp. 265-270
- Berman, M.S., A.L. Mc Vey and G. Ettershank (1989) Age determination of Antarctic krill using fluorescence and image analysis of size. *Polar Biol.* 9:267-271
- Boletín Estadístico (2002), Vol. 14. CCRVMA. Hobart. Australia
- Bonner, W.N. (1968) The fur seal of South Georgia. *Sci Rep Br Antarct Surv.* 56:1-81
- Brinton, E. And A.W. Townsend (1984) Regional relationships between development and growth in larvae of Antarctic krill
- Costa, D.P., Goebel, M.E. and Sterling, J.T. (2000) Foraging Energetics and diving behavior of the Antarctic fur seal, *Arctocephalus gazella* at Cape Shirreff. Livingston Island. *Antarctic Ecosystems: Models for Wider Ecological Understanding*. W. Davisons, Howard-Williams, C. and Broady, P. eds. New Zealand Natural Sciences Press. Christchurch NZ.
- Croxall, J.P. & Kirkwood, E.D. (1979) The Distribution of Penguins on the Antarctic Peninsula and Islands of the Scotia Sea. Cambridge: British Antarctic Survey Bulletin, 81, 19-30
- Croxall, J.P., T.S. McCann, P.A. Prince, and P. Rothery (1988) Reproductive performance of seabirds and seals at South Georgia and Signy Island, South Orkney Island, 1976-1987: Implications for Southern Ocean monitoring studies. Pages 261-285 in D. Sahrhage, editor. *Antarctic Ocean and resources variability*. Springer-Verlag, Berlin, Germany
- Croxall, J.P., Prince, P.A., Hunter, I., Mc Innes, S.J. & Copestake, P.G. (1984b) The seabird of the Antarctic Peninsula, Islands of the Scotia Sea, and Antarctic Continent between 80°W and 20°W their status and conservation In: Croxall, J.P., EVANS, P.G. H & SHREIBER, R.W. (Editors) *Status and Conservation of the World's Seabird* ICBP Technical Publication, 2, 637-666
- Croxall, J.P., EVANS, P.G. H & Daniels, R.A. (1982) Feeding ecology of some fishes of the Antarctic Peninsula, *Fish Bull.* 80(3) 575-588

- Chekunova, V.I. and Naumov, A.G., (1982) Energy metabolism and food requirements of the marbled notothenia, *Notothenia rossi marmorata* (Nototheniidae) J. Ichthyol. 22(2): 112-121
- Chuviezo Emilio (2002) Teledetección Ambiental: la observación de la tierra desde el espacio. Barcelona. Ariel Ciencia
- Daneri G., Coria N (1992) The diet of Antarctic fur seals, *Arctocephalus gazella*, during Summer-Autumn period at Mossman Peninsula, Laurie Island (South Orkneys) Polar Biol II: 565-566
- Eastman, J.T. and McCune, A.R. (2000) Fishes on the Antarctic continental shelf: evolution of a marine flock? Journal of fish Biology 57: 84-102
- Everson, I. And C. Goss (1991) Krill fishery activity in the southwest Atlantic. *Antarctic Science*, 3: 351-358.
- Everson, I. (1984a) Marine interactions. In: *Antarctic Ecology*, Vol.2 (ed. Laws, R.M.), pp.783-819. London: Academic Press.
- Everson, I. And E. Murphy. (1987) Mesoscale variability in the distribution of krill *Euphausia superba*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 40: 53-60
- García, M., A. Aguayo y D. Torres (1994) Viajes Tróficos de Hembras y periodos de alimentación de crías de *Arctocephalus gazella*. Serie Científica INACH. , 44:102
- Gordon, A.L. (1967) Structure of Antarctic waters between 20°W and 170°W, In : Bushnell, V. (Ed.) *Antarctic Map Folio Series*, 6. American Geographical Society. New York
- Grantham, G. J. (1979) La Utilización del kril. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. FAO
- Green, K., Burton H., Williams R. (1989) The diet of the Antarctic fur seal *Arctocephalus gazella* (Peters) during the breeding season at Heard Island. *Antarctic Sci* 1: 317-324
- Hempel G. (1985) On the biology of polar seas, particularly the Southern Ocean. In: *Marine Biology of Polar Region and Effects of Stress on marine organisms*(ed. Gray, J.S. & Christiansen, M.E.), pp. 3-33. London: John Wiley
- Heywood, R.B., I. Everson and J. Priddle (1985) The absence of krill from the South Georgia zone winter 1983. *Deep Sea Res.*, 32(3): 369- 378
- Hucke-Gaete, R.; Osman, L.P. Moreno C.A. & Torres D. (Submitted) Antarctic fur seal population dynamics at Cape Shirreff and San Telmo Islets, Livingston Island, Antarctica: examining natural growth from near extinction (1958-2002). *Journal of Animal Ecology*.
- Huntley, M.E. and P.P. Niiler (1995) Physical control of population dynamics in the Southern Ocean. *ICES. Mar. Sc.*, 52: 457-468
- Hureau, J.C., (1985) Channichthyidae. p. 261-277. In W. Fischer and J.C. Hureau (eds.) *FAO species identification sheets for fishery purposes. Southern Ocean (Fishing areas 48, 58 and 88)*. Rome. Vol. 2
- Ichii, T., M. Naganobu and T. Ogishima (1994). An assessment of the impact of the krill fishery on penguins in the South Shetlands. *CCAMLR Science*, Vol.1
- Ichii, T., M. Naganobu and T. Ogishima (1996) Competition between the krill fishery and penguins in the South Shetland Islands. *Polar Biol.*, 16: 63-70
- Ichii, T. and M. Naganobu (1996) Surface water circulation in krill fishing areas near the South Shetland Islands *CCAMLR Science*, Vol. 3
- Jackowski E. (2001) Distribution and size of Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana) in Polish Commercial Catch taken in the Atlantic sector of the Southern Ocean from 1997 to 1999. *CCAMLR science* Vol. 9
- Jazdzewski, K., Porebski, J., Rakusa-Suszczewski, S., Witek, Z. & Wolnomiejski, N. (1978) Biological and populational studies on krill near South Shetland Islands, Scotia Sea and South Georgia in the summer 1976. *Pol. Arch. Hydrobiol.*, 25, 607-631
- Jørgensen, S.E., (1994) Fundamentals of Ecological Modelling, 2nd edition, In: *Developments in Environmental Modelling*, 19, Elsevier, Amsterdam, 628 p.
- Kils U. (1983) Swimming and feeding of Antarctic krill *Euphausia superba* some

- outstanding energetics and dynamics some unique morphological details. On the biology of krill *Euphausia superba*, Proceedings of the Seminar and Report of krill Ecology Group, Editor S. B. Schnack, pag. 130 - 155
- Kirkwood, R, (2001). Emperor penguin (*Aptenodytes fosteri*) foraging ecology *ANARE Report* 144: 164 pp.
- Kock, K.H., (1981). Fischereibiologische Untersuchungen an drei antarktischen Fischarten: *Champscephalus gunnari* Lönnberg, 1905, *Chaenocephalus aceratus* (Lönnberg, 1906) und *Pseudochaenichthys georgianus* Norman, 1937 (Notothenioidei, Channichthyidae). Mitteilungen aus dem Institut für Seefischerei der Bundesforschungsanstalt für Fischerei, Hamburg. nr. 32. 226 p.
- Kock, K.H. (1992) Antarctic fish and fisheries, Cambridge, UK, 359 pp.
- Kock, K.H. (2000). Hacia la mejor comprensión del concepto de ordenación de la CCRVMA.
<http://www.ccamlr.org/pu/s/pubs/am/understanding.pdf>
- Koslov, A.N., I.A. Pinkaya, S.G. Podrazhanskaya and M.I. Tarverdieva, (1988) Feeding of Glassfishes in different region of the Atlantic Sector of Antarctic, *J. Ichthyol.* 28(6): 137-145
- Kunzmann, A., (1986) Kiemenmorphometrie von zwei antarktischen fischarten *Pleurogramma antarcticum* and *Notothenia gibberifrons*. Ph.D. thesis, Kiel Univ., 84 p
- Mangel, M., and P.Switzer (1998) A model at the level of the foraging trip for the indirect effects of krill (*Euphausia superba*) fisheries on krill predators. *Ecological Modelling* 105: 235-256
- Marín, V., Delgado, L. (2001) A spatially explicit model of the Antarctic krill fishery off the South Shetlands islands. *Ecological Applications*. Vol. 11(4) pp. 1235-1248
- Macaulay, M.C., T.S. English and O.A. Mathisen (1984) Acoustic characterisation of Antarctic krill (*Euphausia superba*) from Elephant Island and Bransfield Strait. *J. Crust. Biol.*, 4(Spec. No 1): 16-44
- Mc Kenna J. E. Jr., (1991) Trophic relationships within the Antarctic demersal fish community of South Shetland Island. *Fish Bull.* 89: 643-654
- Miller, D.G.M. and I.Hampton (1989) Biology and ecology of the Antarctic krill: a review. *BIOMASS Scientific Series*, 9: 1-166.
- Mitchell, B. and S.R. Sandbrook (1980) The management of the Southern Ocean. London. IIED
- Mitchell, A. (1999). The ESRI Guide to GIS Analysis. ESRI press. Vol. 1
- Nicol, S; Stolp, M; Nordstrom, O; (1992) Change in the Gross Biochemistry and Mineral content accompanying the Moulting Cycle in the Antarctic krill *Euphausia superba*, *Marine Biology*, Heidelberg, Vol 113: 201- 209
- Nicol, S. (2001) Southerly Prospect: Antarctic science meets new Challenges Australian Antarctic Magazine. AAD. Kingston, 7050. Tasmania. Australia. Issue 1 Autumn
- Pakhomov, Y.A. and V.B. Tseytliya, (1992) Diet of seven species of Antarctic fishes and estimation of their daily rations. *J. Ichthyol.* 32(5): 31-41
- Priddle, J., J.P. Croxall, I. Everson, R.B. Heywood, E.J. Murphy, P.A. Prince, C.B. Sear (1988) Large-scale fluctuation in distribution and abundance of krill – a discussion of possible causes In Sahrhage, D. (Ed.) Antarctic Ocean and resources variability. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 169-182
- Raymont, J.E.G. (1983) Plankton and Productivity in the Oceans. (2nd ed.) Vol.2 Zooplankton. Pergamon Press.
- Reid K. (1995) The diet of Antarctic fur seals *Arctocephalus gazelle* (Peters 1875) during winter at South Georgia. *Antarctic Sci* 7: 241-249
- Ridgway, Harrison (1981), Handbook of Marine Mammals, The Walrus, Sea lions, Fur seals and Sea Otter vol 1. Anatomy School, University of Cambridge. UK
- SC-CCAMLR-XIII (1994) Report of the eleventh meeting of the Scientific Committee, 24-28 October 1994. Commission for the Conservation of

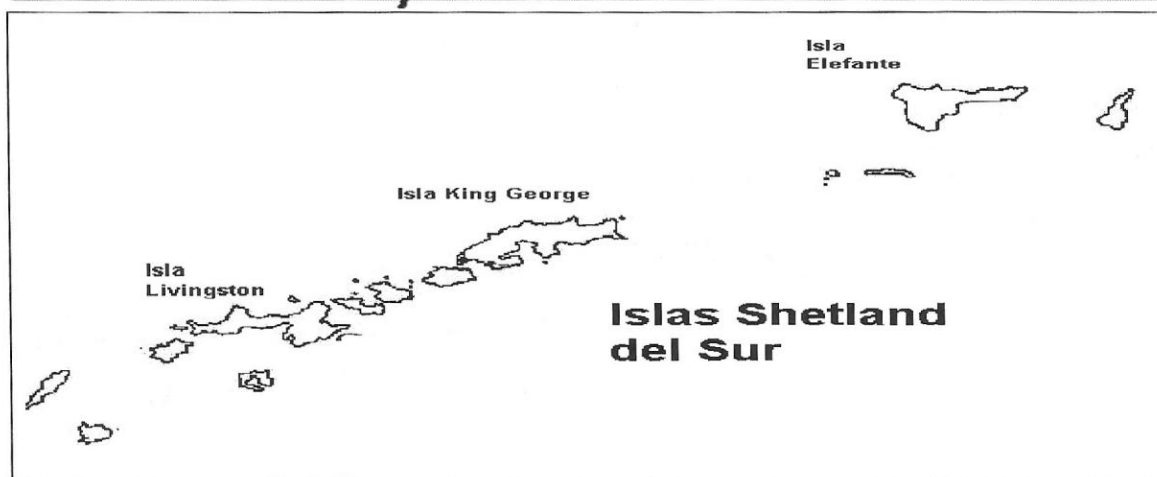
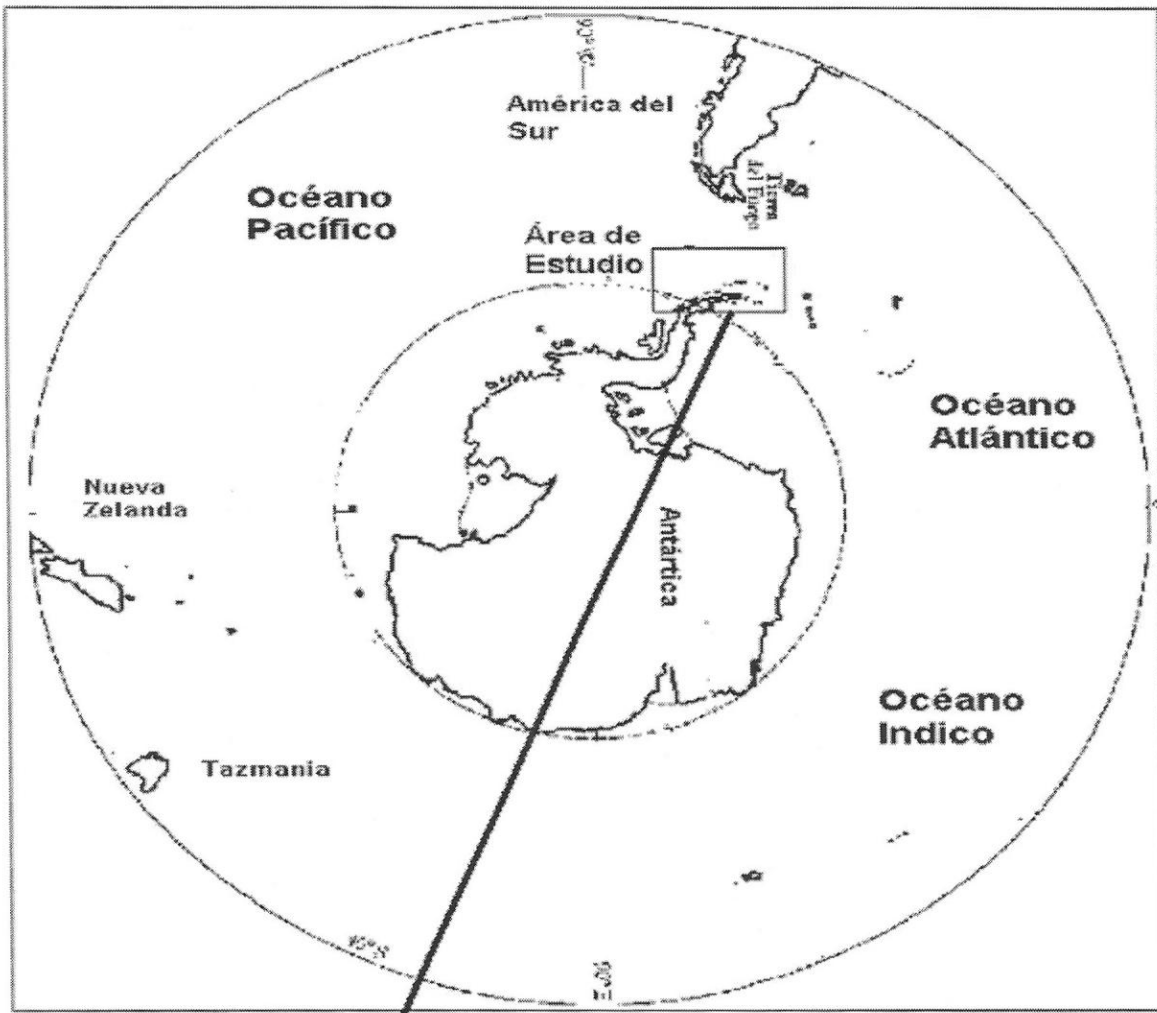
- Antarctic Marine Living Resources, Hobart, Tasmania, Australia.
- SC-CCAMLR-XVIII(1999) Anexo 4, párrafo 6.20 Report of the eleventh meeting of the Scientific Committee, 25-29 October 1999. Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources, Hobart, Tasmania, Australia.
- SC-CCAMLR-XX (2001) Report of the eleventh meeting of the Scientific Committee, 22-26 October 2001. Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources, Hobart, Tasmania, Australia.
- SCAR, (1993) Distribution and abundance of Antarctic and sub antarctic Penguins 76 pp. Scott Polar Research Institute, Lens field Red Cambridge. UK
- Schlatter, R.P. (1987) Avistamiento de mamíferos marinos durante SIBEX-Fase 2, en el estrecho de Bransfield y aguas adjacentes. Serie Científica INACH(Chile) 36:167-174
- Shuford, W.D. & SPEAR, L.B. (1988) Survey of breeding penguins and other seabirds in the South Shetlands Islands, Antarctica. *British Antarctic Survey Bulletin*, 81, 19-30
- Sielfield, K.W. (1983) Mamíferos marinos de Chile. Ediciones de la Universidad de Chile, Santiago. 199 pp.
- Torres D. (1982) Mamíferos marinos asociados a concentraciones de kril durante el desarrollo del proyecto FIBEX-CHILE Serie Científica INACH 28: 123-231
- Torres D., Aguayo-Lobo A. y Acevedo J. (2000), Mamíferos Marinos de Chile. II, Carnívora; serie científica INACH N° 50:25-103
- Trathan, P. N., J. L. Watkins, A. W. A. Murray, A. S. Brierley, I. Everson, C. Goss, J. Priddle, K. Reid, P. Ward, R. Hewitt, D. Demer, M. Naganobu, S. Kawaguchi, V. Sushin, S. M. Kasatkina, S. Hedley, S. Kim, and T. Pauly. (2001). The CCAMLR-2000 krill synoptic survey: a description of the rationale and design. *CCAMLR Sci.* 8:1-23
- Trivelpiece W. and N.J. Volkman (1979) Net-site competition between adelic and chinstrap penguins: an ecological interpretation. *The Auk. A Quarterly Journal of Ornithology* Vol. 96, N° 4, 675-681
- Zeiller M. (1999) Modeling Our World: The ESRI Guide to Geodatabase Design. ESRI Press.Redlands, Ca

ANEXO 1



Divisiones estadísticas del territorio antártico según la FAO

ANEXO 2



Continente antártico con ampliación de las islas Shetland del Sur (modificado de <http://www.twinpin.demon.co.uk/maps.htm>)

ANEXO 3

Calculo del consumo de kril por Hembra de Arctocephalus gazella por viaje de forrajeo.

Para hacer el cálculo del consumo de kril por Hembra por viaje se uso la siguiente formula:

$$\text{Kg de KRIL} = \Delta \text{masa hembra} + \text{Kg. de kril equiv. al FMR del viaje}$$

Donde;

Δmasa hembra: Es la diferencia entre el promedio de la masa de la hembra al salir a forrajear y la masa al volver. Se uso un valor de 1.35Kg (Costa et al 2000)

Kg de kril equivalentes al FMR: Corresponde a los Kgs de kril que son consumidos pero que son gastados debido al costo energético del animal durante el viaje de forrajeo.

Para calcular este equivalente se debe hacer una serie de cálculos además de tener algunos datos como son el FMR en el mar, los días de duración del viaje y el equivalente calórico por Kg de kril.

Los cálculos hechos se muestran a continuación:

$$\text{FMR} = 9.73 \text{ W/Kg. (Costa et al 2000)} \quad / \quad 1\text{W} = 1\text{Watts} = 1\text{Joule/s, } 1\text{caloria} = 4.184\text{Joule}$$

$$\text{FMR} = 2.32 \text{ Cal/s*Kg} \quad / \quad \text{X viaje de forrajeo} = 4.5 \text{ días} = 388800\text{s (Costa et al 2000)}$$

$$\text{FMR} = 902.02 \text{ Kcal/Kg.} \quad / \quad \text{X Masa de hembra} = 33.75 \text{ Kg (Costa et al 2000)}$$

$$\text{FMR} = 30.44 * 10^3 \text{ Kcal. Por viaje por hembra}$$

$$\text{Kg. De kril seco} = 21.35 \pm 1.30 \text{ Kj/g (Kirkwood, 2001)} = 5102 \text{ Kcal/Kg}$$

Pero el contenido de agua del kril es 73-83% (Kirkwood, 2001), si multiplicamos las calorías por peso seco por el porcentaje de no agua 22% nos da las calorías por peso húmedo.
 $5102\text{Kcal} * 0.22 = 1122.44\text{Kcal}$ por peso húmedo.

Si dividimos el FMR por las calorías aportadas por el kril. El resultado representa los Kg. De kril que son ocupados en la FMR.

$$30.44 * 10^3 / 1.12 * 10^3 = 27.12\text{Kg. de kril}$$

Finalmente se suma la Δmasa hembra más Kg de kril equivalentes al FMR del viaje:

$$1.35 \text{ Kg.} + 27.12 \text{ Kg.} = \mathbf{28.47 \text{ Kg.}} \text{ De kril consumido por hembra por viaje.}$$

Calculo de consumo diario para ítem Peces

En términos generales la biomasa de peces estimada para el mar de Escocia entre los 0 y 1000 metros de profundidad y basado en el método de captura neta de micronecton es de 3.27 t. Por Km² (Torres et al, 1984), el consumo de kril se estima sobre el 5% de la masa corporal (Rowedder, 1979)

Toneladas consumidas diarias por Km² : individuos en toneladas por Km² * consumo como % de la masa corporal

Toneladas consumidas diarias por Km² : 3.27 toneladas* 0.05

Esto nos da un consumo de **163.5e-3** toneladas diarias por Km²

Calculo de consumo diario para pingüinos

En el caso de los pingüinos se hace el supuesto que la población esta dividida en parejas con una cría, y solo la pareja sale a cazar (Trivelpiece y Volkman, 1979). La cantidad de viajes se multiplica por el contenido estomacal por viaje, lo que nos arroja el consumo de kril por individuo por mes. Se supone que el individuo tiene como dieta exclusiva el kril (100% del contenido estomacal), debido a la abundancia de kril en la zona (Torres, 1982; Schlatter, 1985). Finalmente se multiplica el consumo de kril por mes de un individuo por la población total de individuos capaces de cazar de la especie en el área de estudio. La siguiente fórmula muestra el cálculo realizado para el consumo total de la población de pingüinos.

Consumo total (pingüinos) = (720 / XDft) * XStc * Individuos en el agua

Donde;

XDft: Es el valor promedio de la distancia del viaje de forrajeo

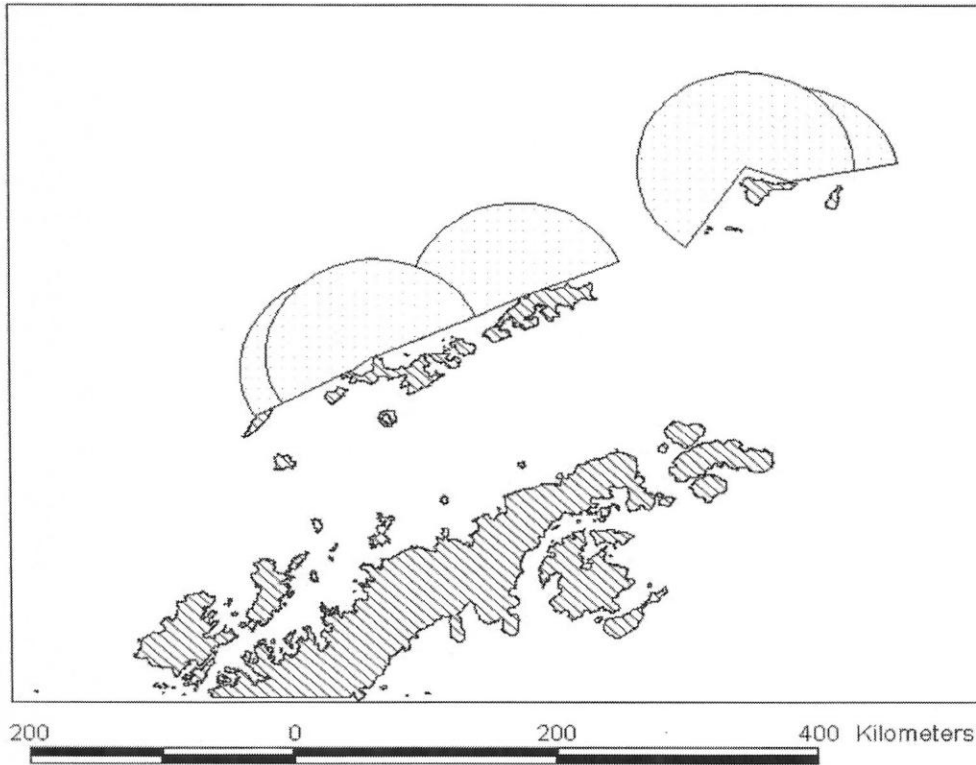
XStc: Es el contenido estomacal por viaje de forrajeo

Individuos en el agua: es el número de pingüinos que están forrajeando

El consumo diario por individuo para *Pygoscelis antarctica* y para *Pygoscelis papua* es de **7.6e-1Kg** y **1.3Kg** respectivamente.

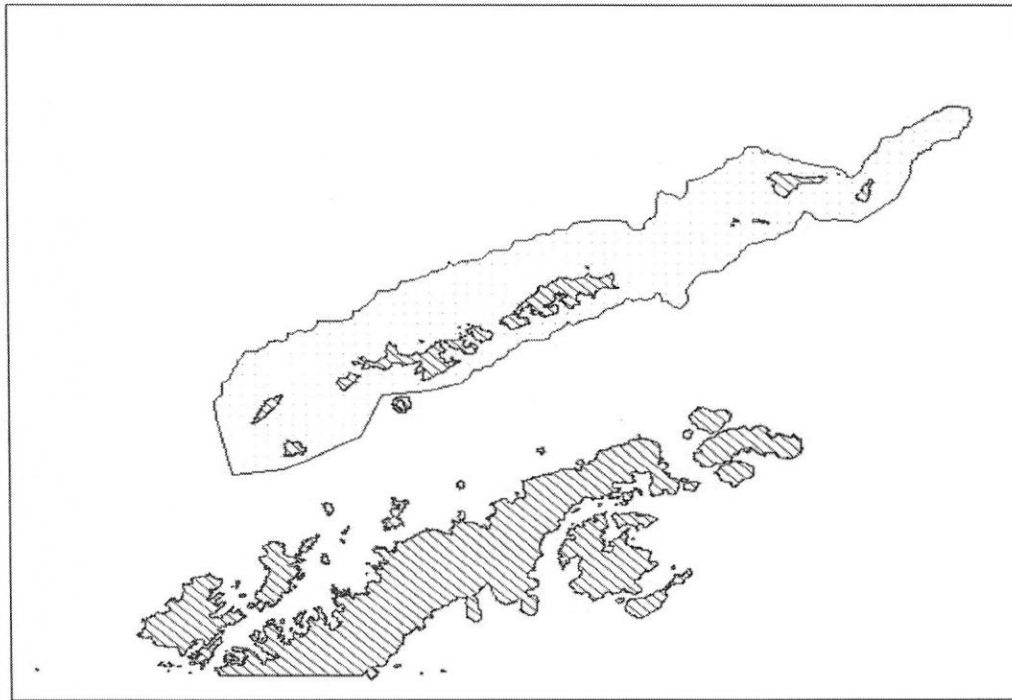
ANEXO 4

Áreas de Forrajeo



□ Área de Forrajeo
▨ Territorio Antártico

- Área de Forrajeo de *Arctocephalus gazella*

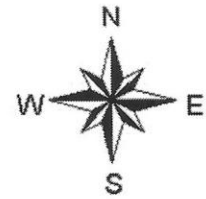


— Área de Forrajeo
▨ Territorio Antártico

100 0 100 200 300 400 Kilometers

A horizontal scale bar with tick marks at 100, 0, 100, 200, 300, and 400 kilometers. The bar is divided into segments corresponding to these distances.

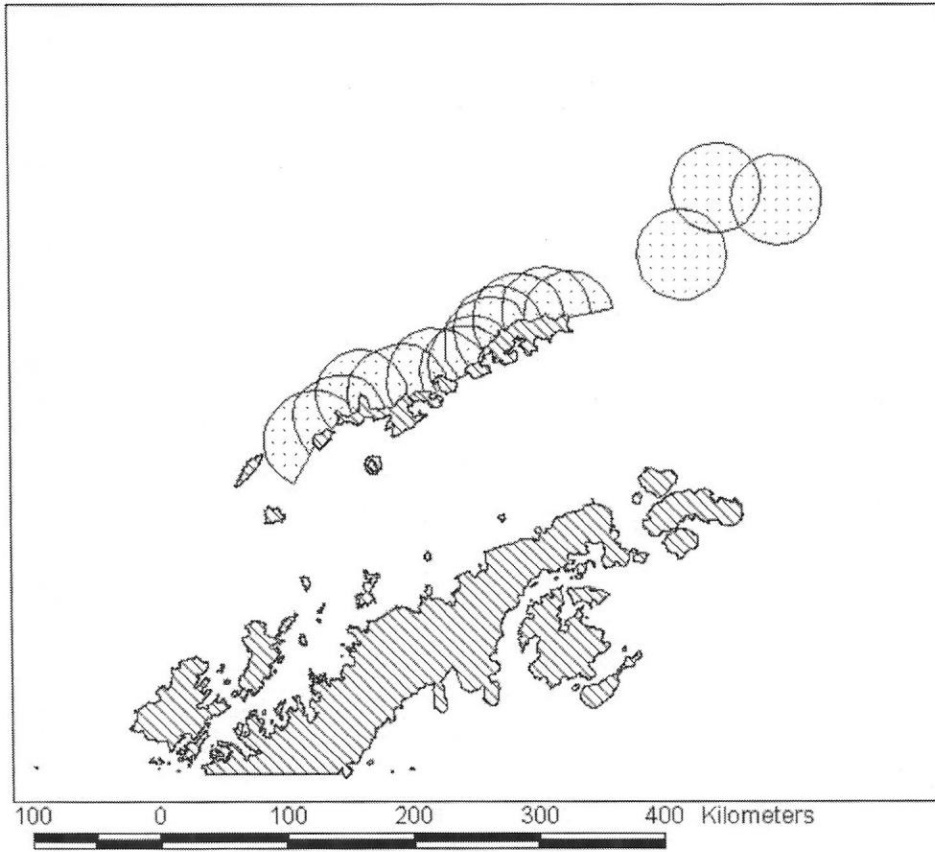
• **Área de Forrajeo de Peces**



Área de Forrajeo
Territorio Antártico

100 0 100 200 300 400 Kilometers

• **Área de Forrajeo de *Pygoscelis papua***



Área de Forrajeo
Territorio Antártico

• **Área de Forrajeo de *Pygoscelis* antártica**