



INFORME 1 DATOS

Convenio de Desempeño 2017

Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2018:

Bacalao de profundidad, 2018

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Junio 2017



INFORME 1 DATOS

Convenio de Desempeño 2017
Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables
de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2018:

Bacalao de profundidad, 2018

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Junio 2017

REQUIRENTE

**SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y
EMPRESAS DE MENOR TAMAÑO**

Subsecretario de Economía y Empresas de Menor Tamaño
Natalia Piergentili Domenech

EJECUTOR

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

Director Ejecutivo
Leonardo Núñez Montaner

Jefe División Investigación Pesquera
Mauricio Gálvez Larach

JEFE DE PROYECTO

Renzo Tascheri Oyaneder

AUTORES

Renzo Tascheri Oyaneder



RESUMEN EJECUTIVO

El informe de datos del proyecto Estatus y Posibilidades de Explotación Biológicamente Sustentables de los Principales Recursos Pesqueros Nacionales, año 2018, revisa los antecedentes del estado del conocimiento del recurso y su pesquería y los datos e información disponible para implementar una evaluación de stock.

En este informe se entrega un rango completo de estimaciones de parámetros de historia de vida disponibles para su uso en una evaluación de stock: mortalidad natural, parámetros de crecimiento, ojivas de madurez sexual y resiliencia, caracterizando de este modo la incertidumbre asociada con la selección de estos parámetros para su uso en la determinación del estatus.

Este reporte detalla además los conjuntos de datos disponibles para el ajuste de modelos de evaluación de stock discutiendo, cuando es oportuno, la incertidumbre y los problemas asociados a cada pieza de información.

Se plantean además los casos que serán estudiados en la evaluación del stock y sus fundamentos y se describe el modelo general de evaluación a ser utilizado para establecer el estatus del recurso. Al respecto, se discuten los cambios introducidos como resultado de la revisión por pares internacional del año 2014.

En el informe se describen también los procedimientos que serán empleados para determinar el estatus del recurso y la Captura Biológicamente Aceptable.



ÍNDICE GENERAL

	Página
1. OBJETIVOS DEL PROYECTO	3
1.1 Objetivo general.....	3
1.2 Objetivos específicos	3
2. ANTECEDENTES.....	4
2.1 Pesquería.....	5
2.1.1 Escenario internacional	5
2.1.2 Pesquería chilena de bacalao de profundidad	9
2.1.3 Pesquería argentina de bacalao de profundidad	11
2.1.4 Aparejos y métodos de pesca	12
3. OBJETIVO 1: Implementar procedimientos de evaluación de stock.....	15
3.1 Modelo conceptual	15
3.2 Parámetros de historia de vida.....	16
3.2.1 Mortalidad natural.....	16
3.2.2 Crecimiento.....	17
3.2.3 Madurez sexual	19
3.2.4 Productividad y resiliencia.....	21
3.3 Datos disponibles para la estimación de parámetros.	23
3.3.1 Composiciones de longitud	25
3.3.2 Composiciones de edad	27
3.3.3 Pesos medios a la edad	31
3.3.4 Bitácoras de pesca y registros oficiales de captura	33
3.3.5 Capturas.....	38
3.4 Descripción general del modelo.....	43
3.4.1 Estructura del modelo	44
3.4.2 Diagnóstico del modelo de evaluación.....	44
4. OBJETIVO 2: Establecer el estatus actualizado del recurso	48
4.1 Evaluación del estatus basado en la biomasa desovante	48
4.2 Marco biológico de referencia	49
5. OBJETIVO 3: Análisis de Captura Biológicamente Aceptable.....	52
6. OBJETIVO 4: Programa de Mejoramiento Continuo.....	53
6.1 Cambios en el modelo en respuesta a la revisión de pares 2014.....	54
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

ANEXOS

Anexo 1. Modelo de evaluación de stock (Descripción matemática).



1. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.1 Objetivo general

Estimar la composición, abundancia y biomasa y actualizar el estatus del recurso bacalao de profundidad e incertidumbre asociada, proveyendo toda la información y prestando la mejor asesoría a los Comités Científico Técnico en el análisis de sus posibilidades de explotación biológicamente sustentables y los niveles de riesgo involucrados, en horizontes de corto y mediano plazo.

1.2 Objetivos específicos

- I. Implementar procedimientos de evaluación de stock basados en protocolos científicos para la determinación del estatus de bacalao de profundidad con arreglo al nivel de conocimiento, información e incertidumbre correspondiente, conforme a los estándares actuales en ciencia pesquera.
- II. Establecer el estatus actualizado de bacalao de profundidad, sobre la base de sus principales indicadores estandarizados de estado y flujo al menos por grupo de pesquerías, incorporando la incertidumbre de estimación involucrada, empleando el mejor conocimiento e información disponible a la fecha de ejecución del estudio, acorde con los estándares definidos por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura y recomendados por los Comités Científico y Técnico respectivos.
- III. Realizar los análisis estocásticos de las posibilidades futuras de explotación y la determinación de los niveles de Captura Biológicamente Aceptable (CBA) de bacalao de profundidad, para la siguiente temporada extractiva anual (año 2018), reportando el riesgo de no alcanzar los objetivos de conservación, considerando la incertidumbre de la estimación de sus indicadores y estados probables de la naturaleza, conforme a lo dispuesto por la Ley General de Pesca y Acuicultura y en el Plan de Manejo o Programa de Recuperación respectivo, según corresponda.
- IV. Informar el avance del Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría Científica (PMCCAC) realizado durante el presente proyecto y consignar en un listado de comprobación (checklist) el cumplimiento de cada una de las recomendaciones realizadas en las revisiones por pares, cuando corresponda.



2. ANTECEDENTES

El proyecto denominado “Estatus y Posibilidades de Explotación Biológicamente Sustentables de los Principales Recursos Pesqueros Nacionales. Bacalao de profundidad” constituye el sustento técnico fundamental para establecer los rangos de explotación biológicamente recomendables para este recurso pesquero, cuyos niveles de biomasa son regulados mediante cuotas de captura.

Este proyecto, que se encarga anualmente para ejecución al Instituto de Fomento Pesquero, debe integrar el conocimiento científico que ha sido generado por diversos estudios, proyectos y programas de investigación realizados sobre este recurso que se encuentren disponibles a la fecha de su ejecución.

Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA) establece que los antecedentes provenientes de este proyecto, así como de otras investigaciones y estudios sectoriales provistos por las distintas entidades de investigación y asesoría que forman también parte del proceso de Asesoría científica anual, sean canalizados al Comité Científico-Técnico (CCTs) correspondiente. Este organismo podrá entonces emplear este conocimiento para asesorar a las distintas instancias asesoras-consultivas del proceso decisonal anual de las pesquerías nacionales (i. e., Ministerio de Economía, Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Comités de Manejo respectivos, Consejos Zonales y Nacional de Pesca, entre los principales) y recomendar los niveles de captura apropiados para cumplir con el mandato establecido por la LGPA.



2.1 Pesquería

2.1.1 Escenario internacional

El bacalao de profundidad fue investigado como un recurso pesquero potencial en Chile en los años 50s mediante pescas exploratorias a bajas profundidades (Guerrero y Arana 2009; Moreno 1991). En los años 80s, este recurso comenz3 a ser capturado como fauna acompa1ante en las pesquerías de arrastre de la isla Kerguelen, la plataforma Patag3nica y alrededor de las Islas Georgias del Sur. A mediados de los años 80s, el desarrollo de espineles de profundidad permiti3 dirigir la pesca hacia los adultos de esta especie, primero en aguas chilenas y posteriormente en la plataforma Patag3nica, Georgias del Sur y Kerguelen. Debido al alto precio del producto en el mercado internacional, las capturas se incrementaron r1pidamente y se comenzaron a explorar de nuevos caladeros. Solamente contabilizando las capturas legales, los desembarques en la zona de CCAMLR y aguas territoriales se incrementaron desde menos de 5.000 t en 1983 a 40.000 toneladas en 1992 (**Figura 1**).

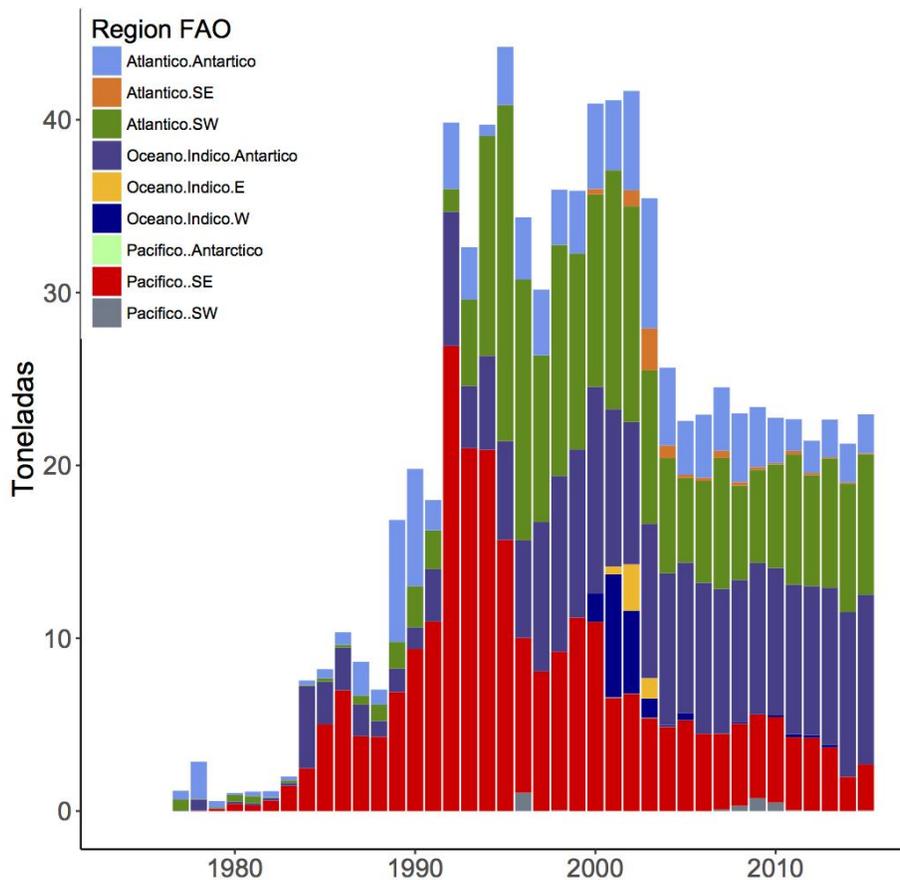




Figura 1. Desembarques anuales de bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) de diferentes regiones (Fuente FAO).



En Georgia del Sur (territorio inglés de ultramar), la pesca de espinel comenzó con barcos de la Unión Soviética a fines de los años 80s, a los que luego se sumaron barcos de Chile, Bulgaria y Ucrania. En 1993/1994 la CCAMLR designó la región de Georgia del Sur como un área especial para la protección y el estudio científico. El despliegue de observadores científicos demostró la severidad de la pesca incidental de aves, lo que condujo a limitar la pesca sólo a los meses de invierno (Agnew 2004). Desde 1999, la temporada de pesca se ha restringido entre mayo y agosto (CCAMLR 2009). En años recientes, la Captura Total Permisible (CTP) en esta región se ha definido en alrededor de 3.000 toneladas. Una pequeña pesquería también se desarrolla en las Islas Sandwich del Sur (Roberts y Agnew 2008) con una CTP de 41 toneladas (CCAMLR 2009).

En 1984/1985 barcos de la Unión Soviética encontraron bacalao de profundidad en la plataforma oeste de la Isla Kerguelen (Región Sur del océano Índico y ZEE de Francia) e iniciaron una pesquería de arrastre dirigida a grandes concentraciones de juveniles de este recurso. La pesquería de palangre se inició en Kerguelen en 1991 y desde inicios del año 2000 esta pesquería se ha desarrollado exclusivamente usando el espinel (Lord *et al.*, 2006). Las operaciones de pesca en Kerguelen se desarrollan durante todo el año y las capturas legales son del orden de las 5.000 toneladas por año.

En 1996 se desarrolló una pesquería de arrastre dirigida al bacalao de profundidad y icefish (*Champscephalus gunnari*) en las islas Heard y McDonald (ZEE de Australia). En los años 2002/2003 esta pesquería fue abierta también a la pesca de palangre y en el presente operan tanto arrastreros como palangreros con un límite de captura de alrededor de 2.500 toneladas. La plataforma de las islas Heard y McDonald es contigua con la plataforma de la isla Kerguelen de modo que es probable que las pesquerías de estas localidades estén explotando el mismo stock.

En la isla Crozet (ZEE de Francia), la pesquería de palangre comenzó en 1996/1997 con capturas reportadas del orden de 1.200 toneladas. Actualmente las capturas legales son menores a 1.000 toneladas por año pero entre los años 1995 y 2002 esta pesquería estuvo sujeta a una considerable pesca ilegal.

La pesquería de las Islas Príncipe Eduardo (ZEE de Sud África), que se extiende por el borde de la CCAMLR, comenzó en 1996/1997 como una pesquería estacional (mayo a agosto), pero estuvo sujeta a altos niveles de pesca ilegal, no reportada y no regulada (IUU) y se estima que sólo en 1997 se extrajeron 21.000 toneladas. En un intento de resistir la pesca ilegal la pesquería fue abierta durante todo el año en 1998 pero las tasas de captura (tanto legales como ilegales) declinaron abruptamente (Brandao *et al.*, 2002). Hoy se le ha puesto freno a la pesca ilegal en tanto que las capturas legales son de alrededor de 200 toneladas por año. En el año 2002/2003 la CTP de las Islas Príncipe Eduardo fue establecida en 400 toneladas.

La pesca de bacalao de profundidad también ha tenido lugar en bancos aislados y montes submarinos de la CCAMLR, tales como el Banco Banzarre y los montes Ob y Lena. Las pesquerías



en estas áreas fueron sobreexplotadas rápidamente y hoy permanecen agotadas (McKinlay *et al.*, 2008).



A fines del año 1994 se inició la pesquería de isla Macquarie (ZEE de Australia), cuando se detectaron agregaciones de bacalao en el Aurora Trough y 2 años después la pesca se extendió a la Dorsal de Macquarie. Inicialmente las capturas de esta región excedían las 1.000 toneladas por año, pero luego la pesquería fue cerrada. Esta región fue abierta a la pesca nuevamente en el año 2003 con una reducida CTP. El principal método de pesca ha sido aquí el arrastre, pero en años recientes se ha efectuado pesca experimental con palangre. Las cuotas de pesca son aproximadamente 300 toneladas para la Dorsal de Aurora y 100 toneladas para la Dorsal Macquarie (Phillips *et al.* 2009).

La pesquería argentina comenzó en los 90s alcanzando su mayor captura en 1995 con 19.225 toneladas, sin embargo, desde entonces las capturas se han reducido. En la plataforma patagónica el bacalao de profundidad era inicialmente capturado como fauna acompañante en la pesquería de arrastre, pero luego se establecieron pesquerías de espinel tanto en Argentina como en las Islas Malvinas. Debido a recomendaciones del Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero de Argentina (INIDEP), desde el año 2000 se exigen capturas documentadas y se ha regulado el tamaño de los anzuelos, establecido un tamaño mínimo de captura, profundidades mínimas de operación y un área de protección de juveniles.

La pesca de espinel comenzó en las islas Malvinas como una pesca experimental en 1992 y se estableció en 1994 (Laptikhovsky y Brickle 2005). Las capturas alcanzaron un máximo de 2.733 toneladas en 1994 y luego se estabilizaron en el rango de las 1.200 - 1.800 toneladas.

2.1.2 Pesquería chilena de bacalao de profundidad

El primer reporte de capturas de este recurso en Chile se remonta al año 1988 frente al Archipiélago de los Chonos (De Witt, 1962). Más tarde en prospecciones pesqueras realizadas en 1955 frente a Valparaíso, se registraron capturas de bacalao conjuntamente con congrio dorado. Durante la década de los 60s y 70s se realizaron una serie investigaciones pesqueras principalmente en la V Región, en donde se analizaron tanto el desempeño del arrastre como del espinel de fondo, al igual que la selectividad y rendimiento del espinel probando diferentes diseños, numeración de anzuelos y tiempos de reposo, e incluso se estudió el desempeño del enmalle en la VIII Región. Estas investigaciones establecieron que entre las latitudes 18°20' y 41° S el rango de distribución batimétrica del recurso se encontraba entre los 500 m y 2.500 m de profundidad. Los antecedentes de la actividad pesquera indicaban entonces que la distribución del bacalao no era continua en el talud, sino que este presentaba focos de abundancia en caladeros particulares (Salas *et al.* 1987).

La pesquería como tal se inició en 1970 con la actividad de una flota artesanal de la V Región (Guerrero y Arana 2009) incorporándose luego la VIII Región y a mediados de los años 80s la pesca ya se había extendido entre las regiones I y VIII. Este desarrollo fue motivado por una fuerte demanda en el mercado norteamericano lo que facilitó la formación de numerosas pequeñas y



medianas empresas orientadas a la exportación de bacalao. Estas empresas operaban abastecidas por el sector artesanal a quienes estas habilitaban para su operación. El sector artesanal recibió también apoyo financiero a través de la línea de créditos CORFO/BID lo que les permitió incorporar y/o adecuar embarcaciones y renovar sus equipos de pesca (Salas *et al.* 1987). Así esta pesquería experimentó un crecimiento explosivo en la década de los años 80s, pasando de desembarques del orden de 38 toneladas en 1978 a casi 7.000 toneladas en 1986.

Young *et al.* (1997) describen para los años 1986 a 1996 la existencia de un patrón latitudinal en los rendimientos de pesca, con menores rendimientos en la zona de Caldera a Constitución, rendimientos intermedios en el área de Lebu y mayores rendimientos en la zona de Valdivia. Estos autores describen también el desplazamiento del esfuerzo de pesca hacia la región sur del país, en particular hacia el puerto de Valdivia, que hacia el final de este período experimentó una importante inmigración de embarcaciones desde otros puertos. En este estudio se estableció también que los rendimientos de pesca habían experimentado una significativa reducción con el tiempo.

En años recientes, la pesquería artesanal de bacalao de profundidad se ha desarrollado en aguas de la XI Región, con el puerto de Quellón como el principal centro de desembarque (Oyarzún *et al.*, 2003 b). Esto constituyó la etapa final en el progresivo desplazamiento hacia el sur de la flota artesanal desde que se inició esta pesquería, el que se caracterizó por una búsqueda constante del recurso a objeto de mejorar o mantener sus rendimientos de pesca.

Al inicio de los años 90s, la pesquería demersal austral que se había desarrollado entre la segunda mitad de los años 70s y primera mitad de los 80s, se encontraba en una situación crítica debido al estado de deterioro de los stocks de merluza del sur y congrio dorado (Aguayo *et al.*, 1991). Lo anterior motivó a los barcos arrastreros fábrica a destinar un mayor esfuerzo de pesca hacia la merluza de cola y a los buques arrastreros hieleros a orientar un mayor esfuerzo hacia la merluza común. Por el contrario, las flotas espinelera hielera y espinelera fábrica, que comenzaron a operar en la zona sur austral de Chile en el año 1986, no contaban con un recurso alternativo que les permitiera continuar operando. Esta situación llevó a la Subsecretaría de Pesca de Chile a formular políticas de manejo orientadas a diversificar la explotación pesquera de la región demersal austral hacia otras especies a fin de disminuir la presión de pesca sobre la merluza del sur y el congrio dorado y estimular el aprovechamiento de recursos alternativos que permitieran a las flotas operar durante todo el año (Aguayo *et al.*, 1991; Young *et al.*, 1995).

Es así que el bacalao de profundidad emergió como la alternativa para materializar esta política de diversificación en la flota espinelera, su alto valor comercial y la posibilidad de captura selectiva, lo convertían en una opción con perspectivas para el desarrollo de una nueva pesquería. En concordancia con esta política, entre 1990 y 1991 la Subsecretaría de Pesca autorizó pescas exploratorias de bacalao en la XI y XII Regiones, las que permitieron comprobar que el recurso se encontraba disponible en el área (Young *et al.*, 1997).



Los resultados obtenidos posibilitaron abrir la pesquería del bacalao al sur del paralelo 47° bajo un régimen de pesquería incipiente, la que es manejada sobre la base de cuotas de captura individuales transferibles. De esta manera la pesquería chilena de bacalao quedó dividida en dos zonas: la zona Norte, entre el límite Norte del país (18° 21') y el paralelo 47°, es reservada exclusivamente para la pesca artesanal. En la zona sur (47° S – 57° S), el recurso soporta una pesquería industrial.

Algunas áreas en alta mar, por fuera de la jurisdicción nacional, también han sido explotadas por las empresas pesqueras chilenas, entre las más notables la Dorsal de Scotia entre Shag Rocks y las Malvinas. En estas áreas, las capturas no fueron limitadas y los stocks fueron rápidamente agotados.

La pesquería chilena de bacalao de profundidad ha sido instrumental en el desarrollo de nuevos e innovadores aparejos de pesca, tales como la cachalotera (Moreno *et al.*, 2006, 2008).

2.1.3 Pesquería argentina de bacalao de profundidad

En la pesquería argentina de bacalao de profundidad han operado dos conjuntos de barcos, una flota que opera con palangre y otra que emplea el arrastre de fondo.

Desde sus inicios, en el año 1990, la operación con palangre constituyó una pesca dirigida efectivamente hacia el recurso y su área de operación cubría prácticamente todo el rango de distribución del recurso en la plataforma argentina. Esta pesquería fue también la responsable del mayor desembarque histórico de bacalao, registrado en el año 1995, luego de lo cual las capturas y los rendimientos de pesca de esta flota se redujeron notablemente.

El número de barcos que componen la flota palangrera ha ido en una gradual disminución, desde un máximo de 25 en 1996 a 4 en el año 2013 (Wöhler, 2013).

La flota que opera con arrastre de fondo inició su operación a fines de los años 80s y su acción impactaba mayoritariamente a la fracción juvenil de la población. Este patrón se debía a que la mayor parte de los lances de pesca eran realizados entre 400 y 500 m de profundidad en donde se distribuyen los individuos de menor tamaño.

Los rendimientos de los buques arrastreros se incrementan a partir del año 1999, lo que se relaciona con la exploración de nuevas áreas de pesca y no con un aumento en la abundancia del recurso (Martínez com. pers.¹). Las mayores capturas se han obtenido históricamente al este de la Isla de los Estados en los cuadros estadísticos codificados 5461, 5462 y 5463. Actualmente participan en la pesquería 5 barcos arrastreros (Wöhler 2013).

¹ Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Argentina.



2.1.4 Aparejos y métodos de pesca

El principal método de pesca usado para capturar adultos de bacalao de profundidad es el espinel o palangre de fondo, en donde una línea larga de anzuelos encarnados es desplegada en el fondo a profundidades de hasta 2.000 m. Boyas dispuestas en la superficie señalan la presencia de las líneas. El buque típicamente recupera las líneas luego de un tiempo de reposo de 24 a 48 h. Las líneas son caladas por la popa de la embarcación y son luego recuperadas a través de una escotilla ubicada a estribor. La carnada es usualmente calamar o sardina. Los barcos palangreros industriales son en general pequeños (30 – 80 m).

En Chile se han empleado dos tipos de espinel: el sistema español (doble línea) y la cachalotera o sistema trotline, este último normalmente incluye redes de exclusión de cetáceos (cachaloterías) (**Figura 2**).

El sistema trotline es una modificación del sistema español en el cual la línea madre (en donde se disponen los anzuelos) se elimina y los anzuelos son puestos en las líneas secundarias que llevan peso. Esto produce un incremento en la velocidad de hundimiento del aparejo durante su calado, eliminando así la mortalidad de aves regularmente observada en las operaciones con el sistema español (Moreno *et al.*, 2008, Goetz *et al.*, 2011).

Los operadores industriales de la pesquería chilena incluyeron al sistema trotline un cono de red en las líneas secundarias, de tal manera que durante la recuperación del aparejo los peces capturados son cubiertos por este cono, lo que contribuye a reducir la depredación por mamíferos marinos (Moreno *et al.* 2008, Goetz *et al.* 2011; **Figura 2**). El término cachalotera se utiliza indistintamente para

referir el sistema trotline modificado incluyendo el cono de red, o para referir una unidad compuesta por: una línea secundaria (*barandillo*), un cono de red, el “*racimo*” de anzuelos y el peso (**Figura 2**). El sistema se cala en líneas denominadas *caceas* que tienen una longitud media de 14 km cada una con 720 a 780 líneas secundarias o barandillos. En Chile, dependiendo de la empresa/operador, cada cachalotera incluye un racimo de 6, 8 o 10 anzuelos (**Figura 2**).

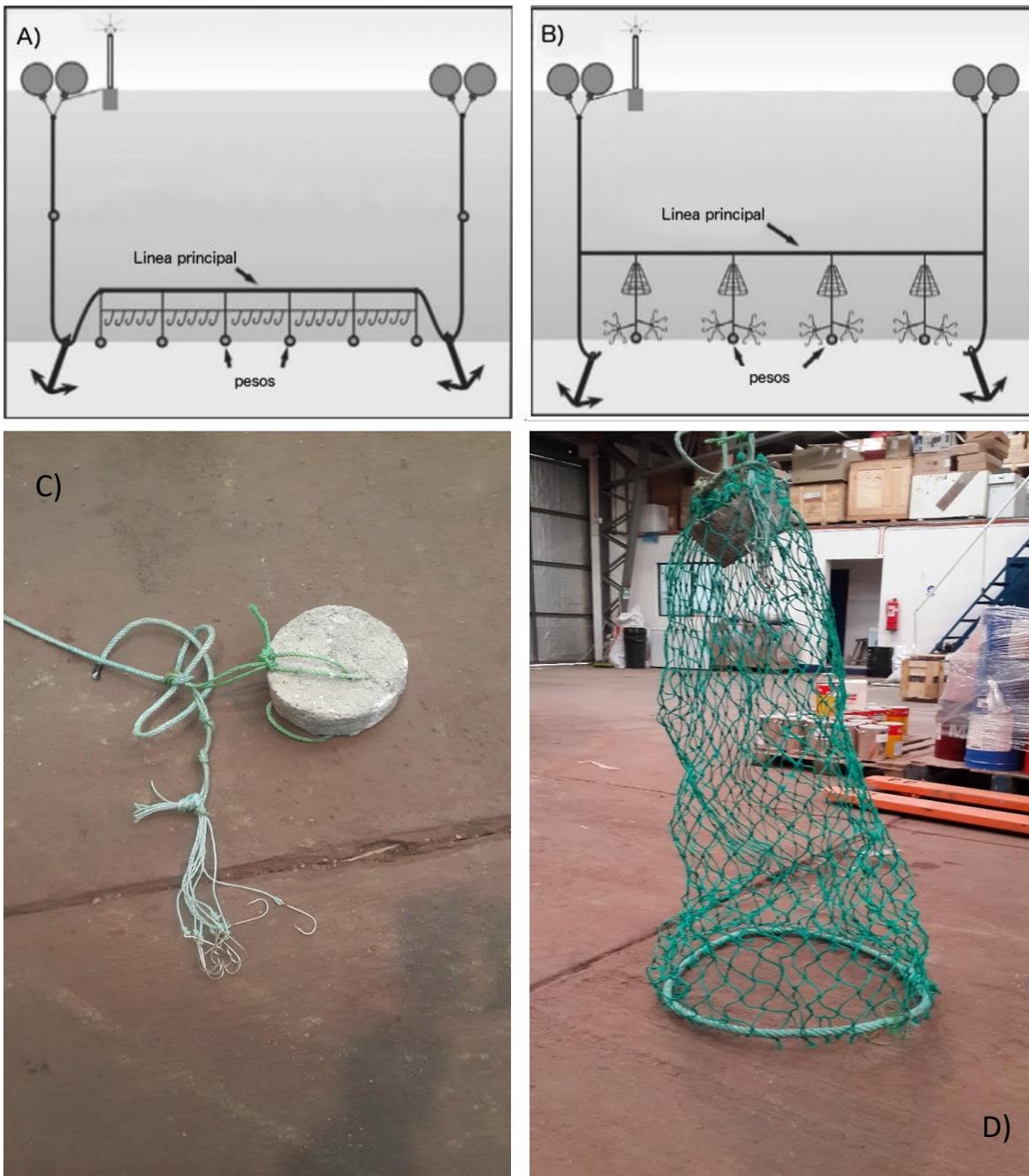


Figura 2. Ilustración de los sistemas de espindel usados en Chile. (A) palangre español (sistema de doble línea), (B) sistema trotline con cachaloterías (Modificado de Collins *et al.* 2010). C) racimo de anzuelos y peso; D) posición de la cachalotería durante el virado donde se observa el cono de red. (Fotos: Globalpesca SpA).



En Chile la cachalotera fue introducida en el año 2006 (Moreno *et al* 2008) y su adopción fue gradual entre los años 2006 (26% de las operaciones) y 2007 (41%). A partir del año 2008, todos los barcos emplean la cachalotera. En Argentina la cachalotera fue introducida en el año 2010 y hasta el año 2012 se encontraba en uso en el 50% de la flota, representando entre el 42% y 60% de las operaciones (Martínez com. pers.²).

Reducciones significativas en la depredación por parte de mamíferos marinos y su excelente desempeño con respecto a la mortandad de aves marinas (Moreno *et al.* 2008), condujo a su adopción generalizada en la pesquería chilena y en años recientes también se usó en la pesquería argentina. A pesar de su relativa efectividad para solucionar o mitigar las interacciones con la vida salvaje, el aparejo puede tener un efecto significativo (y se han descrito efectos tanto positivos como negativos) en las tasas de captura y por lo tanto es altamente probable que este exhiba una capturabilidad diferente a la del aparejo tradicional (Rubilar *et al.* 2010, Goetz *et al.*, 2011).

El adecuado análisis de esta situación implica que las variables operacionales relevantes deben ser monitoreadas regularmente por los programas de recopilación de datos.

Al inicio de la pesquería artesanal, el aparejo empleado era un espinel de fondo horizontal y se calaban líneas de 6 a 14 mil metros de longitud de línea madre, con reinales separados entre 0,7 y 1,8 m, se empleaban anzuelos de diseño recto, en un número que fluctuaba entre 3.000 y 10.000 unidades por lance y la línea se calaba muy próxima al fondo (Young *et al.*, 1997).

Hacia el final de los años 80s, se introdujo el uso de anzuelos curvos con un impacto positivo en los rendimientos de pesca y el diseño del aparejo artesanal se modificó, pasando de un diseño horizontal a uno mixto (horizontal y vertical; el denominado sistema trotline) de tamaño notablemente menor, lo que permite operar con un mayor control del aparejo en sectores de más difícil acceso. Este diseño del espinel se generalizó en la pesquería artesanal a partir del año 1992, donde durante las operaciones de pesca se comenzó a calar entre dos a cuatro líneas diarias (Young *et al.*, 1997).

El arte de pesca artesanal en actual uso consta de una línea principal o línea madre de unas 300 a 500 brazas (555 a 926 m) de longitud, la cual lleva intercalado a intervalos de 3 brazas, las líneas secundarias o patas de longitud variable (1 a 4 m) (Oyarzún *et al.*, 2003b).

² Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Argentina.



3. OBJETIVO 1: Implementar procedimientos de evaluación de stock

3.1 Modelo conceptual

La mejor evidencia es que el recurso bacalao de profundidad en la región Patagónica/plataforma de Sudamérica constituye un solo stock. Sin embargo, no es claro hasta qué punto se puede considerar que la población es homogénea o el grado de estructuración espacial y temporal de los reclutas y desovantes a través de toda esta región, porque la información actualmente disponible es insuficiente para determinar la estructura de la población o siquiera el modelo más probable (Polacheck 2015).

Dado que modelos conceptuales alternativos pueden en principio tener importantes y diferentes implicancias en términos del estatus y el manejo de este recurso, es crítico que se considere un conjunto de modelos de evaluación alternativos que representen el rango de alternativas posibles. De acuerdo con esto, la evaluación de stock se ha desarrollado mediante el estudio de dos casos:

El **Caso 1** considera las pesquerías industrial y artesanal chilenas (plataformas Pacífica y Patagónica) y las pesquerías de palangre y arrastre de Argentina (toda la ZEE de Argentina).

El modelo conceptual en este caso considera que las poblaciones del Pacífico y Atlántico se encuentran abiertas entre sí, principalmente como resultado de la mezcla de adultos en el área de desove y posiblemente con una mezcla más limitada de juveniles/sub-adultos. De esta manera, el reclutamiento tanto en el océano Pacífico como el Atlántico depende de la biomasa desovante combinada de ambos océanos.

Esta hipótesis está soportada en el hecho de que existe un área de desove continua entre el Pacífico y el Atlántico y que los datos de marcaje y recaptura disponibles sugieren un intercambio razonable de individuos entre los dos océanos.

Bajo la hipótesis del Caso 1, la pesquería en Chile no puede ser evaluada de modo significativo sin considerar las pesquerías del Atlántico.



El **Caso 2** considera sólo la plataforma Pacífica (latitudes 18°30' a 57° S. aproximadamente) incluyendo las pesquerías artesanal e industrial de Chile exclusivamente.

El modelo conceptual en este caso considera que el stock distribuido en el Pacífico está esencialmente cerrado con respecto a los desovantes y el reclutamiento (i.e. no existe una migración significativa de larvas, juveniles o adultos desde el lado Atlántico).

Esta hipótesis está soportada por la fuerte y persistente estructura de corrientes alrededor del cono Sur en combinación con el limitado movimiento exhibido por los juveniles, de acuerdo a los datos disponibles de marcaje y con limitaciones fisiológicas que impiden al bacalao adulto nadar grandes distancias.

Bajo la hipótesis del Caso 2, la pesquería en Chile puede ser evaluada sin considerar las capturas registradas en el Atlántico.

3.2 Parámetros de historia de vida.

3.2.1 Mortalidad natural

La mortalidad natural (M) es uno de los parámetros más influyentes en la evaluación de poblaciones explotadas y su manejo. Su magnitud se relaciona directamente con la productividad del stock, los rendimientos que se pueden obtener, las tasas de explotación sustentables, las cantidades relacionadas al manejo y los puntos biológicos de referencia. Desafortunadamente, M es posiblemente el parámetro biológico más difícil de estimar en una evaluación de stock convencional y los intentos de estimarlo frecuentemente producen valores poco realistas o improbables (Methot 2009, Brodziak et al. 2011, Francis 2012).

Por estas razones en las evaluaciones de stock M comúnmente se fija en un valor predeterminado, constante a través del tiempo y las edades. Los valores de M que se consideran razonables para la especie de interés frecuentemente son seleccionados con base en aspectos teóricos y en la comparación de parámetros de historia de vida. Este es el caso de la evaluación de stock de bacalao de profundidad que implementa el IFOP, en donde se asume un valor constante de $M=0,15$ (Tascheri et al. 2016, 2017).

En la evaluación del año 2016, la sensibilidad del estatus de la pesquería a la incertidumbre del valor de M fue explorada para el rango 0,1 a 0,2, todos valores que se han estimado para el bacalao de



profundidad y/o considerado en evaluaciones de stock de este recurso (**Tabla 1**). En la última evaluación se exploró también el efecto de estimar M (Tascheri et al. 2017).

Tabla 1.
Mortalidad natural de bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) estimada o empleada en estudios en diferentes regiones.

Fuente	Área	Rango M año ⁻¹	
Yáñez y Pizarro (1984)	Chile centro sur	0,10	0,20
Zuleta y Moreno (1992)	Chile sur austral	-	0,15
Shust et al. (1990)	South Georgia	0,16	0,18
Moreno y Rubilar (1992)	South Georgia sub-área 48.3	-	0,14
Hillary et al. (2006)	South Georgia sub-área 48.3	0,13	0,20
Arana et al. (1994)	Plataforma Patagónica	0,10	0,20
Des Clers et al. (1996)	Islas Malvinas	-	0,10
Brandão et al. (2002)	Prince Edward Islands	0,105	0,165
Martínez y Wöhler (2013)	Atlántico Sudoccidental		0,17
Oyarzún et al. (2003a)	Chile sur	0,10	0,14
Payne et al. (2005)	Islas Malvinas	-	0,165
Cubillos y Araya (2007)	Chile	0,10	0,14
Candy et al. (2011)	Heard y McDonald Islands	-	0,16
Ziegler et al. (2014)	Heard y McDonald Islands	-	0,155
Day et al. (2014)	Isla Macquarie	-	0,13

3.2.2 Crecimiento.

En la estimación de la edad en bacalao de profundidad se han usado tanto escamas como otolitos (Young et al. 1992, Ashford et al. 2001, Oyarzún et al. 2003b, Céspedes et al. 2008).

Un problema que se presenta con la lectura de edades en escamas es que en los peces más viejos la periferia de la estructura no permite discernir los anillos de crecimiento. La lectura de edad en otolitos no exhibe este problema de manera que la edad de los peces más viejos se encuentra subestimada en las composiciones de edad de las capturas obtenidas mediante la determinación de la edad en escamas respecto de aquellas obtenidas usando los otolitos (Céspedes et al. 2008).

Por este motivo, para el bacalao de profundidad se ha recomendado realizar estimaciones de la edad usando otolitos y no escamas (Ashford et al. 2001).

Existen un número de estimaciones de los parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy para el bacalao de profundidad (**Tabla 2**). Entre estas, todas las estimaciones para el Pacífico Sur Oriental se han efectuado con información de edad leída en escamas, con la excepción del trabajo de Oyarzún et al. (2003b) quienes realizaron una estimación usando edades



determinadas en otolitos (**Tabla 2**). Dado el sesgo introducido en las edades más viejas, cuando se usan escamas para determinar la edad *D. eleginoides*, est

la estimación de los parámetros de crecimiento empleando edades determinadas en otolitos parece ser la más apropiada para ser usada en un modelo de evaluación de stock.

Tabla 2.

Parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy de bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) estimadas para diferentes localidades.

Adaptado de Collins *et al.* (2010) y Cubillos y Araya (2007).

Regiones	Sexo	L_{∞}	K	t_0	
Plataforma Patagónica	Hembra	141.4	0.150	-1.100	Ashford <i>et al.</i> (2001)
	Macho	120.7	0.013	-1.550	
Plataforma Patagónica	Combinados	184.7	0.065	0.386	Martínez y Wöhler (2013)
Georgia del Sur	Hembra	177.5	0.082	0.350	Aguayo (1992)
	Macho	170.3	0.086	-0.015	
Georgia del Sur	Combinados	150.0	0.073	-0.079	Belchier (2004)
Georgia del Sur	Combinados	132.0	0.080	-0.300	CCAMLR 2009
Chile sur-austral	Hembra	209.7	0.064	-1.151	Young <i>et al.</i> (1992)
	Macho	195.6	0.074	-0.721	
Isla Heard	Hembra	74.40	0.480	-0.460	Ashford <i>et al.</i> (2001)
	Macho	73.90	0.310	-1.710	
Kerguelen	Hembra	103.5	0.110	-4.700	Ashford <i>et al.</i> (2005)
	Macho	95.90	0.120	-4.600	
Macquarie	Hembra	205.3	0.045	-1.540	Kalish y Timmiss (1998)
	Macho	138.4	0.072	-1.370	
Macquarie	Hembra	158.3	0.085	-0.350	Horn (2002)
EEZ	Macho	134.3	0.118	0.080	
Macquarie Island	Combinados	185.5	0.042	-0.781	Constable <i>et al.</i> (2001)
Chile centro-sur	Combinados	177.8	0.109	0.000	Pavéz <i>et al.</i> 1983
	Combinados	218.0	0.048	-0.066	Rubilar <i>et al.</i> (1999)
	Combinados	152.2	0.085	-0.590	Oyarzún <i>et al.</i> 2003b
Chile sur-austral	Combinados	210.8	0.064	-0.432	Aguayo y Cid (1991)
	Combinados	212.6	0.066	-0.477	Young <i>et al.</i> (1992)
Georgia del Sur	Combinados	170.8	0.088	0.000	CCAMLR (1995)
	Combinados	170.9	0.087	0.160	Aguayo(1992)
	Combinados	204.0	0.056	-0.545	Zacharov y Frolkina (1976)
	Combinados	175.0	0.071	0.005	Shust <i>et al.</i> (1990)
	Combinados	207.0	0.075	-0.290	Cassia (1998)



3.2.3 Madurez sexual

Por lo general en las evaluaciones de stock se emplea el peso de los ejemplares sexualmente maduros como una aproximación de la biomasa desovante (en sustitución de la fecundidad o la producción de huevos). La situación más común es que la información disponible de madurez sexual se reporta en forma resumida usando la longitud media de madurez sexual ($L_{50\%}$; **Tabla 3**). Sin embargo, si bien $L_{50\%}$ es un descriptor de la función de frecuencia de madurez sexual por clase de longitud, este indicador no permite reproducir esta relación funcional³. En el mejor de los casos, se cuenta con los parámetros de la función que describe la curva u ojiva que representa la proporción de ejemplares sexualmente maduros por clase de longitud.

Tabla 3.
Longitud media de madurez sexual de bacalao de profundidad estimada para diferentes localidades. Adaptada de Collins *et al.* (2010).

Fuente	Área	L50% mm.	
		machos	hembras
CCAMLR (1987)	South Georgia	577	1104
Moreno (1998)	South Georgia	670	860
Everson y Murray (1999)	South Georgia	785	982
Agnew <i>et al.</i> (1999)	South Georgia	750	1010
Laptikhovsky <i>et al.</i> (2006)	Islas Malvinas	860	900
Payá y Brickle (2008)	Islas Malvinas		897
Prenski y Almeyda (2000)	Argentina	763	871
Moreno <i>et al.</i> (1997)	Chile	1050	1170
Young <i>et al.</i> (1999)	Chile	1287	
Oyarzún <i>et al.</i> (2003a)	Chile	780-940	1130-1170
Arana (2009)	Chile	810	890
Balbontín <i>et al.</i> (2011)	Chile		899
Duhamel (1991)	Kerguelen	650	800
Lord <i>et al.</i> (2006)	Kerguelen	630	850
Pájaro <i>et al.</i> (2009)	Argentina	823	837
Day <i>et al.</i> (2014)	Macquarie Island	1396	

De lo anterior se desprende que para construir una curva que describe la proporción de individuos sexualmente maduros por clase de edad (la información que es requerida por el modelo de evaluación), se necesita de un vector de parámetros de crecimiento (**Tabla 2**), además de la información de madurez sexual por clase de longitud.

³ Para describir la información reproductiva disponible para implementar un modelo de dinámica poblacional estructurado en edades, es mejor reportar la frecuencia de madurez por clase de edad. Si está disponible reportar también el valor de $L_{90\%}$ y/o los parámetros α y β de la función logística ajustada para estimar $L_{50\%}$.



Esta situación necesariamente introduce incerteza en la estimación de las proporciones de individuos maduros por clase de edad, en circunstancia que pueden existir diferentes estimaciones de estos parámetros de madurez y/o de crecimiento para una misma región o para regiones en donde el proceso de maduración gonadal se puede asumir es similar (en aquellas situaciones en donde no hay estimaciones locales).

Evaluaciones de stock recientes del bacalao de profundidad explotado en Chile han hecho uso de una ojiva caracterizada por una edad media de madurez sexual de 12,4 años (Quiroz 2014, Tascheri et al. 2015; **Figura 3**).

Esta curva aparece claramente desplazada hacia un mayor edad con respecto a otras estimaciones reportadas para la misma región (Zuleta y Young 1996, Arana 2009, Balbontín et al. 2011 transformada a edades usando los parámetros de crecimiento estimados por Young et al 1992) o para regiones vecinas (Prenski y Almeyda 2000, Martínez y Wöhler 2013) e incluso en las Islas Malvinas (Laptikhovsky et al. 2006, esta última transformada a edades usando los parámetros de crecimiento estimados por Cassia 1998), todas las cuales exhiben una edad media de madurez sexual contenida en el intervalo 7,8 a 9,8 años (**Figura 3**).

En este contexto, parece más adecuado emplear la ojiva reportada por Balbontín et al. (2011), dado que las muestras fueron tomadas desde la zona comprendida entre los 55°46' S y 68° 32' W hasta los 57° 54' S y 67° 29' W (Tierra del Fuego, donde se concentran los principales caladeros de operación de la flota industrial), cubren el ciclo anual desde enero a diciembre de 2010 y un amplio rango de tamaños de esta especie (58 a 225 cm de longitud total) y su estimación es más consistente con las otras estimaciones disponibles para la misma región y las regiones vecinas (**Figura 3**).

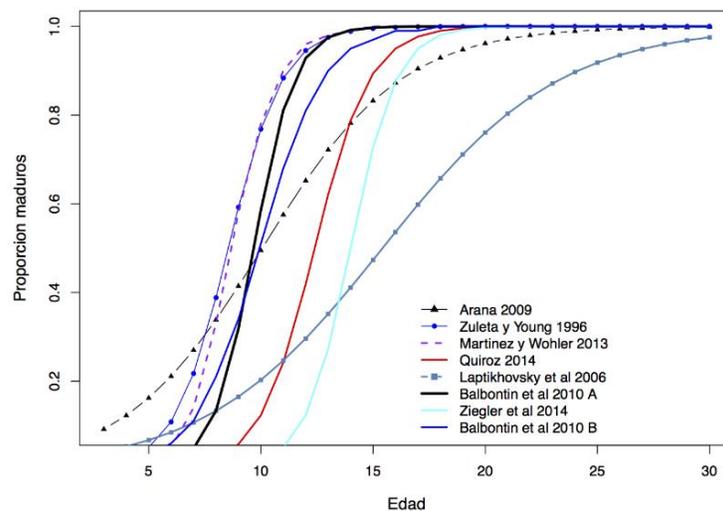




Figura 3. Diferentes ojivas de madurez sexual estimadas por clase de longitud y que est3n disponibles a la evaluaci3n de stock que fueron convertidas a madurez en edades usando diferentes conjuntos de par3metros de la ecuaci3n de crecimiento de Von Bertalanffy (**Tablas 2 y 3**).

3.2.4 Productividad y resiliencia

Para la mayor3a de las poblaciones se presume que existe una regulaci3n denso dependiente en alguna etapa del ciclo vital de la especie y un modo conveniente de incorporar esta dependencia en el modelo de evaluaci3n de stock es en la relaci3n entre la fracci3n desovante presente en un tiempo t y la cohorte que recluta a la poblaci3n en un tiempo $t + 1$ (Brooks y Powers, 2007). Esta relaci3n stock-reclutas describe la productividad del stock e influye su tama1o, la captura sostenible y los puntos biol3gicos de referencia.

La caracterizaci3n y parametrizaci3n de esta relaci3n es sin embargo dif3cil e incierta, debido a que frecuentemente los datos disponibles contienen muy poca informaci3n respecto de la forma funcional y/o el valor de los par3metros de esta relaci3n (Hilborn y Walters, 1992, Zhou 2007, Lee et al. 2012). En general el problema de la incertidumbre de modelo (su forma funcional) no puede ser abordado mediante t3cnicas cuantitativas y por esta raz3n, la forma m3s apropiada de la relaci3n stock – reclutas es a1un un punto de discusi3n para muchos stocks (Patterson et al. 2001, Zhou 2007, Williams and Shertzer 2003). Estos 1ltimos autores recomiendan sin embargo para el manejo la relaci3n de Beverton y Holt (BH), porque los valores de los puntos biol3gicos de referencia son m3s conservadores cuando se usa de esta relaci3n.

Cuando es incorporada en un modelo de evaluaci3n de stock, la relaci3n de BH es a menudo re-parametrizada usando el par3metro *steepness* (h). Este concepto fue popularizado por Mace y Doonan (1988) quienes lo definieron como la fracci3n del reclutamiento virginal (R_0) cuando la biomasa desovante es un 20% de su nivel sin explotaci3n (B_0). Esta re-parametrizaci3n permite determinar la relaci3n de BH con un valor de h y una estimaci3n del par3metro R_0 :

$$R_0 = \frac{B_0}{\alpha + \beta B_n}; \quad hR_0 = \frac{0,2B_0}{\alpha + \beta 0,2B_n}$$

Estas ecuaciones pueden ser usadas para relacionar α y β con h .

$$\alpha = \frac{B_0}{R_0} \frac{1-h}{4h}, \quad \beta = \frac{5h-1}{4hR_0}$$

La falta de conocimiento acerca de la forma de la relaci3n stock-reclutas del bacalao de profundidad (Pay3 et al. 2014), motiv3 que en la evaluaci3n de stock la modelaci3n del reclutamiento fuese implementada como desviaciones simples en torno a un nivel medio de reclutamiento (Tascheri y Canales 2016) lo que equivale a especificar $h=1$. He et al. (2006), demostraron que poblaciones con valores bajos de h (e.g. inferiores a 0,4) tienen una probabilidad muy baja de subsistir en una



situación con variabilidad en el reclutamiento. De este modo los valores posibles de h se encuentran en el rango 0,4 - 1.

En las evaluaciones de stock de bacalao de profundidad tanto el estatus (Zuleta y Hopf 2010) como las proyecciones son sensibles a diferentes valores de h (Brandão *et al.* 2002, Brandão y Butterworth 2011), aun cuando la magnitud de su efecto en el estatus histórico puede ser mínima (CCAMLR WG-FSA-14).

En las evaluaciones de stock de bacalao de profundidad en Chile se ha usado un valor de $h=0,6$. En otras áreas en donde se captura este recurso se han empleado valores de h que van entre 0,35 y 0,9 considerando tanto los casos base como los análisis de sensibilidad y en la CCAMLR se ha adoptado un valor igual a 0,75 (CCAMLR WG-FSA-14). En el Atlántico Sudoccidental, el valor de este parámetro ha sido estimado en 0,67 (Martínez y Wöhler 2013; **Tabla 4**).

Tabla 4.

Valores del parámetro h (steepness) adoptados o estimados en evaluaciones de stock de bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) en diferentes localidades.

Fuente	Área	Rango h		h caso base
Zuleta, A y S. Hopf. (2010)	Chile sur austral	0,7	0,8	0,7
Quiroz (2009-2010), Quiroz y Wiff (2010-2013), Quiroz (2014)	Chile sur austral	-	-	0,6
Brandão <i>et al.</i> (2002)	Prince Edward Islands	0,35	0,9	0,6
Martínez y Wöhler (2013)	Atlántico Sudoccidental	-	-	0,67
Hillary <i>et al.</i> (2006)	South Georgia sub-área 48.3	0,7	0,9	0,8
Ziegler <i>et al.</i> (2014)	McDonald Islands	-	-	0,75
Wayte and Fay (2013)	Macquarie Island	0,5	0,9	0,75
Day <i>et al.</i> (2014)	Macquarie Island	-	-	0,75



3.3 Datos disponibles para la estimación de parámetros.

Pesquería Chilena de bacalao de profundidad

- **Flota artesanal** (18° 21' L.S.- 47° L.S.)
 - Composiciones de longitud 1995 - 2016.
 - Composiciones de edad 1995 – 2006 (escamas).
 - Composiciones de edad 2007 – 2016 (otolitos).
 - Pesos medios a la edad 1995 – 2016.
 - Capturas 1978 – 2016.
 - Bitácoras de pesca FIP 96-32 1968 – 1997.
 - Bitácoras de pesca artesanal (IFOP) 1998-2016.
- **Flota industrial (palangre; 47° S – 57° L.S.)**
 - Composiciones de longitud 1996 - 2006.
 - Composiciones de edad 1991-1992, 1996 – 2006 (escamas).
 - Bitácoras de pesca industrial (IFOP) 1997 - 2006.
 - Pesos medios a la edad 1991 – 2006.
 - Capturas 1989 - 2006.
- **Flota industrial (trotline con cachaloterías; 47° S – 57° L.S.)**
 - Composiciones de longitud 2007 – 2016.
 - Composiciones de edad 2007 – 2016 (otolitos).
 - Pesos medios a la edad 2007 – 2016.
 - Bitácoras de pesca industrial (AOBAC*) 2007 - 2013.
 - Bitácoras de pesca industrial 2016.
 - Capturas 2007 - 2016.

Pesquería Argentina de bacalao de profundidad **

- **Flota arrastre** (sur de la latitud 54°S.)
 - Composiciones de longitud 2003 - 2014.
 - Capturas 1986 - 2016.
- **Flota palangre** (sur de la latitud 54°S)
 - Composiciones de longitud 2003 - 2014.
 - Capturas 1991 - 2014.
 - Registros oficiales de captura y esfuerzo 1993 - 2014.
 - Bitácoras de pesca (observadores científicos) 2003 – 2014.



- * El 13 de mayo de 2014, la Asociación de Operadores del Bacalao de Profundidad de Magallanes AOBAC A.G., puso a disposición de IFOP la información biológica y pesquera del recurso bacalao de profundidad que fue recopilada por esta entidad entre los años 2007 y 2013 para su uso en las evaluaciones de stock del Instituto de Fomento Pesquero (Anexo 2 en Tascheri *et al.* 2015.).

- ** El 21 de agosto de 2014 el Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero de Argentina (INIDEP) y el IFOP establecieron un Convenio Marco formalizando las relaciones de cooperación entre ambas instituciones a fin de: Promover y fortalecer procesos de investigación y extensión comunitaria en las áreas marinas y marinas costeras de los países, generar conocimiento sobre los recursos marinos para un manejo sostenible y mejorar la toma de decisiones, establecimiento de grupos técnicos conjuntos y capacitar a los investigadores en temas relacionados al manejo sostenible de los recursos hidrobiológicos.



3.3.1 Composiciones de longitud

Las composiciones de longitud de las capturas industriales y artesanales son obtenidas desde el muestreo rutinario conducido por el proyecto de seguimiento de la pesquería de aguas profundas (Gálvez *et al.* 2014) las que son luego expandidas al desembarque para su uso directo en el modelo de evaluación de stock y en el estudio de la composición de edad de las capturas (**Figura 4**).

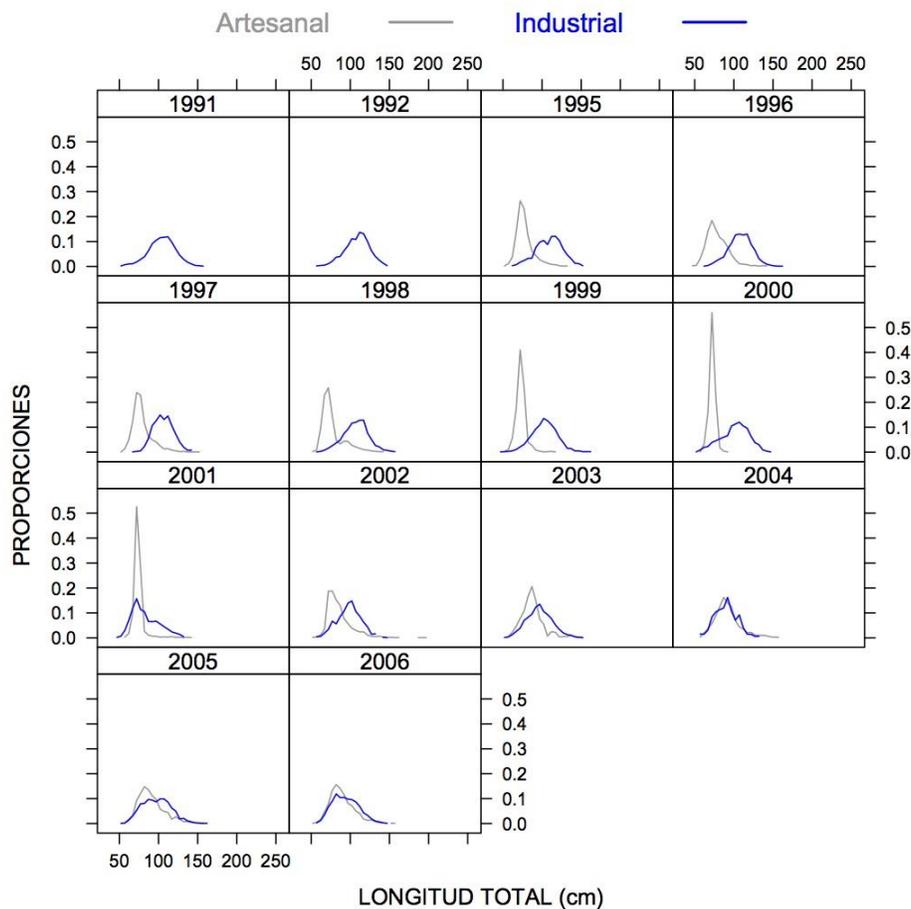


Figura 4. Composición de tamaño de las capturas de industriales y artesanales años 1991 a 2006 (fuente: IFOP).

Los datos de composición de longitud de las capturas industriales y artesanales de los años 1991 a 2006 serán empleados en el modelo en sustitución de los datos de composición de edades determinados mediante lectura de edades en escamas (Tascheri 2017).



Las composiciones de longitud de las capturas de la flota arrastrera y de palangre argentinas corresponden a toda el área de la pesquería y se encuentran disponibles para los años 2003 a 2014 (Figura 5).

Los datos de composición de tamaño de las capturas se están empleando en reemplazo de los datos de composición de edades de la pesca argentina utilizados por Tascheri *et al.* (2015), a fin de evitar el suavizamiento de la variabilidad de la información contenida en la matriz de captura a la edad que es introducido por el procedimiento de slicing de las cohortes con que se obtuvieron las composiciones de edad argentinas (Martínez y Wöhler, 2013). Este procedimiento posiblemente contribuye a sobreestimar la proporción de captura en las clases de edad más viejas y genera datos de composición de edad que están en conflicto con los datos de composición de edades de las capturas chilenas, porque estas últimas han sido obtenidas mediante la determinación de la edad usando otolitos (Polacheck, 2015).

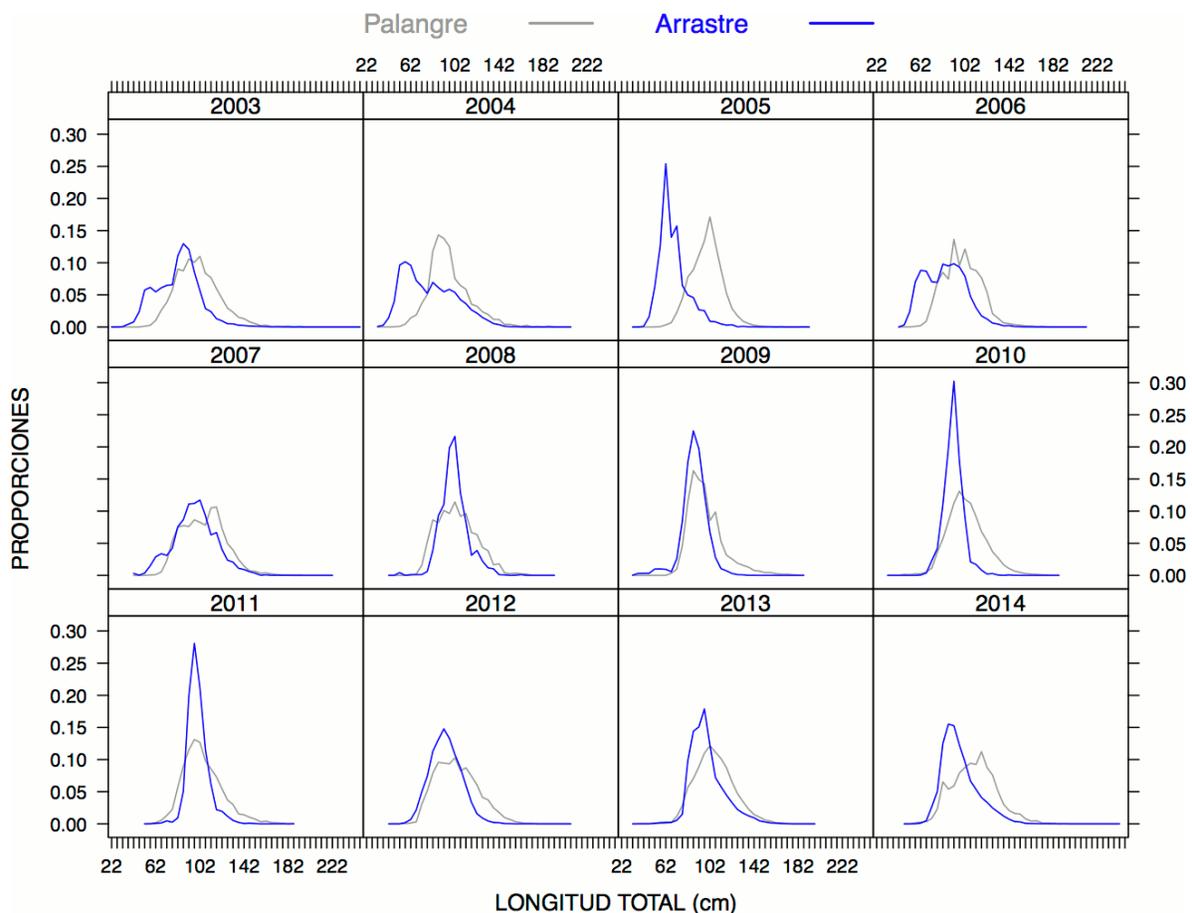


Figura 5. Composición de tamaño de las capturas de arrastre y palangre argentinas para toda el área de la pesquería (fuente: INIDEP).

3.3.2 Composiciones de edad

En el caso de las pesquerías artesanal e industrial de Chile, los datos de composición por edades de las capturas provienen de dos fuentes: entre los años 1991 y 2006 la asignación de edades estuvo basada en la lectura de escamas y entre los años 2007 a 2015 la asignación de edades se ha basado en la lectura de otolitos (Figuras 6 y 7).

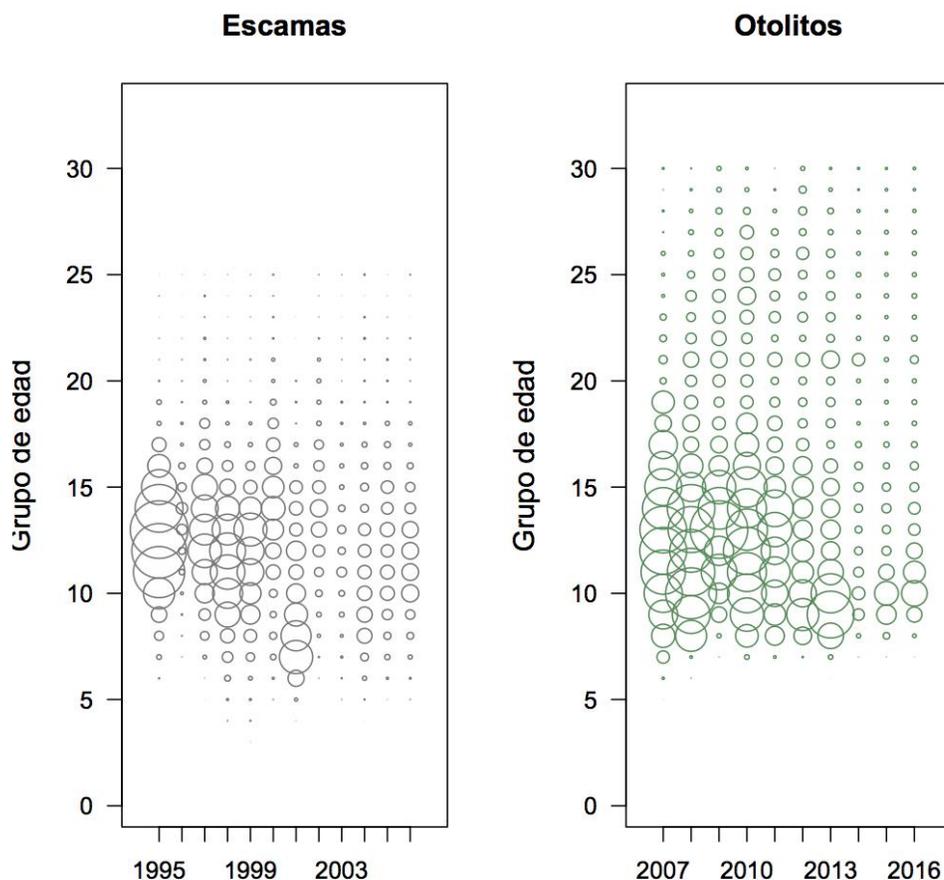


Figura 6. Serie de composición de edades de las capturas industriales de bacalao de profundidad. Izquierda: lectura de escamas, años 1989 a 2006; Derecha: lectura de otolitos, años 2007 a 2013.

En el caso de las escamas, los anillos anuales que se visualizan tienden a mezclarse hacia el borde de la estructura. Esto conduce a una sub-estimación de la edad de los peces más viejos que además son los más grandes (SC-CAMLR-XI, Anexo 5, párrafo 6.124).



La lectura de edades en otolitos ha sido adoptada como el estándar internacional para la asignación de edades en esta especie (Ashford et al. 2001, SC-CAMLR 2001). El cambio de escamas a otolitos para determinar la edad del bacalao de profundidad capturado en Chile es consistente con este hecho.

El bacalao de profundidad deposita una zona traslúcida en el otolito cada año y probablemente los conteos de estas zonas son un método válido para determinar su edad (Horn 2002).

En biología de peces, tanto las escamas como de otolitos han sido ampliamente usados para la determinación de las edades (Oyarzún et al. 2003b) y este hecho se refleja en la evaluación chilena del stock de bacalao de profundidad.

El cambio a la determinación de edades mediante el uso de otolitos introduce, sin embargo, sesgo en la evaluación de stock si se emplean los datos de captura a la edad previos al año 2007 en conjunto con los datos de composición por edades obtenidos desde este año en adelante. Bajo esta circunstancia, hasta el año 2006 la edad de los peces más viejos será sub-estimada y a partir del año 2007 las cohortes más viejas se encontrarán sobre-representadas con relación a su proporción en la captura de los años previos (Polacheck 2015).

Es importante entonces que la evaluación de stock de cuenta del error en los datos de edad basados en la lectura en escamas. A continuación, se describen dos alternativas metodológicas para abordar este problema (mayor discusión de este problema se puede encontrar en Polacheck 2015).

Análisis estadístico del error en la asignación de edades.

El problema clásico de error en la asignación de edades requiere de la solución de dos aspectos: i) la estimación de la matriz de clasificación, que describe la probabilidad de asignar la edad e a un pez con edad verdadera b ; la estimación de las proporciones de edad verdadera en una muestra de peces en circunstancia que las edades individuales pueden haber sido asignadas con error (Richards et al. 1992).

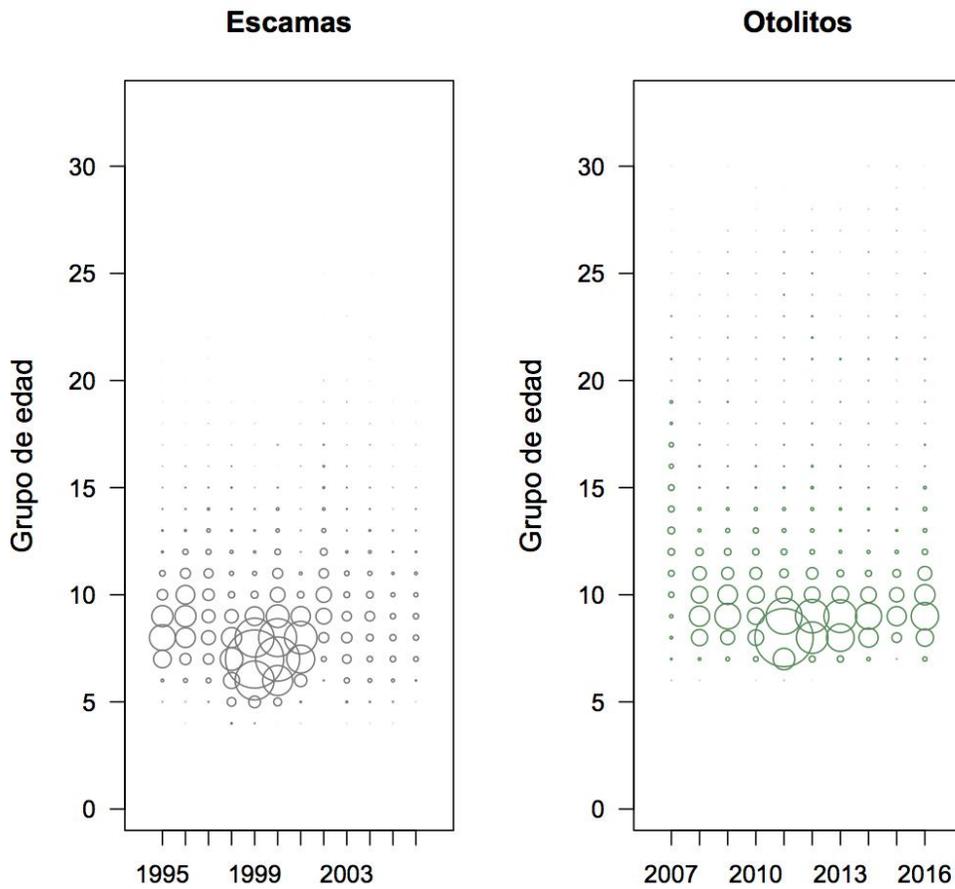


Figura 7. Serie de composición de edades de las capturas artesanales de bacalao de profundidad. Izquierda: lectura de escamas, años 1995 a 2006; Derecha: lectura de otolitos, años 2007 a 2016).

La edad observada e de un pez, es una variable aleatoria que se presume mantiene cierta relación con la edad verdadera b . Dado que la edad verdadera es desconocida, la construcción de la matriz de clasificación requiere adoptar un supuesto respecto del sesgo del error en la asignación de la edad.

El objetivo de la mayoría de los análisis del error en la asignación de edades es la estimación de las proporciones de edades verdaderas.



Si todos los peces en una muestra tienen edad verdadera b , las edades observadas toman de manera característica un rango de valores en la vecindad de b . Esto hace que las clases anuales fuertes parezcan débiles y las débiles fuertes. Este suavizado de la variabilidad en las clases anuales es gobernado por la matriz de clasificación (Fournier y Archibald 1982, Kimura y Lyons 1991, Richards et al. 1992).

El valor esperado del vector de proporciones de las edades observadas es el producto del vector de proporciones de edades verdaderas y la matriz de clasificación. Este proceso conduce a un suavizado porque cada proporción verdadera es distribuida hacia las edades adyacentes. El análisis del error busca revertir este proceso, asignando las proporciones observadas de vuelta a la edad verdadera. Matemáticamente, esto se consigue utilizando la matriz de clasificación inversa.

En Richards et al. (1992) se desarrollan modelos estadísticos que permiten estimar la distribución de edades verdaderas de una población usando múltiples lecturas de la edad en peces individuales (el “problema clásico” de error en la asignación de edades).

Posiblemente este sea un problema significativo en la evaluación de stock del bacalao de profundidad capturado en aguas nacionales (ya sea si las edades fueron leídas en escamas o en otolitos) y la magnitud o impacto potencial de este problema puede ser inferida indirectamente (Henríquez et al. 2016) o ser estimada, realizando los experimentos de lectura múltiple para obtener los datos necesarios para aplicar métodos tales como los descritos en Richards et al. (1992) (ya sea que las lecturas se realicen en escamas, otolitos o ambos), usando muestras de estructuras duras tomadas en la pesquería Chilena y que se mantienen almacenadas en IFOP.

Sin embargo, estos análisis no abordan el problema de la sub-estimación de las edades de los peces más viejos en la evaluación de stock cuando se incluyen las composiciones de edad de los años 1991 a 2006 (basadas en escamas) en conjunto con las composiciones de edad de los años 2007 a 2016 (basadas en otolitos). De hecho, este último problema constituye un problema estadístico diferente del primero y muy probablemente la magnitud del sesgo introducido en la evaluación de stock por el uso simultáneo de los datos de composición de edades basados en la lectura de escamas y otolitos tiene mayor importancia relativa que el sesgo que se introduce cuando las edades individuales son asignadas con error (ya sea leyendo otolitos o cualquier otra estructura).

Siguiendo a Richards et al. (1992) y a diferencia de los problemas estudiados en este influyente trabajo, el sesgo en las composiciones de edades de la evaluación de stock de bacalao que se introduce cuando se usan tanto las estructuras de los años 1991 a 2006 (escamas) como las de los años 2007 a 2016 (otolitos), puede ser abordado asumiendo que las edades leídas en otolitos corresponden a la edad verdadera. Las lecturas múltiples desde estructuras con “edad verdadera” conocida se constituirían entonces una muestra de aprendizaje y el análisis de verosimilitud



correspondería metodológicamente a un problema de modelos de mezcla como los usados en la identificación de stocks (Fournier et al. 1984).

Ajuste de las composiciones de longitud de los años 1991 a 2006.

Otra alternativa, es eludir completamente el uso de las estructuras basadas en la lectura de escamas, estimando las composiciones de longitud de las capturas de los años 1995 a 2006. Esta es la aproximación que en el presente sigue la evaluación de stock de bacalao de profundidad realizada por IFOP (Tascheri et al. 2017). Esta aproximación se considera preferible a intentar “corregir” el error mediante la estimación de una matriz de clasificación, lo que constituye un procedimiento que en sí mismo es propenso a error, el que es luego incorporado en la evaluación de stock.

Incorporación de los datos de composición de las capturas argentinas

Los datos de composición por edades de la captura de las flotas de palangre y arrastre argentinas incluidas en la evaluación de stock 2014 (Tascheri et al., 2015) fueron obtenidas usando un procedimiento de “slicing” que hacía uso de la función de crecimiento (Martínez y Wohller 2013). El informe de revisión de pares (Polacheck 2015) recomendó no incluir en el modelo la información combinada de edades estimadas usando este procedimiento con información de composición por edades determinadas usando la lectura de edades en estructuras duras.

De acuerdo con lo anterior y de igual modo a como se efectuó en las últimas evaluaciones (Tascheri y Canales 2016; Tascheri 2017), las composiciones por edades de las capturas argentinas serán estimadas ajustando la composición de longitudes de estas capturas.

3.3.3 Pesos medios a la edad

Si bien la sub-estimación de la edad del bacalao de profundidad que resulta de usar escamas respecto de las determinaciones de la edad usando otolitos se encuentra bien documentada. El efecto que esto tiene sobre los pesos medios a la edad es algo que está menos difundido. Debido a que cuando se determinan las edades usando escamas los peces más viejos (+23) se encuentran mal clasificados como individuos más jóvenes, el peso medio de estos últimos exhibe un significativo sesgo positivo (**Figura 8**).

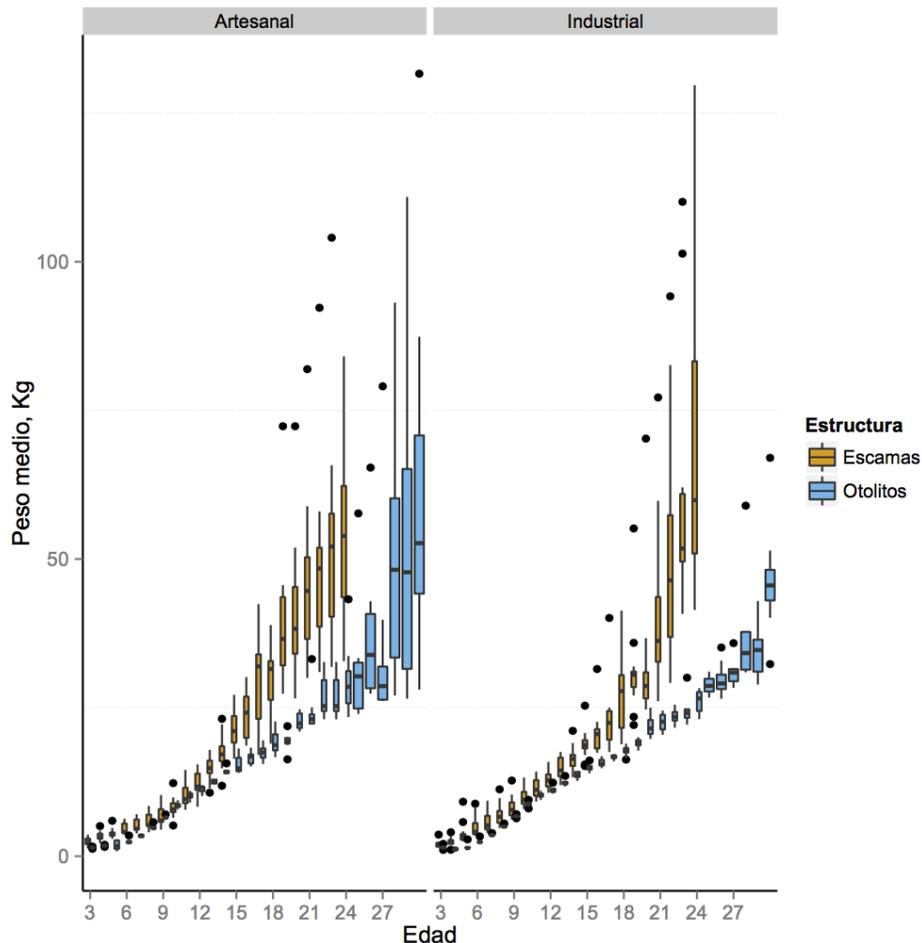


Figura 8. Pesos promedio por edades de bacalao de profundidad correspondientes a los datos de composici3n de las capturas artesanales e industriales estimados usando tanto escamas como otolitos. Escamas: a1os 1995 a 2006; Otolitos: a1os 2007 a 2014. Fuente: IFOP.

Los datos de captura empleados en la evaluaci3n de stock corresponden a una modificaci3n de los datos de desembarque registrados en el Anuario Estadístico de Pesca (SERNAPesca) ue busc3 corregir diferentes situaciones que pueden causar distorsiones en la asignaci3n de la mortalidad por pesca.

En la evaluaci3n del stock de bacalao del a1o 2014, se utiliz3 un 1nico vector de pesos medios para estimar tanto las capturas chilenas como las argentinas (Tascheri et al. 2015). Esto condujo a una p3rdida de consistencia entre los datos de composici3n por edades de las capturas, los pesos medios por edades y la informaci3n de captura por flota ingresada al modelo (Polacheck 2015).



En el modelo de evaluación del año 2015, el uso de las estimaciones de pesos medios por edades producidas por la sección de edad y crecimiento del IFOP (promedios por flota de la información estimada mediante la lectura de otolitos), significó que la información de abundancia por edades y pesos medios a la edad utilizados en la evaluación eran consistentes con los datos de captura ingresados al modelo (**Figura 9**).

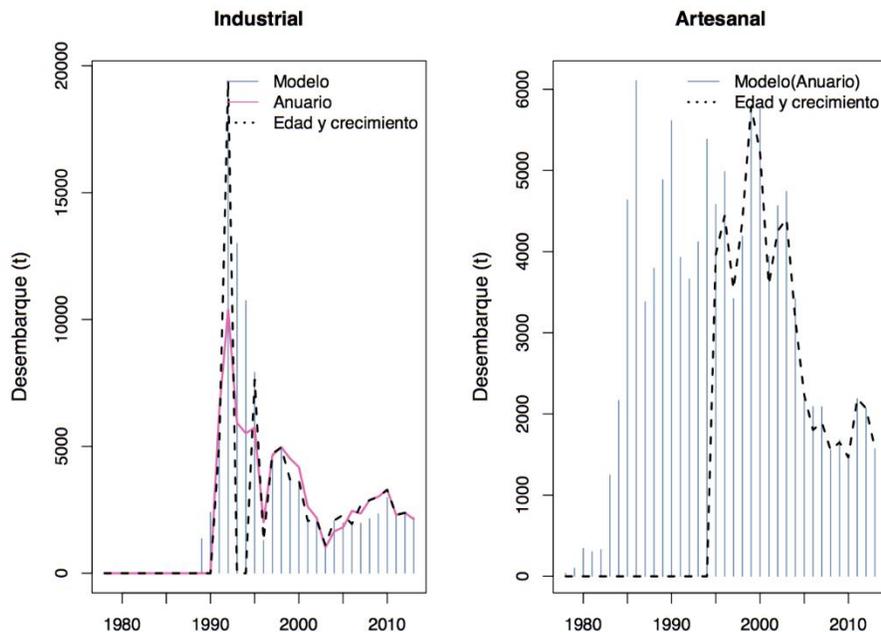


Figura 9. Comparación de los desembarques oficiales del Servicio Nacional de Pesca (Anuario) con la información de captura ingresada al modelo de evaluación de stock y la captura que resulta de la multiplicación de los vectores de pesos medios y las composiciones de abundancia por edades de las capturas usadas en el modelo de evaluación (Edad y crecimiento).

3.3.4 Bitácoras de pesca y registros oficiales de captura

Bitácoras de pesca industrial recopiladas por IFOP

La base de datos de bitácoras de pesca industrial mantenida por el IFOP contiene información de la operación de pesca a la escala del lance y se extiende entre los años 1998 y 2016. Estos registros de operaciones de pesca corresponden a una combinación de registros tomados directamente por IFOP mediante el embarque de observadores científicos y de bitácoras recopiladas indirectamente a través del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura. Esta base de datos es administrada en el sistema centralizado de registro de datos que mantiene el IFOP usando la plataforma Oracle®.



La base de datos de bitácoras de la pesca industrial entre los años 1989 a 2016 fue compilada en este proyecto y se obtuvo uniendo la base de datos mantenida en el sistema centralizado de IFOP (1998 a 2016) con datos de bitácoras de la pesca con palangre recopilados por el proyecto de seguimiento de la pesquería demersal entre los años 1989 y 1997⁴.

La base de bitácoras compilada a partir de los datos recopilados por IFOP, tiene la ventaja de incluir información de captura y esfuerzo de los inicios de la pesca industrial, pero la desventaja de no incluir información de interacción de la pesca con mamíferos marinos o información que provea una medida directa del esfuerzo de pesca ejercido con el sistema trotline con cachaloterías. Este método de pesca fue usado por una fracción de la flota entre los años 2006 y 2007 y ha sido usado en todas las operaciones de pesca a partir del año 2008.

Los datos de esfuerzo de la pesca con cachalotería se han comenzado a tomar por IFOP desde el año 2014.

Bitácoras de pesca artesanal recopiladas por IFOP

Los registros de captura y esfuerzo de bacalao de profundidad en el área de la pesquería artesanal (norte de la latitud 47°S), se pueden obtener principalmente desde dos fuentes: el proyecto FIP 96-32 (Young *et al.*, 1997) y el proyecto de seguimiento de la pesquería demersal de aguas profundas (Gálvez *et al.*, 2014).

La primera se compone de registros de viajes de pesca realizados entre los años 1986 a 1997 que fueron compilados en los puertos de Caldera, San Antonio, Constitución, Lebu y Valdivia.

La segunda se compone de registros de viajes de pesca realizados entre los años 1998 y 2015 y que ha sido recopilados en los puertos de San Antonio, Lebu, Valdivia, Quellón y en las caletas Anahuac, Chiquihue y Carelmapu.

Estos datos se encuentran en formatos diferentes. En particular los códigos de embarcación son diferentes y por tanto no pueden ser unidas sin primero identificar las embarcaciones con registros en ambas bases de datos.

En la evaluación de stock del año 2016 (Tascheri 2017) se utilizó una base de datos que fusionó las dos fuentes de datos actualizando la información de zona de pesca en los registros de los años más recientes.

⁴ Los datos de bitácoras de pesca del año 1989 a 1997 no se encuentran en el sistema Oracle.



Bitácoras de pesca AOBAC A.G.

La base de datos AOBAC contiene información de la operación de pesca a la escala del lance y se extiende entre los años 2006 y 2013. Estos registros de operaciones de pesca corresponden a una combinación de registros tomados directamente por observadores científicos del Centro de Estudios Pesqueros (CEPES S.A.) y otros llenados por los capitanes de los barcos de pesca.

Esta base de datos tiene la ventaja de distinguir entre las operaciones con palangre español y aquellas que emplearon el sistema trotline con cachalotera. Además, incluye varios campos que registran variables relevantes a la interacción de mamíferos marinos con la pesca, en particular orcas y cachalotes.

Registros oficiales de captura y esfuerzo de la pesquería argentina de palangre

En el marco del convenio de cooperación técnica entre IFOP e INIDEP, en las evaluaciones de stock más recientes, se ha podido contar con datos de captura y esfuerzo de la pesca de bacalao de profundidad desarrollada con palangre en la ZZE de Argentina.

El uso de la CPUE estandarizada de los buques palangreros como índices de abundancia relativa de bacalao de profundidad en las evaluaciones de stock argentinas, se ha fundamentado en el hecho que la pesca con palangre puede ser considerada como una pesca dirigida efectivamente hacia la especie desde sus inicios en 1990 y en que el área de operación de esa flota involucra prácticamente la totalidad del área de distribución del recurso en aguas argentinas (Martínez *et al.*, 2011).

Los registros oficiales de captura y esfuerzo de la pesca argentina, corresponden a la captura por operación en kilogramos obtenida desde la estadística pesquera oficial mantenida por la Secretaría de Agricultura, Pesca y Acuicultura (SAGPyA) y administrados en el Centro de Cómputos del INIDEP (Martínez *et al.* 2011).



Estos datos presentan la ventaja de cubrir la pesquería de bacalao de profundidad argentina desde desde el año 1993 hasta el año 2014, pero tienen la desventaja de estar agregados por cuadro estadístico y no incluyen las variables que permiten aproximar mejor el esfuerzo de pesca ejercido con palangre, tales como el número de anzuelos y el tiempo de reposo del aparejo de pesca.

A partir del año 2005, se comenzó a observar una reducción en el número de buques palangreros que operan sobre el recurso, provocando la consiguiente disminución de la cantidad de información biológica y pesquera disponible para la estimación de índice de abundancia relativa. Finalmente, en el año 2014 esta pesquería fue descontinuada en favor de la pesca con arrastre, método con el que se obtienen rendimientos considerablemente mayores.

La reducción del tamaño de esta flota fue una consecuencia de cambios introducidos en la modalidad de manejo de esta pesquería, principalmente el otorgamiento de cupos limitados de captura para la especie (Martínez y Wöhler, 2005, 2006, Wöhler y Martínez, 2005).

Un evento relevante en esta pesquería fue la adopción desde el año 2008 de la “cachalotera”, con el fin de mitigar la depredación de la pesca por los mamíferos marinos. La pesca con este dispositivo registra mayores rendimientos de pesca respecto de la pesca con palangre español y por lo tanto es necesario considerar estos cambios en el proceso de estandarización del esfuerzo a fin de evitar confundir este efecto con un incremento en la biomasa del recurso.

Bitácoras de pesca recopiladas entre los años 2003 y 2014 en la pesquería de palangre por los observadores científicos de INIDEP

A partir del año 2003, argentina implementó diversas medidas de administración pesquera las que incluyeron entre otras, la obligatoriedad de llevar a bordo un observador científico del INIDEP en todas las embarcaciones con autorización de pesca de bacalao de profundidad. Esta actividad de observación científica aportó una gran cantidad de información biológico - pesquera confiable y posibilitó avanzar con los estudios de esta pesquería (Martínez *et al.* 2011).

La base de bitácoras de pesca recopiladas por observadores científicos de INIDEP, cubre los años 2003 a 2014 e incluye variables que permiten medir mejor el esfuerzo de pesca con palangre, tales como el número de anzuelos y el tiempo de reposo (Martínez *et al.*, 2011).

La distinción de las capturas por aparejo de pesca, es decir entre las obtenidas con el uso del palangre español y aquellas obtenidas con cachalotera, es posible tanto en la base Registros oficiales de captura como en la base de datos recopilados por los observadores científicos argentinos.



Como se indica en la secci3n previa de este informe, la pesca con palangre fue descontinuada en el a3o 2014.

Índices estandarizados de abundancia relativa

Los datos de captura y esfuerzo que est3n disponibles a este proyecto se han utilizado en la estimaci3n de cinco índices de abundancia relativa, los que corresponden con las fuentes de datos descritas en la secci3n anterior (Tascheri 2017).

Las series estimadas se representan en la **Figura 10**, divididas por sus respectivas medias para poder representarlas en una escala com3n. Las unidades originales son kilogramos por anzuelo y hora de reposo en el caso de los índices de palangre de la pesquería chilena y argentina (datos de observadores INIDEP), kilogramos por viaje en el caso de la estadística oficial argentina y kilogramos por barandillo en el caso de la pesca con cachaloteras.

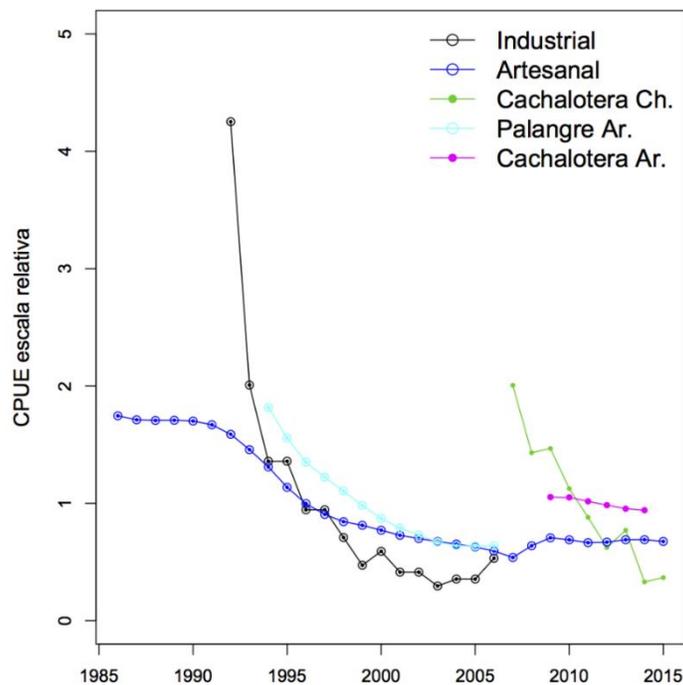


Figura 10. Índices de abundancia relativa de bacalao de profundidad estimados con datos de captura y esfuerzo de la pesquería de palangre industrial chilena (Industrial 1991 a 2006), la pesca chilena con cachalotera (Cachalotera Ch. 2007 a 2015), la pesca artesanal chilena (Artesanal 1986 a 2015), pesquería de palangre argentina: (Palangre Ar., estadística oficial de partes de pesca. 1994 a 2006) y pesquería argentina con cachalotera (Cachalotera Ar. 2009 a 2014).



Varios problemas se interponen a la interpretación de los índices de CPUE de la pesquería Sudamericana de bacalao de profundidad como índices de abundancia relativa, tales como: la segregación del recurso por tamaño/edad, la interacción de la pesca con mamíferos marinos y los cambios de aparejo de palangre a cachalotera.

El efecto de la depredación de la pesca por los mamíferos marinos sobre las capturas totales, las tasas de captura y los índices estandarizados de CPUE es particularmente importante y una fuente clave de incertidumbre en la evaluación de stock. Sin embargo, no hay suficientes datos disponibles para poder cuantificar la magnitud de este efecto de manera de poder incluirlo en la evaluación de stock.

Además la estimación de los efectos de los mamíferos marinos sobre el desempeño de la pesca es confundida por el comportamiento de evasión de los pescadores, en respuesta a la depredación de la pesca, de tal manera que esta acción de los pescadores también puede reducir artificialmente las tasas de captura.

3.3.5 Capturas

Los métodos de evaluación de stock requieren conocer las capturas totales removidas desde la población.

En aguas de la Comisión para la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos (CCRVMA), la pesca ilegal, no reportada y no regulada (IUU) alcanzó niveles importantes durante la etapa de desarrollo de la pesquería de bacalao de profundidad. Sin embargo, en años recientes el sistema de documentación de las capturas (CDS) adoptado por los países miembros de la convención a partir del año 2000, ha contribuido a evitar distorsiones en la cuantificación de las capturas.

El CDS está diseñado para poder demostrar que el bacalao fue capturado cumpliendo las normas de conservación, lo que se consigue mediante el seguimiento de los desembarques y de las transacciones (Collins *et al.* 2010).

Chile como suscriptor de la CCRVMA debe cumplir con el requisito del CDS tanto para los desembarques industriales como artesanales. En el caso de la flota artesanal, que hasta el año 2012 no estaba sujeta a la obligación de usar un sistema de posicionamiento satelital, bastaba con la certificación de los desembarques por parte del SERNAPESCA para emitir el CDS.

Recientemente Estados Unidos (principal mercado para el bacalao de profundidad), decidió no aceptar más importaciones de productos de barcos cuya señal no estuviese conectada al sistema centralizado de la CCRVMA. Esto motivó modificaciones a la LGPA, las que incluyeron



disposiciones expresamente diseñadas para normalizar el registro de los desembarques artesanales, la más notable de ellas es el requerimiento de instalar un dispositivo de posicionamiento satelital a las embarcaciones con más de 15 m de eslora.

Revisión de las capturas realizada por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP).

En el año 2004, el IFOP efectuó una revisión de los registros oficiales de desembarque del Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA) correspondientes a los años 1980 a 2001, a fin de proveer datos útiles para la estimación de capturas biológicamente aceptables.

Esta revisión estuvo fundada tanto en los datos de captura recopilados en los proyectos de monitoreo llevados por el IFOP (los que fueron comparados a través de flotas, zonas y períodos), como en antecedentes de criterio experto.

Los principales criterios de esta revisión dicen relación con:

1. Homologar los desembarques a las categorías de las flotas artesanal e industrial, de acuerdo a las características físicas y operacionales de las embarcaciones (y no con la clasificación artesanal o industrial del armador), a fin de que estas fueran representativas de sus respectivas zonas. De acuerdo a estas características, hasta la décima Región todos los desembarques del período son de origen artesanal con excepción de las localidades de Puerto Montt y Castro, las que fueron consideradas como zonas comunes de desembarque industrial y artesanal. En esta última situación, los autores efectuaron una revisión año a año de los datos de captura por barco y puerto de operación recopilados por el instituto, a fin de asignar el desembarque a la categoría de flota correspondiente. Sin perjuicio de lo anterior, todos los desembarques previos al año 1985 fueron asignados a la clasificación artesanal.
2. Para los años 1980 a 1984, la clasificación “mero o bacalao” (asociada por el servicio a la especie *Poliprion yañezi*) fue homologada a la clasificación “mero o bacalao de profundidad” usada en el anuario del año 1985 (asociada a la especie *Dissostichus eleginoides*). De este modo, todos los desembarques señalados como “mero o bacalao” fueron asumidos como desembarques de bacalao de profundidad.
3. Se definió el año 1989 como el año de inicio de la pesquería industrial.



4. Algunos de los registros artesanales de desembarque de las Regiones XI y XII fueron trasladadas al desembarque industrial.
5. Se consideraron como capturas en aguas nacionales los desembarques de los barcos fábrica declarados en los caladeros “Isla Geogia del Sur” y “Milla Náutica 201” (Cuadro 6, ANEXO 3 en Tascheri et al. 2015).

En este último punto, es importante indicar que aun cuando la ley 19.521 fue promulgada en 1997, el sistema de posicionamiento geográfico automático con apoyo satelital no entró en operación sino hasta el año 2000. De este modo, la posibilidad de sub-reportar las capturas realizadas en aguas nacionales declarándolas como capturas realizadas en aguas internacionales, sólo fue posible entre los años 1991⁵ y 1999 y de este modo, los desembarques de bacalao de profundidad no incluirían distorsiones por esta causa a partir del año 2000.

Entre los años 2002 y 2010, el IFOP también insertó revisiones a los desembarques oficiales en el contexto de los proyectos de seguimiento y de evaluación de stock, pero a diferencia de la revisión de los años 1989 a 2001 estas últimas ediciones no fueron documentadas. Sin perjuicio de lo anterior y por razones de consistencia con las evaluaciones previas, estas últimas ediciones también se han incluido en las evaluaciones de stock de los últimos tres años (**Tabla 5**).

⁵ Año en que la pesquería de bacalao en el mar exterior al sur del paralelo 47° L.S. se declara en Régimen de Pesquería en Desarrollo Incipiente.

**Tabla 5.**

Desembarques oficiales de acuerdo con los Anuarios Estadísticos de Pesca y Acuicultura (www.sernapesca.cl) vs los datos de capturas anuales propuestos por IFOP a partir de revisiones de los datos oficiales de desembarque. Años 1978 a 2016.

Año	INDUSTRIAL		ARTESANAL	
	SERNAPESCA	IFOP	SERNAPESCA	IFOP
1978	0.2	-	38.3	38.3
1979	19.2	-	101.2	101.2
1980	67	-	347	414
1981	29	-	291	334
1982	277	-	330	348
1983	216	-	1248	1391
1984	313	-	2167	2470
1985	396	-	4636	4560
1986	877	-	6108	3925
1987	953	-	3384	3492
1988	504	-	3796	3530
1989	2002	1363	4887	4744
1990	3771	2406	5616	6155
1991	6471	5191	3931	4236
1992	10384	19420	3664	4700
1993	5927	13002	4122	4675
1994	5517	10747	5387	5630
1995	5738	7924	4582	3969
1996	2006	1290	4987	4442
1997	4637	4716	3422	3538
1998	4979	4957	4193	4375
1999	4520	3688	5808	5787
2000	4184	3646	5793	5223
2001	2620	2062	3944	3592
2002	2186	2109	4565	4565
2003	1013	1109	4742	4742
2004	1651	2079	3419	3419
2005	2006	1991	3278	3278
2006	2455	2004	2091	2091
2007	2358	1974	2090	2090
2008	2883	2154	1558	1558
2009	3018	2345	1681	1681
2010	3293	2988	1467	1467
2011	2298	2298	2189	2189
2012	2383	2382	2064	2069
2013	2128	2199	1558	1575
2014	1036	1037	1280	1167
2015	1117	1117	1609	1391
2016	1301	1302	1721	1838



En las evaluaciones de los años 2015 y 2016, se han incluido las capturas de las flotas artesanal e industrial chilenas y las capturas totales de palangre y arrastre registradas en Argentina. (Figura 11).

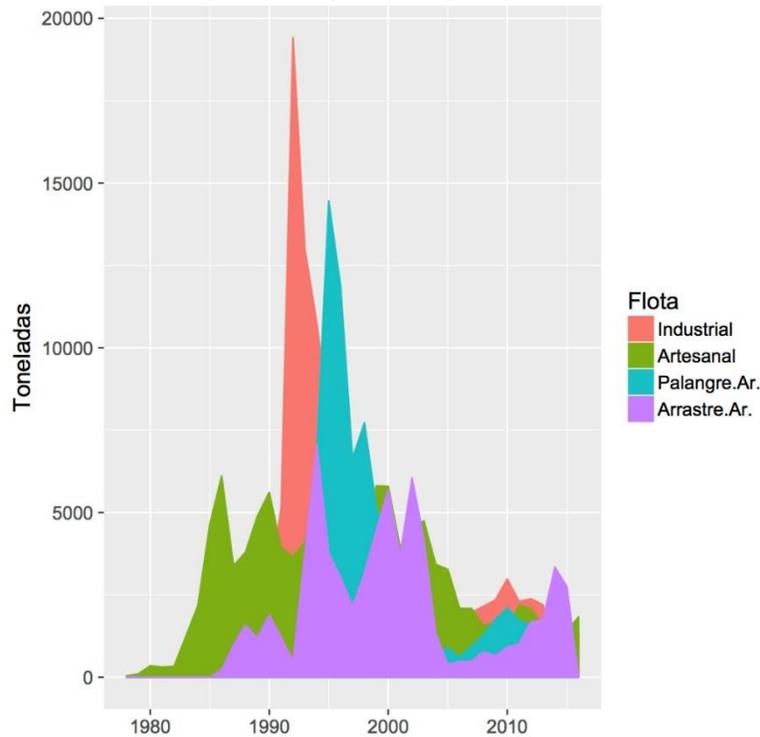


Figura 11. Desembarques de bacalao de profundidad de la pesquería chilena (ART: artesanal; IND: industrial) y Argentina (PAL_AR: palangre; ARR_AR: arrastre).



3.4 Descripción general del modelo

En los proyectos 2015 y 2016 los casos estudiados han sido implementados usando el “Modelo de Evaluación para Alaska” (AMAK; <http://nft.nefsc.noaa.gov/AMAK.html>), desarrollado en AD Model Builder (Fournier *et al.* 2012) por el Dr. James Ianelli en el Alaska Fisheries Science Center del National Marine Fisheries Service de Estados Unidos.

AMAK es un modelo estructurado por edades que proyecta la población hacia adelante a partir de una condición inicial y que utiliza máxima verosimilitud para resolver los parámetros.

La plataforma permite ajustar los parámetros de un máximo de siete componentes de una función de máxima verosimilitud penalizada, que incluye parámetros para: los índices de abundancia, selectividad, reclutamiento, capturas, proporciones por edad, mortalidad por pesca y distribuciones a priori para la mortalidad natural y la capturabilidad de índices de abundancia (e.g. cruceros de evaluación directa).

Las selectividades se pueden modelar usando una de cuatro formas funcionales y una penalización de la curvatura de esta función, la que permite que los parámetros que definen la selectividad varíen tanto a través del tiempo como a través de las edades.

La composición de edades de la captura es modelada usando una distribución multinomial, la que requiere de una medida del tamaño efectivo de muestra para cada año. La distribución posterior de los parámetros puede ser aproximada usando el método de Monte Carlo de Cadenas de Markov (MCMC).

En su sesión N°3 del año 2015, el Comité Científico Técnico de Recursos Demersales de Aguas Profundas (CCT-RDAP), adoptó la evaluación desarrollada por IFOP en ese mismo año, a fin de establecer el estatus del recurso. De este modo, en el año 2015 el modelo implementado en AMAK se constituyó en el método adoptado por el CCT-RDAP para fines de establecer el estatus de este recurso.

Con relación a esta decisión, se recuerda que la evaluación implementada por el IFOP en el año 2014 y que introdujo un número de cambios respecto de la presentada por la misma institución en el año 2013, no fue considerada por el CCT-RDAP para la toma de decisiones para el manejo de ese año en espera de la revisión de pares que tuvo lugar en el año 2014. El detallado informe de revisión de pares recibido en abril de 2015 abarcó aspectos tales como: la calidad y cantidad de datos e información disponibles, hipótesis de trabajo (modelos conceptuales), implementación y estructura del modelo, puntos biológicos de referencia y proyecciones (Polacheck 2015). De acuerdo con lo anterior, el modelo presentado al CCT-RDAP en el año 2015 fue el resultado de la incorporación de la gran mayoría de las recomendaciones del proceso de revisión de pares 2014.



3.4.1 Estructura del modelo

El AMAK modela la captura a la edad con la ecuación de Baranov (1918). La dinámica de la población sigue el número de individuos por edades a través de la historia de las capturas con la mortalidad natural y por pesca actuando sobre los 28 grupos de edad que fueron modelados (3 a 30+). En cada año, los reclutamientos de edad 3 fueron estimados como desviaciones desde el valor medio esperado de una curva de stock-reclutas de Beverton y Holt (1957).

Las desviaciones de los valores esperados respecto de los observados son cuantificadas mediante la especificación de un modelo de error y una función de verosimilitud penalizada. El logaritmo de la verosimilitud total es la suma ponderada de las verosimilitudes calculadas para cada componente de los datos y las penalizaciones. Los pesos de los componentes son inversamente proporcionales a las varianzas especificadas.

En el **Anexo 1** se entrega una descripción de las variables utilizadas y las ecuaciones básicas que describen la dinámica del bacalao de profundidad explotado en las ZEE de Chile y Argentina, junto con las ecuaciones de verosimilitud.

3.4.2 Diagnóstico del modelo de evaluación

Los modelos de evaluación de stock estructurados por edades pueden exhibir gran complejidad y diversidad de tamaño en términos del número de parámetros que requieren ser estimados. Esto crea la necesidad de determinar la mejor forma de resumir sus resultados a fin de que la calidad del ajuste pueda ser investigada. Esta necesidad ha motivado la ejecución de un número de talleres de trabajo orientados a este aspecto de la evaluación de stock en particular (Punt y Kinzey 2009, Harley y Maunder 2003).

En los reportes de todos estos talleres se concluye la necesidad de efectuar regularmente un análisis de las cantidades estimadas versus las observadas y gráficos de residuales, distribuciones marginales de los ajustes de los datos de composición y estudiar periódicamente los análisis de sensibilidad e incertidumbre de los modelos a hipótesis alternativas y relevantes que modifican la configuración del modelo base.



Bondad de ajuste

Para juzgar si los índices han sido ajustados satisfactoriamente, se usaron dos aproximaciones, además del examen gráfico del ajuste.

La desviación estándar de los residuales normalizados (Breen *et al.* 2003). Para estos efectos los residuales normalizados se calcularon como:

$$r_s = [\log(O_{iy}/E_{iy})]/\sigma_{iy}$$

Para resumir el ajuste a una serie de tiempo de observaciones de abundancia se usó la raíz del cuadrado medio del error:

$$RCME = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (\log(O_y) - \log(E_y))^2}$$

Donde, n es el número de observaciones en la serie e y es un índice de los años.

Para resumir el ajuste a los datos de composición de edades de las capturas, se utilizó el tamaño de muestra efectivo:

$$EffN_y = \frac{\sum_a (E_{ay}(1 - E_{ay}))}{\sum_a (O_{ay} - E_{ay})^2}$$

Donde, a es un índice de las edades.

En el caso de los datos de composición de edades que se asume siguen una distribución multinomial, los residuales normalizados del grupo de edad a y año y se calculan del modo siguiente:

$$r_{y,a} = \frac{p_{y,a} - \hat{p}_{y,a}}{\sqrt{\hat{p}_{y,a}(1 - \hat{p}_{y,a})/n_y}}$$

Donde, p y \hat{p} son las respectivas proporciones observadas y estimadas y n el tamaño de muestra para la distribución multinomial que fue ingresado al modelo.



Incertidumbre del modelo.

El estudio de la incertidumbre de modelo, destaca aspectos no resueltos y las principales incertidumbres, conjuntamente con aspectos de especial complicación para la evaluación, incluidas cuestiones respecto del mejor modelo, entre otras (Punt y Kinzey 2009). De acuerdo con Harley y Mounder (2003), un análisis de sensibilidad exhaustivo puede considerar variar los supuestos de parámetros tales como: la mortalidad natural, índices de abundancia alternativos, factores de ponderación de los datos, exclusión de los datos de composición por edades, la variación sistemática de la ponderación de las diferentes piezas de información, entre otros.

De acuerdo con lo anterior, se explorarán corridas alternativas (Escenarios) al modelo base para cada caso considerado en la evaluación (Tascheri 2017).

Ponderación de los datos de composición de las capturas tomando en consideración las correlaciones

En ambos casos analizados en la evaluación de stock del año 2016 (que corresponden a cada uno de los modelos conceptuales considerados), las composiciones de edad de las capturas industriales y artesanales fueron inicialmente ponderadas con un tamaño de muestra de 60 en todos los años para los que se cuenta con este tipo de información (Años 2007 a 2015).

Las composiciones de longitud en cambio (disponibles para los años 1991, 1992 y 1995 a 2006 en el caso industrial, 1995 a 2006 en el caso artesanal y entre los años 2003 y 2014 en el caso de las pesquerías de palangre y arrastre de Argentina) fueron ponderadas con un tamaño de muestra igual a 20 en todos los años en los que esta información se encuentra disponible.

Para calcular los ponderadores tomando en cuenta las correlaciones en los datos de composición de edades y longitud, se usará el método de ponderación de 2^{da} etapa indicado como TA1.8 en la Tabla A1 en Francis (2011). De este modo, el error a ser estandarizado será:

$$\bar{O}_{jy} - \bar{E}_{jy}$$

Donde:

$$\bar{O}_{jy} = \sum_b (x_b O_{jby})$$



$$\bar{E}_{jy} = \sum_b (x_b E_{jby})$$

La varianza de la edad (o longitud) esperada es:

$$v_{jy} = \sum_b (x_b^2 E_{jby}) - \bar{E}_{jy}^2$$

Y los errores son estandarizados por X_{jy}

Donde:

$$X_{jy} = (v_{jy}/\tilde{N}_{jy})^{0,5}$$

El peso a ser utilizado es entonces (Tabla A1 en Francis 2011):

$$w_j = 1/\text{Var}_y \left[(\bar{O}_{jy} - \bar{E}_{jy}) / (v_{jy}/\tilde{N}_{jy})^{0,5} \right]$$

Donde: \bar{O}_{jy} y \bar{E}_{jy} son las edades (o longitudes) medias observadas y esperadas, respectivamente.

x_b es la edad (o longitud) asociada con la clase de edad (o longitud) b .

En esta situación el tamaño de muestra inicial fue el mismo para todos los años y de este modo

$$\tilde{N}_{jy} = \tilde{N}_j.$$



4. OBJETIVO 2: Establecer el estatus actualizado del recurso

4.1 Evaluación del estatus basado en la biomasa desovante

Los cambios en el potencial reproductivo de la población de bacalao se medirán con el índice de reducción del stock desovante:

$$\frac{B_i}{B_0}$$

Donde B_i es la biomasa desovante en el año i y B_0 es la biomasa desovante virginal estimada a partir del reclutamiento virginal R_0 bajo una condición sin pesca y sin variabilidad en el reclutamiento. Esta biomasa es interpretada como una medida del potencial reproductivo máximo respecto de la cual se establece la condición en el año i .

Valores cercanos o superiores a 0,4 se consideran adecuados por encontrarse en la región de plena explotación (próximo a $0,45 * B_0$; Payá *et al.*, 2014). Valores cercanos o inferiores a 0,2 se consideran en o próximos a B_{LIM} (valor de biomasa bajo del cual el recurso se presume en proceso de sobrepesca por reclutamiento y en condición de agotamiento o colapso).



4.2 Marco biológico de referencia

La LGPA manda a que el estatus actualizado de un recurso pesquero (*estado de situación* del recurso), desde el punto de vista de la conservación, se establezca de acuerdo al marco biológico de referencia (MBR) descrito en la definición 59 del Título I, Artículo 2.

La especificación de este MBR para un recurso en particular requiere estimar los Puntos Biológicos de Referencia (PBR) asociados al Rendimiento Máximo Sostenible (RMS) y adoptar un nivel de biomasa, tal que este corresponda a un Punto Biológico Límite (Def. 59, Título I Artículo 2).

El marco biológico de referencia (*MBR*) representa los cambios de estado del stock con relación al nivel de explotación a través del tiempo. Este consiste en un plano cartesiano donde en el eje x se representa la razón entre la biomasa desovante en el año t respecto de la biomasa desovante que produce el Rendimiento Máximo Sostenible (B_t/B_{RMS}) y en el eje y la razón entre la mortalidad por pesca en el año t y la mortalidad por pesca que produce el RMS (F_t/F_{RMS}).

Los *estados de situación* posibles para el recurso son parte esencial del *MBR* y se encuentran definidos por Ley en el modo que a continuación se indica:

Pesquería sub-explotada: aquella en que el punto biológico actual es mayor en caso de considerar el criterio de la biomasa, o menor en el caso de considerar los criterios de la tasa de explotación o de la mortalidad por pesca, al valor esperado del *RMS* y respecto de la cual puede obtenerse potencialmente un mayor rendimiento.

Pesquería en plena explotación: aquella cuyo punto biológico está en o cerca de su *RMS*.

Pesquería sobreexplotada: aquella en que el punto biológico actual es menor en caso de considerar el criterio de la biomasa o mayor en el caso de considerar los criterios de la tasa de explotación o de la mortalidad por pesca, al valor esperado del *RMS*, la que no es sustentable en el largo plazo, sin potencial para un mayor rendimiento y con riesgo de agotarse o colapsar.

Pesquería agotada o colapsada: aquella en que la biomasa del stock es inferior a la biomasa correspondiente al punto biológico límite que se haya definido para la pesquería, no tiene capacidad de ser sustentable y cuyas capturas están muy por debajo de su nivel histórico, independientemente del esfuerzo de pesca que se ejerza.



El CCT-RDAP en su primera sesión del año 2015, adoptó formalmente la B_{RMS} como PBR objetivo y B_{LIM} como $0,5 B_{RMS}$ (Acta CCT-RDAP, enero 2015).

En la citada reunión el CCT-RDAP adoptó para el bacalao de profundidad la clasificación **1b** asignada a esta pesquería de acuerdo a los resultados del “Proyecto 2.16: Revisión de los puntos biológicos de referencia (Rendimiento Máximo Sostenible) en las pesquerías nacionales.” (Payá *et al.* 2014).

En este proyecto se recomendó seguir un sistema de niveles dependiendo de la calidad y cantidad de datos disponibles para cada stock en particular. De acuerdo a esta clasificación, el **Nivel 1** corresponde a: Stocks para los cuales existe un modelo de evaluación estructurado por edades o tamaños que provee estimaciones utilizables de la biomasa actual.

En el Nivel 1, se reconocen sub-niveles, entre los cuales el subnivel **1b** corresponde a una situación en donde se escogen valores sustitutos para los PBRs del RMS. La selección de estos sustitutos toma en consideración la incertidumbre en el modelo de evaluación de stock y el grado (o falta) de resiliencia de la especie.

La clasificación en el Nivel 1b de la pesquería de bacalao de profundidad determina el método de cálculo recomendado para determinar los valores sustitutos de F_{RMS} y B_{RMS} .

De acuerdo con lo anterior, la modalidad de cálculo de los PBRs para esta pesquería se estableció de la forma siguiente (Acta CCT-RDAP, enero 2015):

- Sustituto de F_{RMS} : $\tilde{F}_{RMS} = F_{45\%SPR}$
- Sustituto de B_{RMS} : $\tilde{B}_{RMS} = \bar{R}_g SPR_{0,45}$
- B_{LIM} se define: $\tilde{B}_{LIM} = 0,5\tilde{B}_{RMS}$

Y consecuentemente. $\widetilde{RMS} = YPR_{F_{RMS}} \bar{R}_g$



Donde \bar{R}_a es la media geométrica del reclutamiento; SPR_0 la biomasa desovante por recluta virginal; YPR es el rendimiento por recluta.

Una vez estimados los PBRs, se puede construir el MBR considerando lo establecido en la LGPA. En el marco del proyecto Revisión de los Puntos Biológicos de Referencia (Rendimiento Máximo Sostenible) en las Pesquerías Nacionales (Payá et al. 2014), se propuso el siguiente diagrama (Figura 14):

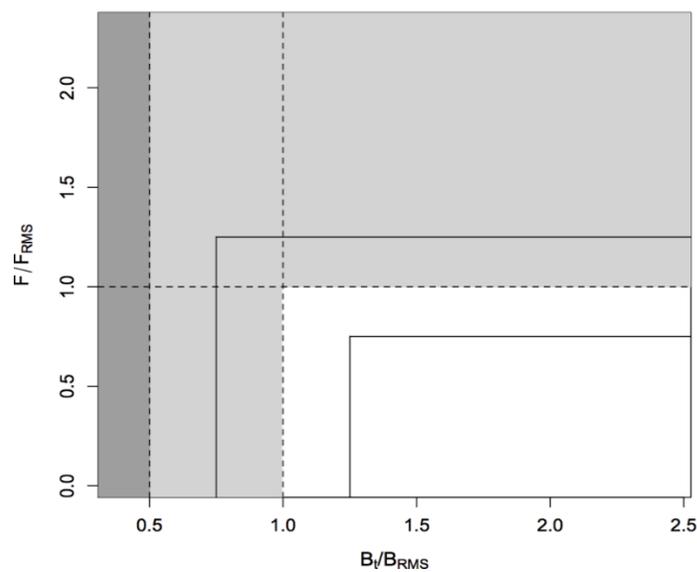


Figura 12. Marco biológico de referencia propuesto en el año 2014 por el proyecto RPBRPN (Payá *et al.* 2014).

En el proyecto RPBRPN los límites de la zona de plena explotación fueron definidos como $0,25PBR_{RMS}$ y $1,75PBR_{RMS}$ (Figura 12).



5. OBJETIVO 3: Análisis de Captura Biológicamente Aceptable.

La población será proyectada en un horizonte de 50 años, comenzando con el vector de números de individuos por grupo de edad estimado en el último año incluido en la evaluación de stock, usando la mortalidad natural y selectividad del último año descritas en la evaluación de stock y la captura reportada en ese año por el control de la cuota de captura realizado por el Servicio Nacional de Pesca.

El reclutamiento será obtenido desde una relación stock-reclutas de Beverton y Holt usando el mismo valor de steepness empleado en la evaluación de stock, la la biomasa desovante estimada en cada año de la proyección y desvíos simulados.

La mortalidad por pesca corresponderá a cinco estrategias de explotación con mortalidad constante iguales a 1, 0.75, 0.5, 0.25 y 0 veces la mortalidad por pesca del máximo rendimiento sostenido (F_{RMS}).

El desempeño de las estrategias será analizado en términos de la reducción de la biomasa desovante en el año 50 de la proyección respecto de la biomasa presente en el año 2016 (B_{2016}), la reducción de la biomasa desovante al final de la proyección respecto de la biomasa que produce el rendimiento máximo sostenible (B_{RMS}), la probabilidad de que la biomasa desovante al final de la proyección sea inferior a B_{2016} , la probabilidad que la biomasa desovante al final de la proyección sea inferior a B_{RMS} y la probabilidad de que la biomasa al final de la proyección sea inferior a la biomasa límite ($0,5*B_{RMS}$). Los tiempos de recuperación del stock (años que requiere la población para alcanzar el estado de plena explotación) también se entregaran para cada caso y estrategia evaluada.

Las proyecciones se realizarán en el contexto de los dos casos analizados en la evaluación de stock.



6. OBJETIVO 4: Programa de Mejoramiento Continuo.

El plan de trabajo para avanzar en el cumplimiento del PMCCAC en el proyecto de estatus y posibilidades de explotación de bacalao de profundidad, está dominado por la necesidad de responder satisfactoriamente a las observaciones y recomendaciones de la revisión de pares realizada al proyecto en el año 2014 (Polacheck 2015).

La revisión e informe de Polacheck (2015) son detallados y extensos, pero la organización y redacción del informe hacen difícil establecer: i) cuantas observaciones fueron realizadas; ii) la prioridad/urgencia de estas recomendaciones. Estos aspectos son claves para poder responder ¿Cuáles recomendaciones/observaciones son necesarias de satisfacer para que el método de evaluación de stock utilizado sea suficiente para dar soporte a la toma de decisiones para el manejo en esta pesquería ?.

Se insiste en que la redacción del informe de revisión de pares es tal que el número y prioridad de las observaciones se dejan a juicio del lector, lo que dificulta responder a la pregunta planteada arriba. Sin perjuicio de ello, si se tiene alguna experiencia en la ejecución de estudios de evaluación de stock, es posible establecer esta prioridad y es la opinión del autor de la evaluación que se han respondido todas las observaciones fundamentales.

Sin perjuicio de esto, en la sesión de octubre de 2016 el autor de la evaluación planteó esta consulta al CCT-RDAP y según se indica en el acta, el CCT decidió pasar esta consulta a un experto internacional, para que este último estableciera en lugar del comité, si la evaluación de stock realizada en el año 2016 responde satisfactoriamente a la gran mayoría de las recomendaciones planteadas en el informe de Polacheck (2015).

En la siguiente sección, se detallan los cambios técnicos hechos a la evaluación revisada en el año 2014 y que resultan en la actual metodología empleada para abordar esta evaluación de stock.



6.1 Cambios en el modelo en respuesta a la revisión de pares 2014.

Los principales cambios incluidos en esta evaluación de stock respecto de la implementada el año 2014 son los siguientes:

1. Exclusión de los datos de composición por edades de las capturas industrial y artesanal leídas en escamas y estimación de la composición de edades de los años previos a 2007 a través del ajuste de las composiciones de longitud de las capturas. Para el fundamento de este cambio ver sección “Composición de edades de las capturas en el Pacífico y Atlántico” en el informe de revisión de pares (Este aspecto de la evaluación es discutido en la sección 2 páginas 78 a la 81 del informe de revisión de pares 2014; Polacheck 2015).

El cambio introducido en el modelo del año 2015 en este aspecto no se encuentra entre las recomendaciones de la revisión de pares, las que para los datos chilenos se concentran exclusivamente en la alternativa de usar una matriz de clasificación inversa (Richards et al. 1992) para revertir el error en la asignación de la edad (en este caso, cuando las estructuras utilizadas son escamas) utilizando los datos documentados en Céspedes *et al.* (2008).



Las razones para adoptar la aproximación metodológica implementada son: i) es más rápido que el proceso metodológico de estimación de una matriz de clasificación; ii) la estimación de una matriz de clasificación para este caso en particular, no está documentada en la literatura; iii) siendo una estimación, el uso de una matriz de clasificación introduce error, el que puede ser mayor al introducido por el procedimiento metodológico adoptado; iv) El procedimiento adoptado, es consistente con las recomendaciones de la revisión, dado que gran parte de los problemas se origina en el uso de información basada en la asignación de edades usando escamas; v) La aproximación metodológica adoptada, es de hecho sugerida en el informe de la revisión de pares, aunque no para el caso de los datos chilenos sino para la modelación de los datos de composición de las capturas argentinas.

2. Exclusión de los datos de composición de las capturas argentinas determinados mediante el procedimiento de slicing y que cubrían sólo el área al sur de la latitud 54°.

Este cambio fue sugerido por el revisor, quien recomendó no ajustar el modelo a datos de composición aproximados mediante slicing simultáneamente con datos basados en la lectura de otolitos. Para este efecto, el informe de revisión recomienda dos caminos metodológicos posibles uno de los cuales corresponde al implementado.

El uso de todos los datos disponibles, en vez de sólo aquellos de las capturas realizadas al sur de la latitud 54°, no emerge de una recomendación de la revisión pero es consistente con el modelo conceptual que da el marco a esta implementación particular del modelo.

3. Inclusión de una curva stock reclutamiento Beverton y Holt para estimar el reclutamiento medio.

En el modelo implementado en el año 2014 el reclutamiento anual era modelado como un reclutamiento medio multiplicado por un residual anual. El desvío o residual anual es modificado por un factor de corrección por sesgo lognormal ($0,5 \sigma_R$, donde $\sigma_R=0,6$; Maunder y Deriso 2003), usando un coeficiente de variación relativamente grande e independiente de la magnitud de la población desovante.

Aspectos pertinentes a este cambio son discutidos en las páginas 101, 102 y 113 del informe de revisión de pares. Entre los principales fundamentos se indican:

Los datos estimados de reclutamiento y biomasa desovante en algunas corridas sugieren la existencia de una relación stock reclutamiento; ii) si los reclutamientos vienen declinando como resultado de la disminución de la biomasa desovante, entonces la estimación de R_0 es probablemente una subestimación en el contexto de la relación stock-reclutas subyacente. iii) Lo anterior es particularmente importante dado que los resultados de la evaluación señalan que la biomasa desovante se encuentra severamente reducida.



4. Cambio de la ojiva de madurez sexual por aquella estimada por Balbontín *et al.* (2011).

En la página 76 del informe de revisión de pares, se objeta la curva de madurez a la edad utilizada en la evaluación hasta el año 2014, argumentando que esta curva es inconsistente con el rango de parámetros de crecimiento y de longitud de 50% de madurez sexual reportados para este recurso (**Tablas 2 y 3**).

La fundamentación de la ojiva utilizada en las evaluaciones de los años 2015 y 2016, se entrega en la sección 3.13 de este informe, bajo el título “Madurez sexual por edades”.

5. Uso de los estimados de pesos medios por edades determinados por la sección de edad y crecimiento del IFOP (Gálvez *et al.* 2014).

Diferencias en los pesos medios determinados para el período con lectura de edades en escamas con aquellas estimados para el período con lectura de edades en otolitos, diferencias de estos pesos con los pesos medios utilizados en la evaluación del año 2013 (Quiroz 2014) y con el vector de pesos medios de las capturas por edades del Atlántico (Martínez y Wöhler 2013), determinaron la decisión de usar un solo vector de pesos por edades para todas las pesquerías en la evaluación de año 2014. Este vector de pesos no era consistente con todos los datos de composición incluidos en el modelo, ni con la ojiva de madurez sexual empleada (Páginas 73 y 74 del informe de revisión de pares).

En las últimas evaluaciones se ha usado entonces la media geométrica de pesos medios estimados para el período de lectura de edades en otolitos, exclusivamente.

Es la opinión del evaluador de stock que la gran mayoría de las inconsistencias a este respecto aludidas en el informe de revisión, derivan del uso de la información basada en la determinación de edades usando escamas.

6. Inclusión del cambio del palangre español a cachalotera en la estimación del índice de abundancia relativa estimado con datos de la pesca de palangre de Argentina.

El cambio desde el palangre español a la cachalotera como principal método de pesca introduce cambios en la capturabilidad que son necesarios de incluir en el modelo. En la evaluación del año 2014 esto sólo fue considerado para la captura industrial chilena y no para la pesca de palangre Argentina, en circunstancia que el cambio del aparejo de pesca también se observó en el Atlántico.



Este cambio en el modelo de los años 2015 y 2016 respecto del revisado en el año 2014, no se encuentra entre las recomendaciones contenidas en el informe de revisión de pares, porque este aspecto de los índices de abundancia relativa no fue discutido en el taller de la revisión.

Las recomendaciones y comentarios que se hacen en el informe de revisión respecto a similar cambio en el aparejo de pesca utilizado en la pesquería chilena justifican esta mejora incluida en las evaluaciones de los años 2015 y 2016.

7. Modelación de la selectividad con una relación no paramétrica suavizada, lo que permite que la selectividad adopte cualquier forma.

De acuerdo con el informe de revisión de pares existe soporte teórico para evaluar selectividades con forma de domo en algunas de las pesquerías incluidas en esta evaluación.

La consideración de selectividad en forma de domo, tiene importantes implicancias para el estatus al permitir el escape de los individuos más viejos.

Las diferentes composiciones de edad de las capturas artesanales e industriales de Chile proponen además ciertas dificultades en el ajuste del modelo, las que son mejor abordadas con un enfoque de modelación más flexible de la selectividad.

Esta flexibilidad en la modelación de la selectividad es una característica distintiva del modelo AMAK, la que tiene un efecto significativo en la calidad del ajuste del modelo.

Este cambio en el modelo de hecho no es respaldado en el informe de revisión, dado que en las páginas 99 y 100 se indica que los cambios en la selectividad deben ser realizados de manera conservadora ya que sin una base objetiva para estos, el modelo puede sobre-ajustar los datos arrojando resultados distorsionados y/o sesgados. Sin perjuicio de ello, el informe de revisión también indica que los valores de las estimaciones que resultan de estos cambios deben ser considerados con cuidado para ver si estos son realistas con relación a la pesquería. Esto último se cumpliría, dado que las tendencias de la abundancia y el estatus del recurso estimadas para los años 2015 y 2016 no difieren de manera sustantiva de los resultados de la evaluación del año 2014, en circunstancia que para las evaluaciones de los últimos dos años se usó un modelo estructuralmente diferente.

8. Cambio en la plataforma usada para implementar el modelo de evaluación, desde el código AD Model Builder implementado en Tascheri *et al.* (2015) por el "Modelo de Evaluación para Alaska" (AMAK).

AMAK es una plataforma probada, cuyo código ya ha pasado por varios ciclos evaluación, de manera que el riesgo de errores de codificación es mínimo.



La propia calidad de los datos disponibles para la evaluación de stock de bacalao de profundidad puede dificultar el proceso de modelación. El uso de un código probado, elimina la incerteza que puede surgir durante el análisis de evaluación respecto de sí la inestabilidad de algunas corridas del modelo se debe a los datos o a errores de codificación. Esto es un aspecto importante, dado que el informe de revisión menciona errores encontrados en el código del modelo de evaluación. Los resultados obtenidos con el uso de AMAK, corroboran que las trayectorias estimadas de la abundancia, reclutamientos o el estatus del recurso, no se ven impactados por los errores aludidos por el revisor.

Esto significa que la consistencia entre los resultados la la evaluación del año 2014 y aquellos de las evaluaciones de los años 2015 (a pesar de que las evaluaciones de los últimos dos años no son estrictamente comparables con el primero), despeja las dudas respecto de cual es el estatus del recurso que entregan los datos disponibles para esta evaluación.

9. Inclusión de la exploración de la incertidumbre del modelo en el informe de estatus.

La evaluación de stock presentada a la revisión no incluyó ningún caso alternativo, ya que estos fueron entregados ya sea en reportes separados (que por solicitud del propio revisor no fueron incluidos en la revisión de pares) o porque fueron incluidos en el informe final del proyecto.

Dada la importancia de incluir una consideración cuidadosa de la incertidumbre de modelo en los resultados de la evaluación y las recomendaciones para la toma de decisiones, en la evaluación de los años 2015 y 2016 estos análisis se han incluido en el Informe de Estatus y no han sido diferidos hasta el Informe Consolidado del proyecto.



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agnew, D., Heaps, L., Jones, C., Watson, A., Berkiet, K., and Pearce, J. 1999. Depth distribution and spawning pattern of *Dissostichus eleginoides* at South Georgia. CCAMLR Sci. 6, 19–36.
- Agnew, D. J. 2004. Fishing South: History and Management of South Georgia Fisheries. The Penna Press, St Albans, 128pp.
- Aguayo, M., I. Paya, C. Vera, V. Ojeda, I. Céspedes y J. Donoso. 1991. Diagnóstico de las principales pesquerías nacionales 1990. Pesquerías demersales “Peces” zona sur austral. Estado de situación y perspectivas del recurso. CORFO-IFOP. 83 p.
- Aguayo, M., y Cid, L. 1991. Recopilación, proceso y análisis de los antecedentes biológico-pesqueros en la pesca exploratoria de bacalao de profundidad realizada por el B/P /Friosur V/. Instituto Fomento Pesquero, Chile. Informe Interno, 63 pp.
- Aguayo, M. 1992. Preliminary analysis of growth of *Dissostichus eleginoides* from the Austral zone of Chile and South Georgia. CCAMLR Document WG-FSA 92/30: 1-8.
- Arana P, M Arredondo y V Venturini. 1994. Pesca del bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*), efectuada por la flota chilena en torno a la isla Georgia del Sur (1991/1992). Investigaciones Marinas, Valparaíso 22:67-84.
- Arana, P. 2009. Reproductive aspects of the Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) off southern Chile. Latin Am. J. Aqua. Res. 37, 381–394.
- Ashford, J. R., S. Wischniowski, C. Jones, S. Bobko and I. Everson. 2001. A comparison between otoliths and scales for use in estimating the age of *Dissostichus eleginoides* from South Georgia. CCAMLR Sci. 8, 75–92.
- Ashford, J., Duhamel, G., Jones, C., and Bobko, S. 2005. Age, growth and mortality of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) caught off Kerguelen. CCAMLR Sci. 12, 9–41.
- Balbotín, F., P. Troncoso y E. López. Análisis de la condición reproductiva del bacalao de profundidad *Dissostichus eleginoides* de la zona austral de Chile, entre enero y diciembre de 2011. En: Rubilar, P. y A. Zuleta. 2011. Pesca de Investigación bacalao 2010. Bases para un programa colaborativo de monitoreo científico en la pesquería del bacalao. Centro de Estudios Pesqueros S.A. 81 p.



- Baranov Fl. 1918. K voprosu o biologicheskikh osnovaniyakh rybnogo khozyaistva. [On the question of the biological basis of fisheries.] Nauchn. Issled. Ikhtologicheskii Inst. Izv. 1: 81-128.
- Belchier, M., and Collins, M. A. 2008. Recruitment and body size in relation to temperature in juvenile Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) at South Georgia. Mar. Biol. 155, 493–503.
- Beverton RJH, Holt S. J. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. *Fish. Invest. U.K. Ser. II*; 19: 1–533.
- Brandao, A., Butterworth, D. S., Watkins, B. P., and Miller, D. G. M. 2002. A first attempt at an assessment of the Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) resource in the Prince Edward Islands EEZ. CCAMLR Sci. 9, 11–32.
- Brandao, A. and Butterworth, D. S. 2011. A proposed management procedure for the toothfish (*Dissostichus eleginoides*) resource in the prince edward islands vicinity. CCAMLR. WG-SAM-08/11.29 p.
- Breen, P. A., S. W Kim, N. L. Andrew. 2003. A length-based Bayesian stock assessment model for the New Zealand abalone *Haliotis iris*. Marine Freshwater Research 54: 619-634.
- Brodziak, J., Ianelli, J., Lorenzen, K., and Methot Jr., R.D. (eds). 2011. Estimating natural mortality in stock assessment applications. NOAA Technical Memorandum NMFS-F/SPO-119. 38 pp.
- Brooks, E. N., and Powers, J. E. 2007. Generalized compensation in stock-recruit functions: properties and implications for management. – ICES Journal of Marine Science, 64: 413–424.
- CCAMLR 1987. Scientific Committee Report, Hobart.
- CCAMLR. 1995. Informe de la Decimocuarta Reunión del Comité Científico. Informes del Comité Científico SC- CAMLR-XIV: 1-500.
- CCAMLR 2009. Scientific Committee Report, Annex 5: Report of the Working Group on Fish Stock Assessment, Hobart, 133pp.
- Candy, S. G. and D.C. Welsford, T. Lamb, J.J. Verdouw and J.J. Hutchins. 2011. Estimation of Natural Mortality for the Patagonian Toothfish at Heard and McDonald Islands Using Catch-at-age and Aged Mark-recapture Data from the Main Trawl Ground. CCAMLR Science, Vol. 18: 29–45.



- Cassia M. C. 1998. Comparison of age readings from scales and otoliths of the Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) from South Georgia. CCAMLR Science 5: 191-203.
- Céspedes, R., L. Adasme, L. Chong, V. Ojeda, L. Muñoz, H. Hidalgo, R. Bravo, L. Cid, L. Miranda, K. Hunt y M. Miranda. 2008. Investigación Situación Pesquería Demersal Austral, 2007. Programa de Seguimiento del Estado de Situación de las Principales Pesquerías Nacionales. SUBPESCA. Informe final, IFOP, 202 p. (+ anexos).
- Collins, M. A., P. Brickle, J. Brown and M. Belchier. 2010. The Patagonian Toothfish: Biology, Ecology and Fishery. In: M Lesser (Ed.) Advances in Marine Biology, Volume 58, pp. 229–289. Academic Press.
- Constable, A.J., Williams, R., Tuck, G.N., Lamb, T., Morrison, S. 2001. Biology and growth of toothfish. In: He, X., Furlani, D. (Eds.), Ecologically sustainable development of the fishery for Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) around Macquarie Island: population parameters, population assessment and ecological interactions. FRDC Report 97/122, pp 87-103.
- Cubillos, L y M. Araya. 2007. Estimaciones empíricas de mortalidad natural en el bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898). Revista de Biología Marina y Oceanografía 42(3): 287 – 297.
- Day J, Wayte S, Haddon M and Hillary R. 2014. Stock Assessment of the Macquarie Island fishery for Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) using data up to and including August 2013. Report to SARAG 48, 1 April 2014. CSIRO, Australia.
- Des Clers, S., Nolan, C. P., Baranowski, R., and Pompert, J. 1996. Preliminary stock assessment of the Patagonian toothfish longline fishery around the Falkland Islands. J. Fish Biol. 49, 145–156.
- De Witt, M. M. 1962. On the probable identity of *Macrias amissus* a deepwater nototheniid fish from the Chilean coast. Copeia 1962 (3): 657-659.
- Duhamel, G. 1991. Biology and harvesting of *Dissostichus eleginoides* around Kerguelen Islands (Division 58.5.1). CCAMLR WG-FSA 91/7.
- Everson, I., and Murray, A. W. A. 1999. Size at sexual maturity of Patagonian toothfish. CCAMLR Sci. 6, 37–46.
- Fournier, D. A. and Archibald, C. 1982. A general theory for analyzing catch at age data. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 39: 1195-1207.



- Fournier, D. A., T. D. Beacham, B. E. Riddell and C. A. Busak. 1984. Estimating Stock Composition in Mixed Stock Fisheries Using Morphometric, Meristic, and Electrophoretic Characteristics. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 41: 400-408.
- Fournier, D.A., H.J. Skaug, J. Ancheta, J. Ianelli, A. Magnusson, M.N. Maunder, A. Nielsen, and J. Sibert. 2012. AD Model Builder: using automatic differentiation for statistical inference of highly parameterized complex nonlinear models. *Optim. Methods Softw.* 27:233-249.
- Francis, R. I. C. C. 2011. Data weighting in statistical fisheries stock assessment models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 68: 1124–1138.
- Francis, R.I.C. 2012. The reliability of estimates of natural mortality from stock assessment models. *Fisheries Research.* (119–120): 133–134.
- Gálvez, P., R. Céspedes, L. Chong, R. San Juan, V. Ojeda, R. Meléndez, R. Cortés, B. Molina, S. López, R. Bravo, L. Muñoz, L. Adasme y J. González. 2014. Convenio I: Asesoría Integral para la Pesca y Acuicultura, 2013. Proyecto 1.9: Programa de Seguimiento de las Pesquerías. Demersales y Aguas Profundas, 2013: Sección VI: Recursos de Aguas Profundas, 2013. Informe Final. IFOP-SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMPRESAS DE MENOR TAMAÑO. 97 p.
- Goetz, S., Laporta, M., Martínez Portela, J., Santos, M. B., and Pierce, G. J. 2011. Experimental fishing with an “umbrella-and-stones” system to reduce interactions of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) and seabirds with bottom-set longlines for Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) in the Southwest Atlantic. – *ICES Journal of Marine Science*, 68: 228–238.
- Guerrero, A., and Arana, P. 2009. Fishing yields and size structures of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) caught with pots and longlines off far southern Chile. *Latin Am. J. Aqua. Res.* 37, 361–370.
- Harley, S. and M. Maunder. 2003. Recommended diagnostics for large statistical stock assessment models. Inter-American Tropical Tuna Commission. SCTB16 Working Paper. MWG-3. 34.p.
- He, X., Mangel, M. and MacCall, A. (2006) A prior for steepness in stock–recruitment relationships, based on an evolutionary persistence principle. *Fishery Bulletin* 104, 428–433.
- Henríquez, V., R. Licandeo, L. A. Cubillos and Cox, S. P. 2016. Interactions between ageing error and selectivity in statistical catch-at-age models: simulations and implications for assessment of the Chilean Patagonian toothfish fishery. 73(4): 1074–109.



- Hilborn, R and C. Walters. 1992. Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics and Uncertainty. Chapman and Hall. 563 p.
- Hillary, R. M, G.P. Kirkwood and D. J. Agnew. 2006. An Assessment of toothfish in SubArea 48.3 using CASAL. CCAMLR Science Vol 13. 65-95.
- Horn, P. L. 2002. Age and growth of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) and Antarctic toothfish (*D. mawsoni*) in waters from the New Zealand subantarctic to the Ross Sea, Antarctica. Fish. Res. 56, 275–287.
- Kalish J.M., and Timmiss T.A. 1998. Determination of Patagonian toothfish *Dissostichus eleginoides* age, growth and population characteristics based on otoliths. CCAMLR WGFS 98/40.
- Kimura, D and J. J. Lyons. 1991. Between reader bias and variability in the age determination process. U.S: Fish Bull. 89: 53 – 60.
- Laptikhovsky, V. and Brickle, P. 2005. The Patagonian toothfish fishery in Falkland Islands waters. Fish. Res. 74, 11–23.
- Laptikhovsky, V., Arkhipkin, A., and Brickle, P. 2006. Distribution and reproduction of the Patagonian toothfish *Dissostichus eleginoides* Smitt around the Falkland Islands. J. Fish Biol. 68, 849–861.
- Lee, Hui-Hua, M. N. Maunder, K. R. Piner and R. D. Methot. 2012. Can steepness of the stock–recruitment relationship be estimated in fishery stock assessment models?. Fisheries Research. 125–126: 254–261.
- Lord, C., Duhamel, G., and Pruvost, P. 2006. The patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) fishery in the Kerguelen Islands (Indian Ocean sector of the Southern Ocean). CCAMLR Sci. 13, 1–25.
- Mace, P.M. and Doonan, I.J. 1988. A generalised bioeconomic simulation model for fish population dynamics. New Zealand Fishery Assessment Research Document 88/4. Fisheries Research Centre, MAFFish, POB 297, Wellington, NZ.
- Maunder, M. N. and R. B. Deriso. 2003. Estimation of recruitment in catch-at-age models. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 60: 1204–1216.
- McKinlay, J. P., Welsford, D. C., Constable, A. J., and Nowara, G. B. 2008. An assessment of the exploratory fishery for *Dissostichus* spp. on Banzare Bank (CCAMLR Division 58.4.3b) based on fine-scale catch and effort data. CCAMLR Sci. 15, 55–78.



- Martínez, P., D. y Wöhler, O. C. 2005. La pesquería argentina de merluza negra durante el año 2004. Informe Interno INIDEP N° 01/05: 18 pp.
- Martínez, P., D. y Wöhler, O. C. 2006. Estimación de la abundancia y el potencial pesquero durante el período 1986-2005 de la merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) del Atlántico Sudoccidental. Informe Interno INIDEP N° 30/06: 30 pp.
- Martínez, P., D. Hernández y O. Wöhler. 2011. Análisis de los índices de abundancia de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) derivados de la información de los observadores y de la estadística oficial. Informe de Investigación. Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero. 12 p.
- Martínez, P. y Wöhler, O. 2013. Estimación de la abundancia de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) del Atlántico Sur Occidental. Período 1986-2012. Recomendación de la Captura Biológicamente Aceptable para el año 2014. Informe Técnico. INIDEP. 26 pp.
- Methot, R. 2009. Stock Assessment: Operational Models in Support of Fisheries Management. In: The Future of Fisheries Science in North America Fish & Fisheries Series, 2009, Volume 31, 137-165.
- Moreno, C. 1991. Hook selectivity in the longline fishery of *Dissostichus eleginoides* (*Notothenidae*) off the Chilean coast. CCAMLR Sel. Sci. Pap. 8, 107–119.
- Moreno C. A. and P.S. Rubilar. 1992. Notas sobre la mortalidad de *Dissostichus eleginoides* de la subárea 48.3. CCAMLR Selected Scientific Papers 9: 21-30.
- Moreno C. 1998. Do the males of *Dissostichus eleginoides* grow faster, or only mature before females? CCAMLR WG-FSA 98/17.
- Moreno, C. A., Rubilar, P. S., and Zuleta, A. 1997. Ficha técnica del bacalao de profundidad *Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898. CCAMLR WG-FSA 97/42.
- Moreno, C., J. Arata, P. Rubilar, R. Hucke-Gaete and G. Robertson. 2006. Artisanal longline in Southern Chile: Lessons to be learned to avoid incidental seabird mortality. Biological conservation. 127:27-36.
- Moreno, C., Castro, R., Mujica, L. J., and Reyes, P. 2008. Significant conservation benefits obtained from the use of a new fishing gear in the Chilean Patagonian toothfish fishery. CCAMLR Sci. 15, 78–79.



- Oyarzún, C., S. Gacitúa M. Araya, L. Cubillos, R. Galleguillos, C. Pino, G. Aedo, M. Salamanca, M. Pedraza y J. Lamilla. 2003 a. Monitoreo de la pesquería artesanal de bacalao de profundidad entre la VIII y XI Regiones. Informe Final, Proyecto FIP 2001-16. 222 pp.
- Oyarzún, C., Gacitúa, S., Araya, M., Cubillos, L., Salamanca, M., Pino, C., Galleguillos, R., Aedo, G., and Lamilla, J. 2003 b. Asignación de edades y crecimiento de bacalao de profundidad. Informe Final, Proyecto FIP 2001-17. 130 pp.
- Pájaro, M., G. Macchi, P. Martínez, O. Wöhler. 2009. Características reproductivas de dos agregaciones de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) del atlántico sudoccidental. Informe de Investigación. INIDEP. 16 pp.
- Patterson, K., R. Cook, C. Darby, S. Gavaris, L. Kell, P. Lewy, B. Mesnil, A. Punt, V. Restrepo, D. W. Skagen and G. Stefánsson. 2001. Estimating uncertainty in fish stock assessment and forecasting. *Fish and Fisheries*. (2):125–157.
- Pavéz, P., E. Yañez, N. Salas, W. Tarky, P. Rojas and H. Flores, 1983. Estudio del bacalao de profundidad *Dissostichus amisus* como recurso pesquero en la región de Valparaíso (33°S-72°W); Evaluación biológica, tecnológica y económica. Inf. Final Secret. Reg. de Plan. y Coord. De la región de Valparaíso. Estudios y documentos Universidad Católica de Valparaíso 1/183: 1-160.
- Payá, I., and Brickle, P. 2008. Stock Assessment and Total Allowable Catch of Toothfish (*Dissostichus eleginoides*). Falkland Islands Government Fisheries Department Scientific Report.



- Payá, I. C. Canales, D. Bucarey, M. Canales, F. Contreras, E. Leal, R. Tascheri, A. Yáñez, M. J. Zúñiga, W. Clark, M. Dorn, M. Dunn, C. Fernández, M. Haddon, N. Klaer, M. Sissenwine and S. Zhou. 2014. Convenio II: "Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales año 2014". Proyecto 2.16: Revisión de los puntos biológicos de referencia (Rendimiento Máximo Sostenible) en las pesquerías nacionales. Subsecretaría de Economía y EMT. IFOP. Informe Final. 51 p. + Anexos.
- Payne, A. G., Agnew, D. J., and Brandao, A. 2005. Preliminary assessment of the Falklands Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) population: Use of recruitment indices and the estimation of unreported catches. *Fish. Res.* 76, 344–358.
- Phillips K.L., Rodgers M., and Ansell E. 2009. Macquarie Island toothfish fishery. In "Fishery status reports 2007: status of fish stocks managed by the Australian Government" (D. T. Wilson, R. Curtotti, G. A. Begg, and K. L. Phillips, Eds), pp. 359–365. Bureau of Rural Sciences, Canberra.
- Polacheck, T. 2015. Review Report on the 2014 Stock Assessment of the Chilean Sea Bass (Patagonian toothfish, *Dissostichus eleginoides*). 64 p. In: Ernst, B., C. Parada, J. Porovic, N. Mermoud y M. Rubio. Programa anual de revisión experta a la asesoría científica de las principales pesquerías nacionales, año 2013: bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) y camarón nailon (*Heterocarpus reedi*). Proyecto N° 2013-90-DAP-23. 54 p.
- Prenski, L. B., and Almeyda, S. M. 2000. Some biological aspects relevant to patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) exploitation in the argentine exclusive economic zone and adjacent ocean sector. *Frente Marítimo* 18, 103–124.
- Punt, A. y D. Kinzey. 2009. Report of the Alaska Crab Stock Assessment Workshop. Crab Plan Team. North Pacific Fishery Management Council. 43 p.
- Quiroz, J. C. 2009. Investigación Evaluación del Stock y CTP Bacalao de Profundidad. 2009. Informe Final. SUBPESCA-IFOP. 31 p. + Anexos.
- Quiroz, J. C. 2010. Investigación del estatus y evaluación de estrategias de explotación sustentables en bacalao de profundidad, 2010. Informe Final. SUBPESCA-IFOP. 52 p. + Anexos.
- Quiroz, J. C. y R. Wiff. 2010. Convenio: Investigación del estatus y evaluación de estrategias de explotación sustentables 2011, de las principales pesquerías chilenas. Actividad 2:



- Peces demersales bacalao de profundidad 2011. Informe Final. SUBPESCA-IFOP. 49 p. + Anexos.
- Quiroz, J. C. y R. Wiff 2012. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2012. Informe Final. SUBPESCA-IFOP. 81 p. + Anexos.
- Quiroz, J. C. y R. Wiff. 2013. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2013: Bacalao de profundidad 2013. Informe Final. SUBPESCA-IFOP. 75 p. + Anexos.
- Quiroz, Q. 2014. Informe consolidado Convenio II: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales 2014. Proyecto 2.7: Investigación del estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables en bacalao de profundidad, año 2014: Bacalao de profundidad, 2014. Instituto de Fomento Pesquero – Subsecretaría de Economía y EMT. 71p + Anexos.
- Richards, L., J. Schnute, A. R. Kronund, R. J. Beamish. 1992. Statistical models for the analysis of aging error. Can. J. Fish Aquat. Sci. 49: 1801- 1815.
- Roberts, J., and Agnew, D. A. 2008. Proposal for an extension to the mark recapture experiment to estimate toothfish population size in Subarea 48.4. CCAMLR WG-FSA 08/46.
- Rubilar, P., C. Moreno y A. Zuleta. 1999. Edad y crecimiento de *Dissostichus eleginoides* (Pisces: *Notheniidae*) en la costa centro-sur de Chile (38°19' a 43°). Rev. Chilena de Hist. Nat. 72: 285- 296.
- Rubilar, P., A. Zuleta, F. Balbontín y P. Troncoso. 2010. Bases para un programa colaborativo de monitoreo científico en la pesquería del bacalao. Pesca de Investigación Bacalao 2009. Informe Primera Etapa. Centro de Estudios Pesqueros S.A. 47 p.
- Salas, R. A., H. Robotham, G. Lizama. 1987. Investigación del bacalao. VIII Región. Informe Intendencia Región del Bio Bio. Secretaría Regional de Planificación y Coordinación de la Región del Bio Bio. Instituto de Fomento Pesquero. Informe Técnico. 107 p.
- SC-CAMLR. 2001. Report of the workshop on estimating age in Patagonian toothfish. In: Report of the twentieth meeting of the scientific committee, annex 5, appendix H. CCAMLR, Hobart, Australia, pp 533–558.



- Shust R. R, PS Gasiukov, RS Dorovkikh & BA Kenzhin. 1990. The state of *Dissostichus eleginoides*. Stock and TAC for 1990/91 in Subarea 48.3 (South Georgia). CCAMLR WG-FSA-90/34: 1-27.
- Tascheri, R., C. Canales, R. Céspedes y L. Chong. 2015. Convenio de Desempeño 2014: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales al año 2015: Bacalao de profundidad, 2015. DOCUMENTO TÉCNICO N°2. Subsecretaría de Economía y EMT - IFOP. 141 p.
- Tascheri, R. y C. Canales. 2016. Documento Técnico Consolidado. Convenio de Desempeño 2015: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales al año 2016: Bacalao de profundidad, 2016. Subsecretaría de Economía y EMT - IFOP. 120 p.
- Tascheri, R. 2017. Documento Consolidado. Convenio de Desempeño 2016: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales al año 2017: Bacalao de profundidad, 2017. Subsecretaría de Economía y EMT - IFOP. 109 p.
- Wayte, S. and G. Fay. 2013. Stock Assessment of the Macquarie Island fishery for Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) using data up to and including August 2012. Australian Fisheries Management Authority. 21 p.
- Williams, E. H., and K. W. Shertzer. 2003. Implications of life-history invariants for biological reference points used in fishery management. Can. J. Fish. Aquat. Sci 60:710-720.
- Wöhler, O. C. y Martínez, P.A. 2005. Estimación de la abundancia y el potencial pesquero de la merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) en el Atlántico Sudoccidental periodo 1986-2004. Informe Interno INIDEP 15/05: 32pp.
- Wöhler, O. C. 2013. La Pesquería de Merluza Negra en el Atlántico Sudoccidental. Aspectos de su evolución histórica y el esquema de manejo actual. Presentación entregada en el Taller de trabajo Científico Chileno-Argentino "Estructura Espacial del Stock Sudamericano de Bacalao (*Dissostichus eleginoides*), Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile, Campus Isla Teja, Valdivia 24-26 Septiembre de 2013, Chile.
- Yáñez E and L Pizarro. 1984. Análisis del rendimiento por recluta del bacalao de profundidad (*Dissostichus amicus*, Gill and Townsend, 1901) en la región de Valparaíso (33°S - 72°W). Investigaciones Marinas, Valparaíso 12: 87-92.
- Young Z., Zuleta A., Robotham H., Aguayo M., and Cid L. 1992. Evaluación del stock de bacalao de profundidad entre las latitudes 47° y 57° S. Informe Técnico IFOP-SUBPESCA, 1-63.



- Young, Z., H. González & P. Gálvez. 1997. Análisis de la captura y del esfuerzo de pesca en la pesquería de Bacalao de Profundidad en la zona Centro-Sur. Informes Técnicos FIP, FIP-IT/96-32, 63 p. + anexos.
- Young, Z., J. Oliva, A. Olivares y E. Díaz. 1999. Aspectos reproductivos del recurso bacalao de profundidad en la I a X Regiones. Informe Final Proyecto FIP 97- 16: 51 pp.
- Zacharov GP and ZA Frolkina. 1976. Some data on distribution and biology of the patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides* Smitt) occurring in the Southwest Atlantic (in Russian). Trudy AtlantNIRO 65: 143-150.
- Zhou, S. 2007. Discriminating alternative stock–recruitment models and evaluating uncertainty in model structure. Fish. Res. 86: 268–279.
- Zuleta A and C.A. Moreno. 1992. Catch at age analysis applied to new fisheries: the case of *Dissostichus eleginoides*. CCAMLR Selected Scientific Papers. SC-CAMLR - SSP/9: 3-9.
- Zuleta, A. y Z. Young. 1996. Investigación CTP de bacalao de profundidad al sur 47° L.S. 1997. Informe Final. 14 p + Anexo.
- Zuleta, A y S. Hopf. 2010. Gestión y asesoría 2009 a los operadores de bacalao (OBAC). Centro de Estudios Pesqueros S.A.- OBAC. 23 p. + Anexos.
- Ziegler P., D. Dirk Welsford, Bill de la Mare and Paul Burch, 2014. An Integrated Stock Assessment for the Heard Island and the McDonald Islands Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) fishery (Division 58.5.2). WG-FSA-14/34, Australian Antarctic Division of Environment, 203 Channel Highway, Kingston, Tasmania 7050, Australia: 53 p.

A N E X O S

A N E X O 1

Modelo de evaluación de stock
(Descripción matemática).



Tabla 1.
Símbolos y definiciones usadas en las ecuaciones del modelo.

Definición general	Símbolo	Uso en el modelo de captura a la edad
Índice anual: $i = \{1978, \dots, 2014\}$	i	
Índice de edades: $j = \{3, 4, \dots, 30+\}$	j	
Índice de longitudes: $l = \{22, 27, \dots, 222+\}$	l	
Longitud media a la edad	L_j	
Matriz de probabilidades de la longitud a la edad	$\Gamma_{l,j}$	
Flota	f	Industrial, artesanal, palangre argentina, arrastre argentina.
Coef. de variación de la longitud a la edad	cv	
Peso medio a la edad j	W_j	
Edad máxima luego de la cual la selectividad es constante	Max_e	Parametrización de la selectividad
Tasa mortalidad natural	M	0,15 constante a través de los años y edades
Proporción maduros a la edad j	p_j	Definición de la biomas desovante
Tamaño de muestra de las proporciones de edad j en el año i .	T_j	Escala el supuesto multinomial acerca de los estimados de las proporciones a la edad.
Parámetros relación stock recluta	R_0	Reclutamiento virginal de equilibrio.
	h	Steepness de la relación SR. Fijo en 0,6.
	σ_R^2	Varianza del reclutamiento
Función logarítmica de verosimilitud negativa.	V	



Tabla 2.
Ecuaciones de los modelos AMAK para bacalao de profundidad.

Definiciones generales	Símbolo	Descripción
1) Índice de abundancia f por año i	Y_i^f	$\hat{Y}_i^f = q_i^f \sum_{j=3}^{30+} S_{ij}^f W_{i,j} e^{Z_{i,j} \frac{L_j}{L_{\infty}}} N_{i,j}$
2) Captura anual en peso	C_i ; Pacífico años 2007 a 2014	$C_i = \sum_j W_{i,j} N_{i,j} \frac{F_{i,j}}{Z_{i,j}} (1 - e^{-Z_{i,j}})$
3) Captura en número por clase de longitud.	$C_{i,l}$; Pacífico 1991 a 2006; Atlántico 2003 a 2014.	$\hat{C}_{i,l} = \Gamma_{i,j} \hat{C}_{i,i}$ $\tau_{i,j} = \int_0^L e^{-\frac{1}{2\sigma_j^2}(L-l)^2} dl$ $L_j = L_{\infty}(1 - e^{-k}) + e^{-k}L_{j-1}$ $\sigma_j = cvL_j$
3) Proporciones a la edad j en el año i	$P_{i,j}, \sum_{j=3}^{30} P_{i,j} = 1$	$P_{i,j} = \frac{N_{i,j} S_{i,j}^f}{\sum_{k=3}^{31+} N_{i,k} S_{i,k}^f}$
Proporciones por clase de longitud l en el año i .	$P_{i,l}, \sum_{l=22}^{222} P_{i,l} = 1$	$P_{i,l} = \frac{C_{i,l}}{\sum_{l=22}^{222} C_{i,l}}$
4) Números iniciales a la edad	$j=3$	$N_{1978,1} = e^{\mu_R + \epsilon_{1978}}$
	$3 < j < 29$	$N_{1978,j} = e^{\mu_R + \epsilon_{1978-j}} \prod_{i=3}^j e^{-M}$
5) Años subsecuentes ($i > 1978$)	$j=30+$ $j=3$ $3 < j < 29$ $j=30+$	$N_{1978,31} = N_{1978,30} (1 - e^{-M})^{-1}$ $N_{i,1} = e^{\mu_R + \epsilon_i}$ $N_{i,j} = N_{i-1,j-1} e^{-Z_{i-1,j-1}}$ $N_{i,30+} = N_{i-1,30} e^{-Z_{i-1,30}} + N_{i-1,31} e^{-Z_{i-1,30}}$
6) Efecto anual, $i=1978, \dots, 2014$	$\epsilon_i, \sum_{i=1978}^{2014} \epsilon_i = 1$	$N_{i,1} = e^{\mu_R + \epsilon_i}$ $F_{i,j} = e^{\mu_f + \eta_j^f + \phi_i}$
7) Mortalidad por pesca instantánea		
Efecto medio de la pesca	μ_i	
Efecto anual de la pesca en el año i	$\phi_i, \sum_{i=1978}^{2014} \phi_i = 0$	
Efecto de la pesca en las edades		
(normalizado). Con variación anual.	$\eta_i^f, \sum_{i=1}^{30+} \eta_{ij} = 0$	$S_{ij}^f = e^{\eta_j^f}, \text{ if } j \leq \text{Maxe}$ $S_{ij}^f = e^{\eta_{\text{Maxe}}^f}, \text{ if } j > \text{Maxe}$



Tabla 2 (continuación).
Ecuaciones de los modelos AMAK para bacalao de profundidad.

Definiciones generales	Símbolo	Descripción
En años en que la selectividad es contante en el tiempo.	$\eta_{i,j}^f = \eta_{i-1,j}^f$	
8) Mortalidad total		$Z_{i,j} = F_{i,j} + M$
9) Biomasa desovante a inicios de agosto	B_i	$B_i = \sum_{j=3}^{30} N_i e^{-\frac{7}{12}Z} W_{i,j} P_j$
10) Reclutamiento	\tilde{R}_i	$\tilde{R}_i = \frac{\alpha B_i}{\beta + B_i}$
Forma Beverton y Holt		$\alpha = \frac{4hR_0}{5h-1}$ y $\beta = \frac{B_0(1-h)}{5h-1}$
		$h = 0.6$
		$B_0 = \tilde{R}_0 \varphi$
		$\varphi = \frac{e^{-M} W_{31} P_{31}}{1 - e^{-M}} + \sum_{j=3}^{31} e^{-M(j-1)} W_j P_j$
Parámetros a estimar		
		$\phi_i(\#), R_0, \varepsilon_i(\#), \mu^f, M, \eta_j^f(\#)$



Tabla 3.
Componentes de la función objetivo de los modelos AMAK para bacalao de profundidad.

Componentes de verosimilitud		Descripción/ notas
11)	Índice de abundancia relativa $V_1 = \lambda_1 \sum_i \ln \frac{Y_i^f}{\hat{Y}_i^f} \frac{1}{2\sigma_i^2}$	CPUE flotas artesanal, industrial y palangre y arrastre argentinos
12)	Prior del suavizamiento de la selectividad $V_2 = \lambda_2^f \sum_{j=3}^{31+} (\eta_{j+2}^f + \eta_j^f + \eta_{j+1}^f)^2$	Suavizamiento (segunda derivada). Influencia los estimados en ausencia de datos. Si no hay señal del reclutamiento, este converge al reclutamiento medio.
13)	Prior regularidad del reclutamiento $V_3 = \lambda_3 \sum_{i=1978}^{2014} \epsilon_i^2 \frac{1}{2\sigma_R^2}$	Ajuste a la captura de cada año.
14)	Verosimilitud de la captura. $V_4 = \lambda_4 \sum_{i=1978}^{2014} \ln \left(\frac{C_i}{\hat{C}_i} \right)^2$	
15)	Verosimilitud de las proporciones a la edad. $V_5 = \sum_{f,i,j} T_{i,j}^f P_{i,j}^f \ln(\hat{P}_{i,j}^f P_{i,j}^f)$	
16)	Regularidad de la mortalidad por pesca. $V_6 = \lambda_6 \sum_{i=1978}^{2014} \phi^2$	Se relaja en la última fase de estimación.
17)	Priors $V_7 = \lambda_7 \frac{\ln(l/\hat{l})^2}{2\sigma_l^2}$	Prior en la longitud media de la primera edad.
Función objetivo total a ser minimizada. $\hat{\psi} = \sum_{k=1}^7 V_k$		

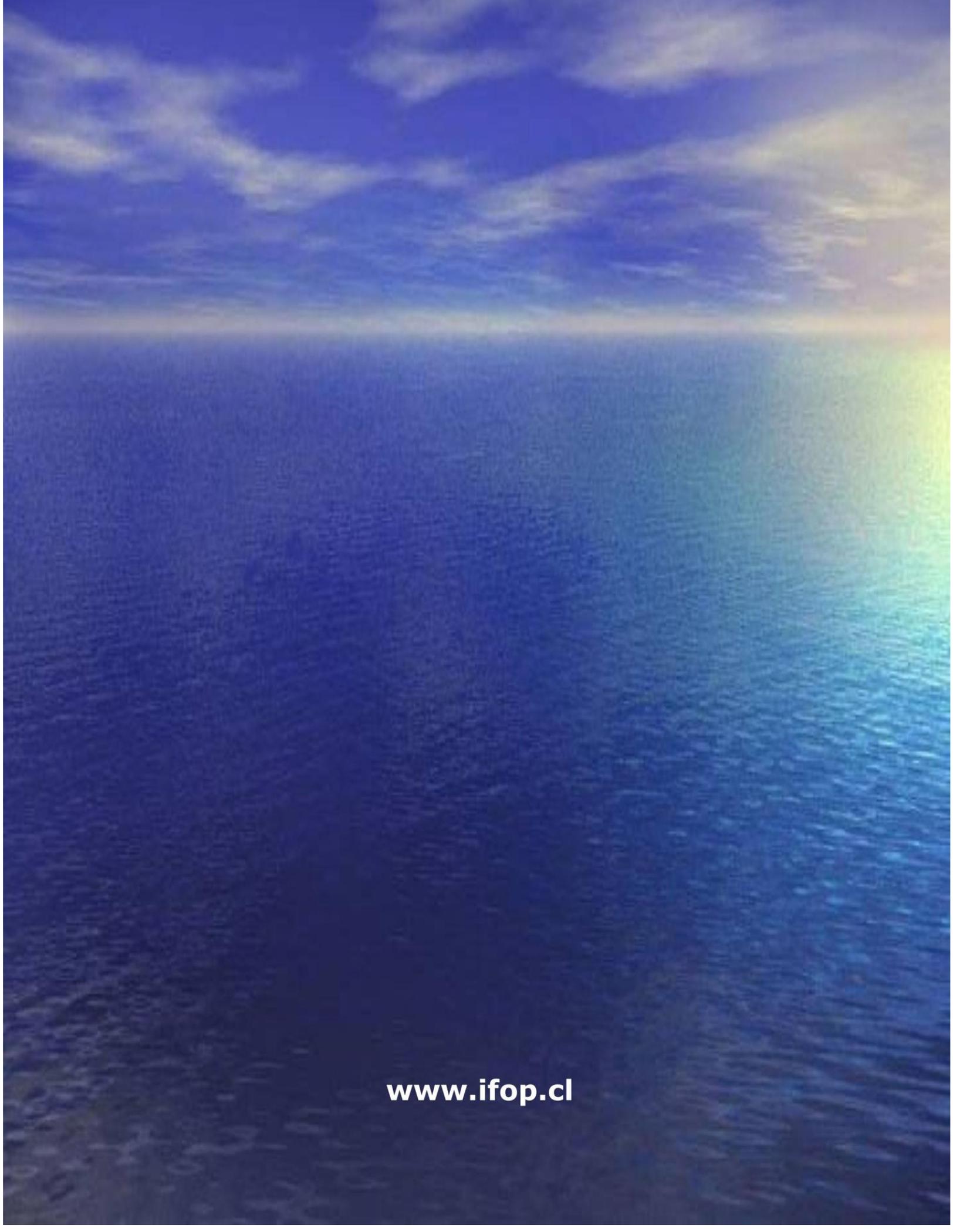


INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Almte. Manuel Blanco Encalada 839,
Fono 56-32-2151500
Valparaíso, Chile
www.ifop.cl



www.ifop.cl