



**INFORME 1 DE ESTATUS**

Convenio de Desempeño 2016  
Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables  
de los principales recursos pesqueros nacionales año 2017:

**Bacalao de profundidad, 2017**

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Agosto 2016





## **INFORME 1 DE ESTATUS**

Convenio de Desempeño 2016  
Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables  
de los principales recursos pesqueros nacionales año 2017:

### **Bacalao de profundidad, 2017**

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Agosto 2016

#### **REQUIRENTE**

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

Subsecretario de Economía y EMT  
**Natalia Piergentili Domenech**

#### **EJECUTOR**

**INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP**

Director Ejecutivo  
**Leonardo Núñez Montaner**

Jefe de División Investigación Pesquera  
**Claudio Bernal Larrondo**

#### **JEFE DE PROYECTO**

Renzo Tascheri Oyaneder

#### **AUTOR**

Renzo Tascheri Oyaneder





## RESUMEN EJECUTIVO

---

Se informa la actualización de la evaluación de stock de bacalao de profundidad al año 2016, incluyendo la descripción y discusión de los datos e información de entrada al modelo de evaluación de stock, la descripción y fundamento de los modelos conceptuales que dan contexto a los casos analizados en la evaluación, la estimación de los índices de abundancia relativa, los métodos empleados en la evaluación, incluida la descripción general y matemática del modelo, los resultados de la evaluación de stock, el análisis de incertidumbre del modelo, el análisis del estatus del recurso y la determinación del estado de situación de la pesquería, en conformidad con la Ley General de Pesca y Acuicultura (condicional a los métodos y supuestos adoptados en la evaluación).

Se consideró la información y datos disponibles actualizados hasta el año 2015, los que fueron analizados usando un modelo integrado de evaluación de stock en el contexto de dos casos justificados por dos modelos conceptuales diferentes:

Caso 1: consideró en conjunto las pesquerías industrial y artesanal chilenas (plataformas Pacífica y Patagónica) y las pesquerías de palangre y arrastre de Argentina (plataforma Atlántica). 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.

Caso 2: consideró 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).

El análisis de los dos casos fue implementado usando el modelo AMAK, desarrollado en AD Model Builder por el Dr. James Ianelli del Alaska Fisheries Science Center del NMFS de Estados Unidos.

Se estimaron los puntos biológicos de referencia sustitutos del Rendimiento Máximo Sostenible (RMS), de acuerdo a lo adoptado por el Comité Científico Técnico de Recursos Demersales de Aguas Profundas (CCT-RDAP) en su primera sesión del año 2015.

Se mantuvieron todos los cambios incorporados en la evaluación de stock del año 2015 y se incluyó la estimación de un índice de abundancia alternativo para los datos de la flota industrial de Chile (sin separar la serie en función del arte de pesca y la exploración de un procedimiento de ponderación de los datos de abundancia relativa y composición de edades/longitud de las capturas, que toma en



consideración las correlaciones de los datos de composición (Ambas recomendaciones de la revisión de pares del año 2014).

En el Caso 1 la biomasa desovante presente en el año 2015 fue estimada en 38.156 toneladas y en 24.130 toneladas en el Caso 2. El nivel de reducción de la biomasa desovante fue estimado en 0,16 en los dos casos estudiados.

La localización del stock en su el Marco Biológico de Referencia, según fue adoptado para esta pesquería por el CCT-RDAP, indicó que la pesquería se encuentra agotada o colapsada.



## ÍNDICE GENERAL

	Página
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b> .....	<b>i</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>iii</b>
<b>1. OBJETIVOS DEL PROYECTO</b> .....	<b>1</b>
1.1 Objetivo general.....	1
1.2 Objetivos específicos .....	1
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	<b>2</b>
2.1 Pesquería .....	2
2.1.1 Escenario internacional.....	2
2.1.2 Pesquería chilena de bacalao de profundidad .....	5
2.1.3 Pesquería argentina de bacalao de profundidad .....	6
2.1.4 Aparejos y métodos de pesca .....	7
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>10</b>
<b>3.1 Objetivo específico 1:</b> .....	<b>10</b>
<i>Implementar procedimientos de evaluación de stock</i> .....	10
3.1.1 Modelo conceptual.....	10
3.1.2 Parámetros de historia de vida. ....	11
3.1.2.1 Mortalidad natural .....	11
3.1.2.2 Crecimiento.....	12
3.1.2.3 Madurez sexual .....	13
3.1.2.4 Productividad y resiliencia .....	16
3.1.3 Datos disponibles para la estimación de parámetros.....	17
3.1.3.1 Composiciones de longitud.....	19
3.1.3.2 Composiciones de edad .....	20
3.1.3.3 Pesos medios a la edad.....	24
3.1.3.4 Bitácoras de pesca y registros oficiales de captura .....	26
3.1.3.5 Capturas .....	32
3.1.4 Descripción general del modelo.....	36
3.1.4.1 Estructura del modelo .....	37
3.1.4.2 Cambios en el modelo en respuesta a las recomendaciones de la revisión de pares del año 2014.....	38
3.1.4.3 Diagnóstico del modelo de evaluación.....	42
3.1.4.4 Incertidumbre del modelo. ....	43
<b>3.2 Objetivo específico 2:</b> .....	<b>44</b>
<i>Establecer el estatus actualizado del recurso.</i> .....	44
3.2.1 Evaluación del estatus basado en la biomasa desovante.....	44
3.2.2 Marco biológico de referencia .....	44
<b>3.3 Objetivo específico 3:</b> .....	<b>47</b>



	<i>Analizar las distintas alternativas de Captura Biológicamente Aceptable</i> .....	47
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>48</b>
<b>4.1</b>	<b>Objetivo específico 1:</b> .....	<b>48</b>
	<i>Implementar procedimientos de evaluación de stock</i> .....	48
4.1.1	Medidas de ajuste.....	48
4.1.2	Estimaciones de los parámetros .....	62
4.1.2.1	Selectividades.....	62
4.1.2.2	Mortalidades .....	64
4.1.2.3	Reclutamientos .....	65
4.1.2.4	Biomاسas .....	68
4.1.3	Resumen de la evaluación de stock .....	71
<b>4.2</b>	<b>Objetivo específico 2:</b> .....	<b>72</b>
	<i>Establecer el estatus actualizado del recurso</i> .....	72
4.2.1	Puntos biológicos de referencia .....	72
4.2.2	Evaluación del estatus basado en la biomasa desovante.....	72
4.2.3	Marco biológico de referencia .....	73
4.2.4	Incertidumbre del modelo .....	74
4.2.5	Ponderación de los datos de composición de las capturas tomando en consideración las correlaciones .....	81
4.2.6	Resumen del estatus del stock de bacalao de profundidad .....	85
4.2.7	Estado de situación de la pesquería de bacalao de profundidad .....	85
<b>4.3</b>	<b>Objetivo específico 3:</b> .....	<b>86</b>
	<i>Analizar las distintas alternativas de Captura Biológicamente Aceptable</i> .....	86
4.3.1	Caso 1: flotas argentinas de palangre y arrastre más flota artesanal e industrial chilenas ..	86
4.3.2	Caso 2: Flotas artesanal e industrial chilenas .....	87
<b>4.4</b>	<b>Objetivo específico 4:</b> .....	<b>91</b>
	<i>Informar el avance del Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría Científica (PMCCAC)</i> .....	91
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS</b> .....	<b>93</b>
<b>6.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>97</b>

#### ANEXOS:

- Anexo 1.** Modelo de evaluación de stock (Descripción matemática).
- Anexo 2.** Estimación de índices de abundancia relativa.
- Anexo 3.** Análisis de residuales de los datos de composición de edad y longitud de las capturas.
- Anexo 4.** Datos modelo bacalao profundidad (*Incluida en CD presentado al inicio del documento*)





## **1. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

---

### **1.1 Objetivo general**

Actualizar el estatus del bacalao de profundidad y analizar sus posibilidades de Captura Biológicamente Aceptable (CBA) frente a distintos niveles de riesgo considerando escenarios alternativos de la naturaleza, en horizontes de corto y mediano plazo, conforme al marco legal vigente y las directrices científico-técnicas formuladas por el Comité Científico Técnico y las directrices que se establezcan en el plan de manejo.

### **1.2 Objetivos específicos**

- I. Implementar procedimientos de evaluación de stock basados en protocolos científicos para la determinación del estatus del bacalao de profundidad con arreglo al nivel de conocimiento, información e incertidumbre correspondiente, conforme a los estándares actuales en ciencia pesquera.
- II. Determinar las variables poblacionales del bacalao de profundidad conforme al marco legal vigente y estimar el valor de los Puntos Biológicos de Referencia, determinados por el Comité Científico y Técnico (CCT) respectivo, bajo condiciones de incertidumbre estructural y de estimación empleando el mejor conocimiento e información disponible a la fecha de ejecución del estudio.
- III. Analizar las distintas alternativas de Captura Biológicamente Aceptable para este stock acorde con las estrategias de explotación y reglas de control previamente definidas y considerando los posibles estados de la naturaleza, con sus respectivos análisis de riesgo, incluyendo análisis en horizontes de mediano y largo plazo, según requerimiento.
- IV. Proponer el plan de trabajo para avanzar durante el año 2016 en el cumplimiento del Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría Científica (PMCCAC), informando los logros esperados y su vinculación con las siguientes etapas del Programa e informar del cumplimiento de cada una de las recomendaciones realizadas en las revisiones por pares, cuando corresponda y tareas complementarias sugeridas por los CCT y/o evaluadores nacionales.



## 2. ANTECEDENTES

---

El proyecto de Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables hace uso de métodos indirectos de evaluación de stock para integrar información actualizada acerca de la biología, demografía y pesquería de bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*, Smitt, 1898), a fin de actualizar su estado de situación conforme a las disposiciones del Artículo N°2 Título I de la Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA).

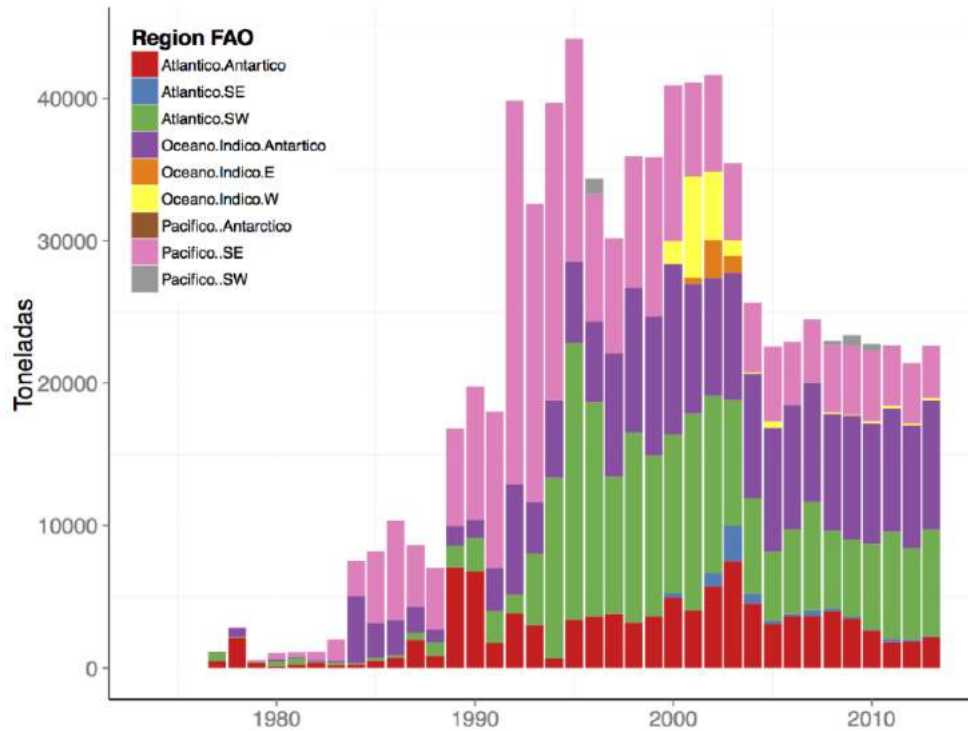
Como información actualizada se entiende aquella disponible a la fecha de ejecución de este estudio, la que incluye tanto aquella producida por el programa de investigación permanente para la administración pesquera (el seguimiento sistemático de la pesquería y este proyecto), la investigación de carácter ocasional acerca de la biología, ecología y explotación pesquera de este recurso, disponible a través de publicaciones científicas, tesis de pre y post grado y/o reportes científico-técnicos de carácter público y los informes de revisión de pares tanto nacionales como internacionales.

Este proyecto es encargado por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura al Instituto de Fomento Pesquero como parte del proceso anual de asesoría científica y constituye el sustento técnico fundamental para establecer los rangos de explotación biológicamente recomendables para el bacalao de profundidad, cuyos niveles de biomasa son regulados mediante cuotas de captura.

### 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). Treinta años más tarde, este recurso comenzó a ser capturado como fauna acompañante en pesquerías de arrastre desarrolladas alrededor de la isla Kerguelen, la plataforma Patagónica y alrededor de las Islas Georgias del Sur. A mediados de los años 80s, el desarrollo de espineles posibles de ser operados a gran profundidad condujo a la pesca en aguas chilenas dirigida hacia los adultos de esta especie y la actividad rápidamente se expandió a la plataforma Patagónica, Georgia del Sur y Kerguelen. El alto precio del producto en el mercado internacional llevó a un rápido incremento en las capturas y a la exploración de nuevos caladeros. De acuerdo con FAO y solamente incluyendo las capturas legales, los desembarques en la 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 ingl3s de ultramar), la pesca de espinel comenz3 con barcos de la Uni3n Sovi3tica a fines de los a3os 80s, a los que luego se sumaron barcos de Chile, Bulgaria y Ucrania. En 1993/1994 la CCAMLR design3 la regi3n de Georgia del Sur como un 3rea especial para la protecci3n y el estudio cient3fico. El despliegue de observadores cient3ficos demostr3 la severidad de la pesca incidental de aves lo que condujo a limitar la pesca s3lo a los meses de invierno (Agnew 2004). A partir de 1999, la temporada ha estado restringida entre mayo y agosto (CCAMLR 2009). En a3os recientes la Captura Total Permisible (CTP) en esta regi3n se ha definido en 3.000 toneladas. Una peque3a pesquer3a tambi3n es desarrollada en las Islas Sandwich del Sur (Roberts y Agnew 2008) con una CTP de 41 toneladas (CCAMLR 2009).

En 1984/1985, en la regi3n Sur del oc3ano 3ndico comenz3 una pesquer3a de arrastre en la plataforma oeste de la Isla Kerguelen (ZEE de Francia), en donde barcos de la Uni3n Sovi3tica encontraron y comenzaron a explotar grandes concentraciones de juveniles de bacalao. La pesquer3a de palangre se inici3 en Kerguelen en 1991 y desde inicios del a3o 2000 la pesquer3a se ha desarrollado exclusivamente usando el espinel (Lord *et al.*, 2006). La pesquer3a de Kerguelen opera de manera continua y las capturas legales son del orden de las 5.000 toneladas por a3o.



En las islas Heard y McDonald (ZEE de Australia), se desarrolló una pesquería de arrastre dirigida a bacalao de profundidad y icefish (*Champscephalus gunnari*) en 1996. La pesquería fue abierta a la pesca de palangre en los años 2002/2003 y en el presente es explotada tanto por 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 y probablemente se trata de la misma población de peces.

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

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 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).

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

En la plataforma patagónica el bacalao de profundidad era inicialmente capturado como fauna acompañante en la pesquería de arrastre, pero subsecuentemente se establecieron pesquerías de espinel tanto en Argentina como en las Islas Malvinas. La pesquería argentina comenzó en los 90s y alcanzó la mayor captura en 1995 con 19.225 toneladas, sin embargo desde entonces las capturas se han reducido. Con base en recomendaciones del Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero de Argentina (INIDEP) desde el año 2000 se exigen capturas documentadas, 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 registran 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 conformaba focos de abundancia en caladeros específicos (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 Norte Americano 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, en una búsqueda constante 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 operaba en la zona sur austral desde del año 1986, no tenían una opción para re-orientar su esfuerzo de pesca. Esta situación llevó a la Subsecretaría de Pesca a formular políticas de manejo para la pesquería demersal austral, a fin de diversificar la explotación hacia otras especies con el objetivo de disminuir la presión de pesca sobre la merluza del sur y el congrio y de estimular el aprovechamiento de recursos alternativos que permitieran prolongar la operación de la flota a 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.*, 1995).

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 sustenta una pesquería industrial.

Algunas áreas en alta mar, por fuera de la jurisdicción nacional, también han sido explotadas por las empresas 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**

La pesquería argentina de bacalao de profundidad está compuesta por dos flotas que se distinguen por el aparejo/arte de pesca empleado:

La flota que opera con palangre inició su operación en 1990 y desde sus comienzos ha constituido una pesca dirigida efectivamente hacia la especie, cuya área de operación involucra casi la totalidad del área de distribución del recurso en la plataforma argentina. La pesquería de palangre es la responsable del mayor desembarque histórico registrado en 1995, año a partir del 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). En el año 2014 esta pesquería ha cesado a favor de la pesca de arrastre en donde se obtienen rendimientos considerablemente mayores.

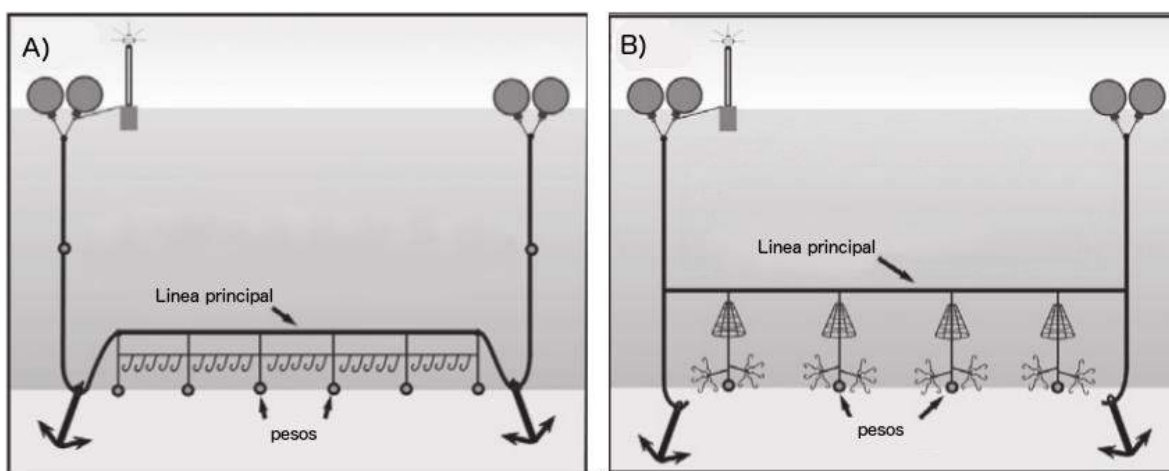
La flota que opera con arrastre de fondo se inició a fines de los años 80s. Debido a la distribución diferencial por tamaños con la profundidad que exhibe el bacalao de profundidad y a que la mayor parte de la pesca con arrastre correspondía a lances realizados entre los 400 y los 500 m de profundidad, la flota de arrastre impactaba mayoritariamente a la fracción juvenil de la población.

Los rendimientos de los buques arrastreros muestran una tendencia creciente 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.<sup>1</sup>). 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 de la pesquería 5 barcos arrastreros (Wöhler 2013).

#### 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 (cachaloteras) (**Figura 2**).



**Figura 2.** Ilustración de los sistemas de espinel usados en Chile. (A) palangre español (sistema de doble línea), (B) sistema trotline con cachaloteras (Modificado de Collins *et al.* 2010).

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Argentina.



El sistema trotline es una modificación del sistema español en donde 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 3**). 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 firma/operador, cada cachalotera incluye un racimo de 6, 8 o 10 anzuelos (**Figura 3**).

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.<sup>2</sup>).

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.

---

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero, Argentina.





**Figura 3.** Cachalotera. Izquierda: racimo de anzuelos y peso; Derecha: posición de la cachalotera durante el virado donde se observa el cono de red. (Fotos: Globalpesca SpA.).

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).



### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

---

#### 3.1 Objetivo específico 1:

*Implementar procedimientos de evaluación de stock*

##### 3.1.1 Modelo conceptual

De acuerdo con el informe de revisión de pares (Polacheck 2015), 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.

Dado que modelos conceptuales alternativos pueden potencialmente tener importantes y diferentes implicancias en términos del estatus y el manejo de este recurso, es crítico que se considere un rango de modelos de evaluación alternativos que representen un rango de alternativas posibles.

En concordancia con lo anterior, la evaluación de stock se ha desarrollado mediante el estudio de dos casos:

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

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 escasos datos de marcaje y recaptura sugieren un intercambio razonable de individuos entre los dos océanos.

Bajo esta hipótesis, 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, combinado con el limitado movimiento exhibido por los juveniles de acuerdo a los datos disponibles de marcaje y con posibles limitaciones fisiológicas que impiden al bacalao nadar grandes distancias.

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

### **3.1.2 Parámetros de historia de vida.**

#### **3.1.2.1 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 mantiene fijo 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  $M=0,15$  (Quiroz, 2014, Tascheri *et al.* 2015).

En la evaluación del año 2015, la sensibilidad del estatus de la pesquería a la incertidumbre del valor de  $M$  fue explorada para el rango 0,10 a 0,20, todos valores que se han estimado para el bacalao de profundidad y/o considerado en evaluaciones de stock de este recurso (**Tabla 1**). En esta última evaluación se exploró también el efecto de estimar  $M$ .



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

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

### 3.1.2.2 Crecimiento

En la estimación de la edad en bacalao de profundidad se han usado tanto escamas como otolitos (Young *et al.* 1987, Ashford *et al.* 2001, Oyarzún *et al.* 2003b, Céspedes *et al.* 2008).

Un problema que presenta 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 Suroriental 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*, ésta estimación de los parámetros de crecimiento 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	$L_{\infty}$	$K$	$t_0$	
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)

### 3.1.2.3 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, corresponde la longitud media de madurez sexual (**Tabla 3**) un descriptor de la relación de la frecuencia de madurez por clase de longitud que no permite la reproducción de esta relación. 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.

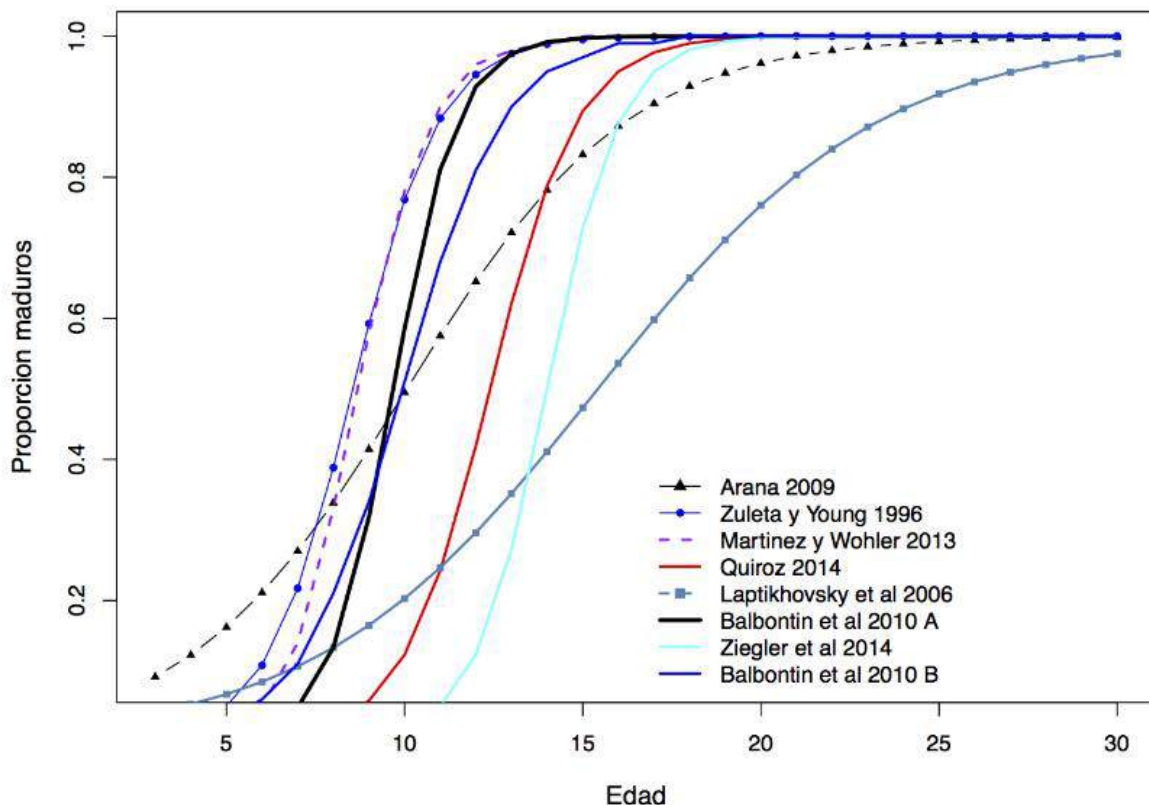
Esta situación necesariamente introduce incertidumbre en la estimación de las proporciones de individuos maduros por clase de edad, en circunstancia que pueden existir diferentes estimaciones de estos parámetros de madurez y/o de crecimiento para una misma región o para regiones en donde el proceso de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

Las últimas evaluaciones de stock de 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 4**).

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 4**).

En este contexto, parece 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 donde opera 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 otras estimaciones para la misma región y las regiones vecinas (**Figura 4**).



**Figura 4.** Diferentes ojivas de madurez sexual estimadas por clase de longitud y que están disponibles a la evaluación de stock que fueron convertidas a madurez en edades usando diferentes conjuntos de parámetros de la ecuación de crecimiento de Von Bertalanffy (**Tablas 2 y 3**).



### 3.1.2.4 Productividad y resiliencia

Para la mayoría de las poblaciones se presume que existe una regulación denso dependiente en alguna etapa del ciclo vital de la especie y un modo conveniente de incorporar esta dependencia en el modelo de evaluación de stock es en la relación entre la fracción desovante presente en un tiempo  $t$  y la cohorte que recluta a la población en un tiempo  $t + 1$  (Brooks y Powers, 2007). Esta relación stock-reclutas describe la productividad del stock e influye su tamaño, la captura sostenible y los puntos biológicos de referencia.

La caracterización y parametrización de esta relación es sin embargo difícil e incierta, debido a que frecuentemente los datos disponibles contienen muy poca información respecto de la forma funcional y/o el valor de los parámetros de esta relación (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 técnicas cuantitativas y por esta razón, la forma más apropiada de la relación stock – reclutas es aún un punto de discusión para muchos stocks (Patterson *et al.* 2001, Zhou 2007, Williams and Shertzer 2003). Estos últimos autores recomiendan sin embargo para el manejo la relación de Beverton y Holt (BH), porque los valores de los puntos biológicos de referencia son más conservadores cuando se usa de esta relación.

Cuando es incorporada en un modelo de evaluación de stock, la relación de BH es a menudo re-parametrizada usando el parámetro *steepness* ( $h$ ). Este concepto fue popularizado por Mace y Doonan (1988) quienes lo definieron como la fracción del reclutamiento virginal ( $R_0$ ) cuando la biomasa desovante es un 20% de su nivel sin explotación ( $B_0$ ). Esta re-parametrización permite determinar la relación de BH con un valor de  $h$  y una estimación del parámetro  $R_0$ :

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

Estas ecuaciones pueden ser usadas para relacionar  $\alpha$  y  $\beta$  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 relación stock-reclutas del bacalao de profundidad (Payá *et al.* 2014), motivó que en la evaluación de stock la modelación del reclutamiento fuese implementada como desviaciones simples en torno a un nivel medio de reclutamiento (Tascheri y Canales 2015) 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

### 3.1.3 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 - 2015.
  - Composiciones de edad 1995 – 2006 (escamas).
  - Composiciones de edad 2007 – 2015 (otolitos).
  - Pesos medios a la edad 1995 – 2015.
  - Capturas 1978 – 2015.
  - Bitácoras de pesca FIP 96-32 1968 – 1997
  - Bitácoras de pesca artesanal (IFOP) 1998-2015
- **Flota industrial (palangre; 47° S – 57° L.S.)**
  - 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 cachaloteras; 47° S – 57° L.S.)**
  - Composiciones de edad 2007 – 2015 (otolitos).
  - Pesos medios a la edad 2007 – 2015.
  - Bitácoras de pesca industrial (AOBAC\*) 2007 - 2013.
  - Bitácoras de pesca industrial (IFOP) 2014 -2015.
  - Capturas 2007 - 2015.

#### **Pesquería Argentina de bacalao de profundidad \*\***

- **Flota arrastre**
  - Composiciones de longitud 2003 - 2014.
  - Capturas 1986 - 2015.
  
- **Flota palangre**
  - Composiciones de longitud 2003 - 2014.
  - Capturas 1991 - 2015.
  - Registros oficiales de captura y esfuerzo 1993 - 2014.
  - Bitácoras de pesca (observadores científicos) 2003 – 2014.

\* En 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 el Centro de Estudios Pesqueros (CPES) 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.).

\*\* En 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.

En marzo de 2015 se celebró la 1<sup>ra</sup> reunión de coordinación del Convenio Marco de Cooperación entre el INIDEP y el IFOP, a fin de conformar los grupos técnicos de trabajo y acordar, planificar y coordinar las actividades técnicas a realizar durante el año 2015. En este año se realizó en Chile un taller de trabajo para estandarizar el esfuerzo de la pesquería de palangre argentina.

En mayo de 2016 se celebró la 2<sup>da</sup> reunión de coordinación del Convenio Marco de Cooperación entre el INIDEP y el IFOP. Entre los acuerdos de investigación para el periodo mayo 2016 a abril 2017, se incluyen temas relacionados a la evaluación de stock de bacalao de profundidad.

### 3.1.3.1 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 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 5).

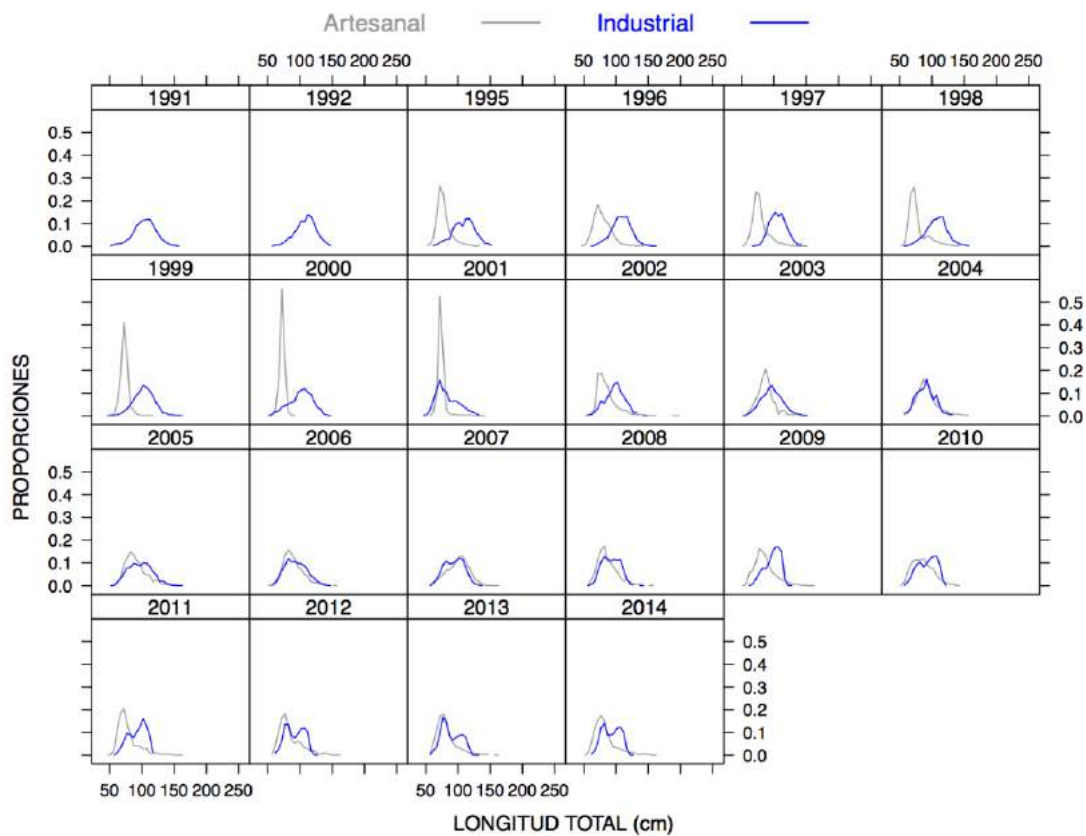


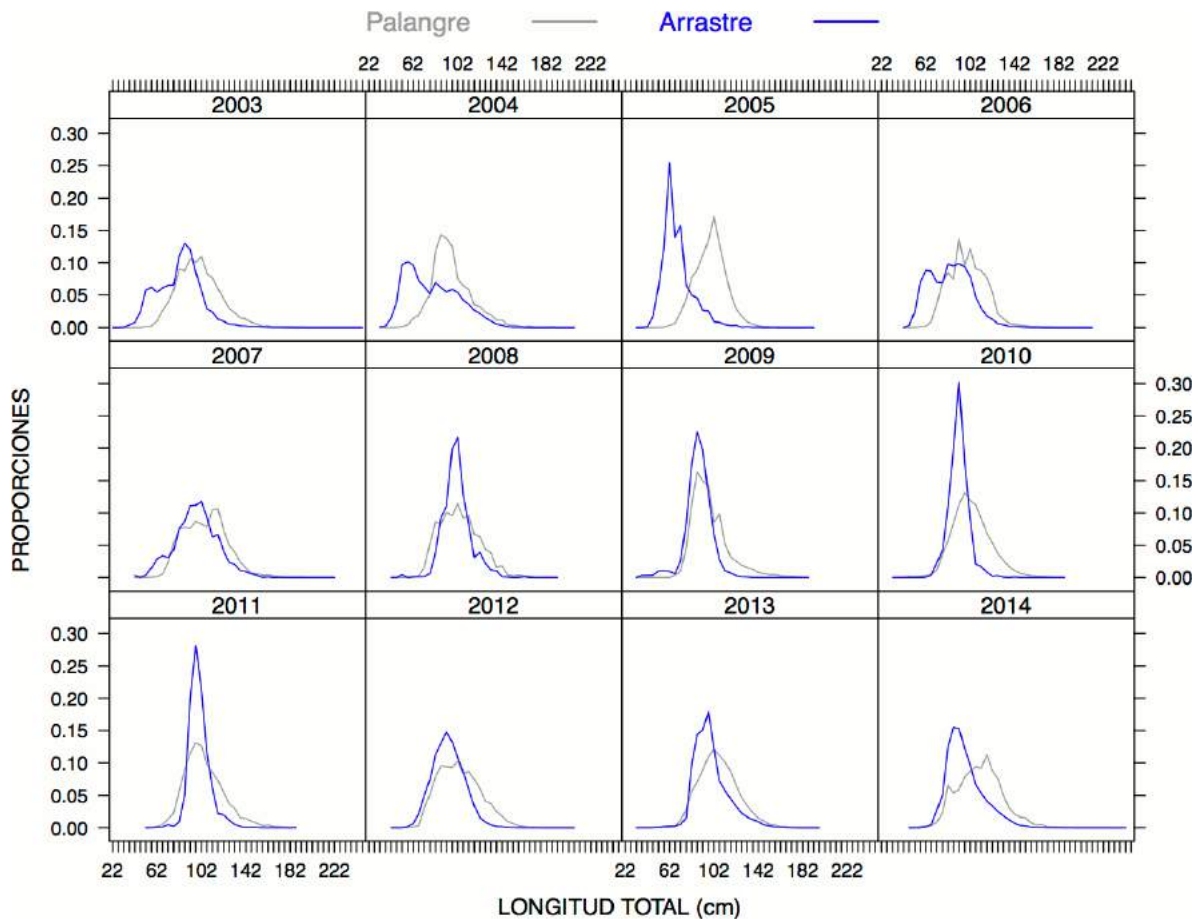
Figura 5. Composición de tamaño de las capturas de industriales y artesanales (fuente: IFOP).

Las composiciones de longitud de las capturas de la flota arrastrera y de palangre argentinas corresponden a toda el área de su pesquería y se encuentran disponibles para los años 2003 a 2014 (Figura 6).

Los datos de composición de tamaño de las capturas serán usados 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 introducido por el procedimiento de slicing de las cohortes con que se obtuvieron las composiciones



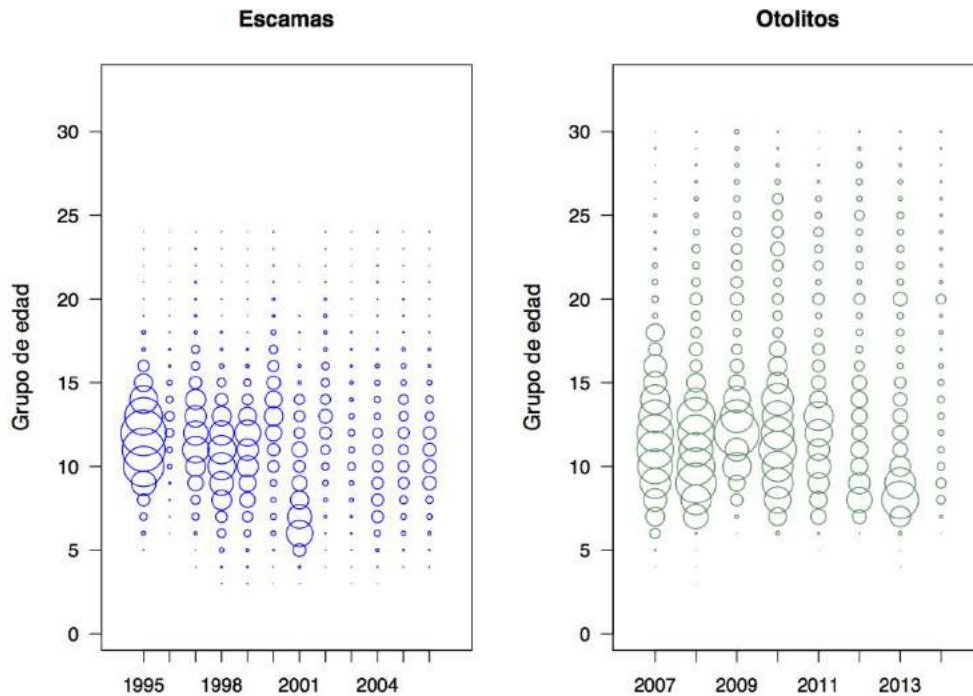
de edad argentinas (Martínez y Wöhler, 2013). Este procedimiento posiblemente contribuye a sobreestimar la proporción de captura en las clases de edad más viejas y genera datos de composición de edad que están en conflicto con los datos de composición de edad de las capturas chilenas que han sido obtenidos mediante la determinación de la edad en otolitos (Polacheck, 2015).



**Figura 6.** Composición de tamaño de las capturas de arrastre y palangre argentinas para toda el área de la pesquería (fuente: INIDEP).

### 3.1.3.2 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 7 y 8**).



**Figura 7.** 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.

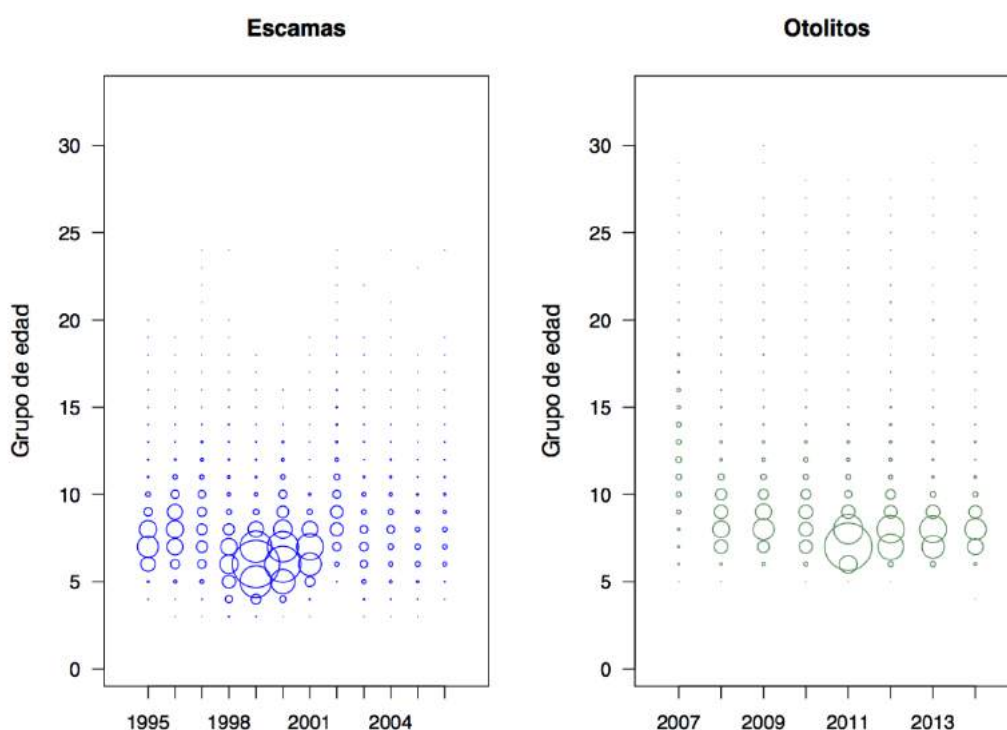
El bacalao de profundidad deposita una zona traslúcida en el otolito cada año y probablemente los conteos de estas zonas son un método válido para determinar su edad (Horn 2002).

En biología de peces, tanto el uso de 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, 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).



**Figura 8.** 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 2014).

### 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 “o” a un pez con edad verdadera “v”; ii) 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).



La edad observada “o” de un pez es una variable aleatoria que se presume mantiene cierta relación con la edad verdadera “v”. 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 “v”, las edades observadas toman de manera característica un rango de valores en la vecindad de “v”. 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 mantiene 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). 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).



### 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 fue la aproximación siguió la evaluación de stock del año 2015. Esta aproximación se considera preferible a intentar “corregir” el error mediante la estimación de matriz de clasificación lo que constituye un procedimiento que en sí mismo es propenso a error, mismo 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, fueron obtenidas usando un procedimiento de “slicing” que hacía uso de la función de crecimiento (Martínez y Wöhler 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.

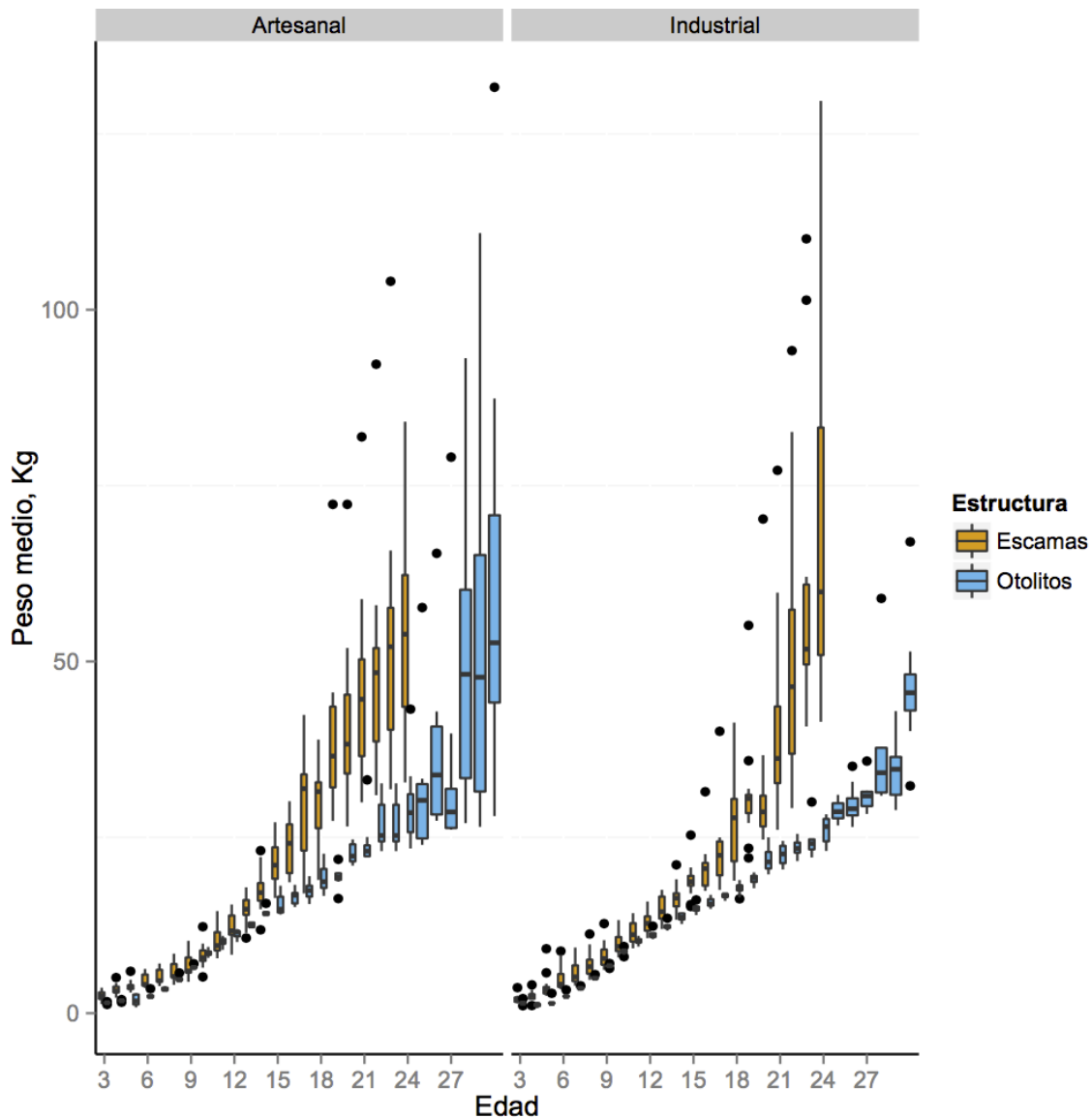
De acuerdo con lo anterior y de igual modo a como se efectuó en el año 2015, las composiciones por edades de las capturas argentinas serán estimadas ajustando la composición de longitudes de estas capturas.

#### **3.1.3.3 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 9**).

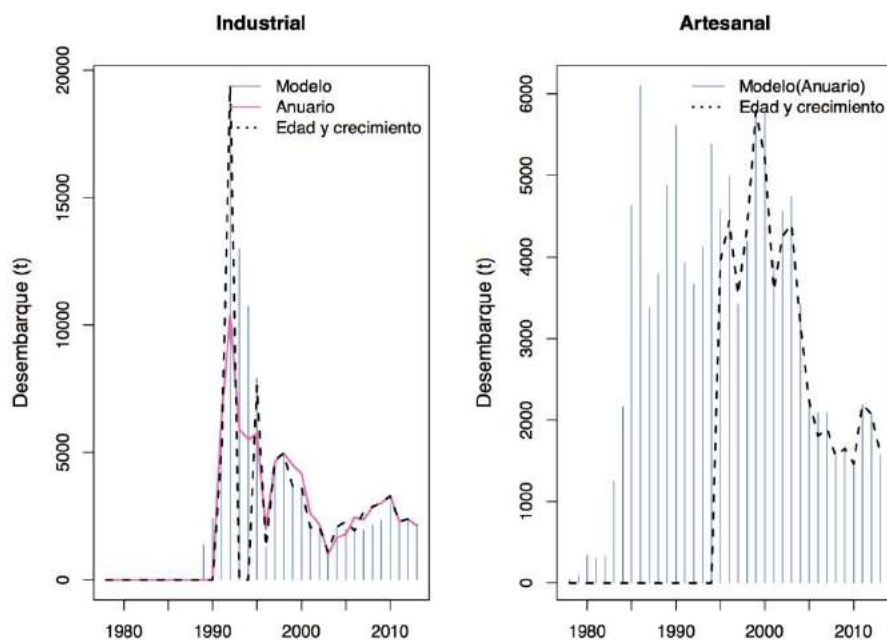
Los datos de captura empleados en la evaluación de stock, corresponden a una modificación de los datos de desembarque registrados en el Anuario Estadístico de Pesca (Sernapesca) para corregir diferentes situaciones que pueden causar distorsiones en la asignación de la mortalidad por pesca. En la evaluación del stock de bacalao del año 2014, se utilizó un único vector de pesos medios para estimar tanto las capturas chilenas como las argentinas (Tascheri *et al.* 2014). Esto derivó en una pérdida de consistencia entre los datos de composición por edades de las capturas, los pesos medios por edades y la información de captura por flota ingresada al modelo (Polacheck 2015).





**Figura 9.** 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.

En el modelo de evaluaci3n del a1o 2015, el uso de las estimaciones de pesos medios por edades producidas por la secci3n de edad y crecimiento del IFOP (promedios por flota de la informaci3n estimada mediante la lectura de otolitos), signific3 que la informaci3n de abundancia por edades y pesos medios a la edad utilizados en la evaluaci3n eran consistentes con los datos de captura ingresados al modelo (**Figura 10**).



**Figura 10.** 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).

### 3.1.3.4 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 2015. 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 2015 fue compilada en este proyecto y se obtuvo uniendo la base de datos mantenida en el sistema centralizado de IFOP con datos de bitácoras de la pesca con palangre recopilados por el proyecto de seguimiento de la pesquería demersal entre los años 1989 y 1996.



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 han 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.

Las áreas de pesca fueron asignadas por Young *et al.* (1997) en función de la información general de zona de pesca y distancia de la costa entregada por los pescadores al momento de la recalada (un trabajo que consume tiempo además de ser impreciso, pero sin embargo de gran utilidad).

Dada la variabilidad explicada por este factor en los modelos de estandarización del esfuerzo en esta pesquería, es importante que los niveles de este factor también sean creados en la base de datos del proyecto de seguimiento. Estas áreas corresponden a la codificación de cuadros estadísticos utilizados en IFOP antes del año 1997 y de este modo, las áreas pueden ser asignadas de manera expedita sólo a un número limitado de registros de los años más recientes para los cuales se cuenta con datos de latitud y longitud. De esta manera, se requiere continuar el trabajo iniciado por Young *et al.* (1997) en los años posteriores a la ejecución del proyecto FIP 96-32.



### 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.

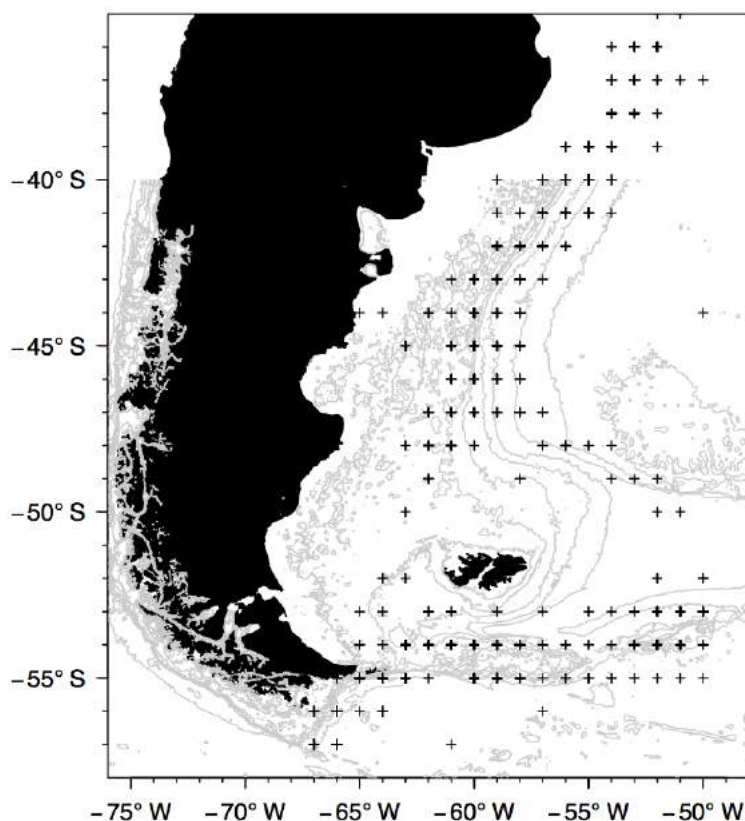
### Registros oficiales de captura y esfuerzo de la pesquería argentina de palangre

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) (**Figura 11**).

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.



**Figura 11.** Localizaci3n de los cuadros estadísticos de donde provienen las capturas de palangre realizadas en Argentina entre los ańos 1993 y 2014.

A partir del ańo 2005, se ha observado además una reducci3n en el númer de buques palangreros que operan sobre el recurso, provocando la consiguiente disminuci3n de la cantidad de informaci3n biol3gica y pesquera disponible para la estimaci3n de índice de abundancia relativa.

La reducci3n del tamańo de esta flota es 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 adopci3n desde el ańo 2008 de la “cachalotera”, con el fin de mitigar la depredaci3n de la pesca por los mamíferos marinos. La pesca con este dispositivo, registra mayores rendimientos de pesca respecto de la pesca con palangre espańol y por lo tanto es necesario considerar estos cambios en el proceso de estandarizaci3n del esfuerzo a fin de evitar confundir este efecto con un incremento en la biomasa del recurso.



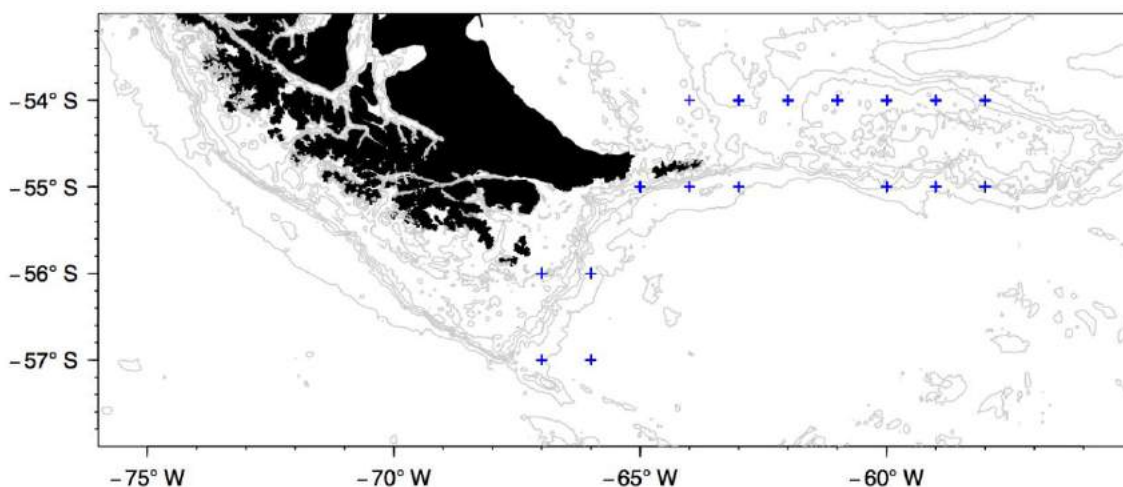
### Bitácoras de pesca recopiladas entre los años 2003 y 2014 en la pesquería de palangre por los observadores científicos de INIDEP

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.

La localización de los datos recopilados por los observadores científicos argentinos por cuadro estadístico se entrega en la **Figura 12**.



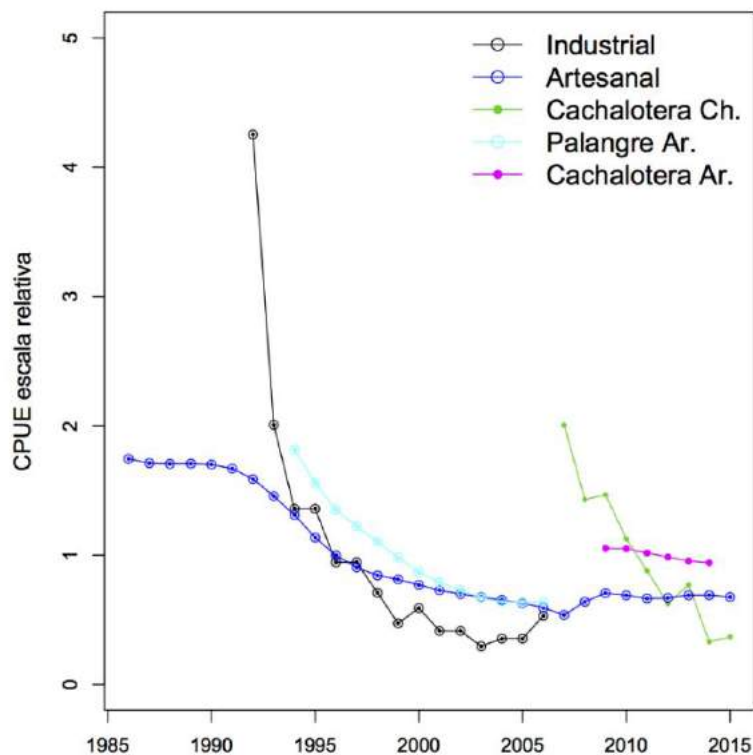
**Figura 12.** Localización de los cuadros estadísticos de donde provienen las capturas con cachalotera realizadas en Argentina entre los años 2003 y 2014. Bitácoras de pesca recopiladas por observadores científicos.



### Índices estandarizados de abundancia relativa

Los datos de captura y esfuerzo que están disponibles a este proyecto se han utilizado en la estimación de cinco índices de abundancia relativa, los que corresponden con las fuentes de datos descritas en la sección anterior (Tascheri *et al.* 2015).

Las series estimadas se representan en la **Figura 13**, divididas por sus respectivas medias para poder representarlas en una escala común. 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 13.** 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, FIP-IFOP 1986 a 1997; IFOP 1998 a 2015), pesquería de palangre argentina: (Palangre Ar., estadística oficial de partes de pesca. 1994 a 2006) y pesquería argentina con cachalotera (Cachalotera Ar., datos tomados por observadores científicos. 2009 a 2014).



Varios problemas se interponen a la interpretación y estandarización de los datos de CPUE de la pesquería Sudamericana de bacalao de profundidad a fin de que estos puedan ser utilizados 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 fundamental y una fuente clave de incertidumbre en la evaluación de stock, sin embargo, no hay suficientes datos para poder cuantificar la magnitud de este efecto. La estimación de los efectos de los mamíferos marinos es confundida por el comportamiento evasivo 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.

### 3.1.3.5 Capturas

Los métodos de evaluación de stock requieren conocer las remociones totales de 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. En años recientes, sin embargo, el sistema de documentación de las capturas (CDS) adoptado por los países miembros de la CCRVMA a partir del año 2000, ha contribuido a evitar las distorsiones en la cuantificación de las remociones totales.

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

Siendo un suscriptor de la CCRVMA, Chile debe cumplir con el requisito del CDS tanto para los desembarques industriales como artesanales. En el caso de la flota artesanal, que 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 Ley General de Pesca y Acuicultura chilena, 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 (ANEXO 3 en Tascheri *et al.* 2015).

Esta revisión estuvo fundada tanto en los datos de captura recopilados en los proyectos de monitoreo conducidos por 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 Georgia 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 1991<sup>3</sup> 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 ediciones no fueron documentadas, sin embargo, se han incluido en las evaluaciones de stock de los últimos dos años por razones de consistencia con las evaluaciones previas (**Tabla 5**).

---

<sup>3</sup> 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.

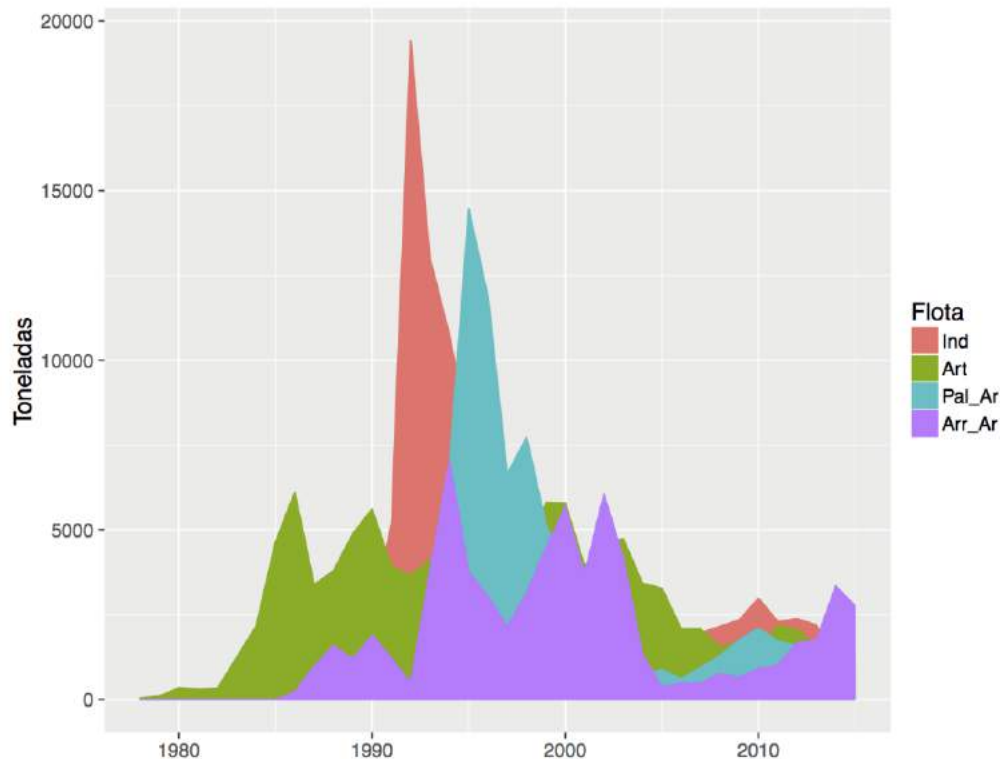


**Tabla 5.**

Desembarques oficiales de acuerdo con los Anuarios Estadísticos de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA) vs los datos de capturas anuales propuestos por IFOP a partir de revisiones de los datos oficiales de desembarque. Años 1978 a 2014.

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

En la evaluación del año 2015, se consideraron las capturas de las flotas artesanal e industrial chilenas y las capturas totales de palangre y arrastre registradas en Argentina. (Figura 14).



**Figura 14.** Desembarques de bacalao de profundidad de la pesquería chilena (Art: artesanal; Ind: industrial) y Argentina (Pal\_Ar: palangre; Arr\_Ar: arrastre).

### 3.1.4 Descripción general del modelo

En el proyecto 2015 los casos estudiados fueron 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, 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, el modelo implementado en AMAK en el año 2015, 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. El modelo presentado al CCT-RDAP en el año 2015, es el resultado de la incorporación de la gran mayoría de las recomendaciones del proceso de revisión de pares.

#### **3.1.4.1 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.



El **Anexo 1**, provee 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.

**Tabla 6.**

Tamaños de muestra efectivos y coeficientes de variación inicialmente definidos para las verosimilitudes de las principales piezas de información incluidas en el modelo base.

$\bar{r}$  Reclutamiento medio,  $N_0$  condición inicial.

N°	Componente de Verosimilitud	Modelo de error	Tamaño de muestra efectivo	Coefficiente de variación
<b>Datos Chile</b>				
1	Comp. edad captura industrial	Multinomial.	60	-
2	Comp. Edad captura artesanal	Multinomial.	60	-
3	Comp. long. captura industrial	Multinomial.	20	-
4	Comp. long. captura artesanal	Multinomial.	20	-
5	CPUE palangre industrial.	Log normal.	-	0,2
6	CPUE cachalotera industrial.	Log normal.	-	0,2
7	CPUE artesanal.	Log normal.	-	0,2
8	Captura industrial.	Log normal.	-	0,05
9	Captura artesanal.	Log normal.	-	0,05
<b>Datos Argentina</b>				
10	Comp. long. captura palangre.	Multinomial.	20	-
11	Comp. long. captura arrastre.	Multinomial.	20	-
12	CPUE palangre.	Log normal.	-	0,2
13	CPUE cachalotera.	Log normal.	-	0,2
14	Captura palangre.	Log normal.	-	0,05
15	Captura arrastre.	Log normal.	-	0,05
<b>Penalizaciones</b>				
16	Sigma $\bar{r}$	Log normal.	-	0,75
17	Sigma selectividad industrial	Log normal.	-	0,5
18	Sigma selectividad artesanal	Log normal.	-	0,5
19	Sigma selectividad palangre Ar.	Log normal.	-	0,25
20	Sigma selectividad arrastre Ar.	Log normal.	-	0,25

### 3.1.4.2 Cambios en el modelo en respuesta a las recomendaciones de la revisión de pares del año 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".



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, la que es difícil de enfrentar en un solo ciclo de evaluación; 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°, es 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 medio era modelado como una variable aleatoria lognormal, usando un coeficiente de variación relativamente grande ( $\sigma_R=0,6$ ) 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; 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 la evaluación del año 2015, 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 el uso de 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 empleada (Páginas 73 y 74 del informe de revisión de pares).

En la evaluación se usó la media geométrica de pesos medios estimados para el período de lectura de edades en otolitos exclusivamente.

De acuerdo con el evaluador, la gran mayoría de las inconsistencias en este aspecto aludidas en el informe de revisión, derivan del uso de la información basada en la determinación de edades a través del uso de escamas.

6. Inclusión del cambio de palangre español a cachalotera en el 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 del año 2015 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 la evaluación del año 2015.

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 una modelación más flexible de la selectividad.

Esta flexibilidad en la modelación de la selectividad es una característica distintiva del modelo AMAK, 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 no difieren de manera sustantiva entre los resultados de las evaluaciones de los años 2014 y 2015 que fueron conducidos con modelos estructuralmente diferentes.

8. Cambio en la plataforma usada para implementar el modelo 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 proceso de modelación, respecto de si 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 de 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 de los resultados entre las evaluaciones del año 2014 y 2015 (a pesar de que ambas evaluaciones no son estrictamente comparables), despeja las dudas respecto de la señal de 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 en el taller de 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 en las recomendaciones para la toma de decisiones, a fin de proveer una buena noción de su magnitud, en la evaluación del año 2015 estos análisis fueron realizados durante el proceso conducente al Informe de Estatus y no diferidos hasta el Documento Técnico Consolidado del proyecto.

#### 3.1.4.3 Diagnóstico del modelo de evaluación

Los modelos de evaluación de stock estructurados por edades pueden exhibir gran complejidad y 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 particular de la evaluación de stock (Punt y Kinzey 2009, Harley y Maunder 2003).

De manera consistente en los reportes de 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 entre otros y estudiar periódicamente los análisis de sensibilidad e incertidumbre de los modelos a hipótesis alternativas relevantes que modifican la configuración del modelo base.



### Bondad de ajuste

Para juzgar si los 3ndices han sido ajustados satisfactoriamente, se usaron dos aproximaciones adem3s del examen gr3fico del ajuste.

Una forma de hacer esto, es calcular la desviaci3n est3ndar de los residuales normalizados (Breen *et al.* 2003). Para estos efectos los residuales normalizados fueron calculados como:

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

Otra estadística utilizada para resumir el ajuste a una serie de tiempo de observaciones de abundancia es la ra3z del cuadrado medio del error:

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

Donde,  $n$  es el n3mero de observaciones en la serie e  $y$  es un 3ndice de los a3os.

Para los datos de composici3n de edades de las capturas, el tama3o de muestra efectivo es a menudo utilizado para resumir el ajuste.

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

Donde,  $a$  es un 3ndice de las edades.

#### 3.1.4.4 Incertidumbre del modelo.

El estudio de la incertidumbre de modelo destaca aspectos no resueltos conjuntamente con aspectos de especial complicaci3n para la evaluaci3n, incluidas cuestiones respecto del mejor modelo, entre otras (Punt y Kinzey 2009). De acuerdo con Harley y Mounder (2003), un an3lisis de sensibilidad exhaustivo puede considerar variar los supuestos de par3metros tales como: la mortalidad natural, 3ndices de abundancia alternativos, factores de ponderaci3n de los datos, exclusi3n de los datos de composici3n por edades, la variaci3n sistem3tica de la ponderaci3n de las diferentes piezas de informaci3n, entre otros.

De acuerdo con lo anterior, se exploraron 17 corridas alternativas (Sub-casos) al modelo base para el Caso 1 considerado en la evaluaci3n y 16 sub-casos para el Caso 2.



### 3.2 Objetivo específico 2:

*Establecer el estatus actualizado del recurso.*

#### 3.2.1 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 BLIM (valor de biomasa bajo del cual el recurso se presume en proceso de sobrepesca por reclutamiento y en condición de agotamiento o colapso).

#### 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.

El MBR (o diagrama de fase) 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 ( $B_t/BRMS$ ) 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 ( $F_t/FRMS$ ).

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

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 BRMS como PBR objetivo y BLIM como 0,5 BRMS (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 el citado 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 FRMS y BRMS.

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 FRMS:  $\tilde{F}_{RMS} = F_{45\%SPR}$

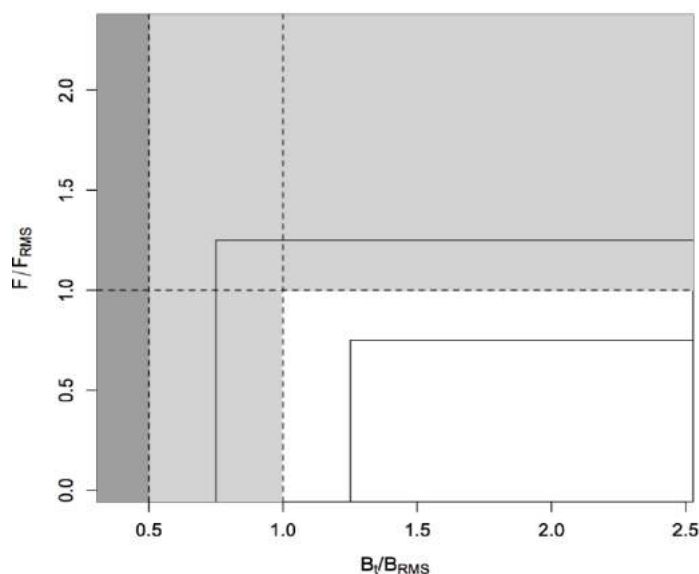
Sustituto de BRMS:  $\tilde{B}_{RMS} = \bar{R}_g SPR_{0,45}$

BLIM se define:  $\tilde{B}_{LIM} = 0,5\tilde{B}_{RMS}$

$\bar{RMS} = YPR_{FRMS} \bar{R}_g$

Dado que el modelo de evaluaci3n produce una estimaci3n de  $B_0$ , (siendo el modelo inicializado en el a1o 1947, con el a1o 1978 considerado como el primer a1o en el c3lculo de los reclutamientos), el valor sustituto de  $BRMS$  fue calculado como  $0,4*B_0$ .

Una vez estimados los PBRs, se puede construir el MBR considerando lo establecido en la LGPA. En el marco del proyecto Revisi3n de los Puntos Biol3gicos de Referencia (Rendimiento M3ximo Sostenible) en las Pesquerias Nacionales (Pay3 *et al.* 2014), se propuso el siguiente diagrama (Figura 15):



**Figura 15.** Marco biol3gico de referencia propuesto en el a1o 2014 por el proyecto RPBRPN (Pay3 *et al.* 2014).

En el proyecto RPBRPN los l3mites de la zona de plena explotaci3n fueron definidos como  $0,25*PBR_{RMS}$  y  $1,75*PBR_{RMS}$  (**Figura 15**).



### **3.3 Objetivo específico 3:**

*Analizar las distintas alternativas de Captura Biológicamente Aceptable.*

La población fue proyectada en un horizonte de 50 años comenzando con el vector de números de individuos por grupo de edad estimado en la evaluación de stock del año 2016, usando la mortalidad natural y selectividad 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 fue obtenido desde una relación stock-reclutas de Beverton y Holt usando la biomasa desovante estimada en cada año de la proyección, el mismo valor de steepness empleado en la evaluación de stock y desvíos simulados usando los parámetros del reclutamiento estimados en la evaluación 2016.

La mortalidad por pesca correspondió a cinco estrategias de explotación con mortalidad constante iguales a 1, 0.75, 0.5, 0.25 y 0 veces la mortalidad por pesca estimada para el año 2015.

El desempeño de las estrategias fue 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 2015 ( $B_{2015}$ ), 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 fuese inferior a  $B_{2015}$ , la probabilidad que la biomasa desovante al final de la proyección fuese inferior a  $B_{RMS}$  y la probabilidad de que la biomasa al final de la proyección fuese 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 entregan para cada caso y estrategia evaluada.

Las proyecciones se realizaron en el contexto de los dos casos analizados en la evaluación de stock 2016:

Caso 1: 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. De este modo este caso consideró las pesquerías artesanal e industrial de Chile y las pesquerías de palangre y arrastre de argentina.

Caso 2: 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) y consecuentemente este caso sólo incluyó las pesquerías artesanal e industrial de Chile.



## 4. RESULTADOS

---

### 4.1 Objetivo específico 1:

*Implementar procedimientos de evaluación de stock.*

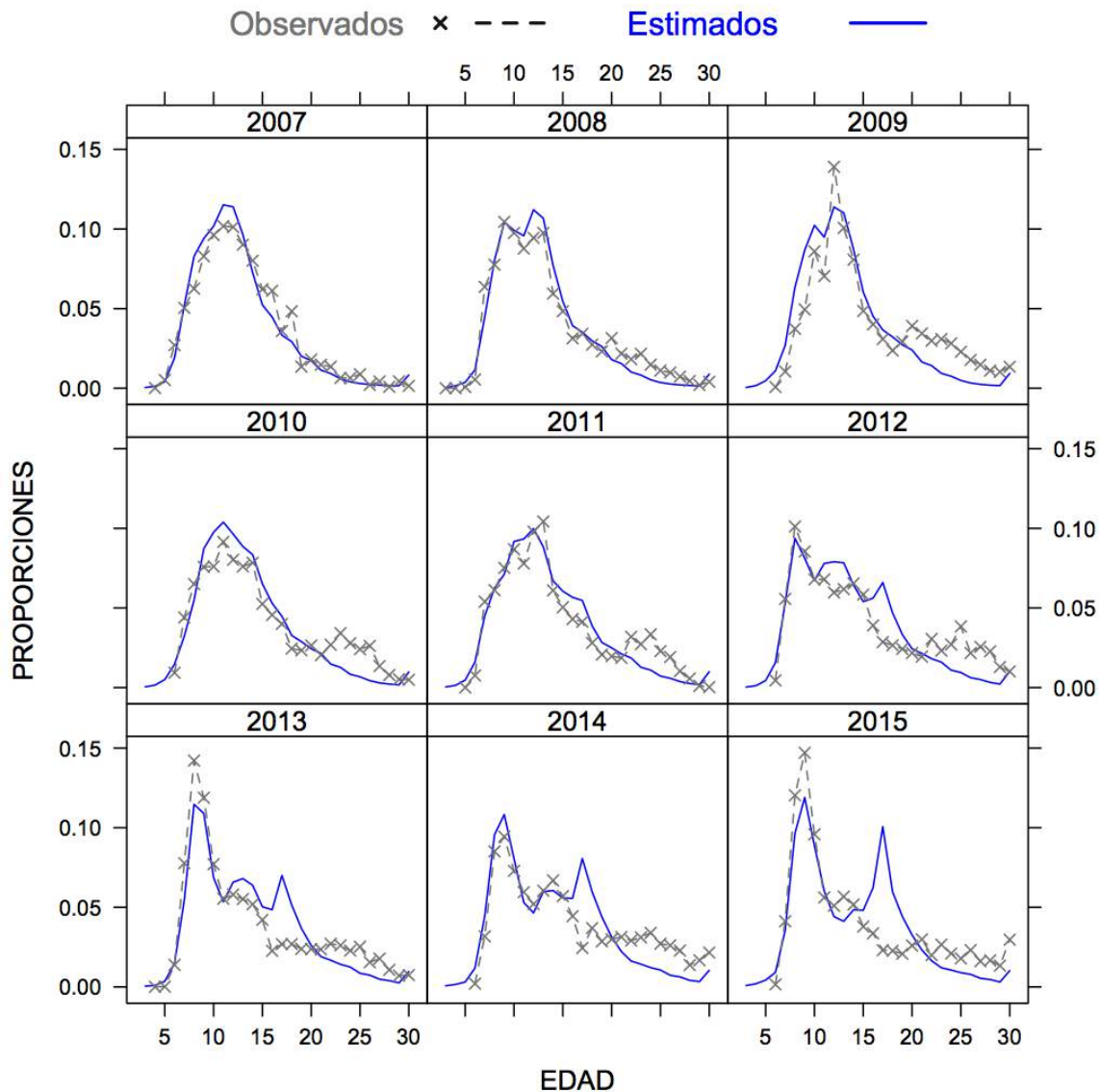
#### 4.1.1 Medidas de ajuste

En el **Anexo 3** se pueden encontrar gráficas adicionales que muestran los residuales de los ajustes a los datos de composición de edades y longitud de las capturas.

**Caso 1:** Modelo que incluye las flotas industrial y artesanal de Chile y las flotas de palangre y arrastre de Argentina.

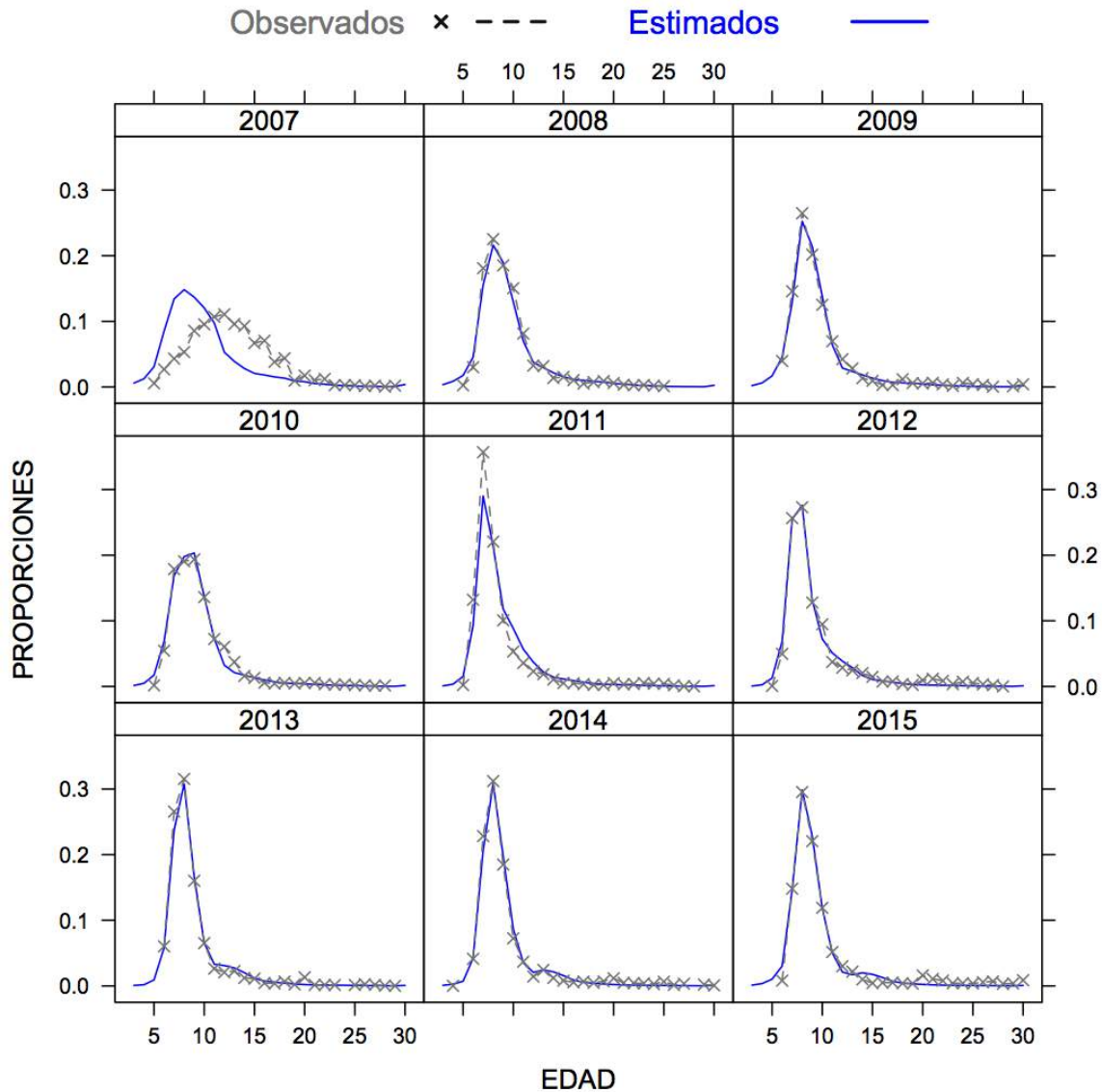
Los ajustes a las composiciones de edad de la flota industrial siguen bien la moda principal de los datos, no así la moda secundaria. (**Figura 16**). En los años 2009 a 2014, el modelo subestima las edades mayores a 20. Por el contrario, en los años 2012 a 2015, el modelo sobrestimó las edades 15 a 20





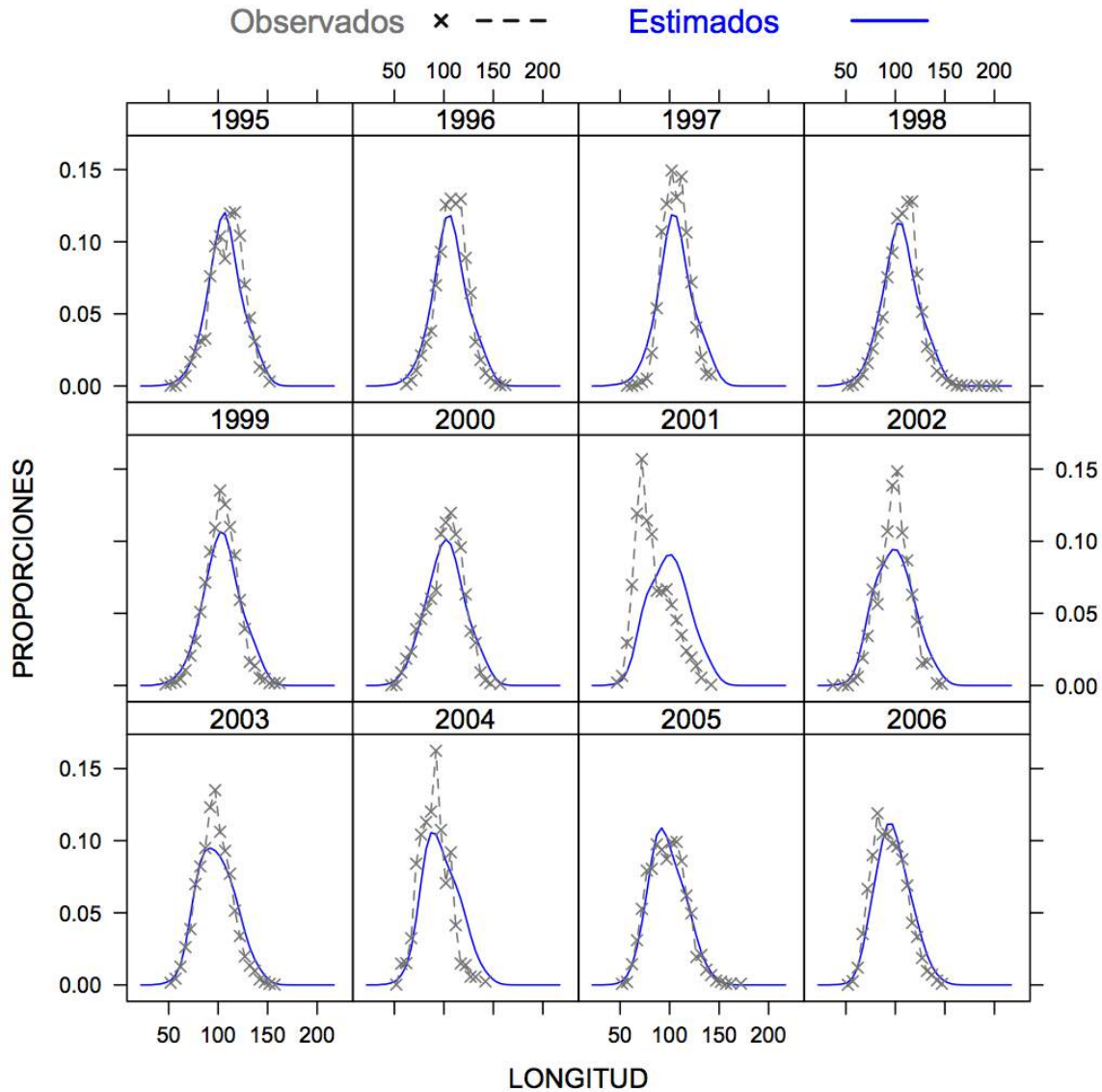
**Figura 16.** Ajuste del modelo a los datos de composición de edades de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota industrial chilena entre los años 2007 y 2015. Caso 1.

El ajuste de modelo a los datos de composición de edades de la flota artesanal fue satisfactorio con excepción del año 2007 en donde el ajuste falló en capturar la moda principal (**Figura 17**).



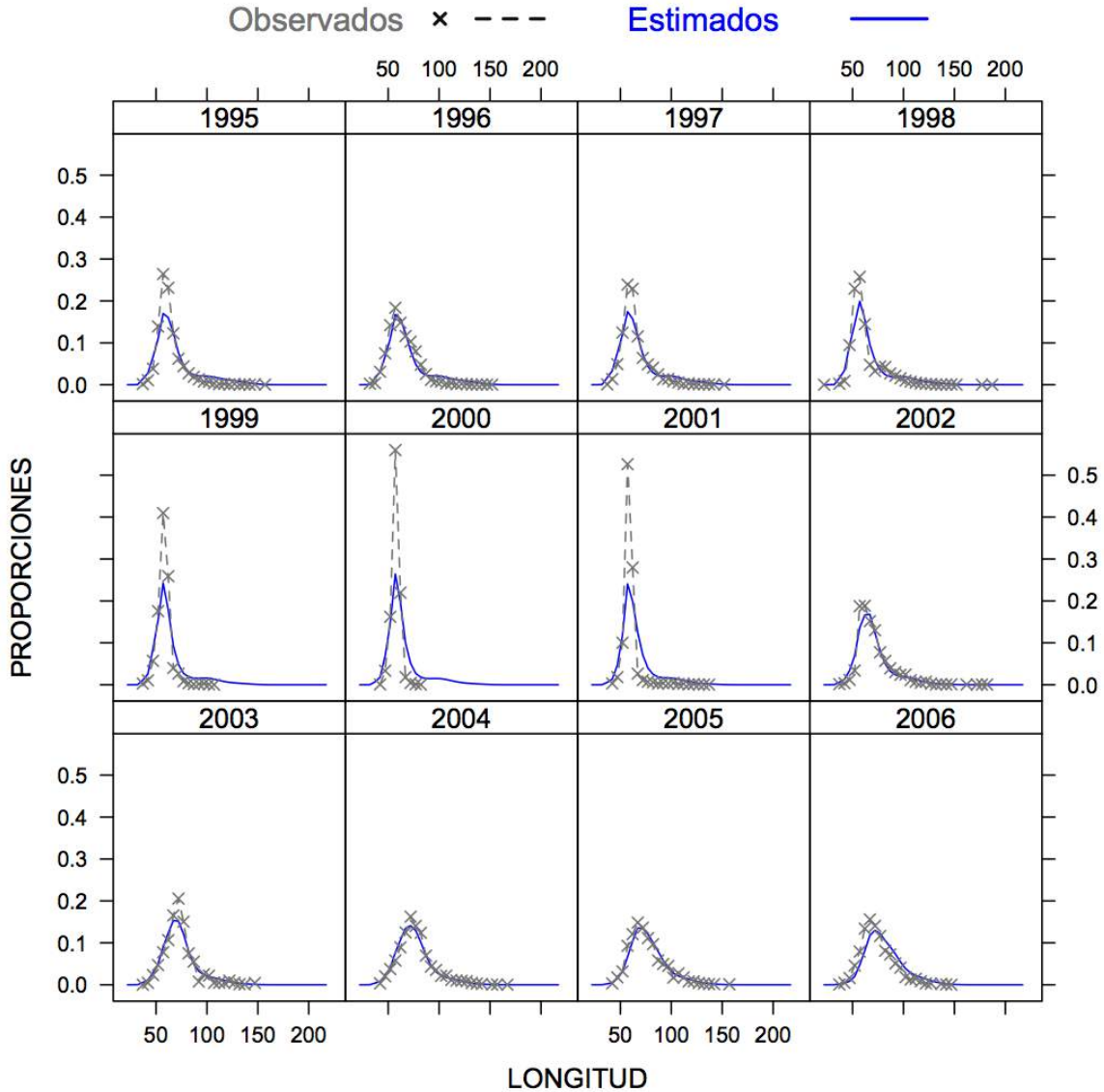
**Figura 17.** Ajuste del modelo a los datos de composici3n de edades de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota artesanal chilena entre los ańos 2007 y 2015. Caso 1.

El ajuste a los datos de composici3n de longitudes de las capturas industriales extraídas entre los ańos 1995 y 2006 (los ajustes de los ańos 1991 y 1992 no se incluyen en la figura pero estos datos fueron incluidos en el modelo) se consideraron adecuados con excepci3n del ańo 2001 (**Figura 18**).



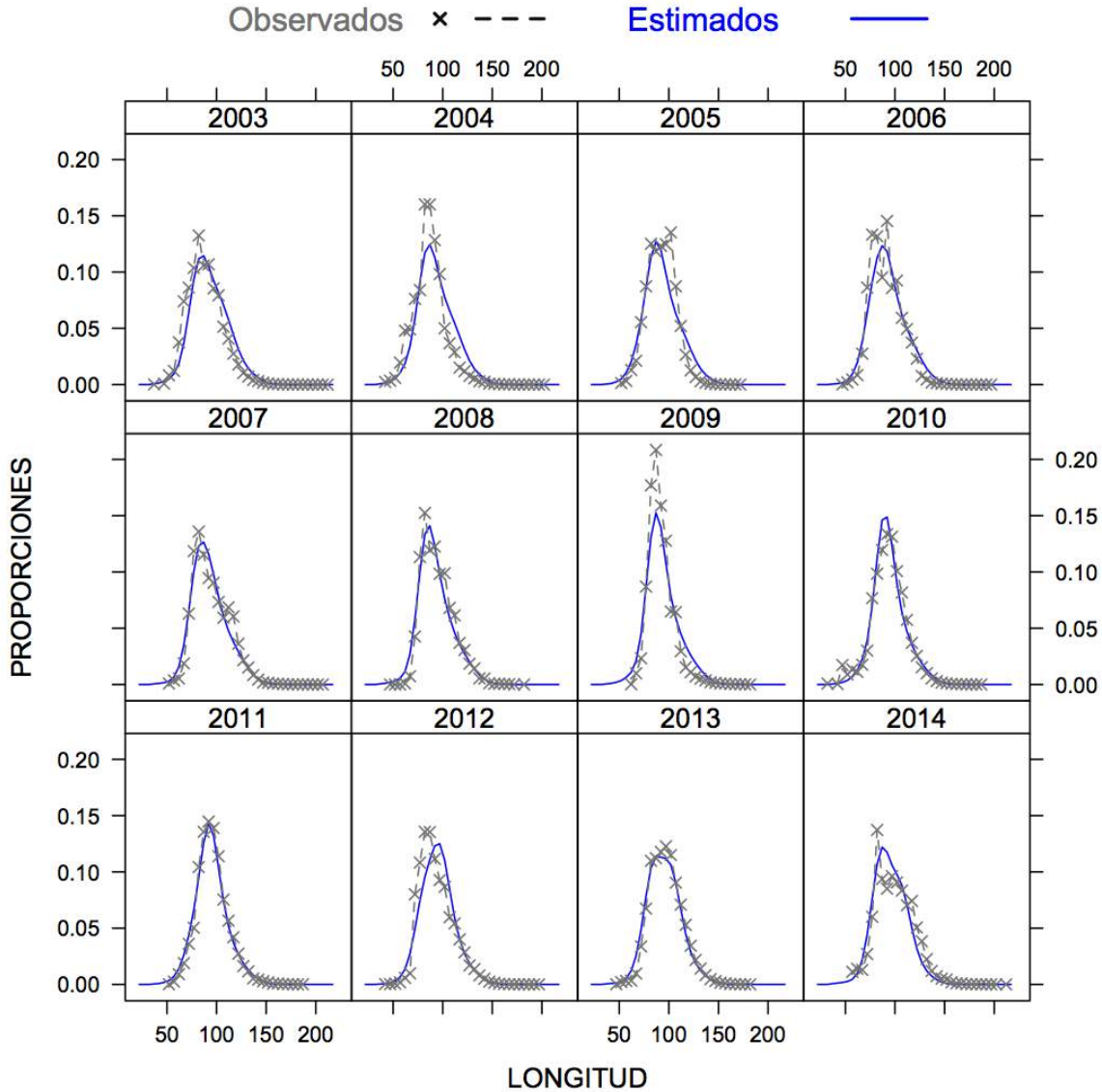
**Figura 18.** Ajuste del modelo a los datos de composición de longitudes de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota industrial chilena entre los años 1991 y 2006. Caso 1.

Los ajustes a los datos de composición de longitud de las capturas artesanales extraídas entre 1995 y 2006 fue considerado bueno a pesar que en los años 1999 a 2001 el modelo sobrestimó la longitud modal (**Figura 19**).



**Figura 19.** Ajuste del modelo a los datos de composición de longitudes de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota artesanal chilena entre los años 1995 y 2006. Caso 1.

El ajuste del modelo a los datos de composición de longitud de la flota palangrera argentina fue bastante bueno, no obstante que en el año 2009 se aprecia una clara sobreestimación de la longitud modal (**Figura 20**).

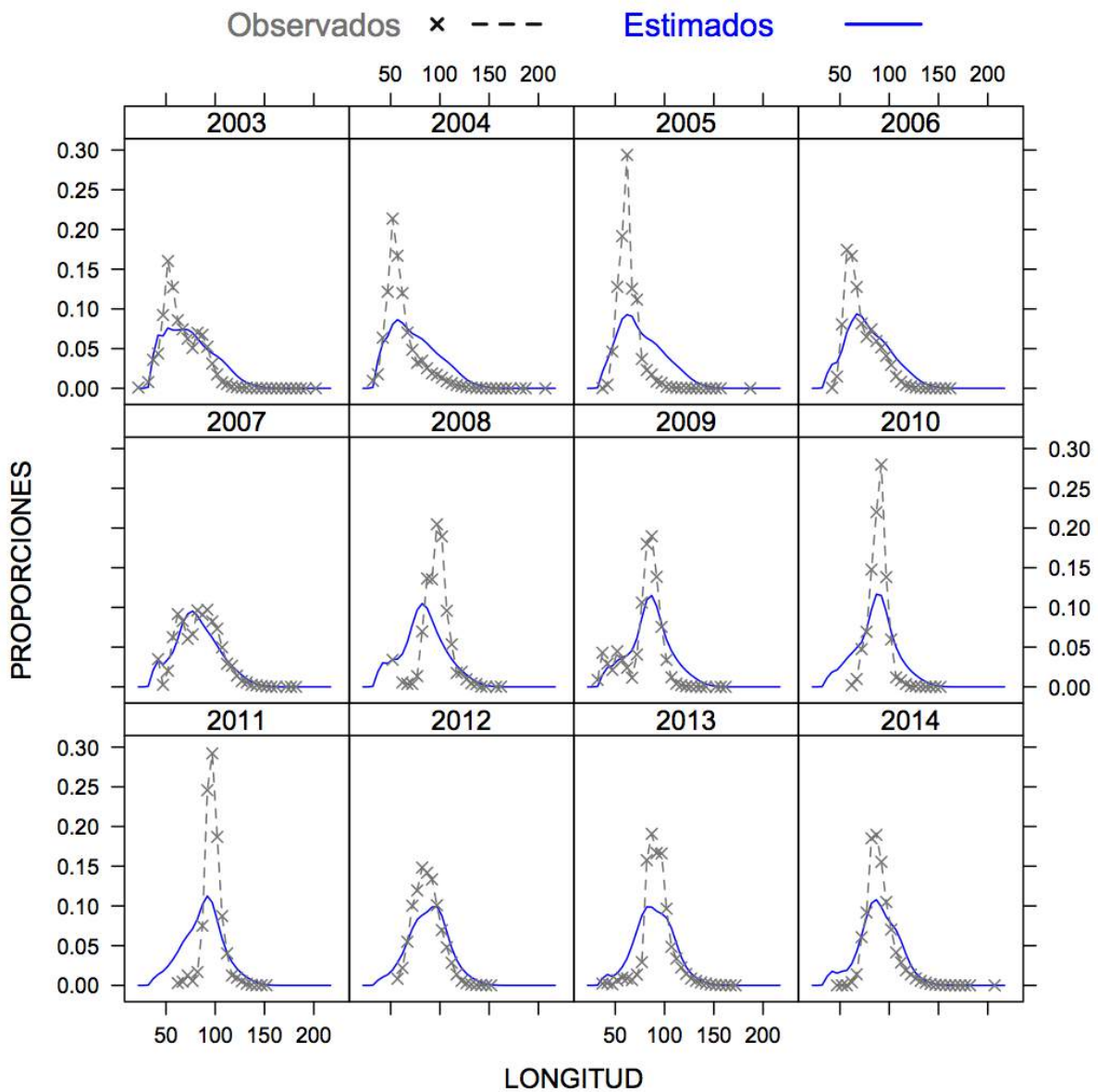


**Figura 20.** Ajuste del modelo a los datos de composici3n de edades de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota palangrera Argentina entre los ańos 2003 y 2014. Caso 1.

En contraste con el ajuste de los datos de composici3n de la flota palangrera el ajuste a los datos de composici3n de tamańos de la flota de arrastre argentina no fue particularment bueno observándose una sobre estimaci3n de la longitud modal en todos los ańos (2003 a 2014).



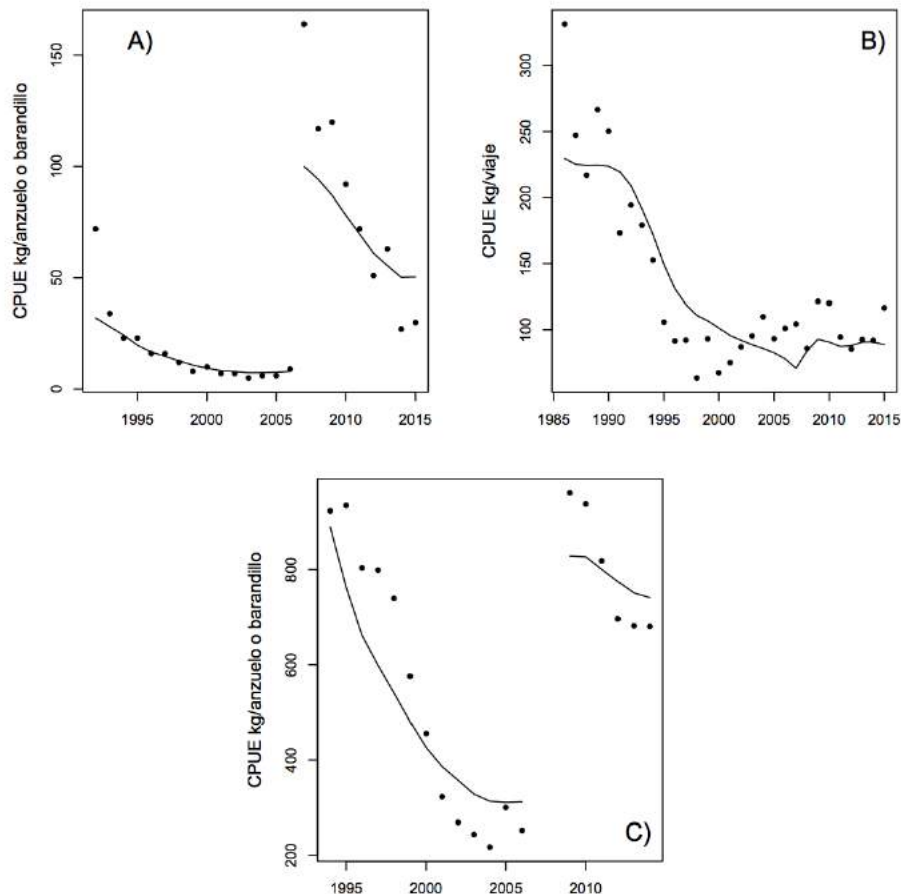
En los años 2004 y 2005 el modelo sobreestima las proporciones de los peces de mayor longitud y en los años 2008 y 2010 a 2011 los peces de menor longitud (**Figura 21**).



**Figura 21.** Ajuste del modelo a los datos de composición de edades de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota arrastrera Argentina entre los años 2003 y 2014. Caso 1.

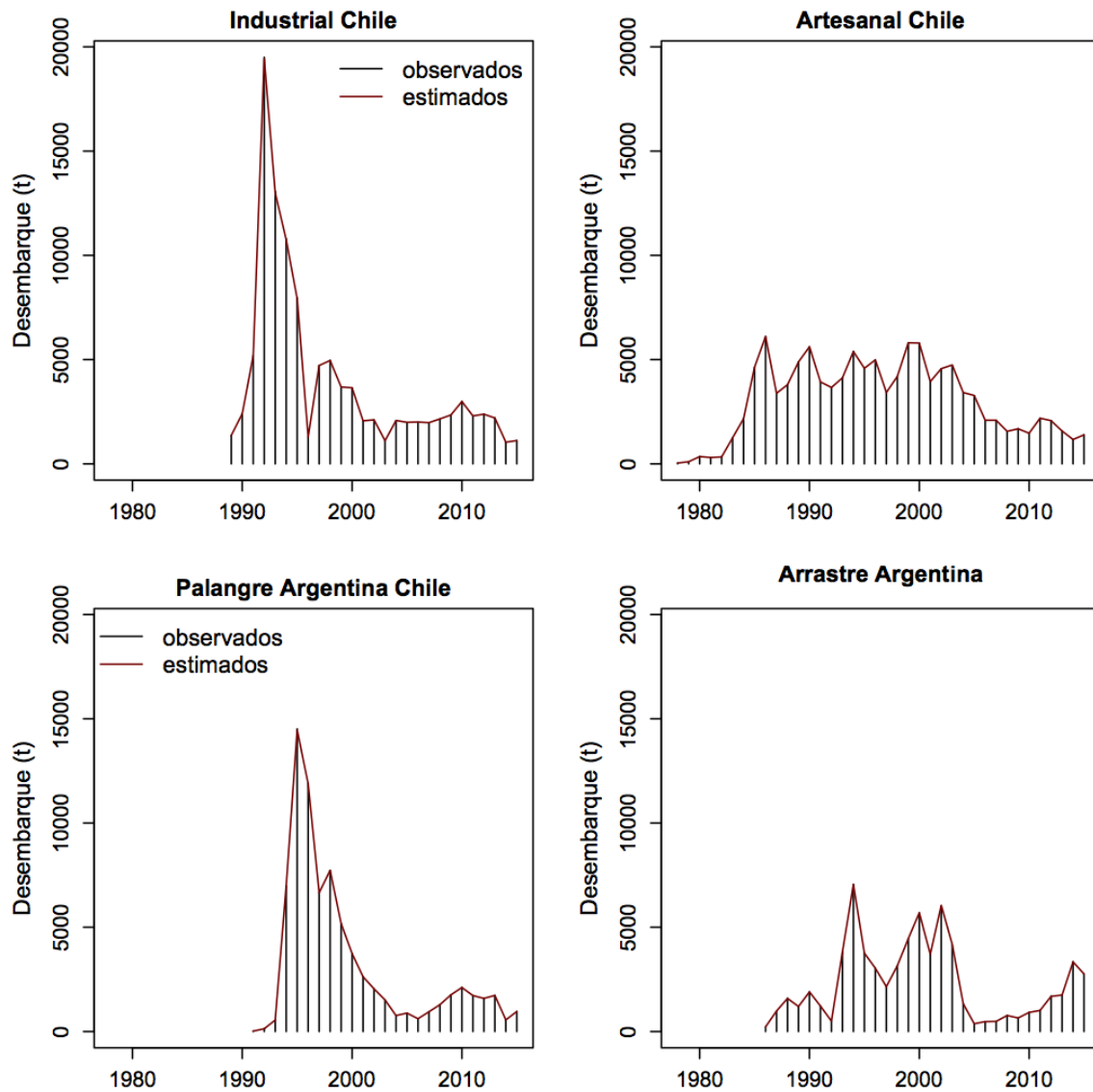


El ajuste del modelo a los índices de abundancia relativa incluidos en el Caso 1, gráficamente parecen mejor en las flotas industriales (**Figura 22A** y **22C**), con respecto a la flota artesanal (**Figura 22B**), particularmente en el caso de las pesquerías de palangre (**Figura 22A** y **22C**). Es de notar que el modelo no puede ajustar los datos del primer año de las series de abundancia relativa estimadas para las flotas artesanal e industrial (palangre) chilenas. Gráficamente el modelo exhibe dificultades para ajustar los índices basados en la operación con cachaloteras (**Figura 22A** y **22C**).



**Figura 22.** Ajuste del modelo a los índices de abundancia relativa. A): ajuste de los índices estimados con datos de la pesca chilena de palangre (1991-2006) y cachalotera (2007-2015). B): ajuste del índice estimado con datos de la pesca artesanal (1986-2015); C) Ajuste del modelo a los índices estimados con datos de la pesca Argentina de palangre (1994 - 2006) y cachalotera (2009 - 2014). (Registros de la Secretaría de Agricultura, Pesca y Acuicultura de Argentina en caso del palangre y de observadores científicos en el caso de la cachalotera. Fuente: INIDEP). Caso 1.

El ajuste a los datos de captura/desembarque de las cuatro flotas incluidas en el modelo es consistente con el coeficiente de variación utilizado en la ponderación de estos datos (**Figura 23**; **Tabla 6**).



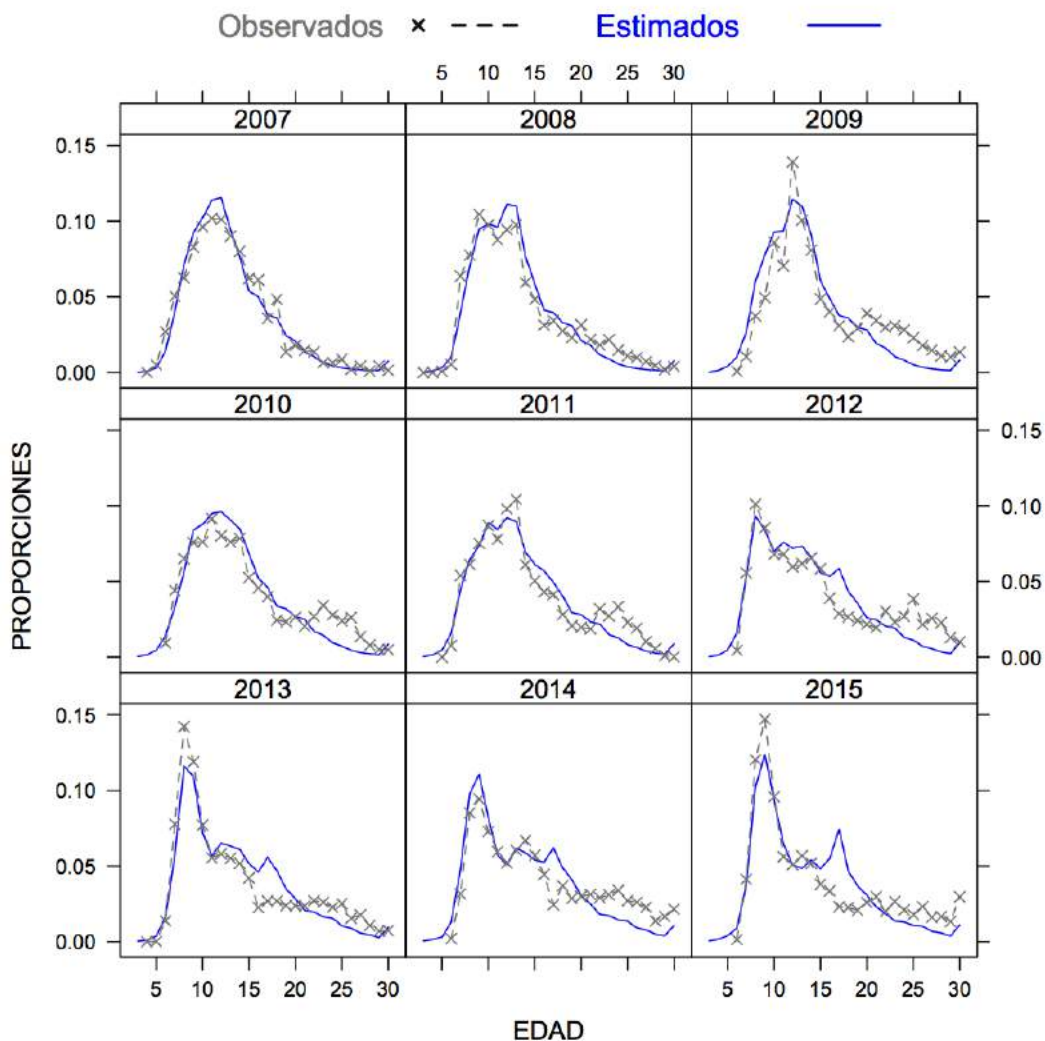
**Figura 23.** Ajuste del modelo a las capturas industriales (1989-2015) y artesanales chilenas (1978-2015) y de palangre (1991-2015) y arrastre argentinas (1986-2015). Caso 1.





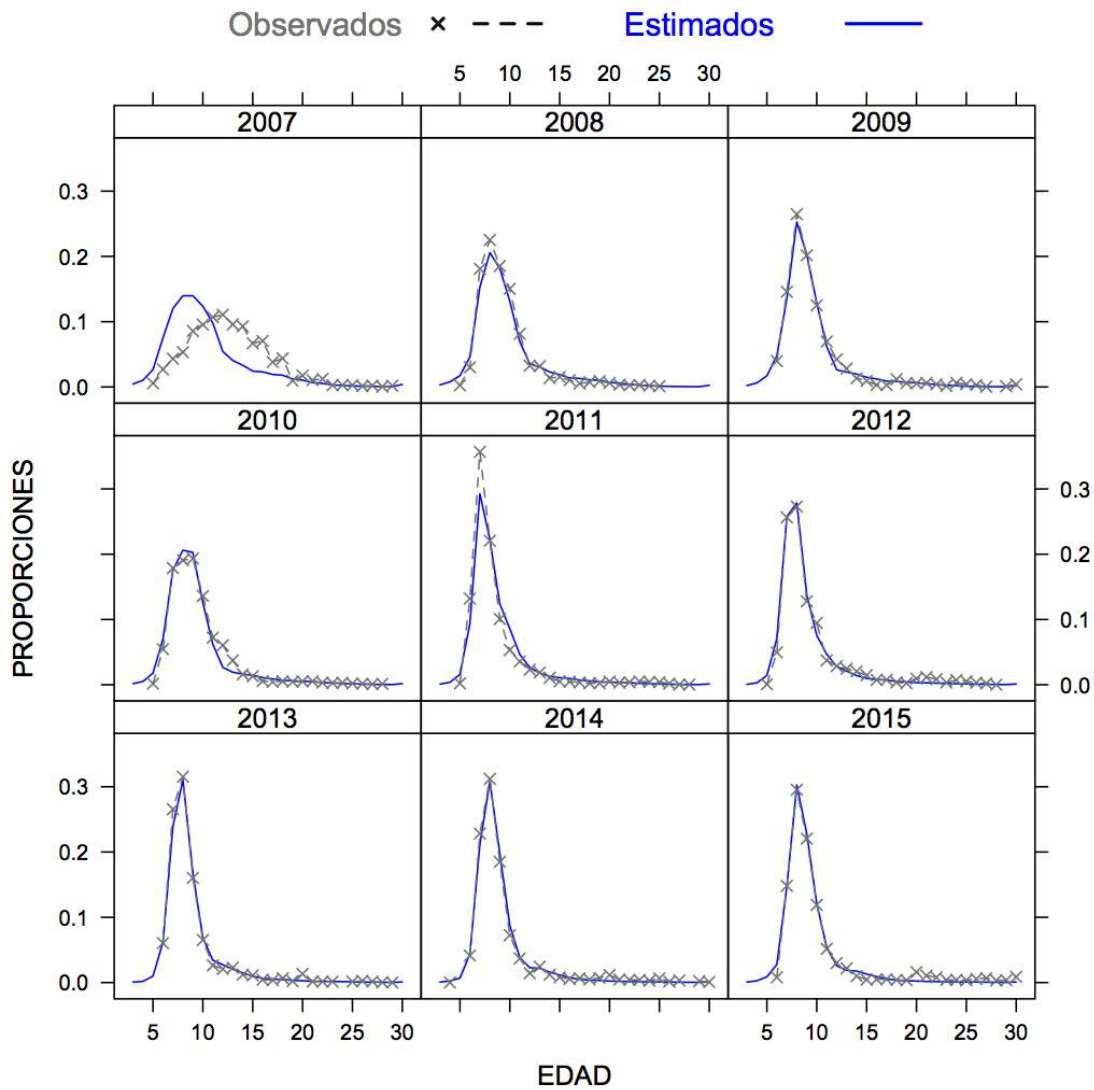
**Caso 2:** Modelo que incluye sólo las flotas industrial y artesanal de Chile.

En un situación similar a la observada en el ajuste del modelo a los datos del Caso 1, los ajustes a los datos de composición de edades de las capturas de la flota industrial chilena entre los años 2007 a 2015 logran capturar la edad modal de las capturas pero se observó una falta de ajuste en las edades más viejas (**Figura 24**).



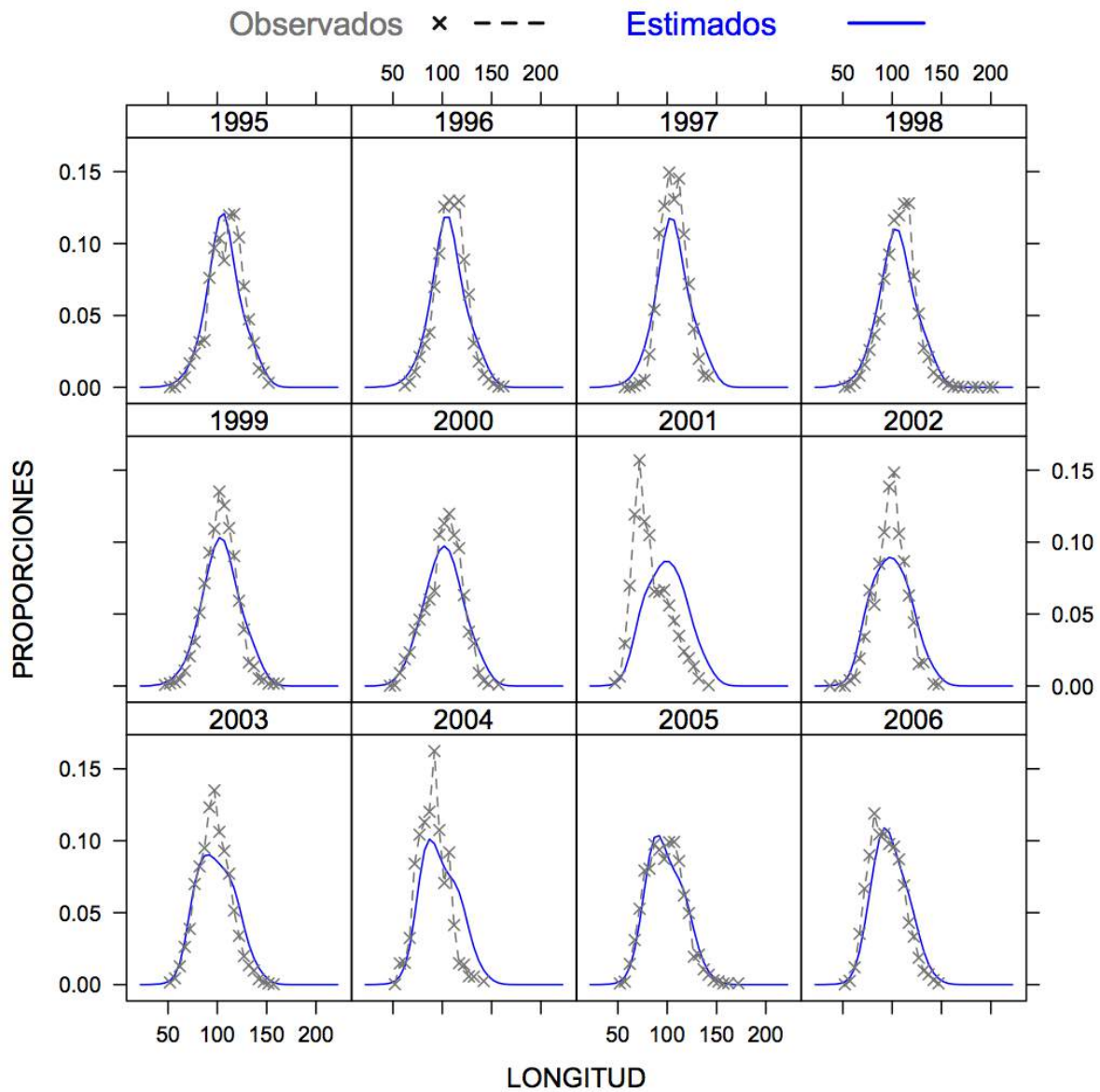
**Figura 24.** Ajuste del modelo a los datos de composición de edades de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota industrial chilena entre los años 2007 y 2015. Caso 2.

De modo similar a lo observado en el Caso 1, el ajuste del modelo a las composiciones de edad de las capturas extraídas por la flota artesanal entre los años 2007 y 2015 se observó adecuado con excepción del año 2007 (**Figura 25**).



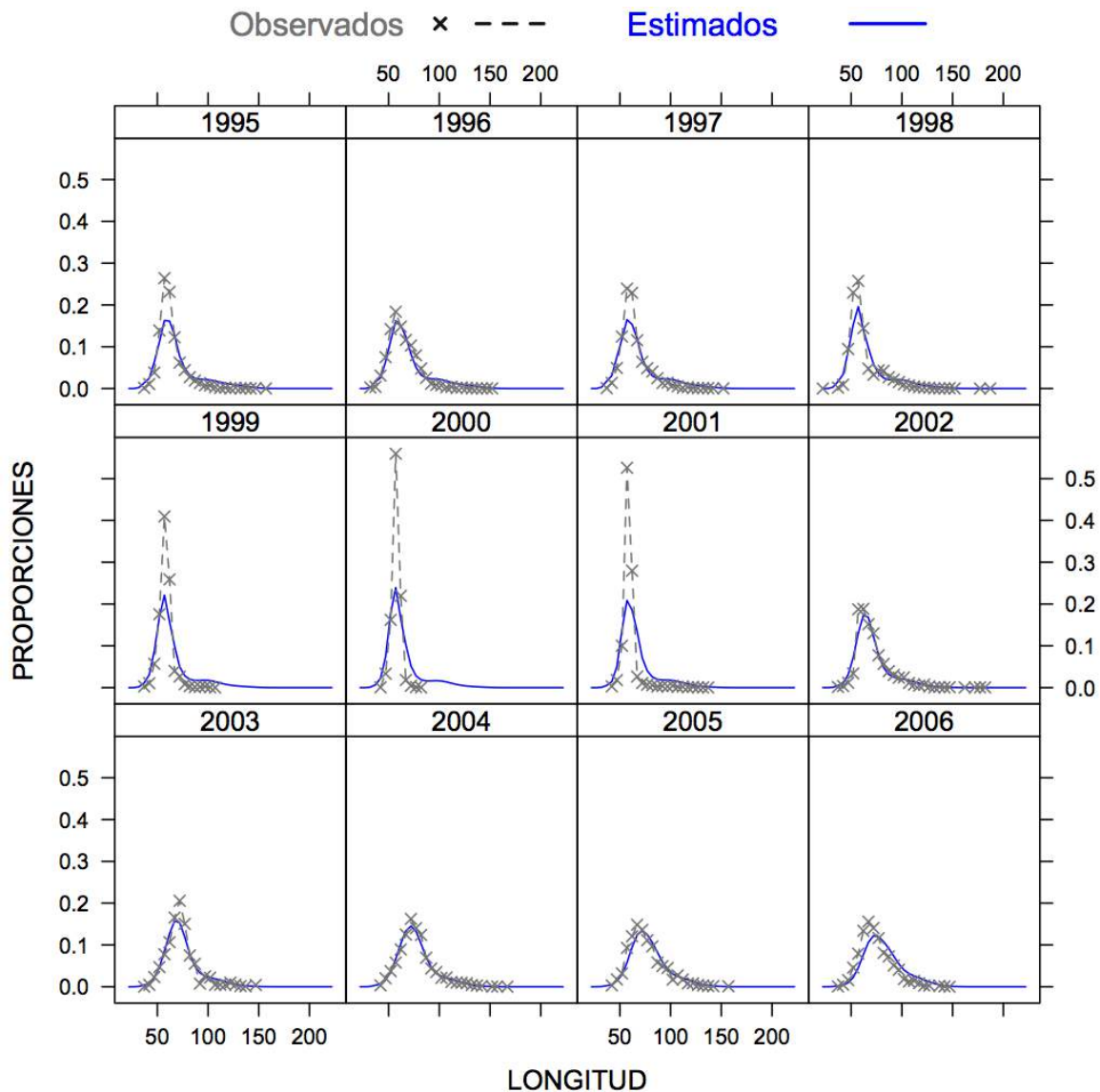
**Figura 25.** Ajuste del modelo a los datos de composici3n de edades de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota artesanal chilena entre los ańos 2007 y 2015. Caso 2.

El ajuste del modelo a los datos de composici3n de tamańos de las capturas extraídas por la flota industrial entre los ańos 1995 y 2006 se observaron en general como satisfactorios sin embargo exhibieron una sobre estimaci3n de las proporciones de la longitud modal. Esta situaci3n no se observ3 en los ańos 1995 y 2005 (**Figura 26**).



**Figura 26.** Ajuste del modelo a los datos de composición de longitudes de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota industrial chilena entre los años 1995 y 2006. Caso 2.

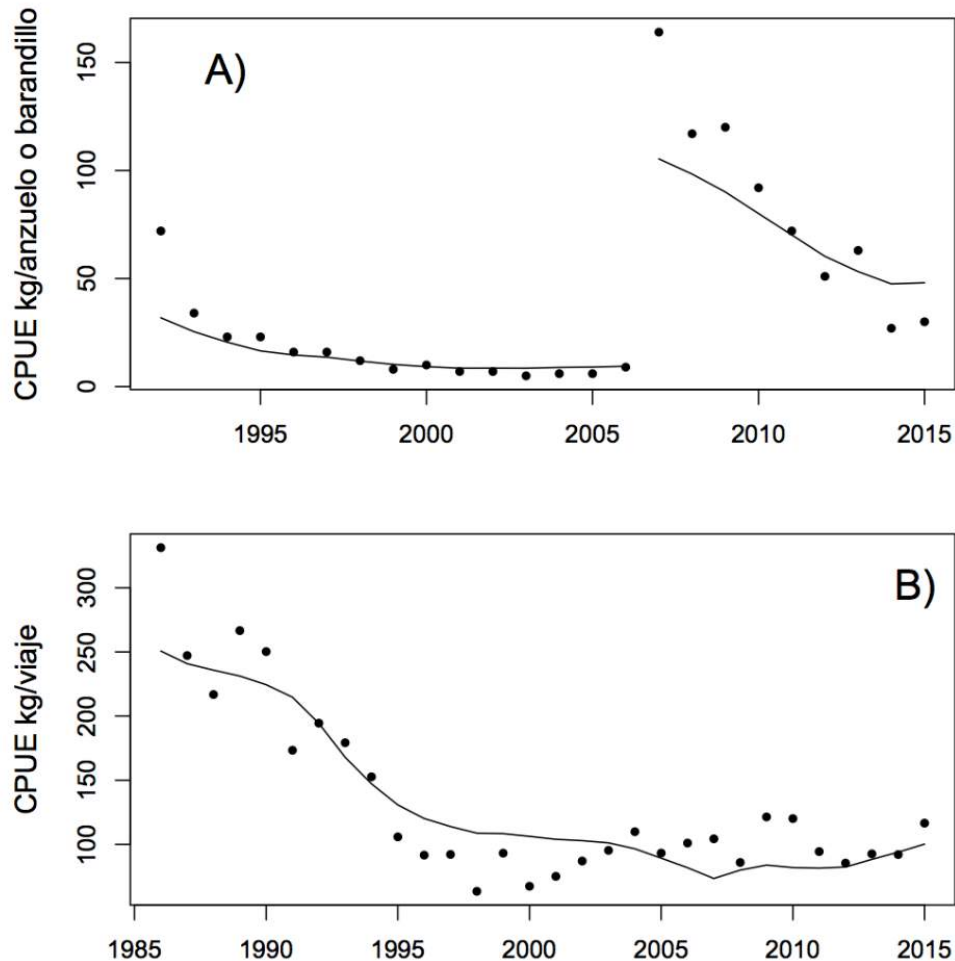
El ajuste del modelo a los datos de composición de longitud de las capturas artesanales fue adecuado sin perjuicio de que se observó una sobreestimación de las proporciones modales de los años 1999 a 2001 (**Figura 27**).



**Figura 27.** Ajuste del modelo a los datos de composici3n de longitudes de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota artesanal chilena entre los ańos 1995 y 2006. Caso 2.

El ajuste del modelo a los índices de abundancia relativa captur3 la tendencia general de las series estimadas con los datos de la palangre industrial y artesanal lo que no se logr3 particularmente bien en el caso de los datos de la operaci3n con cachalotera (**Figura 28**).

En el ajuste del modelo del Caso 2 tambi3n se apreci3 la falta de ajuste del modelo al primer dato de las series artesanal (ańo 1986) e industrial (ańo 1992).



**Figura 28.** Ajuste del modelo a los índices de abundancia relativa. A): ajuste de los índices estimados con datos de la pesca chilena de palangre (1991-2006) y cachalotera (2007-2015). B): ajuste del índice estimado con datos de la pesca artesanal (1986-2015). Caso 2.

Tal como fue observado en la descripción de los ajustes del modelo en el Caso 1, el ajuste del modelo a los datos de captura incluidos en el Caso 2 es coherente con los coeficientes de variación ingresados al modelo para ponderar esta conjunto de datos (**Figura 29**).

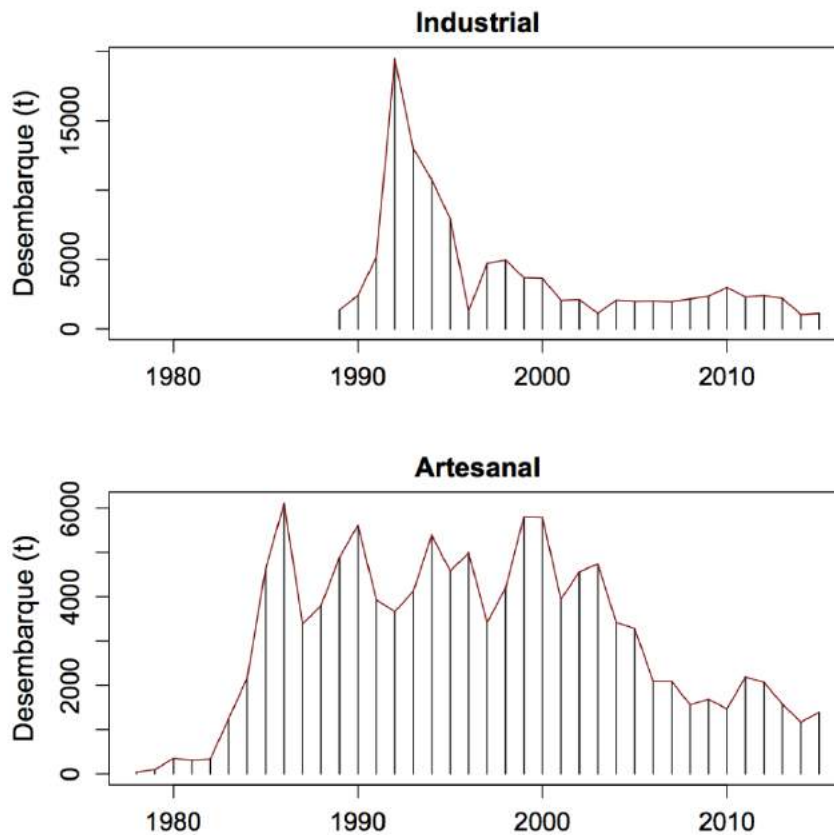


Figura 29. Ajuste del modelo a las capturas industriales (1989-2015) y artesanales (1978-2015). Caso 2.

## 4.1.2 Estimaciones de los parámetros

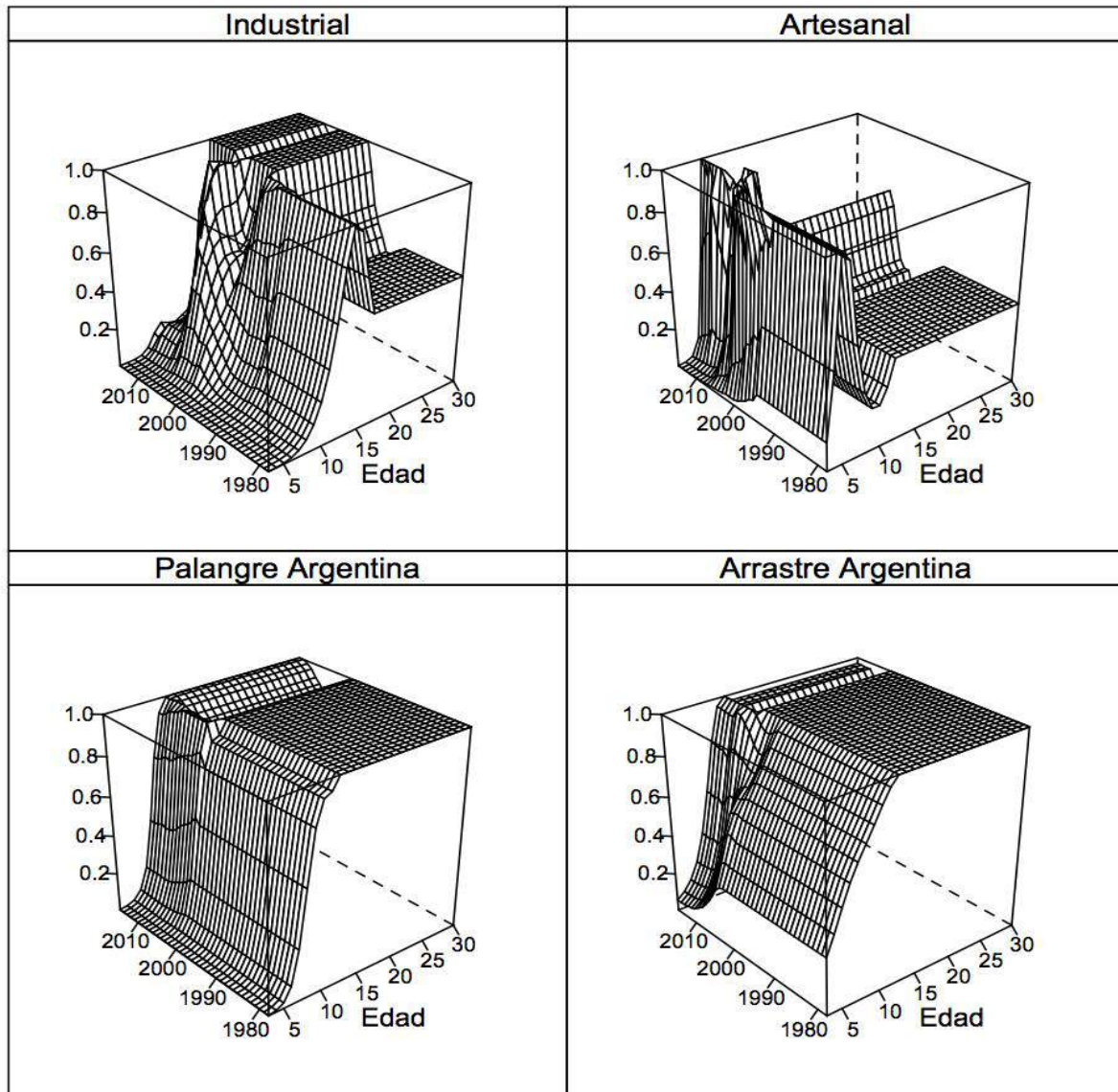
### 4.1.2.1 Selectividades

En la estimaci3n de las selectividades de las flotas industrial y artesanal chilenas se hizo una de las principales caracteristicas del modelo AMAK que es el uso de una relaci3n no paramétrica suavizada que puede tomar cualquier forma. La selectividad industrial toma una forma no asint3tica en los aros para los cuales no fueron ingresados datos de composici3n al modelo (1978 a 1990) y una forma logística en los aros m3s recientes (Figura 30). En el caso de la flota artesanal la forma adoptada por la funci3n de selectividad a la edad es consistente con la ausencia de individuos m3s viejos en el 3rea norte de la pesquería chilena (Figura 30).

En el caso de las pesquerías de palangre y arrastre argentinas, las selectividades fueron restringidas a funciones logísticas constantes a trav3s de dos bloques de aros con un cambio en selectividad en l aro 2007 (Figura 30).



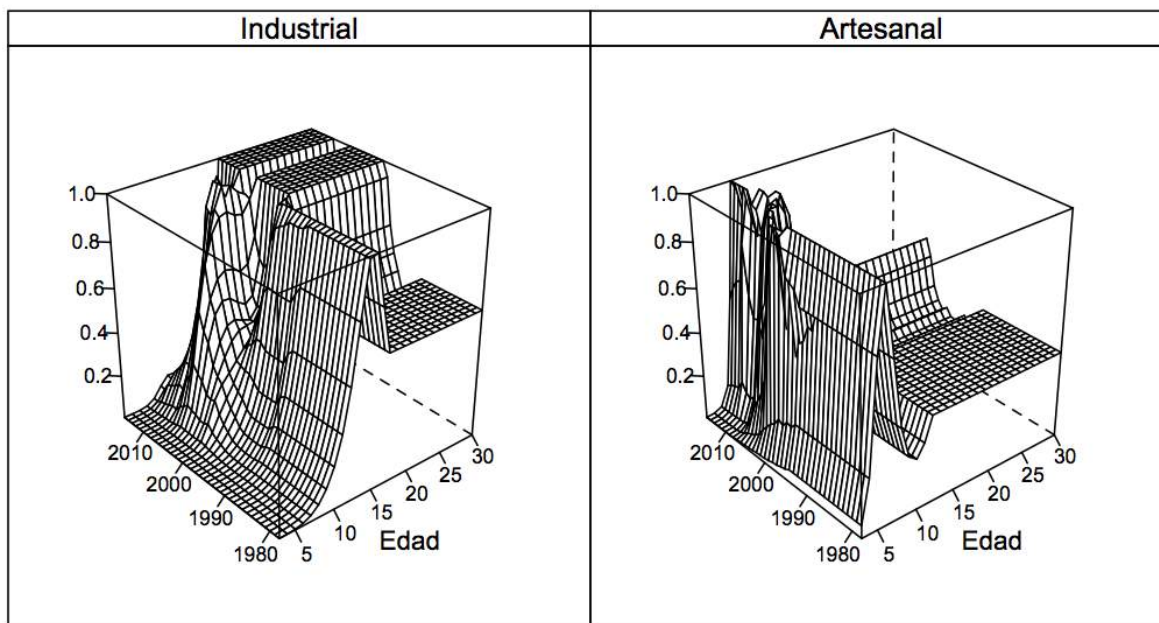
La configuración de las funciones de selectividad corresponde a las empleadas en la evaluación del año 2015 (Tascheri y Canales 2016).



**Figura 30.** Selectividades estimadas para la flota industrial y artesanal chilena y las flotas de palangre y arrastre argentinas. Caso 1.

Las formas de las selectividades a la edad estimadas para las flotas industrial y artesanal en el Caso 2 fueron esencialmente las mismas que las estimadas para estas flotas en el Caso 1 (**Figuras 30** y

31). La forma de la selectividad de la flota artesanal esta en acuerdo con la composición de edades más joven observadas en las capturas de esta pesquería. La forma particular de la selectividad industrial entre los años 1978 y 1991 corresponde con los años en donde el modelo no cuenta con datos de composición (edades o longitud; **Figura 31**).



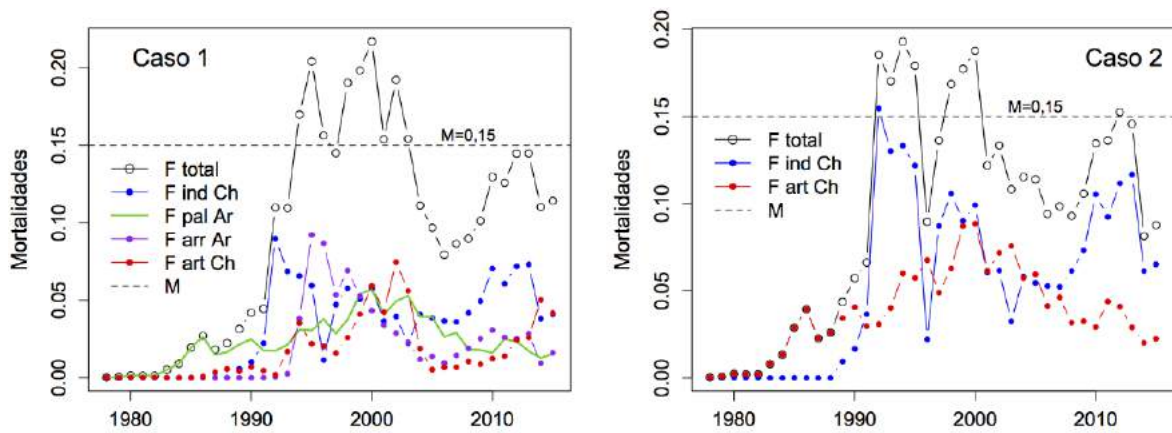
**Figura 31.** Selectividades estimadas para la flota industrial y artesanal chilena. El modelo empleado permite modelar la selectividad de manera más flexible alternativamente al uso de las formas funcionales comúnmente utilizadas. Caso 2.

#### 4.1.2.2 Mortalidades

La mortalidad por pesca se incrementó notablemente con el inicio de las operaciones industriales chilenas y argentinas en 1990-91, de tal modo que la mortalidad por pesca total superó la mortalidad natural entre los años 1994 y 2003. Luego de este año, el desembarque en Chile experimentó una reducción del orden de 34% y de un 44% en el caso de Argentina y consecuentemente la mortalidad por pesca total experimentó una significativa reducción (**Figura 32**).

El incremento de los desembarques a partir del año 2008-09, tanto en Chile como Argentina y la subsecuente reducción de la cuota de captura chilena en el año 2014 da cuenta de las fluctuaciones de la mortalidad por pesca total observadas en los últimos 8 años (**Figura 32**).





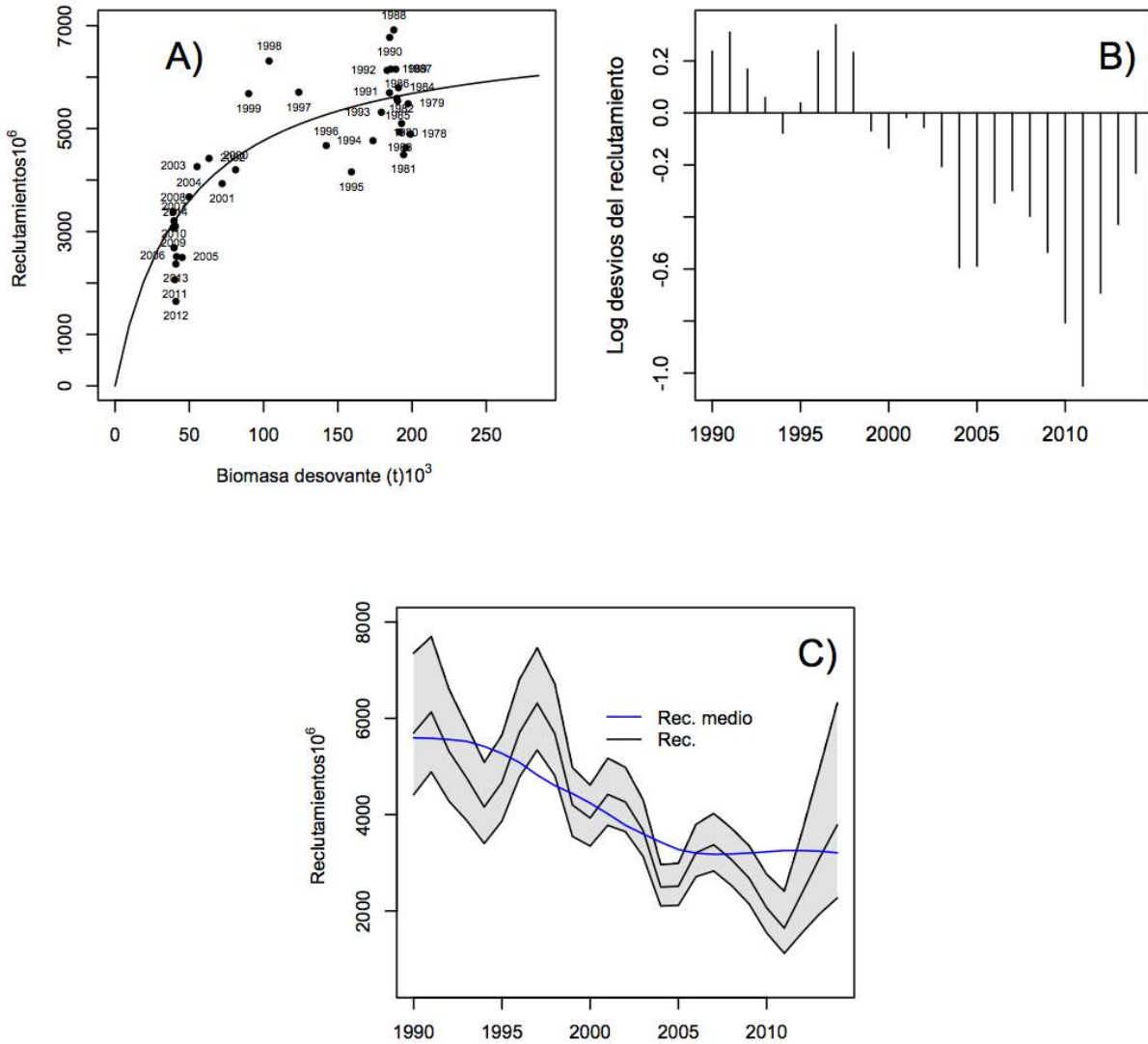
**Figura 32.** Mortalidades por pesca de bacalao de profundidad de la edad completamente reclutada a la pesquería. F total: mortalidad total; F ind Ch: pesquería industrial chilena; F pal Ar: pesquería palangre argentina; Farr Ar: pesquería arrastre argentina; F art Ch: pesquería artesanal chilena. La línea segmentada corresponde al valor de la mortalidad natural M. Casos 1 y 2.

#### 4.1.2.3 Reclutamientos

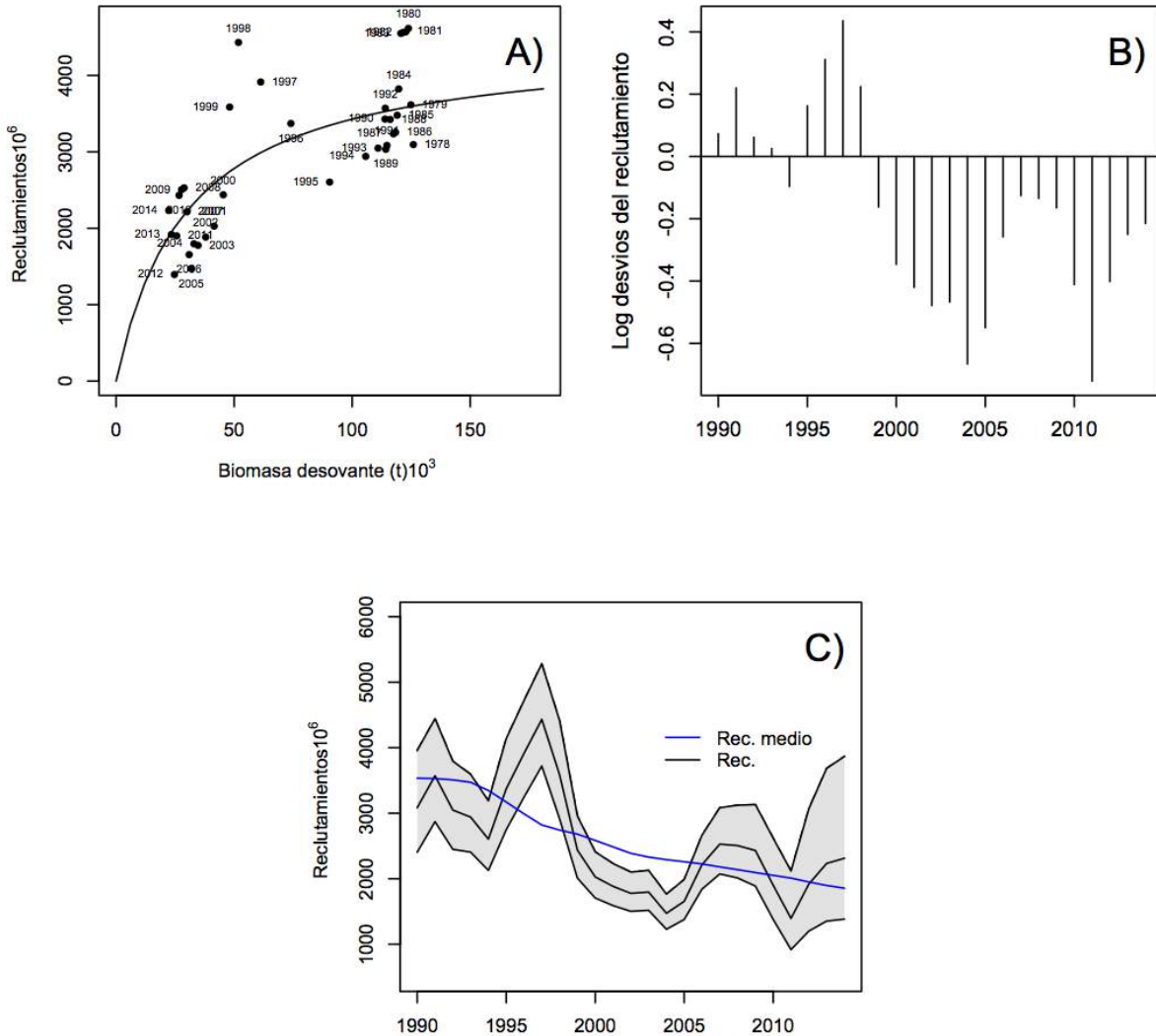
Las estimaciones del reclutamiento se presentan en dos grupos de años, uno con reclutamientos altos entre los años 1978 y 1995 y otro con reclutamientos bajos entre los años 2000 y 2015 (con el resto de los años distribuido entre estos dos grupos (**Figuras 33A y 34B**).

Estos bloques de años resultan de un período inicial de desvíos positivos que es seguido por un bloque de años más recientes que exhiben desvíos negativos muy pronunciados (**Figuras 33B y 34B**).

El resultado es una tendencia de los reclutamientos a disminuir entre los años 1995 y 2015 que es consistente con las estimaciones reportadas en evaluaciones previas conducidas por IFOP (**Figuras 33C y 34C**).



**Figura 33.** Reclutamientos de bacalao de profundidad estimados entre los años 1978 y 2014; A) Curva stock reclutas y reclutamientos estimados en cada año; B) desvíos log normales; C) Reclutamiento estimado con banda de confianza de 95%. Caso 1.

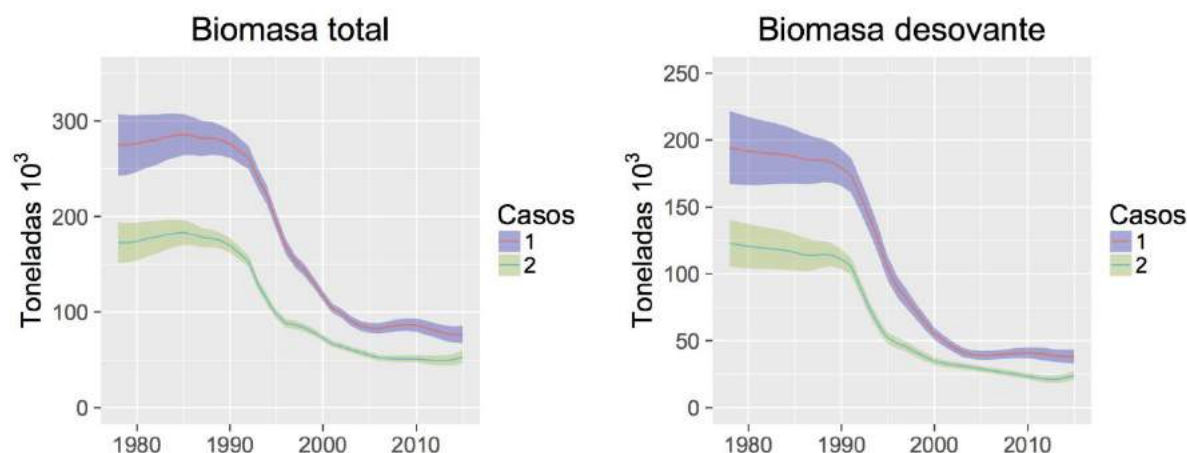


**Figura 34.** Reclutamientos de bacalao de profundidad estimados entre los años 1978 y 2014; A) Curva stock reclutas y reclutamientos estimados en cada año; B) desvíos log normales; C) Reclutamiento estimado con banda de confianza de 95%. Caso 2.

#### 4.1.2.4 Biomosas

La **biomasa total**: peso de la población de 3 años de edad o mayores (3+), presente a inicios de cada año.

La **biomasa desovante**: peso de la población que ha alcanzado la madurez sexual y que se encuentra presente a inicios de agosto.



**Figura 35.** Series de biomasa total (3+; panel superior), desovante (panel inferior) y bandas de confianza de 95% de bacalao de profundidad estimadas en los Casos 1 y 2. Años 1978 a 2015.

Tanto la biomasa total como la biomasa desovante se mantuvieron relativamente estables entre los años 1978 y 1987 y luego experimentaron una fuerte reducción que parte con el inicio de la pesca industrial chilena y la pesca en argentina (en la situación modelada en el Caso 1) y con la pesca industrial chilena en el Caso 2 (**Figura 35; Tablas 7 y 8**).

Esta reducción en biomasa se estabiliza alrededor del año 2005 lo que representa, considerando los dos casos analizados, una disminución promedio en el tamaño del stock de aproximadamente 70% en biomasa total y 79% en biomasa desovante (**Figura 35; Tablas 7 y 8**).

En los últimos 10 años de las series estimadas en el Caso 1, la biomasa total se ha mantenido fluctuando alrededor de las 82.000 toneladas y en torno de las 40.000 toneladas en el caso de la biomasa desovante (**Figura 35; Tablas 7 y 8**).

En la situación analizada en el Caso 2, la biomasa total ha fluctuado en torno a las 51.300 toneladas en los últimos 10 años y la biomasa desovante en torno a las 24.400 toneladas (**Figura 35; Tablas 7 y 8**).

**Tabla 7.**

Biomasa total 3+, biomasa desovante, reclutamientos, mortalidad por pesca y tasas de explotaci3n de bacalao de profundidad, estimadas para los a1os 1990 a 2015. Caso 1.

A1os	Biomasa total 3+ (toneladas)	Biomasa desovante (toneladas)	Reclutas (10 <sup>6</sup> )	Mort. Pesca (F)	Tasa Explot. (u)
1991	268790	173710	5697	0.04	0.04
1992	261860	159200	6131	0.11	0.10
1993	239740	142200	5317	0.11	0.10
1994	221340	123730	4766	0.17	0.15
1995	194290	103750	4158	0.20	0.17
1996	167760	89983	4670	0.16	0.13
1997	153270	81188	5706	0.14	0.13
1998	143800	72131	6314	0.19	0.16
1999	130470	63293	5680	0.20	0.17
2000	116890	55226	4200	0.22	0.18
2001	103720	49852	3931	0.15	0.13
2002	98550	45206	4420	0.19	0.16
2003	90645	41417	4261	0.15	0.13
2004	85501	39688	3673	0.11	0.10
2005	83453	39144	2496	0.10	0.09
2006	82843	39288	2514	0.08	0.07
2007	84663	39723	3210	0.09	0.08
2008	86164	40305	3374	0.09	0.08
2009	86918	40957	3068	0.10	0.09
2010	86344	40927	2684	0.13	0.11
2011	83772	40616	2064	0.13	0.11
2012	80860	39831	1642	0.14	0.13
2013	78119	38773	2368	0.14	0.13
2014	76440	38366	3103	0.11	0.10
2015	76517	38156	3785	0.11	0.10

**Tabla 8.**

Biomasa total 3+, biomasa desovante, reclutamientos, mortalidad por pesca y tasas de explotaci3n de bacalao de profundidad, estimadas para los a1os 1990 a 2014. Caso 2.

A1os	Biomasa total 3+ (toneladas)	Biomasa desovante (toneladas)	Reclutas (10 <sup>6</sup> )	Mort. Pesca (F)	Tasa Explot. (u)
1991	161730	105740	3084	0.07	0.06
1992	153230	90468	3571	0.19	0.16
1993	128930	74036	3048	0.17	0.15
1994	112400	61261	2941	0.19	0.16
1995	97538	51822	2604	0.18	0.15
1996	88188	48088	3372	0.09	0.08
1997	86723	45393	3914	0.14	0.12
1998	83665	41528	4432	0.17	0.14
1999	78835	37947	3586	0.18	0.15
2000	72695	34726	2438	0.19	0.16
2001	66454	32962	2028	0.12	0.11
2002	64055	31823	1884	0.13	0.12
2003	60648	30933	1777	0.11	0.10
2004	57904	30005	1797	0.12	0.10
2005	54939	28820	1473	0.11	0.10
2006	52280	27747	1655	0.09	0.08
2007	51514	26663	2215	0.10	0.09
2008	51108	25660	2528	0.09	0.08
2009	51215	24708	2506	0.11	0.09
2010	51151	23421	2431	0.13	0.12
2011	50392	22310	1900	0.14	0.12
2012	49383	21460	1394	0.15	0.13
2013	49284	21194	1919	0.15	0.13
2014	50323	22277	2233	0.08	0.07
2015	53082	24130	2313	0.09	0.08



#### 4.1.3 Resumen de la evaluación de stock

En la presente evaluación de stock se mantuvo el enfoque de análisis seguido en la evaluación del año 2015 (Tascheri y Canales 2016).

De este modo, los casos analizados fueron dos: El Caso 1 considera que los stocks del Pacífico y Atlántico (sólo la ZEE de Argentina) se encuentran abiertos entre sí y consecuentemente el reclutamiento al stock depende de la biomasa desovante combinada de ambos océanos; el Caso 2 considera al stock distribuido en el Pacífico como una población cerrada con respecto a los desovantes y el reclutamiento, implicando que no existe una migración significativa desde el lado Atlántico.

Los cambios incluidos en la evaluación del año 2015 (Tascheri y Canales 2016; sección 4.6 de este informe) se mantuvieron en esta evaluación y de este modo la evaluación 2016 constituye más bien una actualización a la evaluación presentada el año pasado en el CCT-RDAP.

Sin perjuicio de lo anterior, los dos aspectos nuevos del trabajo realizado este año corresponden a un análisis de la ponderación de los índices de abundancia y datos de composición de las capturas incluidos en el modelo siguiendo los principios propuestos en Francis (2011) (sección 5.4 en este informe) y un procedimiento alternativo para el análisis de estandarización del esfuerzo de la pesquería industrial chilena (**Anexo 2**).

Los dos casos estudiados corroboran las tendencias de las biomásas informadas en evaluaciones anteriores (Quiroz y Wiff 2012, Quiroz 2014, Tascheri y Canales 2015, Tascheri y Canales 2016), en donde en todos los casos se estima una importante reducción del tamaño del stock entre los años 1992 y 2005.

Esto es concordante con una progresiva reducción en la magnitud de los reclutamientos entre los años 1995 y 2015 que también ha sido reportada en evaluaciones previas de este stock.

Las biomásas desovantes estimadas para el último año incluido en la evaluación correspondieron a 38.156 toneladas en el Caso 1 y 24.130 toneladas en el Caso 2.

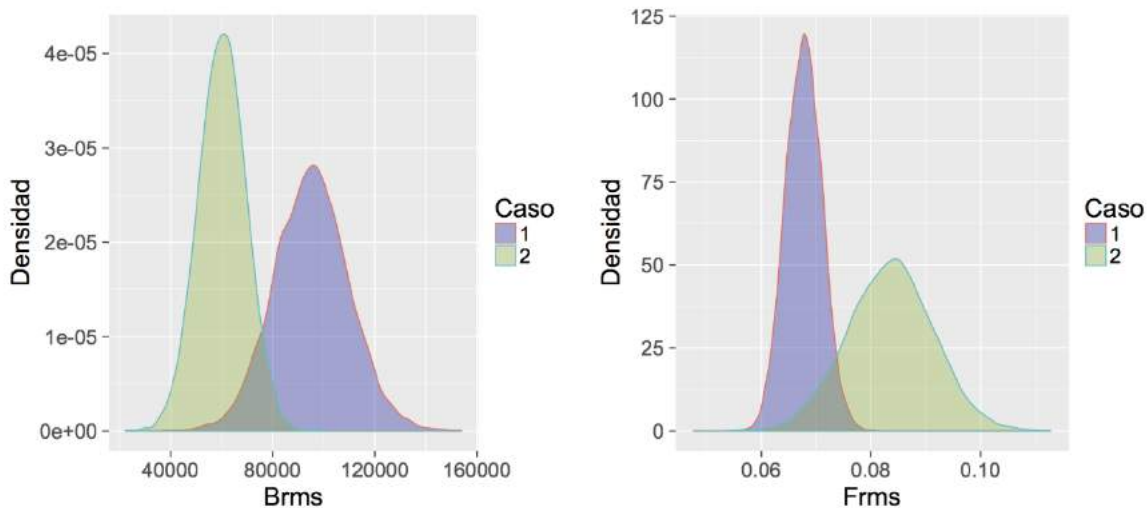
## 4.2 Objetivo específico 2:

*Establecer el estatus actualizado del recurso*

### 4.2.1 Puntos biológicos de referencia

Los valores sustitutos de  $F_{RMS}$  fueron estimados en 0,06773 con un intervalo de confianza de 95% de 0,06557 – 0,07003 en el Caso 1 y 0,08359 con un intervalo de confianza de 95% de 0,07822 – 0,08881 en el Caso 2 (**Figura 35**).

Los valores sustitutos de la biomasa de  $B_{RMS}$  fueron estimados en 95.090 toneladas con un intervalo de confianza de 95% de 85.420 – 104.526 toneladas en el Caso 1 y 60,379 toneladas con intervalo de confianza de 95% de 54.181 – 66.549 toneladas en el Caso 2 (**Figura 36**).



**Figura 36.** Distribuciones de probabilidad de los puntos biológicos de referencia sustitutos del Rendimiento Máximo Sostenible estimados para los dos casos estudiados en la evaluación 2016.

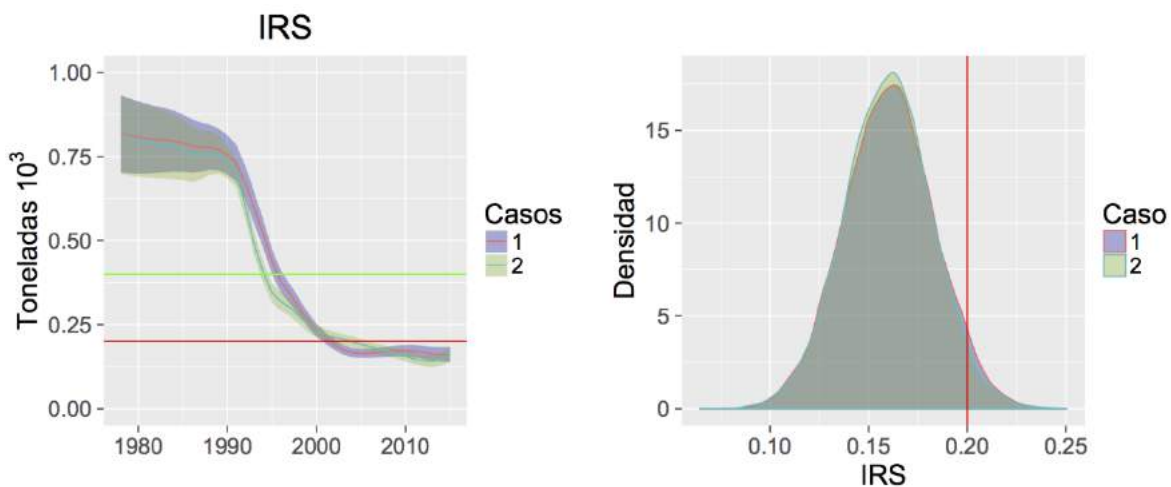
### 4.2.2 Evaluación del estatus basado en la biomasa desovante.

De acuerdo con los resultados del Caso 1 entre los años 1978 y 1989 el stock se encontraba en un 80% del máximo potencial reproductivo. Coincidiendo con el inicio de la pesca industrial en la región del Pacífico y Atlántico el potencial reproductivo experimenta una rápida reducción a partir del año 1991 alcanzando un 17% en el año 2003. Entre los años 2003 y 2015 el potencial reproductivo se mantenido próximo a un 17%. La reducción objetivo adoptada para el manejo de esta pesquería ( $0,4B_0$ ) fue alcanzada entre los años 1995 y 1996 y rápidamente superada en los años subsecuentes (**Figura 37**).



Seg3n los resultados del Caso 2, entre los a3os 1978 y 1988 el stock se encontraba cercano al 80% de su m3ximo potencial reproductivo. En 1991 este potencial comenz3 una r3pida reducci3n que alcanz3 una situaci3n estable en el a3o 2008 a partir del cual se mantuvo alrededor de un valor medio de 15%. De acuerdo con este caso, el nivel objetivo de reducci3n de la biomasa desovante se alcanz3 en el a3o 1994 pero fue r3pidamente supero en los siguientes a3os (**Figura 37**).

En el a3o 2015 el nivel de reducci3n de la biomasa desovante fue estimado en 0,16 en los dos casos estudiados (**Figura 37**).



**Figura 37.** Panel izquierdo: Fluctuaci3n del 3ndice de reducci3n del stock desovante (IRS) de bacalao de profundidad estimado para los dos casos estudiados con el modelo de evaluaci3n 2016. Se incluye la banda de confianza de 95%; Panel derecho: distribuciones de probabilidades del IRS en el a3o 2015 en los dos casos analizados en esta evaluaci3n. En ambos gr3ficos se indica el l3mite que define la zona de colapso (l3nea roja:  $0,2B_0$ ). En el panel izquierdo se indica adem3s el nivel de reducci3n objetivo (l3nea verde:  $0,4B_0$ ).

#### 4.2.3 Marco biol3gico de referencia

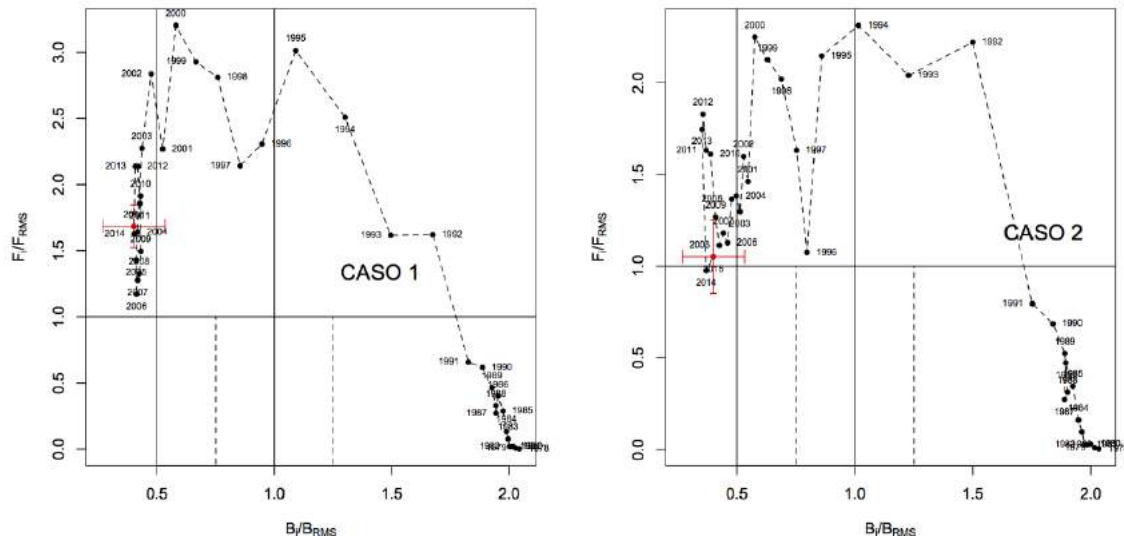
De acuerdo con los resultados de los dos casos estudiados el stock se encontraba en una situaci3n de sub-explotaci3n entre los a3os 1978 y 1991 (**Figura 38**).

Una vez iniciada la pesquer3a industrial chilena (y tambi3n de argentina si estamos considerando el Caso 1), la mortalidad por pesca r3pidamente supera aquella del RMS manteni3ndose por sobre esta 3ltima durante todo su desarrollo (**Figura 38**).

Dependiendo del caso que se considere, la pesquer3a alcanza la regi3n de plena-explotaci3n en 1994-95 y se mantuvo en esta condici3n hasta el a3o 1997-98 (**Figura 38**).

Entre los años 1999 y 2001 en el Caso 1 y entre los años 1999 y 2003 en el Caso 2, la pesquería de bacalao de profundidad se encontró en una situación de sobreexplotación (**Figura 38**).

En el año 2002 de acuerdo al Caso 1 y en el año 2004 de acuerdo al Caso 2, la pesquería entra en la región de colapso o agotamiento donde se mantiene hasta el año 2015 (**Figura 38**).



**Figura 38.** MBR mostrando la trayectoria del stock de bacalao de profundidad entre los años 1978 y 2015 para los dos casos estudiados en esta evaluación. CASO 1: modelo que incluye las pesquerías de las Zonas Económicas Exclusivas (ZEE) de Chile y Argentina; CASO 2: modelo que incluye sólo las pesquerías la ZEE de Chile. La situación del stock en el año 2015 se destaca en rojo.

#### 4.2.4 Incertidumbre del modelo

Se analizaron un total de 17 sub-casos alternativos usando el modelo implementado para el Caso 1 y 16 sub-casos con el modelo del Caso 2 (**Tabla 8**). Estos sub-casos incluyeron el examen del efecto de disminuir o aumentar el parámetro steepness (dentro del rango de los valores que se muestran en la **Tabla 4**; sub-casos S1 y S2), disminuir o aumentar la mortalidad natural (dentro del rango de valores que se muestra en de la **Tabla 1**), el efecto de estimar la mortalidad natural en el modelo (S3 a S5), el efecto de disminuir el tamaño de muestra de las composiciones de edades o las composiciones de tamaño a la mitad del valor usado en el ajuste del caso base (S6 y S7), incrementar al doble el coeficiente de variación de la CPUE industrial chilena o la CPUE artesanal o el de todos los índices de abundancia a la vez (sub-casos S8 a S10), la eliminación del valor de la CPUE del año 1991 desde los índices artesanal e industrial (S11), el uso de la misma ojiva de madurez por clase de tamaño usada en el caso base pero transformada a edades usando los parámetros de crecimiento estimados por Young *et al.* (1992) (S13; **Tabla 2**), el uso de los



desembarques oficiales del Servicio Nacional de Pesca según aparecen en los Anuarios de Estadísticas de Pesca ([www.sernapesca.cl](http://www.sernapesca.cl)), uso de la corrección de las capturas artesanales e industriales hecha por IFOP (S15; **Tabla 5**), uso de una selectividad logística fija en todas las pesquerías (S16) y la aplicación de un esquema de ponderación de los datos de composición de las capturas que toma en cuenta las correlaciones en estos datos (S17; sólo Caso 1).

De los anteriores, los casos S2, S3 a S10 y S16, fueron analizados también en Tascheri y Canales (2016).

Este tipo de exploración del modelo de evaluación en parte busca establecer si las piezas de información/datos ingresados al modelo son consistentes entre sí. Si esta es la situación, los cambios en el esquema de ponderación de los datos no deberían afectar los valores estimados sino solamente sus varianzas. Por otro lado, si los resultados demuestran ser sensibles a cambios relativos en la ponderación de los datos de entrada, esto es indicativo de que existen conflictos entre los diferentes componentes de datos ingresados al modelo y/o en la estructura del modelo.

Esto es también un modo de visualizar la pertinencia del caso base seleccionado. Si este último es un buen representante del rango de incertidumbre en las variables de estado estimadas por el modelo, entonces debería corresponder en buena medida con la tendencia central de esta incertidumbre.

**Tabla 8.**

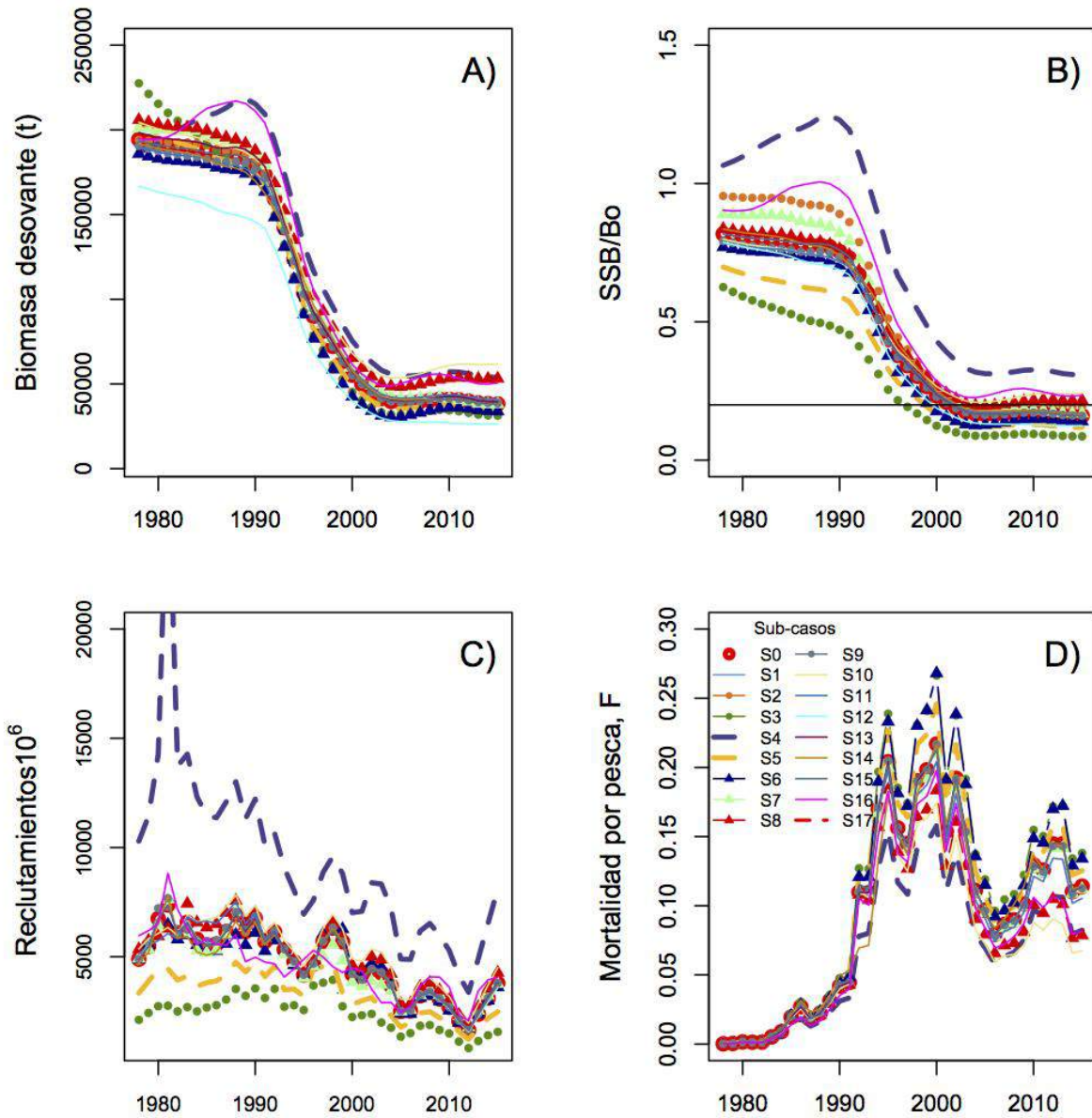
Resumen de los escenarios de análisis alternativos explorados en cada caso para estudiar la incertidumbre del modelo.

Escenario	Modificación	Comentario
S0	h=0.6	Caso base 1 o 2.
S1	h=0.4	Cambio en steepness.
S2	h=0.8	Cambio en steepness.
S3	M=0.1	cambio en M.
S4	M=0.2	cambio en M.
S5	M estimado	cambio en M. Estimado en el modelo de evaluación
S6	1/2*nm edad	Reducción del tamaño de muestra composición de edades.
S7	1/2*nm tallas	Reducción del tamaño de muestra composición de tamaños.
S8	2*cv_CPUEind	Incremento del coeficiente de variación del índice de abundancia industrial.
S9	2*cv_CPUEart	Incremento del coeficiente de variación del índice de abundancia artesanal.
S10	2*cv_CPUEtodos	Incremento del coeficiente de variación de todos los índices.
S11	CPUE 1991	Eliminación primer año en series de CPUE.
S12	Ojiva 2014	Cambio Ojiva de madurez a la usada en Quiroz (2014) t Tascheri <i>et al.</i> (2015). Misma ojiva de madurez, pero transformada a edades con otra curva de crecimiento.
S13	Ojiva alternativa.	
S14	Capturas Anuario.	Uso de las capturas del Anuario Estadístico de Pesca (Sernapesca).
S15	Capturas IFOP	Uso de las capturas artesanales corregidas por IFOP.
S16	Selectividad fija	Selectividad fija en una función logística en todas las pesquerías.
S17	Francis (2011)	Ponderación datos composición considerando correlaciones (solo modelo Caso 1).

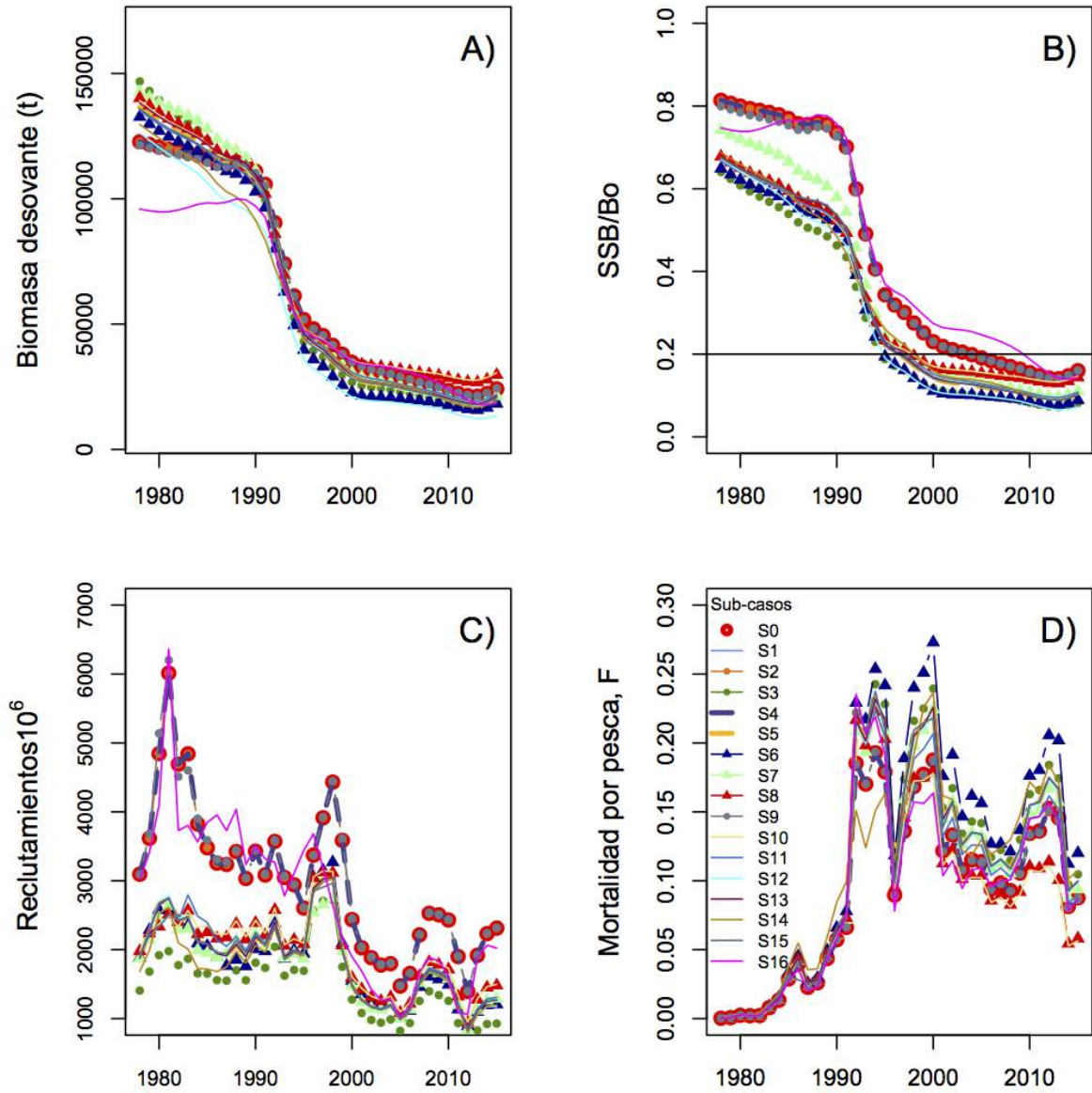
Los resultados de estas exploraciones muestran que las tendencias generales en las variables de estado en general se mantienen en todas las situaciones.

Sin perjuicio de ello, el incremento de la mortalidad natural (S4) tiene un efecto particularmente importante en la escala de la población, los reclutamientos y en el Caso 1 también en la trayectoria de la reducción de la biomasa desovante (**Figuras 39 y 40**). En particular en el Caso 1, el incremento en la mortalidad tuvo el efecto de modificar el nivel de reducción de la biomasa en el último año de la tal manera que mejoró el estatus del recurso (**Tabla 9**). Esto último también fue observado en el mismo tipo de análisis realizado en el año 2015 (Tascheri y Canales 2016).

Disminuir la mortalidad natural afecta la escala de la población en el sentido opuesto (**Figuras 39 y 40**).



**Figura 39.** Trayectorias de la biomasa desovante, índice de reducción del stock, reclutamientos y mortalidad por pesca del bacalao de profundidad explotado en la ZEE de Chile y Argentina entre los años 1978 y 2015 bajo 17 sub-casos alternativos al modelo base. Caso 1.



**Figura 40.** Trayectorias de la biomasa desovante, índice de reducción del stock, reclutamientos y mortalidad por pesca del bacalao de profundidad explotado en la ZEE de Chile y Argentina entre los años 1978 y 2015 bajo 17 sub-casos alternativos al modelo base. Caso 2.

**Tabla 9.**

Componentes de verosimilitud de los diez escenarios de incertidumbre del modelo explorados en cada caso de la evaluación. CASO 1

Escenario	Captura	C_edad	Ctamaño	Selectividad	Índices	Rec	F_penal	Post_priors_q	Post_priors	Total	Bo	Bfin	Reducción	gmax
0	0.123	97.499	129.343	79.405	60.078	-26.272	0.014	26.631	2.747	369600	237746	38156	0.16	0.009
1	0.119	95.369	129.703	78.335	61.221	-24.724	0.014	26.809	2.737	369756	323353	37427	0.12	0.005
2	0.122	97.980	129.577	79.851	59.946	-25.796	0.014	26.652	2.748	371098	203211	39370	0.19	0.005
3	0.207	89.502	143.180	72.639	62.496	-23.131	0.013	24.742	5.701	375480	363618	31271	0.09	0.006
4	0.066	102.845	127.623	80.897	59.895	-22.481	0.014	29.947	2.379	381186	175187	53783	0.31	0.009
5	0.161	93.504	138.452	73.910	61.978	-27.060	0.013	25.455	5.906	372397	292971	34734	0.12	0.004
6	0.104	76.781	119.997	64.432	46.939	-26.810	0.013	25.028	2.691	309222	241277	33812	0.14	0.007
7	0.108	88.017	85.910	61.774	59.346	-27.019	0.014	26.808	0.961	295939	225806	38090	0.17	0.007
8	0.058	89.466	129.318	73.515	44.840	-27.176	0.014	27.933	2.920	340914	246245	53169	0.22	0.005
9	0.118	97.160	129.153	79.489	59.020	-26.150	0.014	26.652	2.725	368218	240572	38657	0.16	0.004
10	0.056	86.423	128.760	73.035	36.229	-27.322	0.014	28.275	2.950	328449	255980	61694	0.24	0.005
11	0.087	92.752	129.075	78.483	52.482	-26.172	0.014	27.473	2.859	357089	241740	41072	0.17	0.009
12	0.123	97.257	129.225	79.104	60.252	-26.131	0.014	26.648	2.745	369286	211759	26453	0.12	0.010
13	0.123	97.506	129.341	79.426	60.071	-26.283	0.014	26.630	2.747	369608	242629	39516	0.16	0.010
14	0.131	98.518	130.449	79.623	62.069	-26.559	0.014	27.018	2.694	373985	229560	38037	0.17	0.006
15	0.121	97.562	129.346	79.427	59.858	-26.279	0.014	26.607	2.748	369436	236839	38046	0.16	0.007
16	0.151	137.798	217.795	7.934	84.990	-26.729	0.014	27.685	23.460	473107	215816	50575	0.23	0.010
17	0.108	74.349	94.634	56.519	49.695	-27.607	0.013	26.134	2.176	276061	240899	33086	0.14	0.008

**Tabla 10.**

Componentes de verosimilitud de los diez escenarios de incertidumbre del modelo explorados en cada caso de la evaluaci3n. CASO 2.

Escenario	Captura	C_edad	Ctamaño	Selectividad	Indices	Rec	F_penal	Post_priors_q	Post_priors	Total	Bo	Bfin	Reducci3n	gmax
0	0.209	80.561	55.917	60.696	52.684	-26.639	0.006	19.221	1.303	243.991	150821	24130	0.16	0.006
1	0.211	76.987	52.498	56.577	56.286	-32.818	0.006	19.281	5.096	234.280	197343	24910	0.13	0.008
2	0.204	81.241	56.106	61.122	52.446	-34.377	0.006	19.184	1.347	237.283	129290	24948	0.19	0.010
3	0.340	70.405	57.218	54.438	55.482	-23.854	0.005	17.602	5.263	237.021	229302	18781	0.08	0.005
4	0.209	80.561	55.917	60.696	52.684	-26.639	0.006	19.221	1.303	243.991	150821	24130	0.16	0.006
5	0.295	73.441	54.599	55.519	55.063	-26.523	0.005	17.958	5.637	236.088	201833	20473	0.10	0.005
6	0.240	57.408	51.053	44.570	40.972	-25.900	0.005	17.023	5.105	190.587	204543	18238	0.09	0.003
7	0.246	70.544	38.086	47.901	53.306	-27.928	0.005	18.122	3.500	203.850	192185	21261	0.11	0.005
8	0.179	63.120	53.492	50.159	36.003	-27.428	0.006	18.899	5.428	199.941	206780	29739	0.14	0.003
9	0.287	73.254	54.441	55.526	54.776	-26.458	0.005	17.984	5.248	235.157	202257	20713	0.10	0.012
10	0.164	62.788	53.240	50.029	35.234	-27.306	0.006	18.985	5.423	198.646	207771	30601	0.15	0.003
11	0.208	69.311	54.307	54.543	49.581	-26.582	0.005	18.716	5.171	225.352	202600	21965	0.11	0.005
12	0.295	72.625	54.792	55.246	55.750	-25.816	0.005	18.016	5.261	236.289	187637	13338	0.07	0.007
13	0.295	73.487	54.587	55.525	55.033	-26.551	0.005	17.955	5.260	235.689	204809	21206	0.10	0.007
14	0.366	75.297	57.733	56.557	58.919	-26.689	0.005	18.062	5.212	245.552	188505	19272	0.10	0.001
15	0.286	73.462	54.505	55.545	54.840	-26.675	0.005	17.937	5.264	235.263	201096	20421	0.10	0.004
16	0.180	115.025	104.318	4.663	82.171	-20.724	0.006	190.450	22.049	498.172	128334	18341	0.14	0.015





Mantener la selectividad fija en una función logística para todas las pesquerías, tuvo también un efecto significativo en la escala de población, pero el sentido de estos cambios dependió de caso analizado. Este efecto es más fuerte en el caso de las pesquerías chilenas a las cuales en el caso base se le permitió mayor flexibilidad en la función de selectividad. El uso de curvas asintóticas, permitiendo así la retención de los individuos de mayor tamaño, redujo el tamaño de la población virginal, causando en el Caso 1 una mejora en la condición del recurso (**Figuras 39 y 40; Tablas 9 y 10**).

La reducción en la ponderación de los índices de CPUE permite observar que el mayor efecto de los índices sobre los resultados de la evaluación lo tienen los índices de la pesca con palangre en el Atlántico, dado que sólo mejoró la condición del recurso cuando este cambio se aplicó a todos los índices usados en el Caso 1 y no así en el Caso 2 donde sólo se incluyeron datos de la pesca chilena (**Figuras 39 y 40; Tablas 9 y 10**).

Es de interés notar que ni la eliminación del primer año de las series de los índices de CPUE estimados con datos de la pesca industrial y artesanal de Chile ni el uso de los desembarques oficiales según fueron reportados en los Anuario Estadísticos de Pesca tuvieron el efecto de mejorar el estatus del recurso (**Figuras 39 y 40; Tablas 9 y 10**).

También es notable el efecto de usar un conjunto diferente de parámetros de crecimiento para convertir a edades la misma ojiva de madurez sexual usada en los Casos 1 y 2, la que en ambas situaciones tuvo el efecto de agravar la condición del recurso en el último año (**Tablas 9 y 10**).

En la tendencia de la biomasa desovante, en el patrón de reducción del stock con relación a su condición virginal y en las variaciones del reclutamiento del caso base (S0 Caso 1) se observa como un buen representante de la tendencia central de la incertidumbre en la ponderación y uso de las diferentes piezas de información (**Figura 39**).

#### **4.2.5 Ponderación de los datos de composición de las capturas tomando en consideración las correlaciones**

En ambos casos analizados las composiciones de edad de las capturas industriales y artesanales fueron 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; **Tabla 6 y 11**).

Las composiciones de longitud en cambio (disponibles para los años 1991, 1992 y 1995 a 2006 en el caso industrial y 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 (**Tabla 6 y 11**).



Los resultados del modelo base para el Caso 1 mostraron una buena correspondencia entre las edades medias observadas y los valores esperados estimados por el modelo, pero en algunos a1os los valores esperados se encuentran fuera del intervalo de confianza de 95% de los valores observados (**Figura 41**). Esto significa que par esos a1os la variabilidad inter-anual es mayor a lo que se puede esperar con un muestreo aleatorio simple de tama1o de muestra 60 (en caso de las composiciones de edad) o 20 (en el caso de las composiciones de longitud).

Para calcular los ponderadores tomando en cuenta las correlaciones en los datos de composici3n de edades y longitud se us3 el m3todo de ponderaci3n de 2<sup>da</sup> etapa indicado como TA1.8 en la Tabla A1 en Francis (2011). De este modo, el error a ser estandarizado fue:

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

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:

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

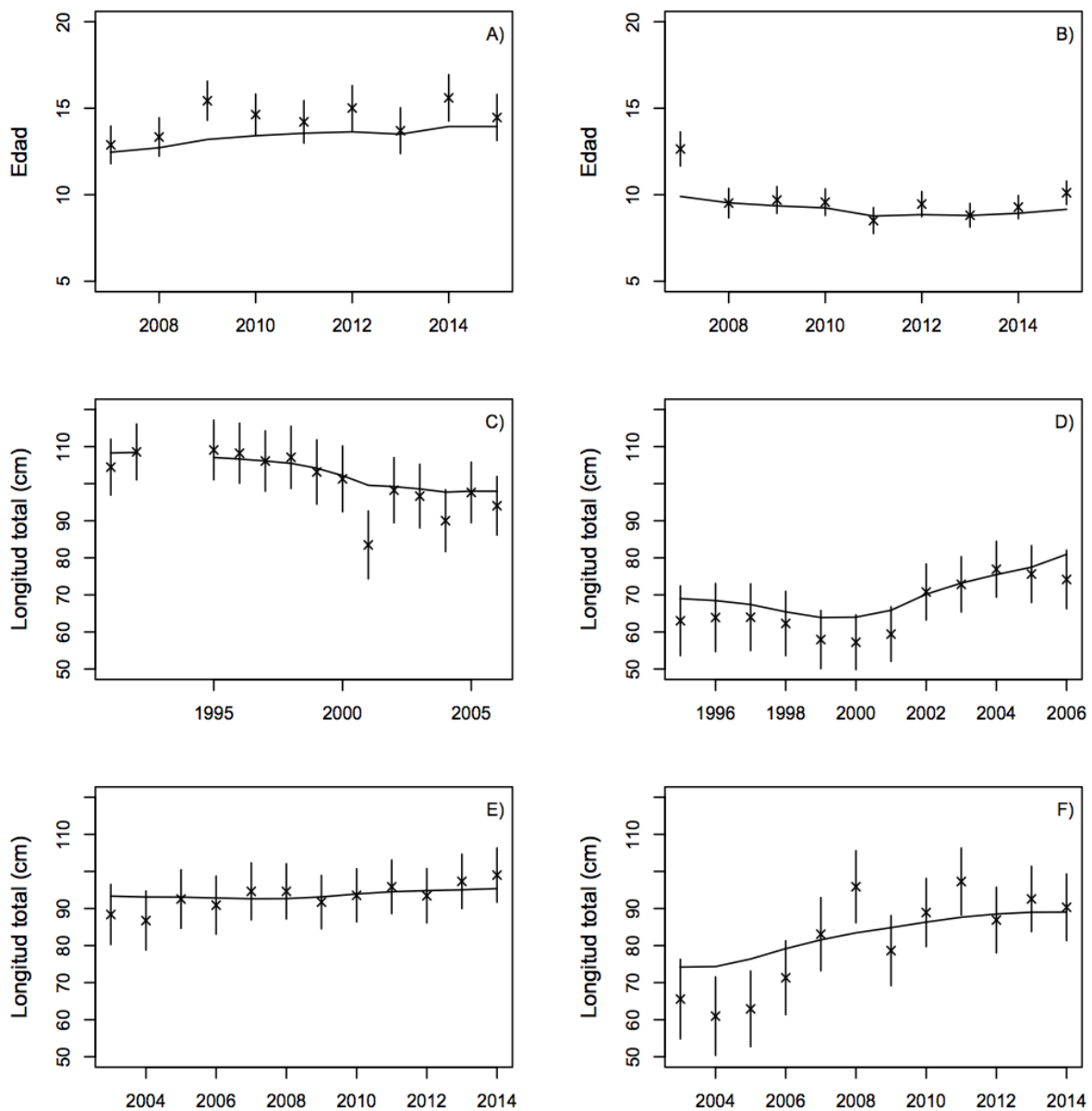
Y los errores son estandarizados por  $X_{jy}$

Donde:

$$X_{jy} = (v_{jy}/\tilde{N}_{jy})^{0.5}$$

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

$$w_j = 1/\text{Var}_y \left[ (\bar{O}_{jy} - \bar{E}_{jy}) / (v_{jy}/\tilde{N}_{jy})^{0.5} \right]$$



**Figura 41.** Edades observadas (x) y esperadas (línea continua) de dos conjuntos de composición de edades y cuatro conjuntos de composición de longitudes incluidos en la evaluación de stock de bacalao de profundidad. A) Pesquería industrial chilena; B) Pesquería artesanal de Chile; C) Pesquería industrial chilena; D) Pesquería artesanal de Chile; E) Pesquería de palangre argentina; F) Pesquería de arrastre Argentina. Las líneas verticales son intervalos de confianza de 95% para la edad media calculados asumiendo un muestreo aleatorio simple con un tamaño de muestra de 60 en todos los años en el caso de las composiciones de edad y un tamaño de muestra igual a 20 en todos los años en el caso de las composiciones de longitud.



Los nuevos ponderadores para este tipo de datos a ser usados en el modelo se entregan en la **Tabla 11**.

**Tabla 11.**

Tamaños de muestra multinomiales de primera y segunda etapa (usando el método TA1.8 de Francis (2011). Para dos conjuntos de datos de composición de edades y cuatro conjuntos de composición de longitudes ingresados en el modelo de evaluación de bacalao de profundidad usado en el Caso1.

Pesquería	Tipo de dato	Etapla 1	Etapla 2
Industrial	edad	60	48
Artesanal	edad	60	18
Industrial	longitud	20	20
Artesanal	longitud	20	20
Palangre_Ar	longitud	20	35
Arastre_Ar	longitud	20	7

El efecto de usar estos ponderadores en las variables de estado estimadas con el modelo de evaluación utilizado en el Caso1 se puede observar en la **Figura 39**. Su efecto más notable se observó en el valor de la verosimilitud de los datos de composición con el consiguiente efecto en la verosimilitud total del modelo (**Tabla 9**).

Para tener una noción de la bondad de ajuste de los datos de abundancia relativa se calcularon los valores de la raíz del cuadrado medio del error (RCME) y la desviación estándar de los residuales estandarizados (Tabla B1 en Francis 2011) tanto para el sub-caso base (S<sub>0</sub> en **Tabla 8**) como para el sub-caso usando los ponderadores que toman en consideración las correlaciones (S<sub>17</sub> en **Tabla 8**).

La comparación de estos valores se entrega en la **Tabla 12**.

**Tabla 12.**

Valores de la desviación estándar de los residuales normalizados y de la raíz del cuadrado medio del error para los cinco índices de abundancia relativa incluidos en el ajuste del modelo del Caso 1 calculados para los sub-casos S<sub>0</sub> (base) y S<sub>17</sub> (usando ponderadores que toman en cuenta la correlación en los datos de composición de edad y longitud).

Estadística	sub-caso	Indices				
		Industrial palangre	Industrial cachalotera	Artesanal	Argentina palangre	Argentina arrastre
SDNR		0.127	0.049	0.013	0.004	0.001
	S17	0.114	0.045	0.012	0.003	0.001
RMSE	S0	0.043	0.012	0.023	0.026	0.004
	S17	0.045	0.011	0.023	0.026	0.004



#### **4.2.6 Resumen del estatus del stock de bacalao de profundidad**

Se calculó el índice de reducción del stock (razón entre la biomasa desovante en cualquier año respecto de la biomasa desovante virginal), usando los resultados del ajuste del modelo AMAK a los datos actualizados al año 2016 en el contexto de los dos casos analizados en la evaluación del año 2015.

En concordancia con evaluaciones previas del stock bacalao de profundidad, estos indicadores muestran una significativa reducción del potencial reproductivo de la población entre el año 1991 y 2003 (o 2008 dependiendo del caso considerado y equivalente a una reducción de un 63% en la biomasa desovante respecto de su condición virginal). En los últimos 11 años aproximadamente, el potencial reproductivo del stock se ha mantenido en torno a un 16% de su condición virginal.

De acuerdo con el Marco Biológico de Referencia adoptado por el CCT-RDAP para esta pesquería, el stock estuvo en una situación de sub-explotación entre los años 1978 – 1991, en plena-explotación entre 1994 (o 1995, dependiendo del caso considerado) y 1997(1998), sobre-explotación entre 1999-2001(2003) y en agotamiento o colapso entre los años 2002(2004) y 2015.

#### **4.2.7 Estado de situación de la pesquería de bacalao de profundidad**

Con base en los casos estudiados en esta evaluación de stock, en el año 2015 la biomasa desovante del stock de bacalao de profundidad se encontraba en un 16% de su condición virginal. Consecuentemente, la población se encuentra por debajo de su biomasa límite ( $B_{LIM}$ ) definida por el CCT-RDAP en  $0,5 \cdot B_{RMS}$ .

La localización del stock en su Marco Biológico de Referencia, indica que la pesquería se encuentra agotada o colapsada.



### **4.3 Objetivo específico 3:**

*Analizar las distintas alternativas de Captura Biológicamente Aceptable.*

En el Caso 1, los valores sustitutos estimados de los puntos biológicos de referencia fueron:  $F_{RMS}=0,068$  y  $B_{RMS}=95.090$  toneladas. La razón entre la mortalidad por pesca en el año 2015 y  $F_{RMS}$  fue estimada en 1,69. En el Caso 2, los valores estimados de los puntos biológicos de referencia del RMS fueron:  $F_{RMS}=0,084$   $B_{RMS}=60.379$  toneladas y la razón de la mortalidad por pesca del año 2015 respecto de  $F_{RMS}$  fue estimada en 1,29.

#### **4.3.1 Caso 1: flotas argentinas de palangre y arrastre más flota artesanal e industrial chilenas.**

En el primer caso, los resultados muestran que incluso reduciendo la mortalidad por pesca a la mitad el stock no es capaz de alcanzar el objetivo de manejo en 50 años (**Tabla 13; Figura 42**). Si la mortalidad por pesca fuese reducida en un 35%, el stock crecería lo suficiente para salir de la región de colapso, con una probabilidad muy baja de encontrarse en esta región o por debajo de la biomasa presente en el año 2015 al final del período de proyección. Esta última estrategia equivale a extraer 4.596 toneladas en el año 2017.

Reducir la mortalidad por pesca en un 50% permitiría algo más que duplicar el stock presente y aproximarse significativamente al objetivo de manejo (con una probabilidad de 0,6 de encontrarse por debajo del objetivo en 50 años; **Tabla 13; Figura 42**). Esta situación equivale a extraer un máximo de 3.106 toneladas en el año 2017.

Reducir la mortalidad en un 75% permitiría alcanzar el objetivo de manejo en 22 años, sin embargo esto significa reducir la captura a 1.575 toneladas.

Mantener la mortalidad estimada para el año 2015 no permite al stock salir de la región de agotamiento con una probabilidad significativa de encontrarse en esta región al final del período de proyección (**Tabla 13; Figura 42**).

Es de notar que, potencialmente la asignación de la CBA en el contexto del Caso 1 implica la operación de cuatro flotas.

**Tabla 13.**

Análisis de cinco estrategias de explotación de mortalidad por pesca constante. Caso 1: incluye flotas artesanal e industrial chilenas y flotas argentinas de palangre y arrastre. En la última línea se incluyen los años que le toma al stock llegar al estado de plena explotación. F es la mortalidad por pesca en el año 2015.

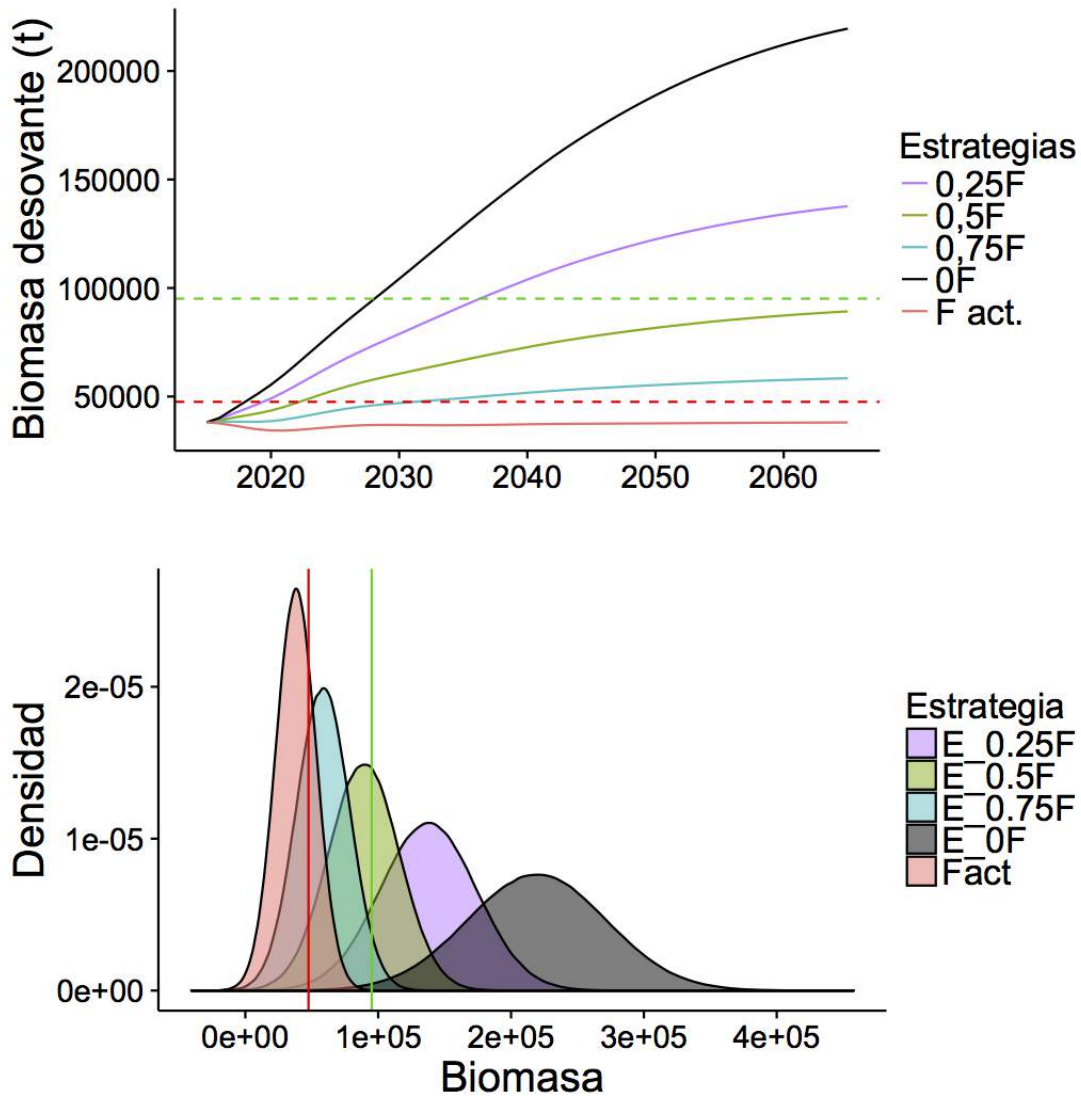
	F	0,75*F	0,5*F	0,25*F	0,0*F
Capturas 2017	6.044	4.596	3.106	1.575	0
BD_2065/BD_2015	1	1,5	2,3	3,6	5,8
BD_2065/BD_rms	0,4	0,6	0,9	1,4	2,3
P(BD_2065<BD_2015)	0,5	0,2	0	0	0
P(BD_2065<BD_rms)	1	1	0,6	0,1	0
P(BD_2065<0,5*BD_rms)	0,7	0,3	0,1	0	0
Tiempo a 0,75 Brms	50+	50+	50+	22	14

#### 4.3.2 Caso 2: Flotas artesanal e industrial chilenas.

En el Caso 2 todas las estrategias permitirían al stock salir de la región de colapso, sin embargo sería necesario reducir la mortalidad en un porcentaje superior al 35% para alcanzar la región de plena explotación. De este modo, reducir la mortalidad en un 50% permitiría alcanzar el objetivo de manejo en 23 años (**Tabla 14; Figura 43**).

Mantener la mortalidad presente extrayendo un máximo de 2.543 toneladas en el año 2017, permitiría duplicar el stock presente en 50 años y salir de la región de agotamiento, pero la probabilidad de encontrarse por debajo del objetivo al final de este período es igual a 0,8 (**Tabla 14; Figura 43**).

Reducir la mortalidad en 35% capturando un máximo de 1.925 toneladas en el año 2017, permitiría no sólo salir de la región de agotamiento sino aproximarse significativamente al objetivo de manejo con una probabilidad de 0,5 de encontrarse por debajo (o por sobre) el objetivo al final del período de proyección (**Tabla 14; Figura 43**).



**Figura 42.** Panel superior: biomasa desovante de bacalao de profundidad proyectada en un horizonte de 50 años bajo cinco estrategias de mortalidad por pesca constante. Las líneas segmentadas roja y verde señalan la biomasa límite ( $0,5B_{RMS}$ ) y objetivo ( $B_{RMS}$ ), respectivamente; Panel inferior: distribución de probabilidades de la biomasa desovante en el último año de la proyección. Las líneas roja y verde verticales indican la posición de la biomasa límite y objetivo, respectivamente. Caso 1.



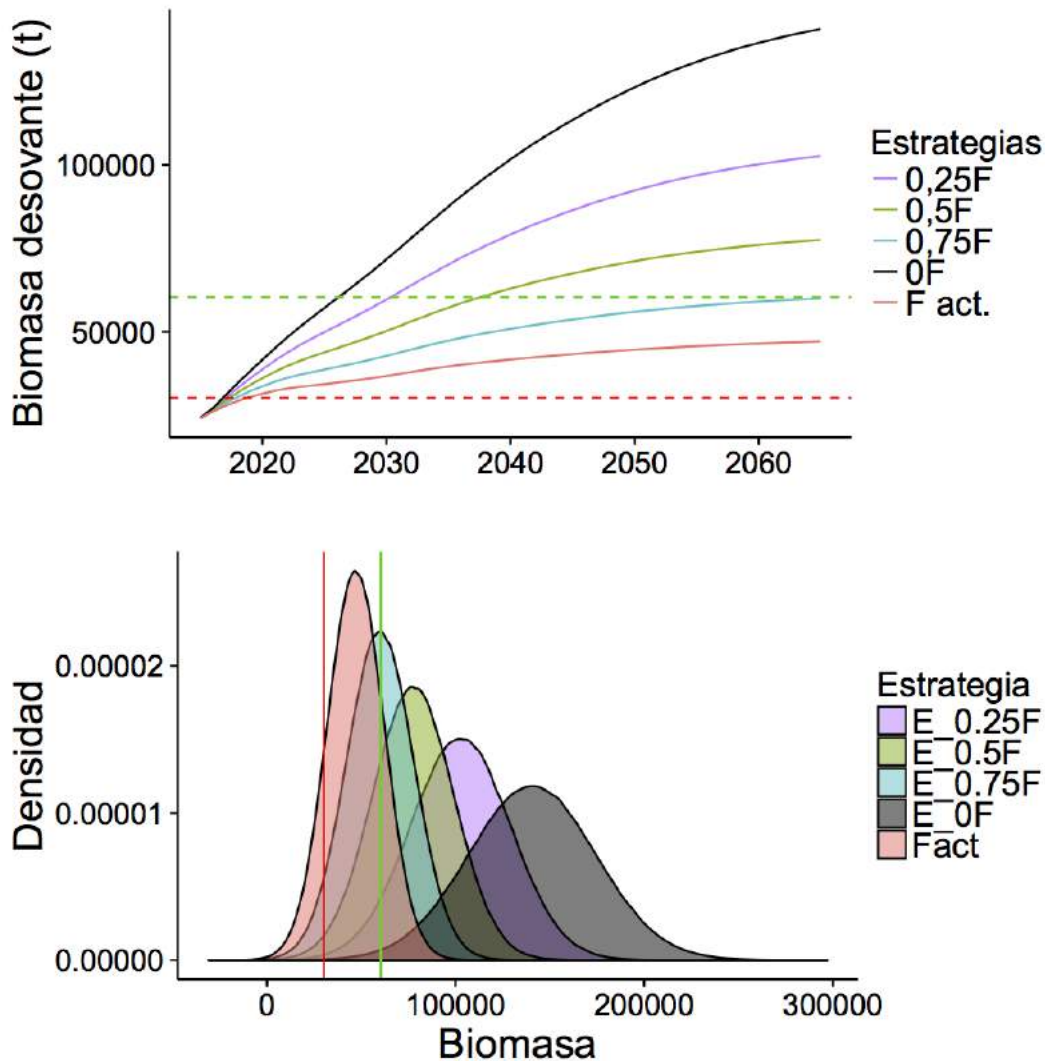
**Tabla 14.**

Análisis de cinco estrategias de explotación de mortalidad por pesca constante. Caso 2: incluye las flotas artesanal e industrial chilenas solamente. En la última línea se incluyen los años que le toma al stock llegar al estado de plena explotación. F es la mortalidad por pesca en el año 2015.

	F	0,75*F	0,5*F	0,25*F	0,0*F
Capturas 2017	2.543	1.925	1.296	654	0
BD_2065/BD_2015	2,0	2,5	3,2	4,3	5,8
BD_2065/BD_rms	0,8	1,0	1,3	1,7	2,3
P(BD_2065<BD_2015)	0,1	0	0	0	0
P(BD_2065<BD_rms)	0,8	0,5	0,2	0,1	0
P(BD_2065<0,5*BD_rms)	0,1	0	0	0	0
Tiempo a 0,75 Brms	50+	50+	23	16	12

Reducciones de la mortalidad iguales o superiores a 50% permitirían una recuperación significativa de la biomasa desovante y alcanzar la región de plena explotación en un espacio de tiempo 23 años o menos. Esto significaría extraer una captura máxima de cero a 1.296 toneladas (**Tabla 14; Figura 43**).

La asignación de la CBA en el contexto del Caso 2 implica la operación de dos flotas.



**Figura 43.** Panel superior: biomasa desovante de bacalao de profundidad proyectada en un horizonte de 50 años bajo cinco estrategias de mortalidad por pesca constante. Las líneas segmentadas roja y verde señalan la biomasa límite (0,5BRMS) y objetivo (BRMS), respectivamente; Panel inferior: distribución de probabilidades de la biomasa desovante en el último año de la proyección. Las líneas roja y verde vertical indican la posición de la biomasa límite y objetivo, respectivamente. Caso 2.



#### **4.4 Objetivo específico 4:**

*Informar el avance del Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría Científica (PMCCAC)*

La evaluación de stock cuyos resultados se incluyen en este informe, constituye una actualización del modelo informado en Tascheri y Canales (2016).

Sin perjuicio de esto, las modificaciones acumuladas, que han sido realizadas a esta evaluación de stock desde el año 2014 al presente, representan un cambio sustancial respecto de la perspectiva de evaluación planteada por el IFOP hasta el año 2013.

Hasta ese entonces, las principales observaciones a esta evaluación de stock apuntaban a que i) probablemente el stock en aguas chilenas no es un stock cerrado; ii) el componente norte de la pesquería chilena (pesca artesanal) no era incluido en la evaluación de stock; iii) el índice de abundancia basado en las tasas de captura de la pesca industrial chilena no era estandarizado considerando el dispositivo de disuasión de la depredación (cachalotera); iv) no se consideraba el cambio en el método de lectura de edades para estimar la composición de la captura (desde el uso de escamas a otolitos).

En la evaluación de stock del año 2014 se incluyeron datos de la pesca argentina de palangre y arrastre (al sur de la latitud 54°), se incluyeron los datos de la pesquería artesanal, se separó el índice de abundancia relativa industrial en dos series estandarizadas, una basada en los datos de palangre y otra basada en los datos de la pesca con cachalotera y se ensayó un procedimiento para dar cuenta del cambio en el uso de escamas a otolitos en la estimación de la composición de edades de la captura.

La revisión de pares realizada a fines del año 2014, destacó una serie de aspectos de la evaluación que ameritaban preocupación y también efectuó un número de recomendaciones<sup>4</sup>. Algunas de estas observaciones y recomendaciones incluían: a) considerar otros modelos conceptuales que pueden ser más probables, en particular uno que incluya todos los datos de la pesca del Pacífico y Atlántico; b) revisar la consistencia entre las diferentes piezas de información de historia de vida usadas en el modelo (crecimiento, mortalidad natural, patrón de madurez sexual); c) usar una relación stock-reclutas para incluir dependencia entre el reclutamiento y el stock reproductor; d) modelar directamente las composiciones de longitud de las capturas de argentina; e) explorar la posibilidad de estandarizar el índice de abundancia basado en datos de pesca industrial sin separar las series de datos de palangre y cachalotera; f) explorar procedimientos objetivos para ponderar los datos de abundancia y composición de edades/longitudes de la captura; g) explorar con mayor profundidad el modelo de evaluación de stock y la idoneidad del caso base; h) explorar sub-casos alternativos

<sup>4</sup> Es importante notar que esta revisión no consideró todo el trabajo realizado durante el año 2014 (e.g. no consideró el reporte más completo, que incluía casos adicionales de evaluación de stock incluido aquel que incluyó los datos de la pesca artesanal).



basados en diferentes series de datos de captura; i) mejorar la revisión/documentación del código computacional del modelo; entre otros.

El trabajo en la evaluación de stock realizado entre los años 2015 y 2016, 1) incluye dos modelos conceptuales que pueden representar situaciones más probables respecto del caso sometido a la revisión de pares, incluyendo un modelo con todos los datos de la pesca de Chile y Argentina; 2) uso de la información de pesos medios, ojiva de madurez y edades consistentes con la determinación de edades basada en la lectura de otolitos; 3) modelación directa de las composiciones de longitud de las capturas chilenas en los años en donde existen lecturas de edades en escamas, evitando así el sesgo que introduce su discrepancia con la información de lectura de edades en otolitos; 4) modelación directa de los datos de composición de longitud de las capturas argentinas; 5) uso de una curva de stock-reclutas de Beverton y Holt; 6) exploración de un índice de abundancia alternativo para los datos de la flota industrial de Chile (sin separar la serie en función del arte de pesca; Anexo 2); 7) exploración de los procedimientos propuestos en Francis (2011) para ponderar los datos de abundancia relativa y composición de edades/longitud; 8) La exploración de 17 sub-casos de análisis para el modelo conceptual 1 y de 16 sub-casos para el modelo conceptual 2, incluyendo sub-casos con series alternativas de captura; 9) cambio de la plataforma computacional al modelo AMAK, cuyo código ha sido probado extensamente en las evaluaciones del Alaska Fisheries Science Center (<http://www.afsc.noaa.gov>) y que se encuentra bien documentado (<https://github.com/NMFS-toolbox/AMAK>).

Además de estas mejoras, se han incluido otros cambios, que no provienen de observaciones de las diferentes revisiones, tales como la inclusión de un índice basado en los datos de la operación con cachalotera en Argentina y la exploración del uso de una selectividad variable en el tiempo para las pesquerías chilenas<sup>5</sup>.

Entre los aspectos que restan por ser considerados en la evaluación de stock, está el análisis del efecto de las remociones desde la población debido a la depredación por mamíferos, tanto en las capturas usadas en el modelo como en los índices de abundancia relativa. El IFOP se encuentra en proceso de mejora de sus procedimientos de captación de datos en esta pesquería, en particular del registro de datos de interacción de la pesca con mamíferos marinos. Se espera que, en un futuro próximo, se encuentren disponibles los datos necesarios para estimar estos efectos en el contexto de la evaluación de stock.

---

<sup>5</sup> Se puede argumentar que esto fue sugerido implícitamente en la revisión de pares del año 2014 (Polacheck 2015)



## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La evaluación de stock reportada en este informe constituye una actualización de la evaluación del año 2015 (Tascheri y Canales 2016) y como tal contempló sólo una actualización de los datos al año 2015<sup>6</sup>. Sin perjuicio de lo anterior, se incluyó un análisis del esquema de ponderación de los datos de composición de edades y un análisis alternativo de la estandarización de los datos de esfuerzo y captura de la flota industrial de Chile, de acuerdo a lo sugerido en la revisión de pares del año 2014, que no habían sido previamente explorados en esta evaluación de stock.

En este informe se buscó mejorar la descripción de las fuentes de información, de manera de clarificar las fortalezas y debilidades de los datos disponibles y explicar mejor los puntos que son motivo de discusión en el contexto de esta evaluación de stock (e.g. los datos de captura y los criterios de corrección aplicados por IFOP; comunicar el modo en que la mayoría de las observaciones que apuntan a la consistencia en el uso de los datos de historia de vida se responden al considerar sólo la información relacionada a la determinación de edades basada en otolitos ya que existe un sólo estudio que provee esta información y es ésta la información que se ha considerado como el estándar en las evaluaciones de bacalao de profundidad en general (Collins *et al.* 2010). De este modo, las últimas dos evaluaciones de este recurso no consideran ninguna información basada en el estudio de edades con escamas.

Los dos casos analizados corresponden con dos modelos conceptuales: 1) las poblaciones del Pacífico y Atlántico se encuentran abiertas entre sí; 2) el stock distribuido en el Pacífico está esencialmente cerrado con respecto a los desovantes y el reclutamiento. Estos dos casos se consideran como lo más representativos (entre los que son posibles de implementar con los datos disponibles) entre los casos que se han discutido en el CCT-RDAP en el ámbito de esta evaluación y por esta razón se mantuvieron respecto de la evaluación del año 2015.

En las evaluaciones de bacalao de profundidad, las capturas realizadas en los años de inicio de esta pesquería son un punto muy importante de la incertidumbre de estos estudios y la pesquería chilena de bacalao no es la excepción. El sistema de posicionamiento geográfico automático con apoyo satelital, impuesto a la pesca industrial por la ley 19.521 en el año 1997, no entró en operación sino hasta el año 2000 y por esta razón entre los años 1991 y 1999 una fracción significativa de la captura realizada en aguas nacionales fue declarada como captura realizada en aguas internacionales.

La magnitud de las capturas tiene un efecto sobre la escala de la población estimada por el modelo de evaluación de stock y por lo tanto correcciones en la serie de capturas tienen el potencial de modificar nuestra percepción del estado de explotación del stock. Las evaluaciones de IFOP no han usado las capturas oficiales publicadas en los Anuarios de Estadísticas de Pesca ([www.semapesca.cl](http://www.semapesca.cl); que pueden ser interpretadas como una cota inferior de la serie de capturas más probable) sino una serie alternativa

<sup>6</sup> Es de notar que en los datos de la pesca Argentina sólo fueron actualizados los datos de captura porque los datos de composición de longitud de las capturas no estuvieron disponibles al momento de realizar esta evaluación



que resulta de aplicación de una serie de criterios basados en juicio experto (sección 4.3.5). Un producto de la aplicación de estos criterios, es el traspaso de desembarques publicados en el anuario bajo la clasificación artesanal a desembarques atribuidos al sector industrial. Sin embargo, sólo la serie industrial corregida por estos criterios se ha incluido en las evaluaciones de stock del IFOP y en el caso artesanal, se han utilizado los desembarques artesanales oficiales con mínimas modificaciones y no la serie artesanal corregida mediante la aplicación de los citados criterios.

Estas situaciones fueron exploradas en los dos casos analizados en esta evaluación, comprobándose que el uso de estas series alternativas de capturas no tienen el efecto de modificar el estatus del recurso (**Tablas 8, 9 y 10**, sub-casos S14 y S15).

Los índices de abundancia relativa dependientes de la pesquería, son un componente dominante en esta evaluación de stock sino el principal conductor de sus resultados. En ambas series de abundancia relativa estimadas con datos de la pesca chilena, se pueden apreciar valores extremos al inicio de las series que el modelo no puede ajustar (**Figuras 22 y 28**). El efecto que tiene la remoción de estos puntos en los resultados de la evaluación de stock fue explorado en este estudio y su resultado fue una situación aún más grave de la condición del stock (**Tablas 8, 9 y 10**).

Un análisis experimental de lances pareados usando la cachalotera y el palangre español, mostró que la cachalotera presenta mayores tasas de captura que el palangre (Rubilar *et al.* 2013). De este modo la estandarización de un índice de abundancia sin dar cuenta de esta diferencia en la eficiencia de los métodos de pesca<sup>7</sup> es inapropiada. La evaluación de stock implementada por IFOP, incluye dos series separadas de abundancia relativa para la pesquería industrial de Chile, una estimada con datos de la pesca con palangre y otra con datos de la pesca con cachalotera y dos series separadas para la pesquería de palangre argentina, una basada en el aparejo estándar (palangre español) y otra basada en cachalotera. De este modo el modelo de evaluación da cuenta del cambio de eficiencia en el método de pesca tanto en el área del Atlántico como en el Pacífico, estimando una capturabilidad diferente para cada serie.

En la revisión de pares del año 2014, se observó que el procedimiento descrito daba cuenta de este efecto pero que perdía información al separar la serie de abundancia en dos series más cortas. Como una alternativa, se sugirió estandarizar la serie de abundancia relativa basada con datos de la pesca industrial de Chile sin separar las series por método de pesca (dos modelos lineales generales separados) sino en un sólo análisis (un solo modelo lineal general) usando como respuesta la captura, modelando las variables del esfuerzo como offsets e incluyendo un factor para distinguir las operaciones con palangre de aquellas efectuadas con cachalotera. Este análisis se realizó en la presente evaluación (Anexo 2 de este informe) y sus resultados permiten concluir que los años 2006 y 2007 (únicos años de la serie entre los años 1997 y 2015 que tienen información de la operación simultánea con ambos

---

<sup>7</sup> Es importante recordar que el método de pesca cambió en esta pesquería desde el palangre español a la cachalotera en el año 2008 con un período de transición en los años 2006 y 2007.



aparejos de pesca) no contienen información suficiente para estimar el efecto del cambio de aparejo en esta pesquería.

En el caso del efecto del cambio de aparejo en la pesca argentina, el análisis descrito arriba no es posible de efectuar, porque no hay años en donde se usó simultáneamente ambos aparejos y que pudieran contener información para estimar este efecto.

Es un hecho documentado en la pesquería chilena que la proporción de individuos de menor tamaño/edad en la captura se incrementa en el sentido inverso a la latitud (su proporción aumenta en dirección norte; Gálvez *et al.* 2014). De este modo, la selectividad en esta evaluación es una combinación del efecto selectivo del aparejo de pesca y la disponibilidad a la pesca de los individuos de diferente tamaño/edad.

De este modo, el patrón de operación de la flota (e.g. la operación industrial en la región norte del área licitada para evadir la depredación de la pesca por mamíferos marinos) determina en parte cambios interanuales en la selectividad. De acuerdo con esto, los cambios estructurales incorporados en el modelo de evaluación a partir del año 2015, que permiten una mayor flexibilidad en la estimación de la selectividad, son apropiados a una pesquería que explota una población que exhibe un alto grado de estructuración espacial.

Para la pesquería de arrastre argentina, que comenzó a operar en un área somera de la plataforma en donde la proporción de individuos de menor tamaño/edad es mayor, existen razones para ensayar el uso de una selectividad en forma de domo y esta es una situación que resta por ser explorada en esta evaluación.

En la evaluación del año 2014, el reclutamiento fue modelado como una variable aleatoria log-normal con un coeficiente de variación alto y asumiendo que éste era independiente de la biomasa desovante. Como se observó en la revisión de pares, los resultados de las evaluaciones de este stock indican que el reclutamiento se ha reducido en el tiempo simultáneamente a la biomasa desovante. De esta manera, existe soporte para asumir que existe una relación stock-reclutas en esta población y entonces esta relación se ha incluido en el modelo a partir de la evaluación del año 2015 (asumiendo un valor de steepness = 0,6).

En un influyente artículo, Francis (2011) propone guiar el modo en que abordamos el problema de la ponderación de los datos de abundancia relativa y composición de edades/longitudes siguiendo tres principios:

- 1) No permitir que otras piezas de información impidan al modelo ajustar bien los datos de abundancia (índices).
- 2) Dar cuenta de las correlaciones cuando se ponderan los datos de composición de edades /longitudes.
- 3) No bajar la ponderación de los datos de abundancia (índices) si estos no se consideran representativos.



Los peces capturados en el mismo lance tienden a ser más similares entre sí que los peces capturados en lances diferentes (la variabilidad intra-lance es menor a la variabilidad entre-lances). Esta característica de los datos, puede inducir correlaciones significativas cuando los datos de composición de las capturas son estimados a partir de muestras de múltiples lances (Francis 2011).

De acuerdo con esta aproximación al problema de ponderación de los datos de composición de edad/longitud, los métodos de ponderación que dan cuenta de las correlaciones son preferibles, porque normalmente producen ponderadores menores para este tipo de datos, reduciendo así la probabilidad de que éstos causen un ajuste insatisfactorio a los datos de abundancia.

La aplicación del método de ponderación TA1.8 (según la Tabla A1 en Francis 2011) de hecho produjo ponderadores menores a los incluidos originalmente en el modelo, excepto en las composiciones de longitud de las capturas industriales y artesanales (donde se estimó un valor igual al incluido en el modelo) y en las composiciones de longitud de la pesca argentina con palangre (en donde se estimó un valor mayor al incluido en el modelo) (**Tabla 11**).

Como es de esperar, la aplicación de este esquema de ponderación redujo la verosimilitud de los datos de composición de edades/longitudes en el modelo y consecuentemente la verosimilitud total (**Tabla 9** sub-caso 17). Sin embargo, no se observó un efecto significativo en las tendencias de las variables de estado (**Figura 39**).

De acuerdo con los análisis incluidos en esta evaluación de stock a partir del año 2014 y habiendo respondido a la mayor parte de las observaciones a los aspectos más influyentes de los resultados de una evaluación de stock, hechas en diferentes foros en los que se han discutido sus resultados incluida la revisión de pares del año 2014, se puede concluir que las observaciones/recomendaciones realizadas a esta evaluación, si bien contribuyen a mejorar diferentes aspectos técnicos de este estudio, no tienen un efecto significativo sobre el estado de situación determinado para esta pesquería (estatus del recurso).

Esta conclusión es consistente con la observación hecha por el revisor, en su informe publicado el año 2015, donde indica:

La evaluación de stock de bacalao de profundidad señala que la población está muy reducida (respecto de su condición virginal) y que las capturas presentes son alta respecto del tamaño estimado del stock. La tendencia de la CPUE, que domina la tendencia de los estimados de esta evaluación, sugiere que el tamaño del stock ha sido reducido de manera sustancial y de manera continua. De este modo, esta es la conclusión más probable de cualquier evaluación de stock que haga uso de los mismos datos, a no ser que se invoquen supuestos fuertes que obliguen al modelo a desestimar la tendencia de los índices de abundancia (e.g. hiper-depleción o una tendencia temporal en la depredación de la pesca por mamíferos marinos; Polacheck 2015 pág. 3 versión del informe en idioma inglés).





## 6. 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., 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., Wischniowski, S., Jones, C., Bobko, S., and Everson, I. 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. R., Jones, C. M., Hofmann, E., Everson, I., Moreno, C., Duhamel, G., and Williams, R. 2005a. Can otolith elemental signatures record the capture site of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*), a fully marine fish in the Southern Ocean? Can. J. Fish. Aquat. Sci. 62, 2832–2840.
- Balbontín, 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 rylmogo 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 SJ. On the dynamics of exploited fish populations. *Fish. Invest. U.K. Ser. II* 1957; 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. Modelling catch and effort data using generalised linear models, the Tweedie distribution, random vessel effects and random stratum-by-year effects. 2004. *CCAMLR Science*, 11: 59–80.
- 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.
- Bates, D., M. Mächler, B. Bolker and S. Walker. 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*. 67(1):1-48.
- 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., 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. 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.
- 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., 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.
- Leal C. y P.S. Rubilar. 2008. Comparación del rendimiento promedio de la cachalotera y espinel tradicional en la pesquería del bacalao de profundidad. Doc. Técnico CEPES, 13 pp.
- 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.
- 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.
- Mangel, M. A. MacCall, J. Brodziak, E.J. Dick, R. Forrest, R. Pourzand, S. Ralston, K. 2013. A perspective on steepness, reference points, and stock assessment. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 70(6): 930-940.
- 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.
- 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 CA and PS 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. Yáñez, N. Salas, W. Tarky, P. Rojas & 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.



- 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.
- R Core Team. 2016. A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- 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.



- Rowlingson, B and P. Diggle. 2015. Splancs: Spatial and Space-Time Point Pattern Analysis. Version 2.01-38
- 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.
- Rubilar, P., A. Zuleta y C. Moreno. 2013. Monitoreo pesquería-dependiente de la abundancia del bacalao e interacción de los mamíferos con la pesca en el a área lícitada. Centro de Estudios Pesqueros S.A. 59 p.
- Russell V. Lenth (2016). Least-Squares Means: The R Package lsmeans. Journal of Statistical Software, 69(1): 1-33.
- 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.
- Jon T. Schnute, J. T., B. Nicholas and R. Haigh. 2015. PBSmapping: Mapping Fisheries Data and Spatial Analysis Tools. Version. 2.69.76.
- Shust RR, 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.
- Venables, W. N. and C. M.. Dichmont. 2004. GLMs, GAMs and GLMMs: an overview of theory for applications in fisheries research. Fisheries Research. 70:319-337.
- 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.
- Wickham, H. 2009. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag. New York.
- Wickham, H and R. Francois. 2016. *readr: Read Tabular Data*. Version 0.2.2.
- 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 CA 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
	$i$	
Índice anual: $i = \{1978, \dots, 2014\}$		
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	$Maxe$	Parametrización de la selectividad
Tasa mortalidad natural	$M$	0,15 constante a través de los años y edades
Proporción maduros a la edad $j$	$\rho_j$	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.
	$\sigma_R^2$	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 $i$	$Y_i^f$	$\hat{Y}_i^f = q_i^f \sum_{j=3}^{30+} S_j^f W_{i,j} e^{Z_{i,j} \frac{L_j}{L_{\infty}}} N_{i,j}$
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.	$\hat{C}_{i,l} = \Gamma_{i,j} \hat{C}_{i,j}$ $\tau_{i,j} = \int_j e^{\frac{1}{2\sigma_j^2}(l-L_j)^2} dl$ $L_j = L_{\infty}(1 - e^{-k}) + e^{-k}L_{j-1}$ $\sigma_j = cvL_j$
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	$j=3$	$N_{1978,1} = e^{\mu_R + \epsilon_{1978}}$
	$3 < j < 29$	$N_{1978,j} = e^{\mu_R + \epsilon_{1978-j}} \prod_{j=3}^j e^{-M}$
	$j=30+$	$N_{1978,31} = N_{1978,30} (1 - e^{-M})^{-1}$
5) Años subsecuentes ( $i > 1978$ )	$j=3$	$N_{i,1} = e^{\mu_R + \epsilon_i}$
	$3 < j < 29$	$N_{i,j} = N_{i-1,j-1} e^{-Z_{i-1,j-1}}$
	$j=30+$	$N_{i,30+} = N_{i-1,30} e^{-Z_{i-1,29}} + N_{i-1,31} e^{-Z_{i-1,30}}$
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	$\mu_i$	
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.	$\eta_i^f, \sum_{j=1}^{30+} \eta_{ij} = 0$	$S_{ij}^f = e^{\eta_j^f}, \text{if } j \leq \text{Maxe}$ $S_{ij}^f = e^{\eta_{\text{Maxe}}^f}, \text{if } j > \text{Maxe}$





**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	$B_i$	$B_i = \sum_{j=3}^{30} N_i e^{-\frac{7}{12}Z_i} W_{i,j} P_j$
10) Reclutamiento	$\tilde{R}_i$	$\tilde{R}_i = \frac{\alpha B_i}{\beta + B_i}$
Forma Beverton y Holt		$\alpha = \frac{4hR_0}{5h-1} \text{ y } \beta = \frac{B_0(1-h)}{5h-1}$
		$h = 0.6$
		$B_0 = \tilde{R}_0 \varphi$
		$\varphi = \frac{e^{-M} W_{31} P_{31}}{1 - e^{-M}} + \sum_{j=3}^{31} e^{-M(j-1)} W_j P_j$
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 $V_7 = \lambda_7 \frac{\ln \left( \frac{l}{\hat{l}} \right)^2}{2\sigma_l^2}$	Prior en la longitud media de la primera edad.
Función objetivo total a ser minimizada. $\hat{V} = \sum_{k=1}^7 V_k$		

## **A N E X O 2**

---

Estimación de índices de abundancia relativa





---

## **Análisis de estandarización del esfuerzo de la pesca de bacalao de profundidad realizada por la flota industrial chilena utilizando la cachalotera.**

---

Renzo Tascheri  
IFOP

### **1. Introducción**

Dada la información actualmente disponible para la evaluación de stock de bacalao de profundidad, la captura por unidad de esfuerzo de las flotas que desarrollan esta pesquería, continuará siendo un componente dominante y probablemente determinante de los resultados de esta evaluación.

En la actual configuración del modelo de evaluación de stock de bacalao de profundidad, se incluyen cinco índices de abundancia relativa. La razón para este número de indicadores de abundancia es el cambio del aparejo de pesca desde el palangre español a la cachalotera que tuvo lugar en el año 2006 en la pesquería industrial chilena y en el 2008 en la pesca de palangre argentina (Rubilar *et al.* 2010, Anexo 1 en Tascheri *et al.* 2016). La diferencia en la capturabilidad de estos dos aparejos, motivó la decisión de separar los datos de captura y esfuerzo en función del método de pesca utilizado (lo que se hizo tanto para los datos del Atlántico como los del Pacífico), para conducir separadamente los análisis de estandarización del esfuerzo (Tascheri *et al.* 2015, 2016). Esta decisión, originó índices de abundancia basados en el palangre para la pesca argentina y chilena e índices basados en la pesca con cachalotera también para ambos países, totalizando así cuatro índices de abundancia relativa además del índice que se obtiene de la estandarización de las tasas de captura de la flota artesanal de Chile.

La “cachalotera” puede ser descrita como una modificación del palangre español, en la que se elimina la línea madre y en donde los anzuelos se disponen en una configuración de racimo que se instala en líneas secundarias que llevan un peso. En cada línea secundaria o *barandillo*, se coloca un cono de red que cubre los peces capturados durante el virado (**Figura 2** en este informe). Esta modificación del aparejo, busca evitar la depredación de la pesca por mamíferos marinos durante la operación del virado. El método no es completamente efectivo, pero contribuye a reducir significativamente la depredación (Moreno *et al.* 2008, Goetz *et al.* 2011).

En Chile la cachalotera fue introducida parcialmente en la pesquería industrial de bacalao de profundidad entre los años 2006 y 2007 y a partir del año 2008 se convirtió en el único método de pesca utilizado por la flota industrial.

El número de anzuelos calados, que es usado como medida del esfuerzo (adecuadamente multiplicado por las horas de reposo del aparejo) con palangre no es directamente comparable con el número de anzuelos calados en las operaciones con cachalotera, porque la acción de los anzuelos dispuestos en este último en una configuración de racimo (**Figura 3** en este informe) en cada barandillo calado, no es independiente. De este modo, la medida más adecuada para el



esfuerzo de pesca ejercido con la cachalotera es el número de barandillos (multiplicado por las horas de reposo del aparejo) (Rubilar *et al.* 2013). Además de la diferencia en las unidades de esfuerzo, las tasas de captura estándar obtenidas con la cachalotera, son mayores a aquellas que se obtienen usando el palangre español (Leal y Rubilar 2008, Tascheri *et al.* 2015).

De este modo, el método de pesca empleado y su correspondiente unidad de esfuerzo deben ser tomadas en consideración cuando se estiman índices de abundancia relativa de bacalao de profundidad usando los datos de captura y esfuerzo de la pesca industrial chilena.

En la evaluación de stock del año 2014, esto fue tomado en consideración separando los datos por método de pesca y estimando dos índices estandarizados de abundancia separados: uno con datos de palangre para los años 1992 a 2006 y otro con datos de cachalotera para los años 2007 a 2013. Este enfoque de análisis también fue adoptado en la última evaluación de stock (Tascheri *et al.* 2015, 2016).

De acuerdo con el informe de la revisión de pares del proyecto de evaluación del año 2014, si se considera la rápida transición desde el uso del palangre a la cachalotera, el procedimiento seguido en la evaluación de stock del año 2014 dio cuenta adecuadamente de la falta de comparabilidad entre las tasas de captura obtenidas con los dos aparejos de pesca (Polacheck 2015). Sin embargo, en el reporte de la revisión también se indica que este procedimiento resulta en una pérdida de información para el análisis de estandarización y que una alternativa es realizar la estandarización con la serie completa de datos, pero estimando el efecto del cambio en el método de pesca mediante la inclusión de un factor en el modelo de estandarización. El modelo alternativo sugerido, incluiría la captura por lance como variable respuesta y los datos de esfuerzo (tales como: el número de anzuelos calados por lance, el número de varadillos calados y el tiempo de reposo) como offsets en el predictor lineal.

Los datos de captura y esfuerzo de la pesca artesanal chilena, disponibles para estimar índices de abundancia para esta evaluación de stock, provienen de dos fuentes de datos: el estudio FIP 96-32 “Análisis de la captura y del esfuerzo de pesca en la pesquería de Bacalao de Profundidad en la zona Centro-Sur” (Young *et al.* 1997) y del proyecto de seguimiento de la pesquería de bacalao (Gálvez *et al.* 2014).

Debido a la pobre representación de los datos de localización de la pesca y de potencia del motor de las embarcaciones de pesca artesanal (ambos factores importantes en la estandarización del esfuerzo de esta pesquería; Young *et al.* 1997) en la base de datos del proyecto de seguimiento, en la evaluación del año 2014 los datos del proyecto FIP y del proyecto de seguimiento, fueron estandarizados en análisis separados (Tascheri *et al.* 2015). Trabajo posterior, orientado a producir la información faltante en la base de datos del proyecto de seguimiento, recientemente ha posibilitado el análisis conjunto de los registros de captura y esfuerzo disponibles para esta flota.



En esta sección del informe, se reportan el análisis de estandarización de los datos de captura y esfuerzo de la pesca industrial chilena con cachalotera registrados entre los años 2007 y 2015 y un análisis alternativo de las tasas de captura de esta flota, esta vez siguiendo la sugerencia metodológica realizada en el informe de revisión de pares del año 2014: efectuando la estandarización anexando los datos de los años 2007 a 2015 a aquellos de los años 1992 a 2006 e incluyendo en el modelo de estandarización un factor para dar cuenta del método de pesca utilizado y las unidades de esfuerzo como offsets en el predictor lineal.

En esta sección del informe se reporta también una estandarización de las tasas de captura de la flota artesanal chilena de bacalao de profundidad, registradas entre los años 1986 a 2015. Este último análisis consideró un solo conjunto de datos, constituido anexando la base de datos del proyecto de seguimiento de la pesquería a los datos recopilados por el proyecto FIP 96-32.

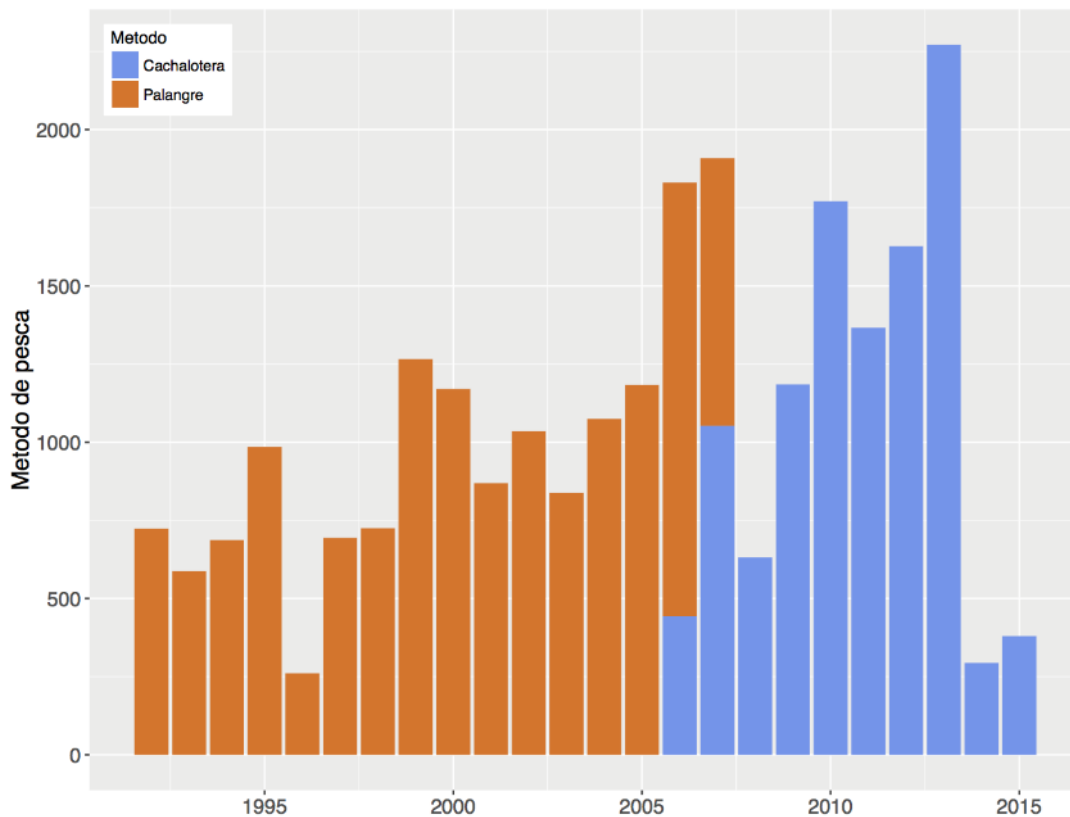
## **2. Materiales y métodos**

### **2.1 Análisis de las tasas de captura de la pesca industrial chilena medidas entre los años 2007 y 2015.**

El análisis de estandarización del esfuerzo de pesca con cachalotera en la pesquería industrial chilena se realizó usando datos de los años 2007 a 2015.

Aun cuando en Chile la cachalotera se comenzó a utilizar en el 2006, durante ese año el palangre español continuó siendo el método de pesca dominante en la flota industrial chilena y consecuentemente, los registros del uso de la cachalotera en ese año son escasos (**Figura 1**).

En el año 2007, el número de operaciones de pesca de bacalao de profundidad que utilizó la cachalotera representa más del 50% de los lances y de este modo, se seleccionó ese año como el primero a ser incluido en el análisis de estandarización (**Figura 1**).

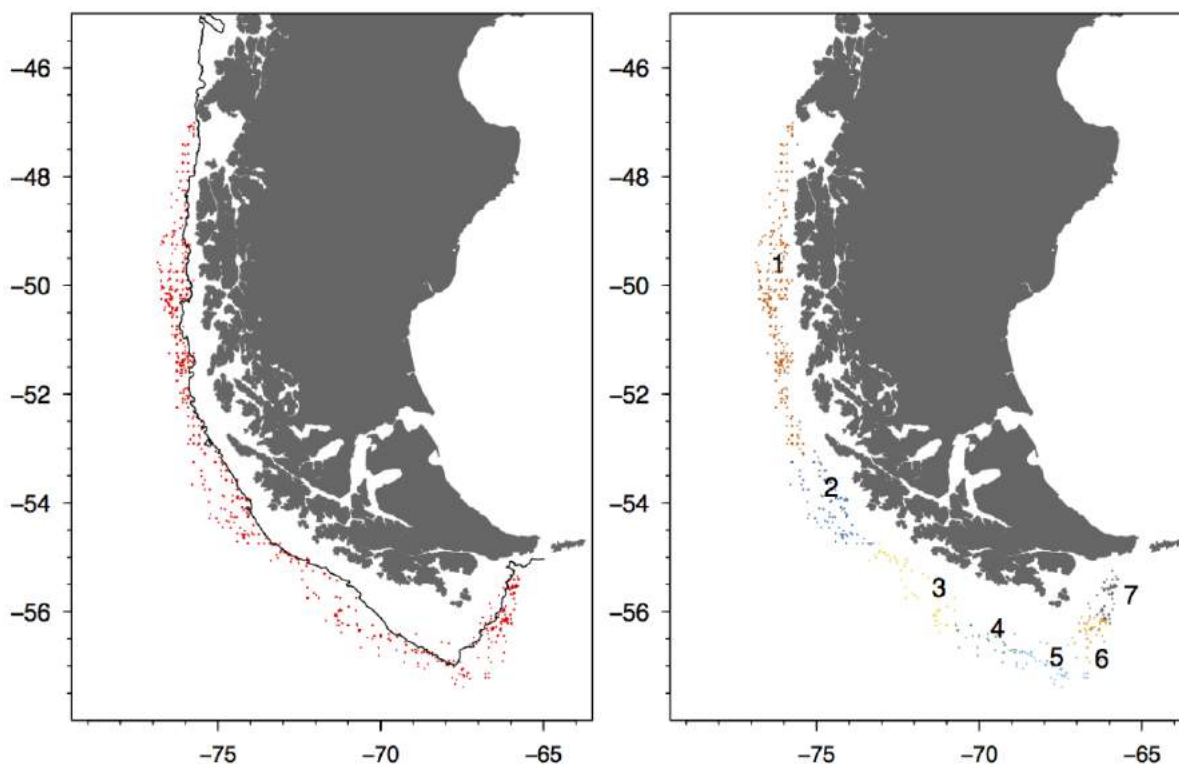


**Figura 1.** N3mero de lances de bacalao de profundidad efectuados en la pesca industrial chilena entre los a3os 1992 y 2015 usando palangre espa3ol o cachalotera. Datos: Centro de estudios pesqueros (CPES) e IFOP.

Hasta el a3o 2013, los datos de captura y esfuerzo de las operaciones de pesca con cachalotera fueron obtenidos de la base de datos compilada por el Centro de Estudios Pesqueros (CEPES S.A.), entidad que mantuvo un seguimiento de la pesquer3a industrial de bacalao entre el a3o 2006 y parte del a3o 2014. Estos registros fueron obtenidos a trav3s de observadores cient3ficos embarcados o aportados por los oficiales de los barcos de pesca de AOBAC. A partir del a3o 2014 esta actividad de monitoreo de la pesca industrial ha sido descontinuada.

En consecuencia, los datos de los a3os 2014 y 2015 fueron tomados desde la base de datos del seguimiento de la pesquer3a industrial de bacalao conducido por IFOP, proyecto que regularmente embarca observadores cient3ficos en los barcos de esta flota pero que s3lo comenz3 a tomar los datos operacionales espec3ficos de la cachalotera a partir del a3o 2014 (**Figura 2**).





**Figura 2.** Localización espacial de los lances de pesca registrados en las bitácoras de IFOP de los años 2014 y 2015. Izquierda: lances de la pesca industrial de bacalao en los años 2014 y 2015. Se incluye también en la figura a modo de referencia la isobata de 500 m. Derecha: lances de la pesca industrial de bacalao en los años 2014 y 2015 coloreados para distinguir los siete caladeros utilizados en el análisis de estandarización del esfuerzo de esta pesquería.

La validación de los datos y su clasificación en caladeros se realizó siguiendo el procedimiento descrito en Tascheri *et al.* (2015). De acuerdo con este, el filtro más general consistió en considerar sólo las operaciones de pesca realizadas a una profundidad media mayor a 500 m y menor a 3.000 m y con un registro de horas de reposo inferior a 30. La localización de los lances de pesca fue validada usando un polígono, excluyendo todos los datos sin información de localización o aquellos que se encontraron fuera de este polígono. El porcentaje de datos excluidos mediante este procedimiento alcanzó un 2% del total de registros en la base de datos original.

Los caladeros de la pesquería que son utilizados en el análisis de estandarización, fueron obtenidos digitalizando sus límites desde una esquematización hecha por los capitanes de la empresa Globalpesca SpA sobre la Carta Náutica 570 del Instituto Hidrográfico de la Armada de Chile. Una versión escaneada de esta carta fue puesta a disposición del IFOP por esta empresa para fines de análisis en el contexto de la evaluación del stock de este recurso (Tascheri *et al.* 2015; **Figura 2**).



En esta base de datos (CPES + IFOP<sub>2014-2015</sub>) se encuentran 12 barcos (**Tabla 1**).

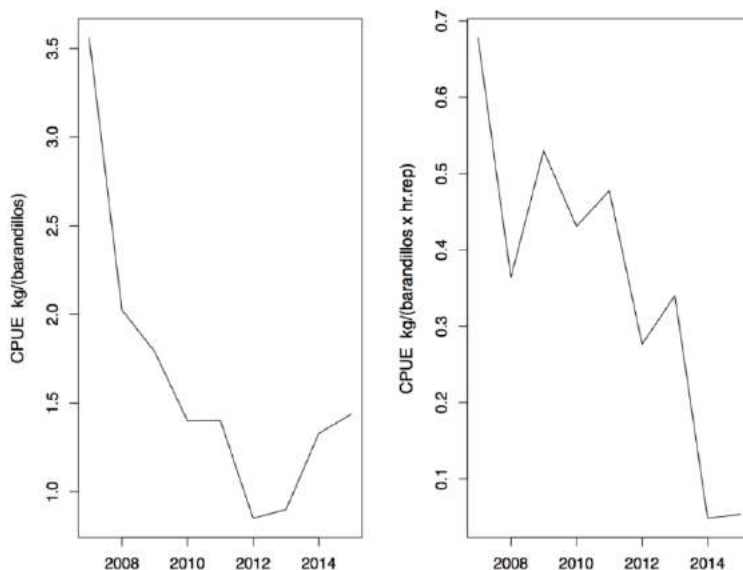
**Tabla 1.**

Distribución anual de los registros de esfuerzo y captura por barco de pesca industrial de bacalao haciendo uso de la cachalotera como método de pesca.

Código barco	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
400065	0	0	0	0	0	10	2	0	0
400074	0	0	58	143	55	188	363	0	0
400075	0	0	58	0	55	193	354	99	121
400099	0	0	0	0	0	0	160	98	0
400175	0	0	0	0	0	0	0	0	0
400200	0	0	0	0	0	0	0	0	0
940239	193	336	504	295	198	0	335	73	67
940391	77	249	289	101	260	253	320	10	0
941096	0	0	0	5	0	0	0	0	0
941225	0	0	0	0	0	0	150	0	0
941612	0	0	144	28	171	165	330	14	0
942434	0	0	0	0	0	49	207	0	92

Como criterio de selección de los barcos para el análisis, se exploró eliminar todos los barcos con menos de dos años de registros de lances con captura de bacalao (4 barcos) o los barcos con menos de cuatro años con registros de lances con captura de bacalao (7 barcos). Las tendencias en las tasas medias de captura nominal no exhibieron diferencias con el uso de estos dos criterios (**Figura 3**).

La tendencia del rendimiento nominal, mostró que el uso de las horas de reposo del aparejo tiene un significativo efecto en las tasas de captura. Su omisión generó un indicador que exhibió una tendencia positiva del rendimiento entre los años 2013 y 2015 (**Figura 3**).



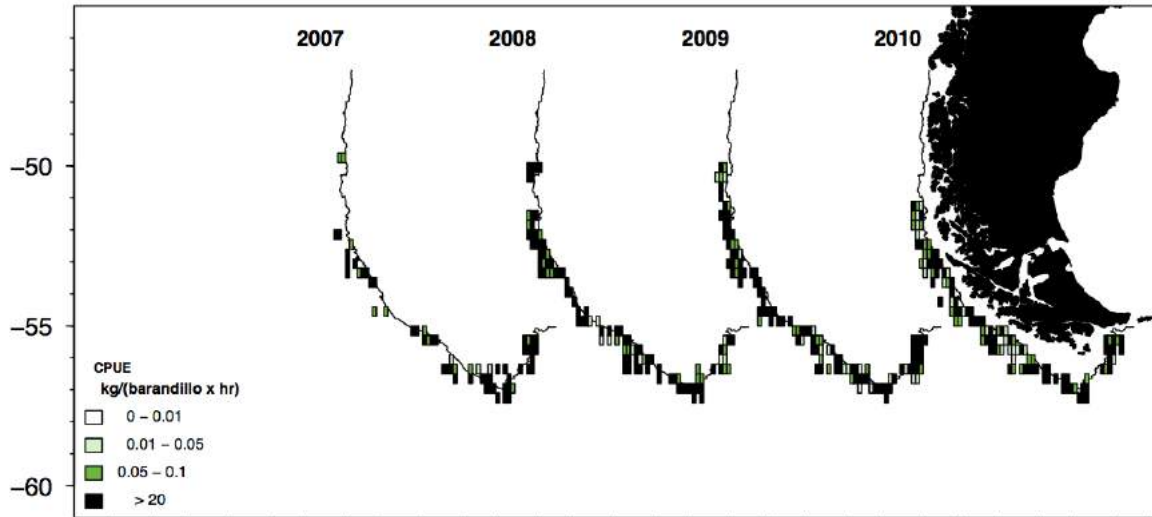
**Figura 3.** Tasas de captura nominales de la pesquería industrial de bacalao entre los años 2007 y 2015 considerando sólo los lances de pesca con cachalotera. Izquierda: usando el número de barandillos calados como medida de esfuerzo. Derecha: usando el número de barandillos calados multiplicado por las horas de reposo del aparejo como medida del esfuerzo de pesca.

La distribución espacial del esfuerzo de pesca no exhibe una tendencia apreciable a juzgar por la distribución de los datos por caladero (**Tabla 2**) sin embargo, se puede apreciar una reducción de las tasas de captura a través del tiempo en toda el área de la pesquería (**Figuras 4 y 5**).

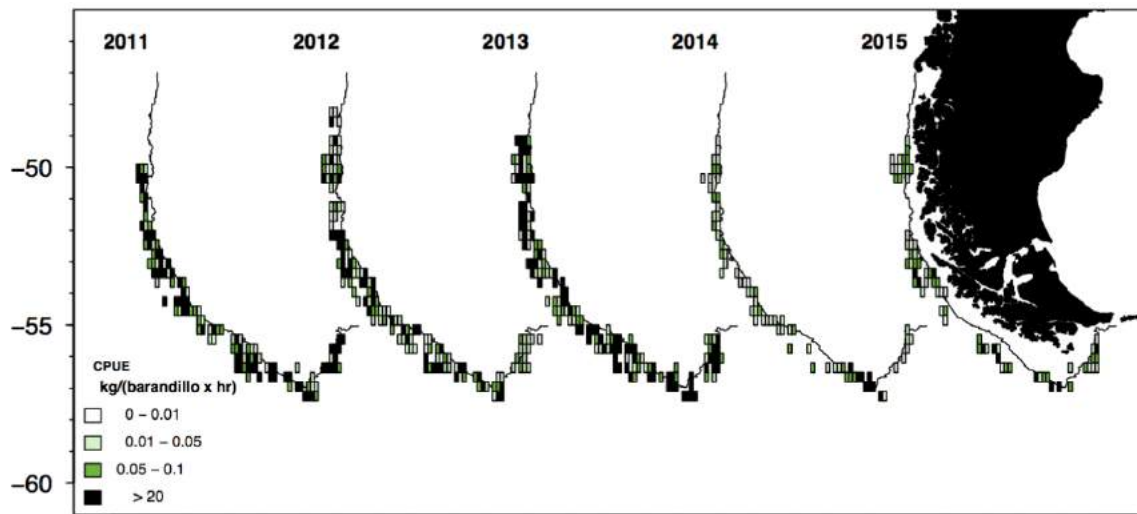
**Tabla 2.**

Distribución anual de los registros de esfuerzo y captura por caladero de pesca industrial de bacalao. Datos corresponden al uso de la cachalotera como método de pesca exclusivamente.

Caladero	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	42	30	166	56	30	47	206	13	20
2	27	62	111	28	67	48	123	2	10
3	73	97	306	134	125	78	163	18	17
4	37	72	166	83	130	68	160	28	16
5	18	102	83	78	112	89	256	48	24
6	63	92	118	91	151	220	259	40	46
7	10	129	103	102	123	308	1054	145	147



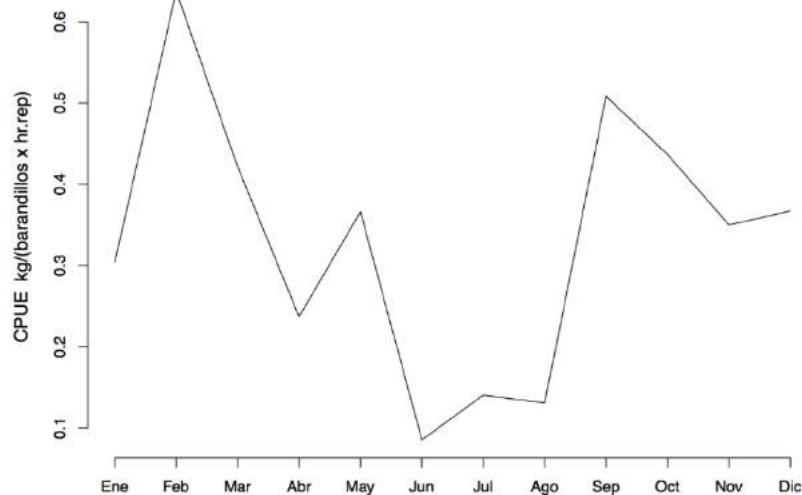
**Figura 4.** Tasas de captura nominales de bacalao de profundidad capturado con cachalotera en la pesquería industrial chilena acumuladas por año y en cuadrantes de 0,2 x 0,3 grados. Años 2007 a 2010.



**Figura 5.** Tasas de captura nominales de bacalao de profundidad capturado con cachalotera en la pesquería industrial chilena acumuladas por año y en cuadrantes de 0,2 x 0,3 grados. Años 2011 a 2015.



Las tasas de captura medias mensuales exhiben una tendencia significativa a disminuir entre junio y agosto coincidiendo con la veda reproductiva del recurso. La veda fue establecida en el año 1996 (Figura 6).



**Figura 6.** Distribución mensual de las tasas de captura industrial de bacalao de profundidad con uso de la cachalotera entre los años 2007 y 2015. Datos CPES + IFOP<sub>2014-2015</sub>.

De acuerdo con lo anterior, los predictores incluidos en los modelos de estandarización correspondieron a los factores Año, barco, mes y caladero.

Asumiendo que los datos de captura y esfuerzo registrados en las bitácoras de pesca corresponden a datos longitudinales (múltiples mediciones efectuadas sobre los mismos individuos/barcos a través del tiempo; Venables y Dichmont 2004), para estandarizar las tasas de captura industriales de bacalao de profundidad se emplearon modelos lineales generalizados mixtos.

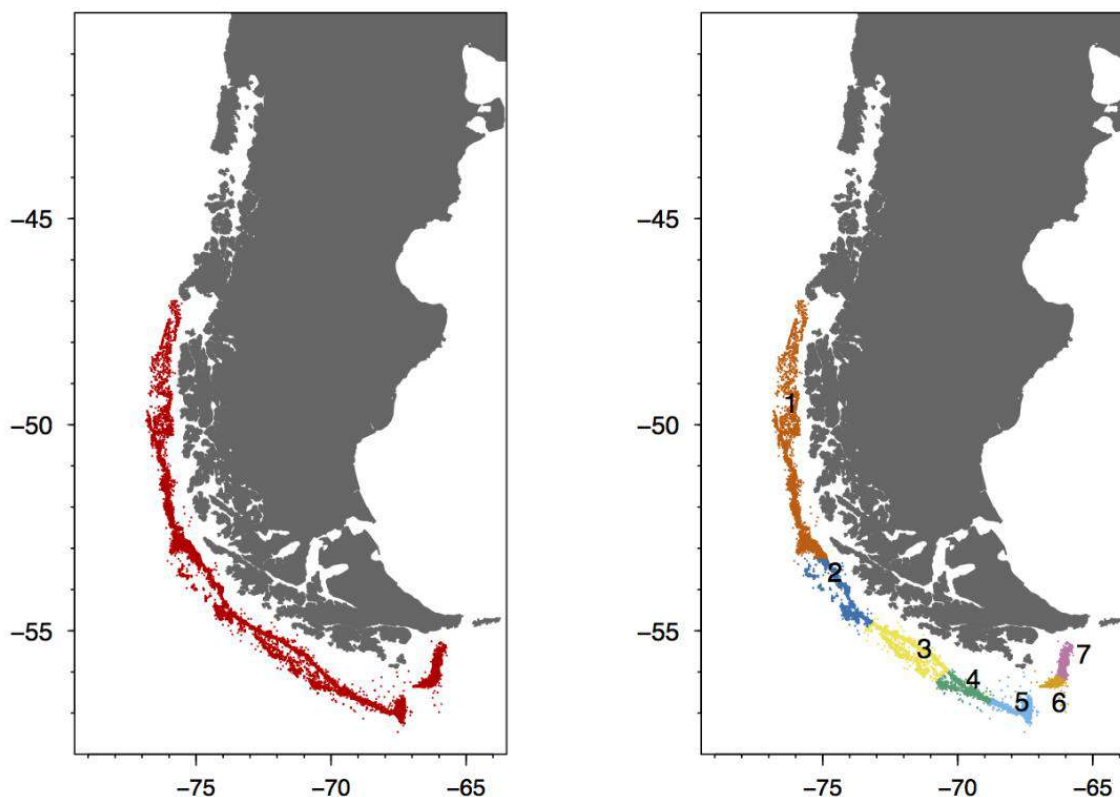
Análisis alternativo de las tasas de captura de la pesca industrial chilena utilizando en conjunto los datos de los años 1992 a 2015.

Los datos de los años 1992 a 2006 que fueron empleados por Tascheri *et al.* (2015) para producir un índice de abundancia basado exclusivamente en información de las operaciones de pesca industrial realizadas con palangre español, fueron anexados a los datos que fueron utilizados para producir un índice de abundancia basado únicamente en datos de operación con cachalotera (reportado en la sección previa de este anexo).

Una representación gráfica de la localización geográfica histórica de los lances de pesca industrial registrados entre los años 1992 y 2015 se entrega en la **Figura 7**.

En esta base de datos unificada, se puede contabilizar la operaci3n de un total de 45 barcos. Para efectos de este an3lisis de estandarizaci3n, s3lo se seleccionaron los datos de aquellos barcos que registraron operaci3n en un m3nimo de cuatro a3os. De esta manera, la flota de referencia para efectos de estandarizaci3n de las tasas de captura de la serie completa de datos de la pesca industrial correspondi3 a un total de 22 barcos.

En acuerdo con la sugerencia realizada en el informe de la revisi3n de pares del a3o 2014, se cre3 una sola variable que represent3 el esfuerzo de pesca. Esta variable conten3a el n3mero de anzuelos calados multiplicado por las horas de reposo para aquellos lances realizados entre los a3os 1992 y 2006 y el n3mero de barandillos calados multiplicado por las horas de reposo en el caso de los lances de pesca realizados entre los a3os 2007 y 2015. Esta variable fue incluida en los modelos de estandarizaci3n como un offset.



**Figura 7.** Izquierda: Localizaci3n espacial de los lances de pesca registrados en las bit3coras de pesca recopiladas por IFOP entre los a3os 1992 y 2006 y entre los a3os 2014 y 2015 y aquellas recopiladas por CPES entre los a3os 2006 y 2013. Derecha: lances de la pesca industrial de bacalao de profundidad coloreados para distinguir los siete caladeros usados para el an3lisis de estandarizaci3n del esfuerzo.



## 2.2 Análisis de las tasas de captura de la pesca artesanal chilena medidas entre los años 1986 y 2015

Con el fin de estimar un índice de abundancia relativa basado en los datos de captura y esfuerzo de la pesca artesanal registrados entre los años 1996 y 2015, los datos de la pesca artesanal de bacalao de profundidad registrados por el proyecto de seguimiento entre los años 1997 y 2015 fueron anexados a los datos registrados en el contexto del proyecto FIP 96-32 (Young *et al.* 1997).

Esfuerzos recientes realizados en el marco del proyecto de seguimiento para completar los datos de las características estructurales de las lanchas artesanales que capturaron bacalao de profundidad entre los años 1997 y 2015, en particular la potencia de motor de estas embarcaciones y en parte también debido a la reciente mejora en el registro de los datos de posición de las operaciones de pesca, hacen posible que se puedan unificar estas dos bases de datos para fines de análisis en el contexto de la evaluación de stock.

El proceso y validación de los datos del proyecto FIP 96-32 se encuentra documentado en Young *et al.* (1997). Para efectos de validación de los datos de los años 1997 a 2015, se adoptaron los criterios aplicados por el proyecto de seguimiento. De este modo para el análisis de estandarización se conservaron sólo los datos de aquellas operaciones de pesca con más de 5 y menos de 30 días fuera de puerto (dfp) y cuya captura por viaje era inferior a 7 toneladas.

Siguiendo a Young *et al.* (1997), el predictor Área fue definido del modo indicado en la **Tabla 3**

**Tabla 3.**

Áreas utilizadas en el proyecto FIP 96-32 (De acuerdo con la Figura 48 en Young *et al.* 1997) para estandarizar la captura por unidad de esfuerzo de la pesquería artesanal de bacalao de profundidad, más una quinta área definida al sur de las áreas adoptadas por el proyecto FIP. Los intervalos son cerrados en el límite inferior y abiertos en su límite superior.

Área	1	2	3	4	5
Lim_inf	17°30'	32°00'	36°00'	40°00'	42°00'
Lim_sup	28°00'	36°00'	40°00'	42°00'	47°00'

De modo similar, el predictor asociado a la potencia de motor de las embarcaciones de pesca fue definido como se indica en la **Tabla 4**:

**Tabla 4.**

Categoría de potencia de motor de las embarcaciones artesanales que capturaron bacalao de profundidad entre los años 1986 y 1996 (según Tabla 27 en Young *et al.* 1997). Los intervalos son cerrados en el límite inferior y abiertos en su límite superior.

Categoría Potencia	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Lim_inf	-	50	90	130	170	210	250	290	>300
Lim_sup	< 50	90	130	170	210	250	290	300	-

### 2.3 Software

Parte de los procesos de datos y todos modelos de estandarización y graficas fueron implementados usando el lenguaje y ambiente para computación estadística R (R Core Team, 2016) y los paquetes complementarios readr (Wickham y Francois, 2015), ggplot2 (Wickham 2009), splancs (Rowlingson and Diggle 2015), PBSmapping (Schnute *et al.* 2015), lme4 (Bates *et al.* 2015) y lsmeans (Lenth 2016).

## 3. Resultados

### 3.1 Análisis de las tasas de captura de la pesca industrial chilena medidas entre los años 2007 y 2015.

La varianza de las tasas de captura fue estabilizada mediante la aplicación de logaritmos y se asumió que esta nueva variable seguía una distribución normal.

Se ajustaron dos modelos de estandarización. Dado que la interacción año:caladero resultó ser significativa, los modelos incluyeron un efecto aleatorio en donde la interacción año:caladero estaba anidada al interior del efecto barcos (Candy 2004). La diferencia entre ambos modelos consistió en que el primero incluyó el efecto caladero como efecto fijo en tanto que el segundo solo incluyó este factor como efecto aleatorio. Usando la sintaxis del software lme4 (Bates *et al.* 2015):

$$M1: \log(cpue) \sim \text{Año} + \text{Mes} + \text{Barco} + \text{Caladero} + (1 | \text{Barco}/\text{Caladero} : \text{Año})$$

$$M2: \log(cpue) \sim \text{Año} + \text{Mes} + \text{Barco} + (1 | \text{Barco}/\text{Caladero} : \text{Año})$$

Donde: cpue es la captura en kg dividida por el número de barandillos calados multiplicados por las horas de reposo del aparejo; Barco es un factor identificador del barco y caladero son las áreas de pesca definidas para la estandarización del esfuerzo de esta pesquería (**Figura 2**).





Para le modelo 1 (M1) el error estándar de los efectos aleatorios Caladero:Año y Barco resultó ser 0,36 y 0,65 respectivamente, en tanto que para el modelo 2 (M2) estas cantidades fueron 0,37 y 0,26.

Una comparación entre ambos modelos indica que el modelo 1 (M1) no experimenta una mejora al eliminar el efecto fijo caladero (**Tabla 5**). Esto es consecuente con el resultado significativo para el coeficiente estimado para el factor caladero (**Tabla 6**).

**Tabla 5.**

Comparación entre dos modelos lineales generalizados mixtos ajustados a las tasas de captura industrial de bacalao de profundidad registradas entre los años 2007 y 2015. Los datos corresponden a operaciones de pesca usando cachalotera exclusivamente.

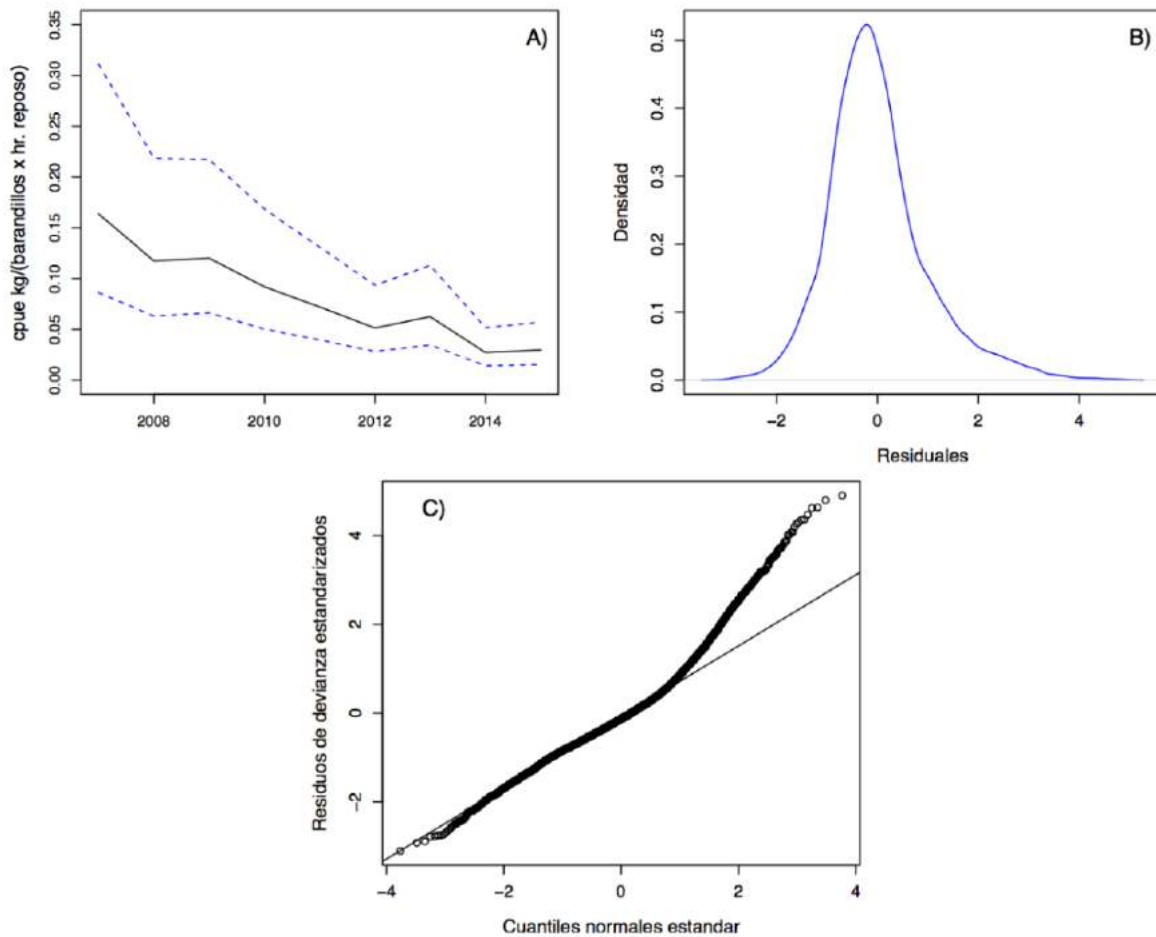
Model	G.L.	AIC	BIC	logLik	Devianza	Chisq	G.L. Chi	Pr(>Chisq)
M1	33	20604	20825	-10269	20538	31.332	10	0.0005171
M2	23	20615	20770	-10285	20569			

**Tabla 6.**

Análisis de varianza del modelo 1 (M1) de estandarización de las tasas de captura de bacalao de profundidad estimado con datos de la pesca industrial con cachalotera. Años 2007 a 2015.

	G.L.	Suma cuad.	Cuad. Medio	F
Año	8	292.681	36.585	21.2528
Mes	11	150.65	13.695	7.9558
Barco	4	1.508	0.377	0.219
Caladero	6	22.335	3.722	2.1624

La serie estandarizada de las tasas de captura con cachalotera exhibe una tendencia negativa con intervalos de confianza amplios que resultan en parte por la decisión de no hacer el supuesto de independencia de las tasas de captura, normalmente adoptado en los análisis que hacen uso de modelos lineales generalizados (**Figura 8**).



**Figura 8.** A) serie estandarizada de las tasas de captura anuales obtenidas con cachalotera en la pesca industrial de bacalao de profundidad entre los años 2007 y 2015; B) Gráfico de densidad de los residuales; C) qqplot de los cuantiles normales de los residuales.

### 3.2 Análisis alternativo de las tasas de captura de la pesca industrial chilena sin separar los datos por método de pesca. Años 1992 a 2015.

Se asumió que el logaritmo de la captura por lance seguía una distribución normal y se exploraron algunos modelos alternativos. Todos los modelos explorados estuvieron contenidos en el modelo siguiente (siguiendo la nomenclatura del software lme4; Bates *et al.* 2009):

$$\begin{aligned} \log(C) = & \text{offset}(\log(Esf)) + \text{Año} + \text{Mes} + \text{Barco} + \text{Caladero} + \text{Aparejo} \\ & + (1|\text{Caladero:Año}) + (1|\text{Mes:Año}) + (1|\text{Barco:Año}) \\ & + (1|\text{Aparejo:Año}) \end{aligned}$$



Donde:  $C$  es la captura por lance en kilogramos,  $Esf$  es el esfuerzo medido por el número de anzuelos calados multiplicado por el tiempo de reposo para los lances de pesca realizados entre los años 1992 y 2006 y el número de barandillos calados multiplicado por el tiempo de reposo para los lances de pesca efectuados entre los años 2007 y 2015.

Siguiendo a Candy (2004), todas las interacciones significativas con el efecto fijo Año fueron incluidas en el modelo como efectos aleatorios.

Para el modelo descrito en la ecuación, los errores estándar de los efectos aleatorios correspondieron a 0,46 para la interacción aleatoria Mes:Año, 0,35 para la interacción Barco:Año, 0,21 para la interacción Caladero:Año y 0,13 para la interacción Aparejo:Año.

La tabla de análisis de devianza de los efectos fijos se entrega en la **Tabla 7**.

**Tabla 7.**

Tabla de análisis de devianza de un modelo lineal generalizado mixto de las tasas de captura industriales de bacalao de profundidad registradas entre los años 1992 y 2015. Suma de cuadrados tipo III.

Factor	G.L.	Suma de cuad.	Cuad. Medio	F
Año	23	618.08	26.873	22.6534
Mes	11	111.28	10.1167	8.5282
Barco	21	119.87	5.7082	4.8119
Caladero	6	92.87	15.4782	13.0478
Aparejo	1	0.01	0.006	0.005

La eliminación secuencial de los factores del modelo mostró que este sólo mejora cuando se elimina el factor Aparejo de pesca (**Tabla 8**).

**Tabla 8.**

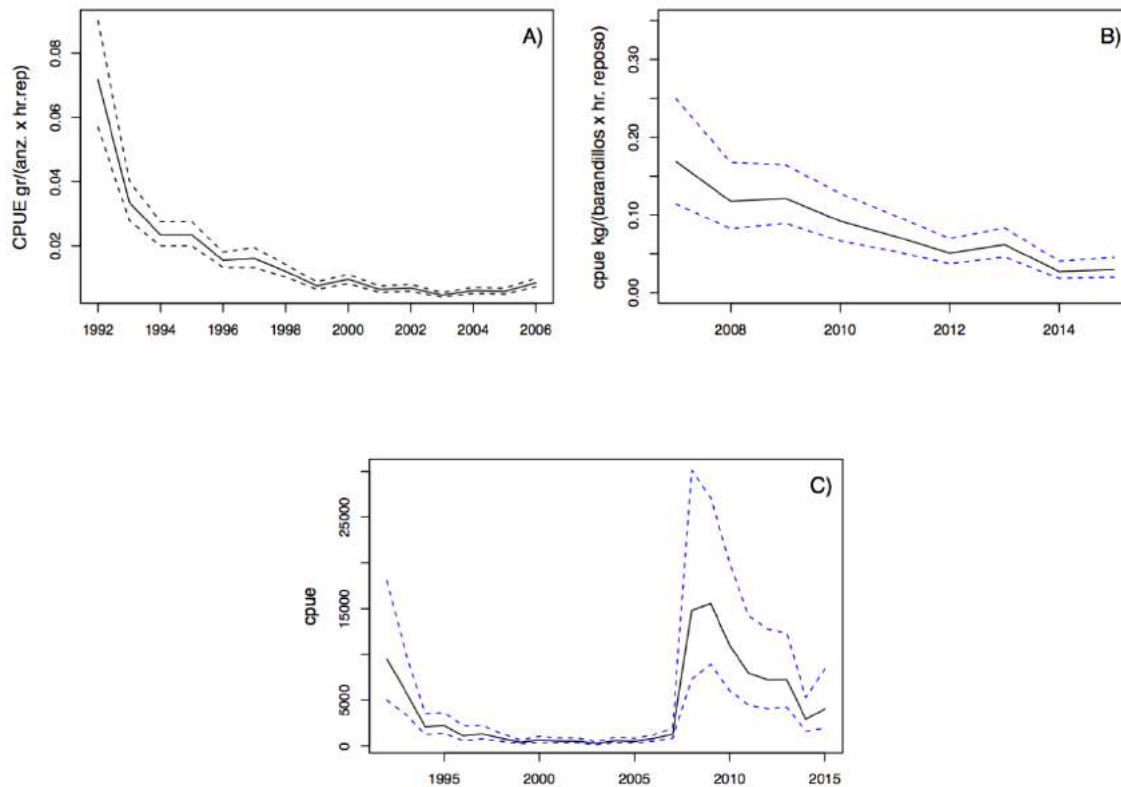
Grados de libertad y criterio de información de Akaike (AIC) para un modelo lineal generalizado mixto de las tasas de captura industriales de bacalao de profundidad conteniendo los efectos fijos Año, Mes, Barco, Caladero y Aparejo (palangre o Cachalotera). La tabla muestra el valor del AIC que resulta cuando se eliminan secuencialmente los predictores del modelo. La fila indicada "Ninguno" corresponde al modelo con todos los predictores.

	G.L.	AIC
Ninguno		63404
Año	23	63460
Mes	11	63463
Barco	21	63454
Caladero	6	63459
Aparejo	1	63402

De acuerdo con los resultados (**Tablas 7 y 8**) el factor Aparejo no es estadísticamente significativo y el modelo ajustado, no mejora con la eliminación de ninguno de los predictores, con excepción del factor Aparejo.

Esto se puede apreciar también gráficamente, en donde se hace evidente que la información de sólo dos años (2006 y 2007), en donde se usaron ambos aparejos simultáneamente (palangre y cachalotera; **Figura 1**), no es suficiente para estimar un factor que da cuenta del efecto del cambio en el método de pesca (**Figura 9**).

Este resultado justifica la decisión de separar ambas series para estimar índices de abundancia separados basados en los datos disponibles para cada aparejo de pesca, tal como lo hizo Tascheri *et al.* (2015).



**Figura 9.** Series de abundancia relativa de bacalao de profundidad dependientes de la pesquería industrial chilena. A) modelo incluyendo sólo los datos de la pesca con palangre y que cubre los años 1992 a 2006 (Tascheri *et al.* 2015); B) Modelo que sólo usó los datos de la pesca con cachalotera entre los años 2007 y 2015 (este anexo); C) modelo que incluye los datos de los años 1992 a 2015 y un factor que buscaba dar cuenta del efecto del cambio en el método de pesca.



### 3.3 Análisis de las tasas de captura de la pesca artesanal chilena medidas entre los años 1986 y 2015.

De acuerdo a la distribución de los datos a través de los factores Área y Año, se resolvió eliminar del análisis el nivel 1 del factor Área (**Tabla 9**).

**Tabla 9.**

Distribución de los viajes de pesca de bacalao de profundidad hechos por la flota artesanal y monitoreados por el IFOP entre los años 1986 y 2015.

Año	Área				
	1	2	3	4	5
1986	0	357	257	50	0
1987	0	629	447	227	0
1988	0	235	544	569	0
1989	0	633	431	916	0
1990	0	685	681	743	0
1991	1	472	540	599	0
1992	0	373	530	325	0
1993	0	605	546	301	0
1994	0	751	700	635	0
1995	0	503	645	557	0
1996	0	208	533	464	0
1997	0	54	439	87	1
1998	0	41	60	60	19
1999	0	68	364	4	30
2000	0	34	135	9	182
2001	0	22	109	0	56
2002	0	49	253	0	189
2003	0	11	126	0	140
2004	0	0	1	0	74
2005	0	2	8	0	29
2006	0	1	2	0	19
2007	0	0	4	4	6
2008	0	2	2	1	7
2009	0	9	14	0	0
2010	1	2	11	0	0
2011	0	3	6	0	0
2012	0	2	2	0	4
2013	0	9	31	1	0
2014	0	21	10	3	0
2015	0	22	17	7	0



Se asumió que el logaritmo de la captura por unidad de esfuerzo era adecuadamente descrito por una distribución normal y siguiendo a Young *et al.* (1997), se estimaron los parámetros del siguiente modelo lineal generalizado usando la identidad como función de enlace:

$$E(\log(CPUE_{jkit})) = \mu_{jkit} = \alpha + \beta_1 \text{Año}_{30j} + \beta_2 \text{Mes}_{12k} + \beta_3 \text{CatHP}_{9i} + \beta_4 \text{Área}_{4t}$$

Donde: CPUE es la captura en kilogramos dividida por los días fuera de puerto del correspondiente viaje de pesca; CatHp es la categoría de potencia de motor (**Tabla 4**); Área es un factor que corresponde con las zonas definidas en Young *et al.* (1997), más un área adicional definida entre los paralelos 42°00' y 47°00' L.S. (**Tabla 3**).

Los resultados del ajuste señalan que todos los factores son significativos y que la eliminación de ninguno de estos produce un mejor modelo (**Tablas 10 y 11**)

**Tabla 10.**

Análisis de devianza de un modelo lineal generalizado gaussiano de las tasas de captura de la pesca artesanal de bacalao de profundidad. Datos FIP 96-32 (Años 1986 a 1996) + Datos del proyecto de seguimiento de la pesquería (Años 1997 a 2015).

Predictores	G.L.	Devianza	G.L. Resid.	Dev. Res.	F	Pr(>F)
Nulo			17353	17626		
Año	29	2289.8	17324	15336	104.902	< 2.20E-16
Mes	11	153.29	17313	15183	18.515	< 2.20E-16
CatHP	8	660.57	17305	14522	109.701	< 2.20E-17
Área	3	1499.12	17302	13023	663.893	< 2.20E-18

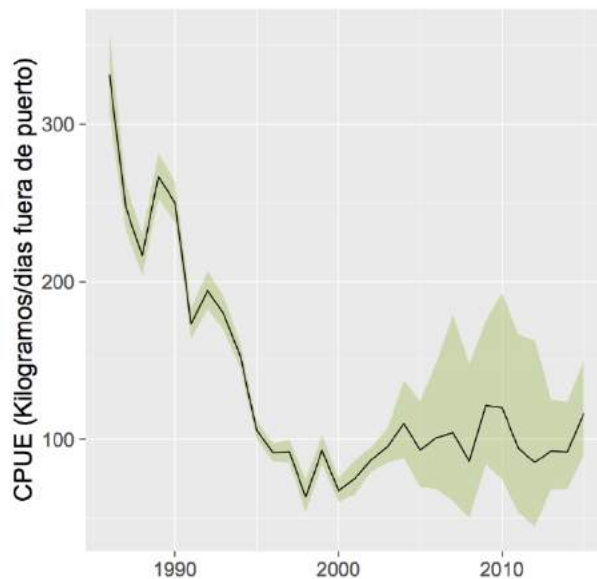
**Tabla 11.**

Grados de libertad, devianza y criterio de información de Akaike (AIC) para un modelo lineal generalizado de las tasas de captura artesanales de bacalao de profundidad conteniendo los efectos fijos Año, Mes, categoría de potencia de motor y área. La tabla muestra el valor del AIC que resulta cuando se eliminan secuencialmente los predictores del modelo. La fila indicada "Ninguno" corresponde al modelo con todos los predictores.

	G.L.	Devianza	AIC
Ninguno		13023	44372
Año	29	15328	47143
Mes	11	13198	44582
CatHp	8	13334	44766
Área	3	14522	46257



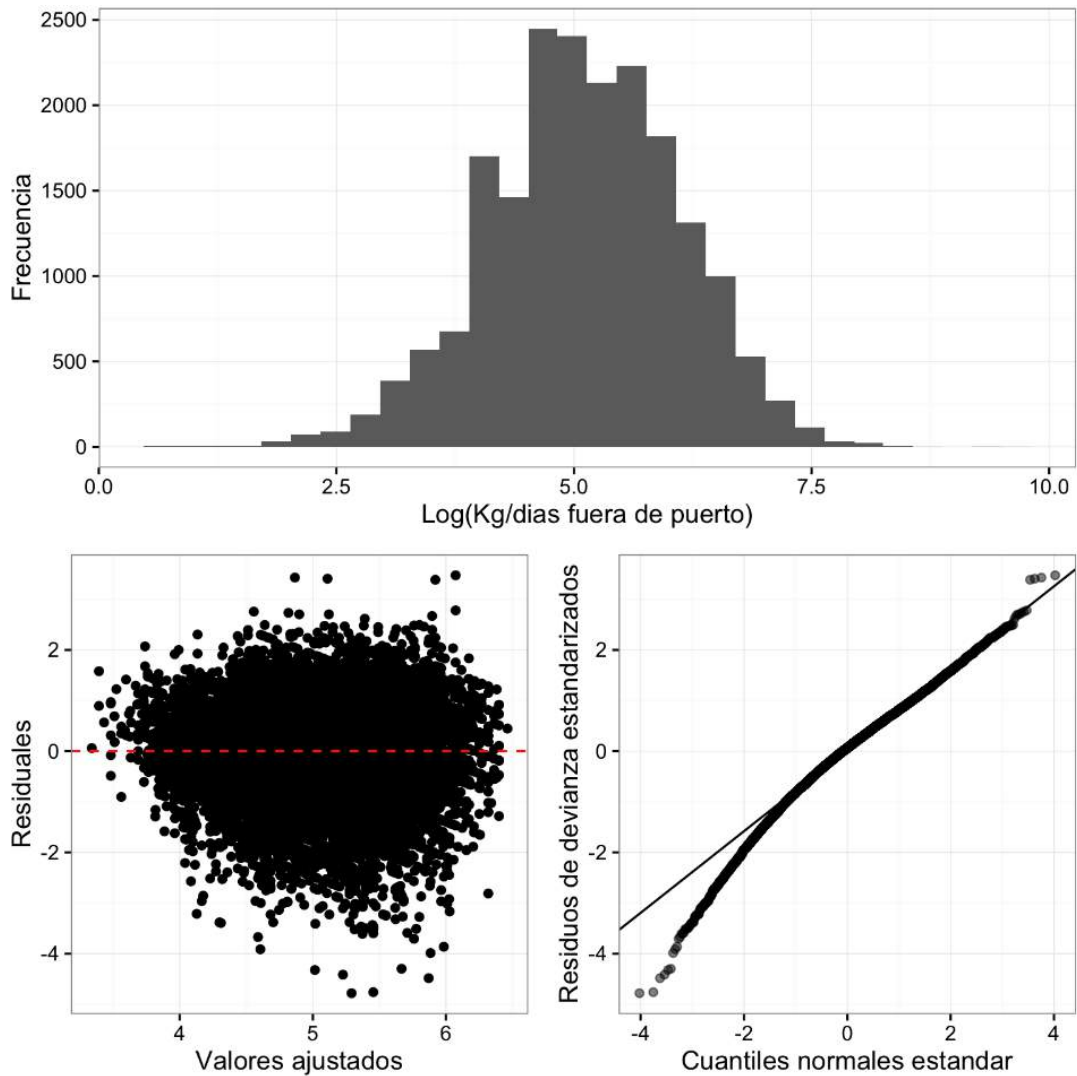
La tendencia del 3ndice de abundancia relativa de bacalao de profundidad, dependiente de la pesquer3a artesanal, muestra una fuerte disminuci3n de la abundancia entre los a3os 1986 y 1998, consistente con los resultados informados por el proyecto FIP 96-32. La secci3n de la serie de abundancia que corresponde a los datos aportados por el proyecto de seguimiento sugiere un leve incremento de la abundancia, por sobre el nivel del a3o 1998, pero que se mantiene relativamente constante a un nivel comparable con aquel estimado para el a3o 1995 (**Figura 9**).



**Figura 9.** Serie estandarizada de abundancia relativa estimada con datos de la pesca artesanal de bacalao de profundidad utilizando un modelo lineal generalizado ajustado a datos de captura y esfuerzo tomados por el proyecto FIP 96-32 y por el proyecto de seguimiento de esta pesquer3a.

Los amplios intervalos de confianza en la 3ltima secci3n de la serie, son consistentes con la variabilidad de las tasas de captura que se observan en los datos aportados por el proyecto de seguimiento, la que a su vez se relaciona al menor esfuerzo de muestreo observado en este periodo en comparaci3n con los a3os cubiertos por el proyecto FIP (**Tabla 9**).

De acuerdo con el histograma del logaritmo de la captura por unidad de esfuerzo, el gr3fico de los valores ajustados vs los residuales y el qqplot de los cuartiles normales de los residuales est3andar, el modelo de estandarizaci3n del esfuerzo de la pesca artesanal de bacalao de profundidad parece concordar relativamente bien con el supuesto de normalidad adoptado para el an3lisis (**Figura 10**).



**Figura 10.** Panel superior: histograma del logaritmo de la captura por unidad de esfuerzo de la pesca artesanal de bacalao de profundidad; Panel inferior izquierdo: valores ajustados vs residuales del modelo de estandarizaci3n del esfuerzo; Panel inferior derecho: qqplot de los cuantiles normales de los residuales estandarizados.



## **A N E X O 3**

---

Análisis de residuales de los datos de composición  
de edad y longitud de las capturas.



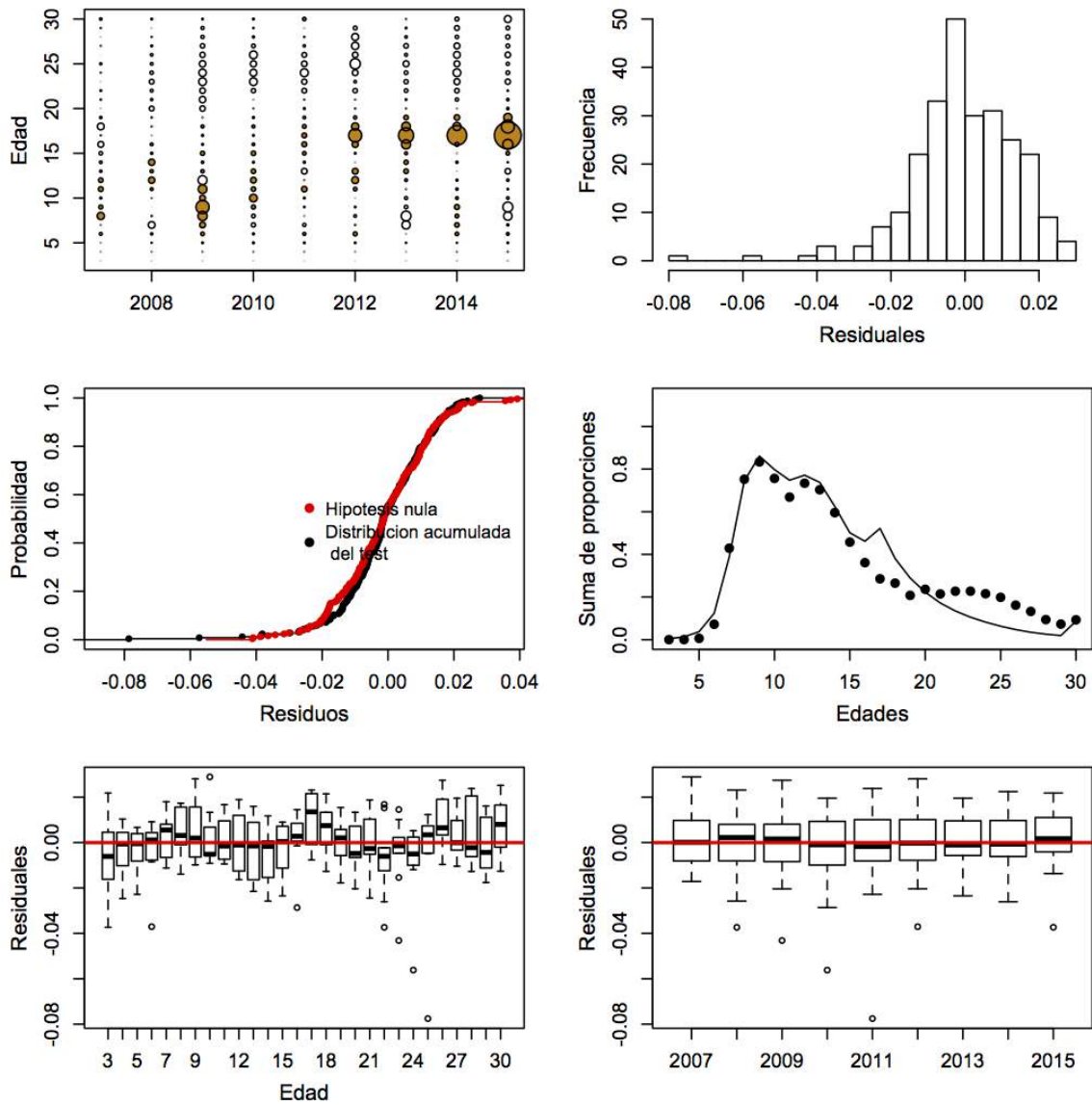
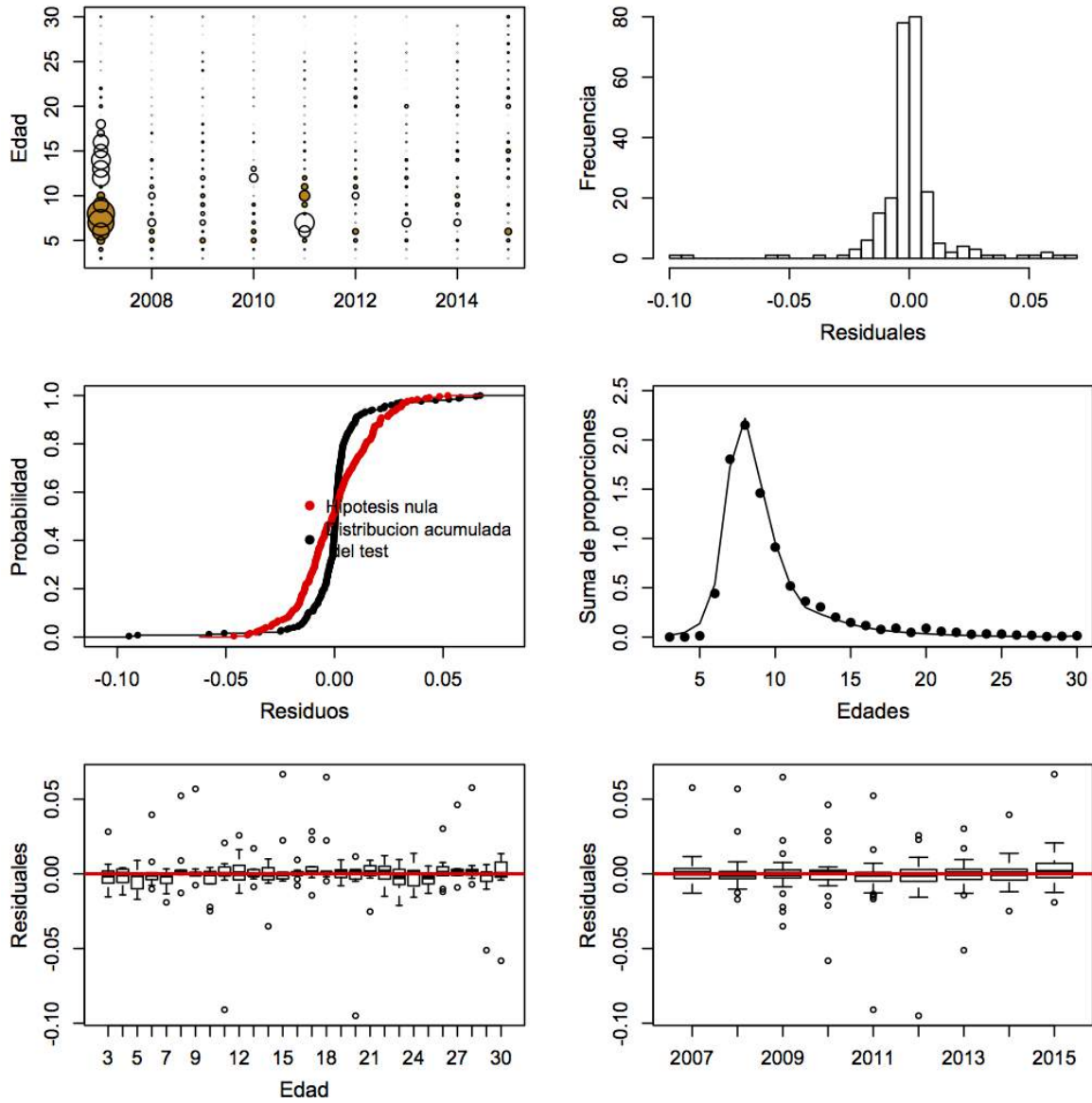
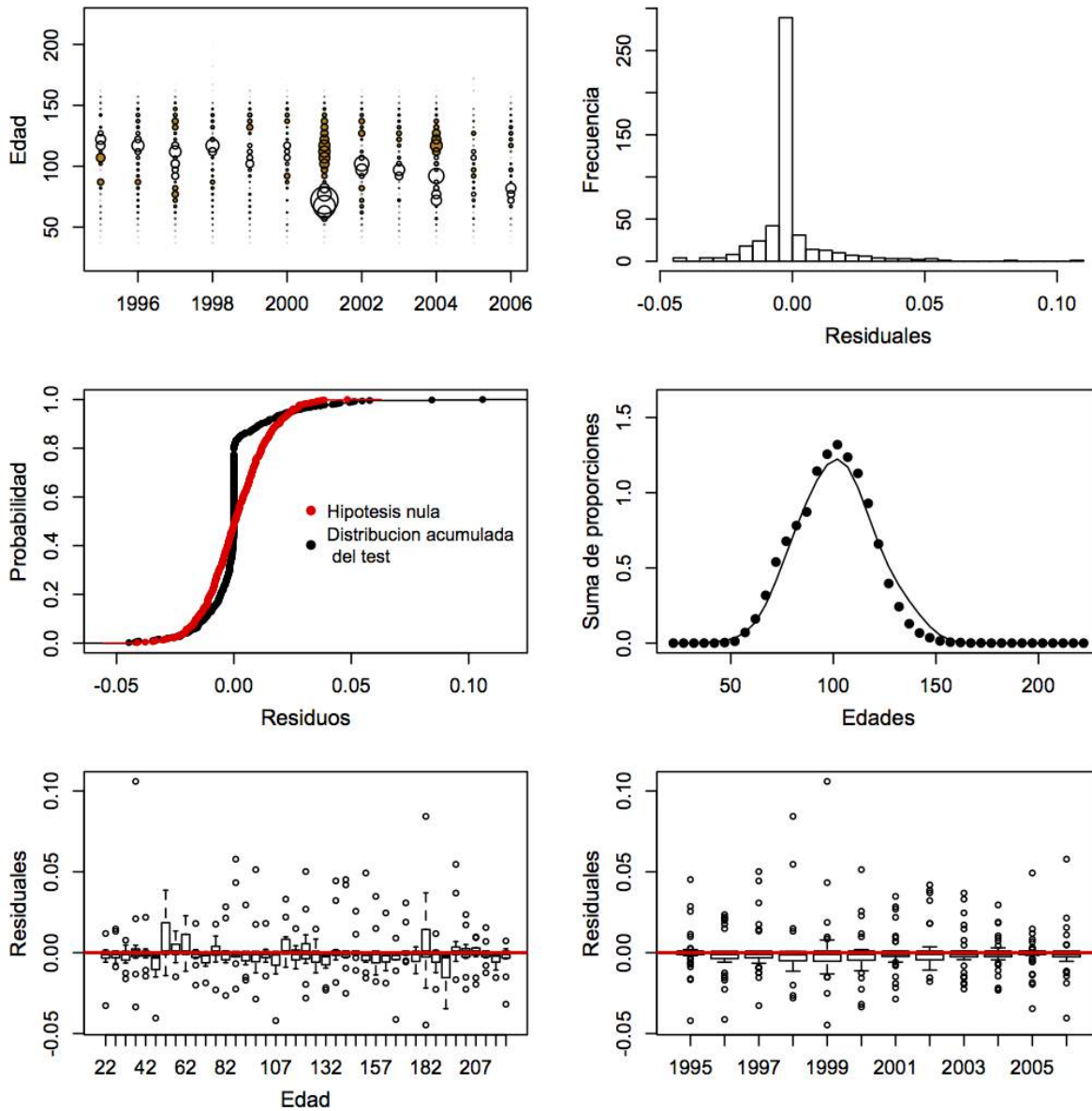


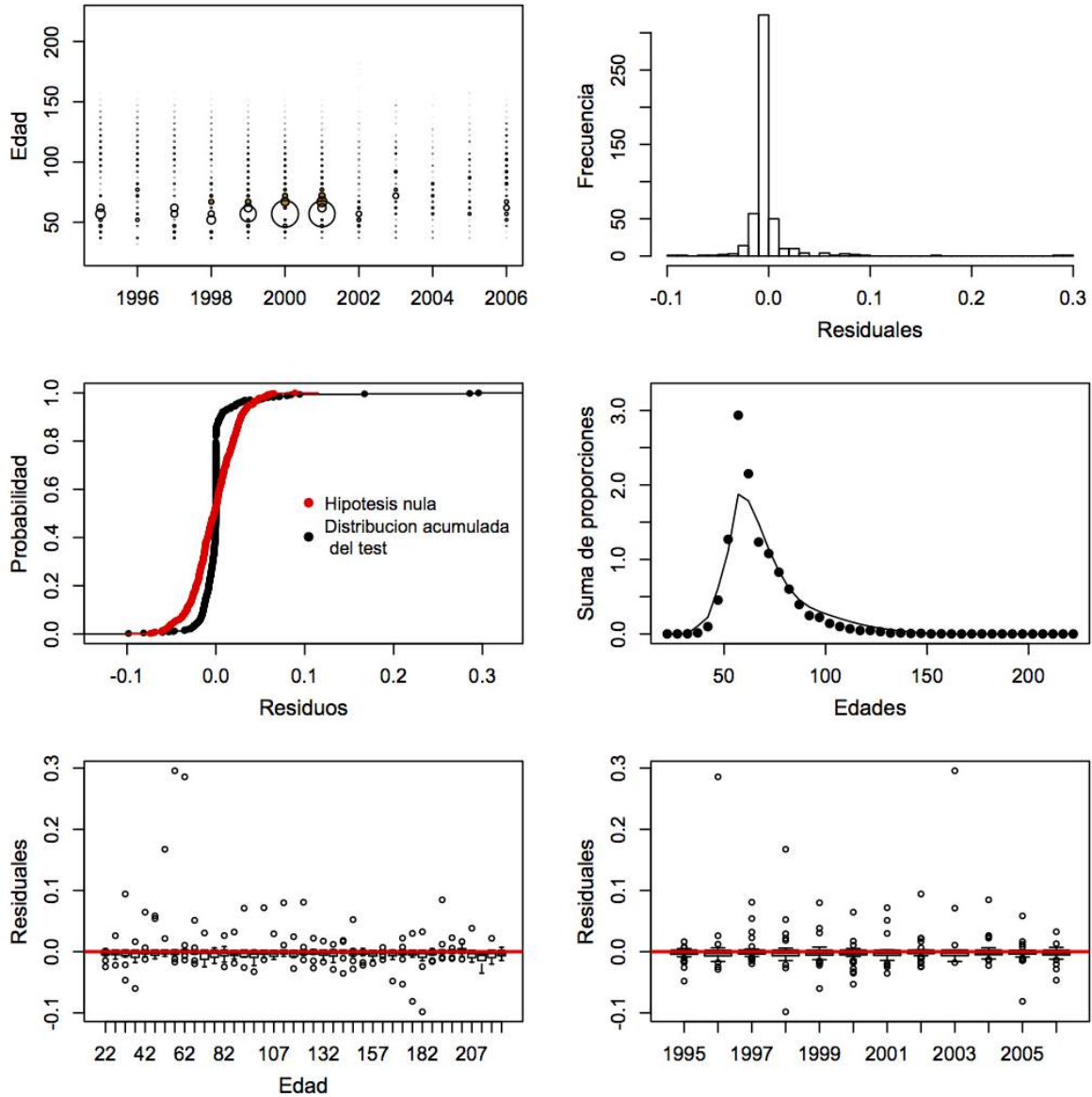
Figura 1. Análisis de residuales de la composición de edades de las capturas industriales. Años 2007 a 2015. Caso 1.



**Figura 2.** Análisis de residuales de la composición de edades de las capturas artesanales. Años 2007 a 2015. Caso 1.



**Figura 3.** Análisis de residuales de la composición de longitudes de las capturas industriales. Años 1995 a 2006. Caso1.



**Figura 4.** Análisis de residuales de la composición de longitudes de las capturas artesanales. Años 1995 a 2006. Caso1.

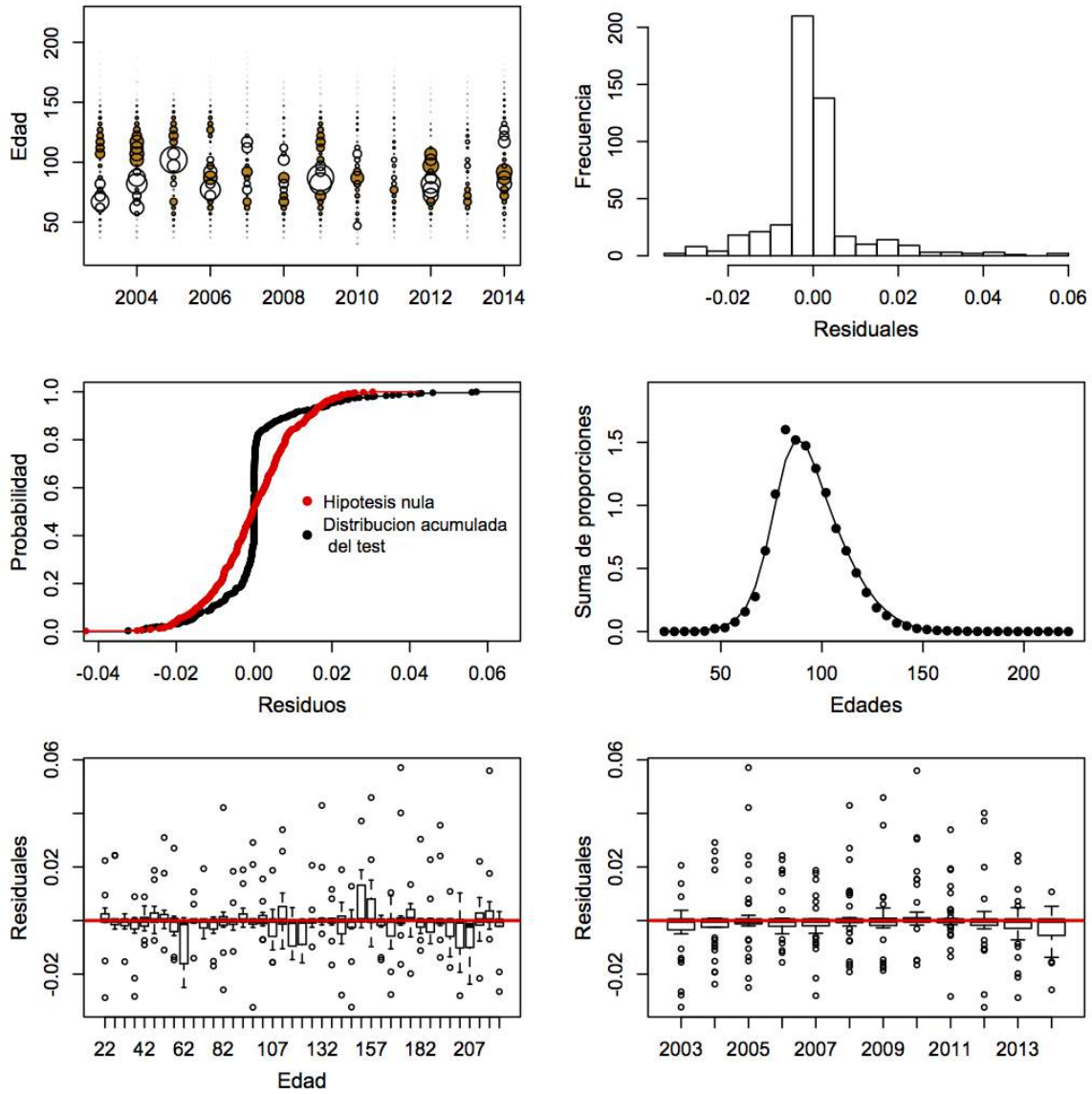
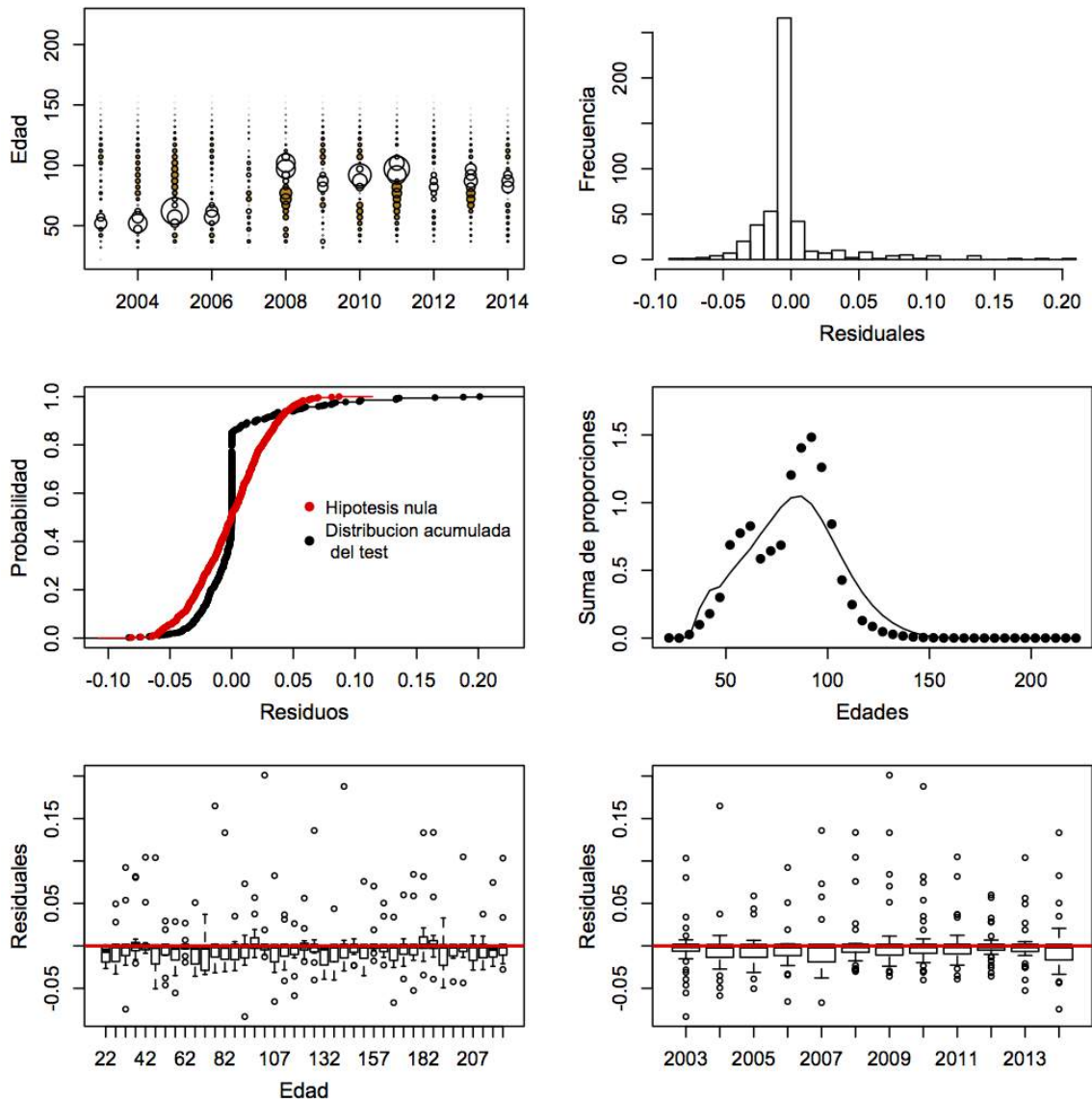


Figura 5. Análisis de residuales de la composición de longitudes de las capturas de palangre de Argentina. Años 2003 a 2014. Caso1.



**Figura 6.** Análisis de residuales de la composición de longitudes de las capturas de arrastre de Argentina. Años 2003 a 2014. Caso1.



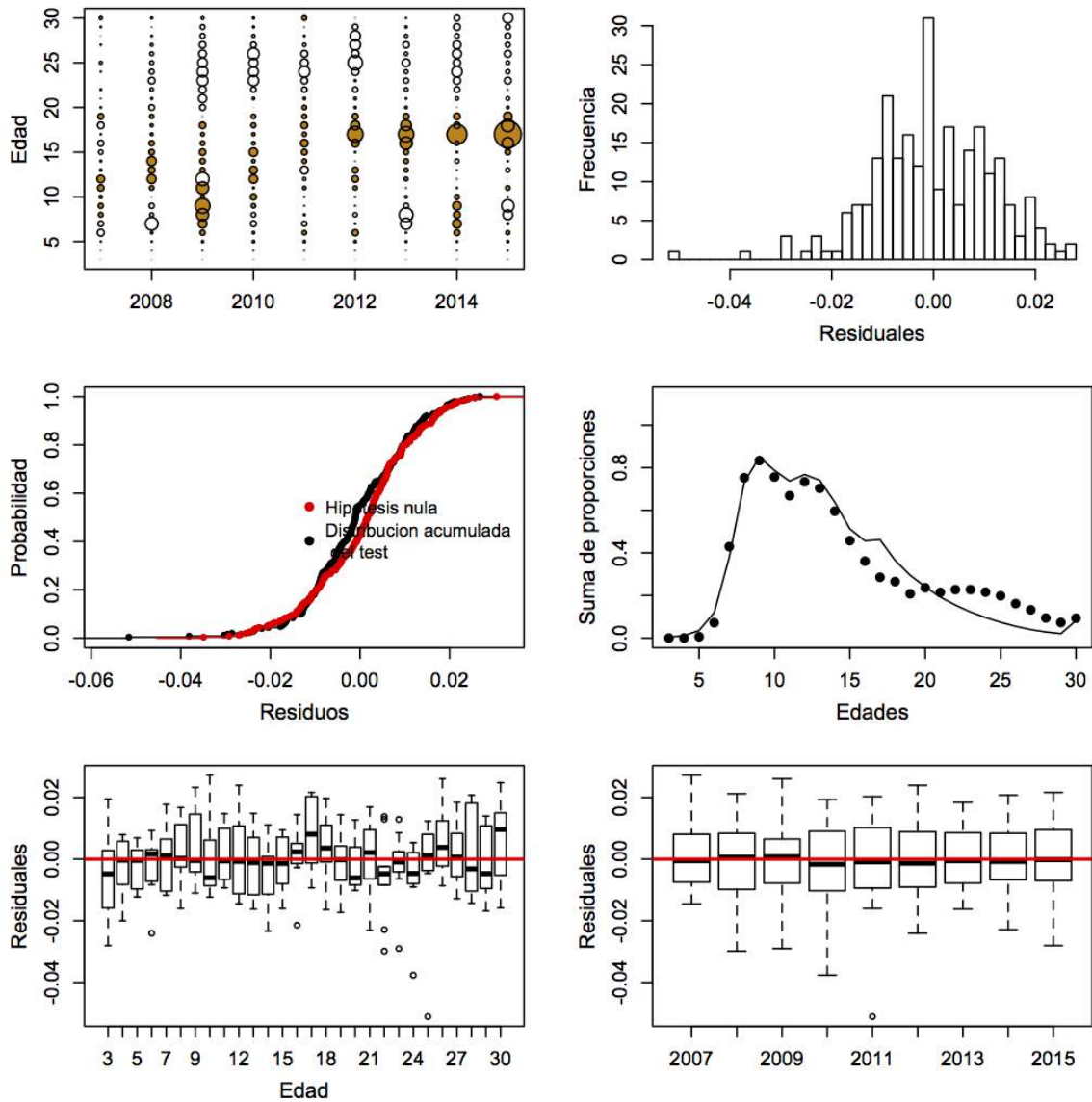
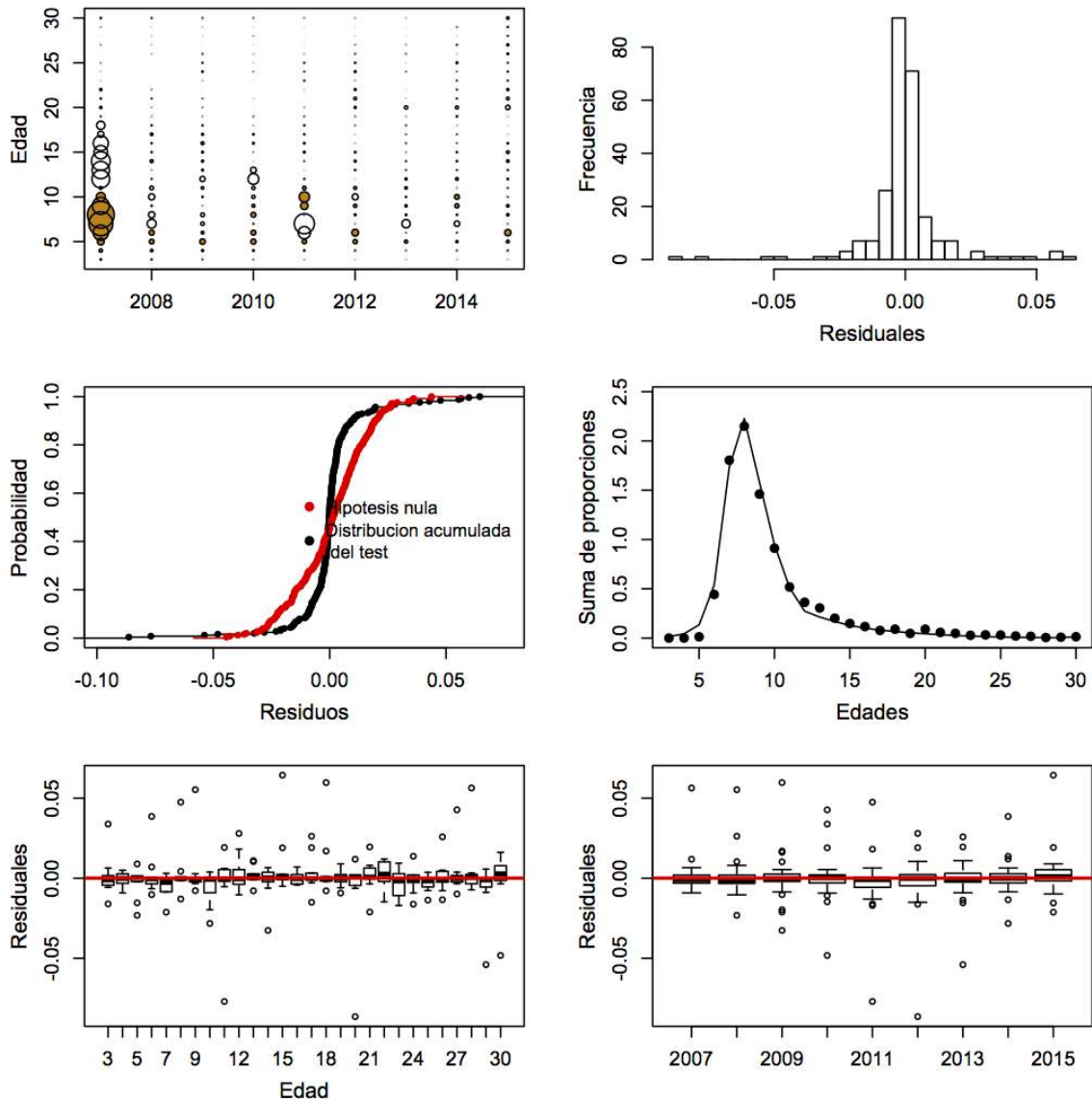
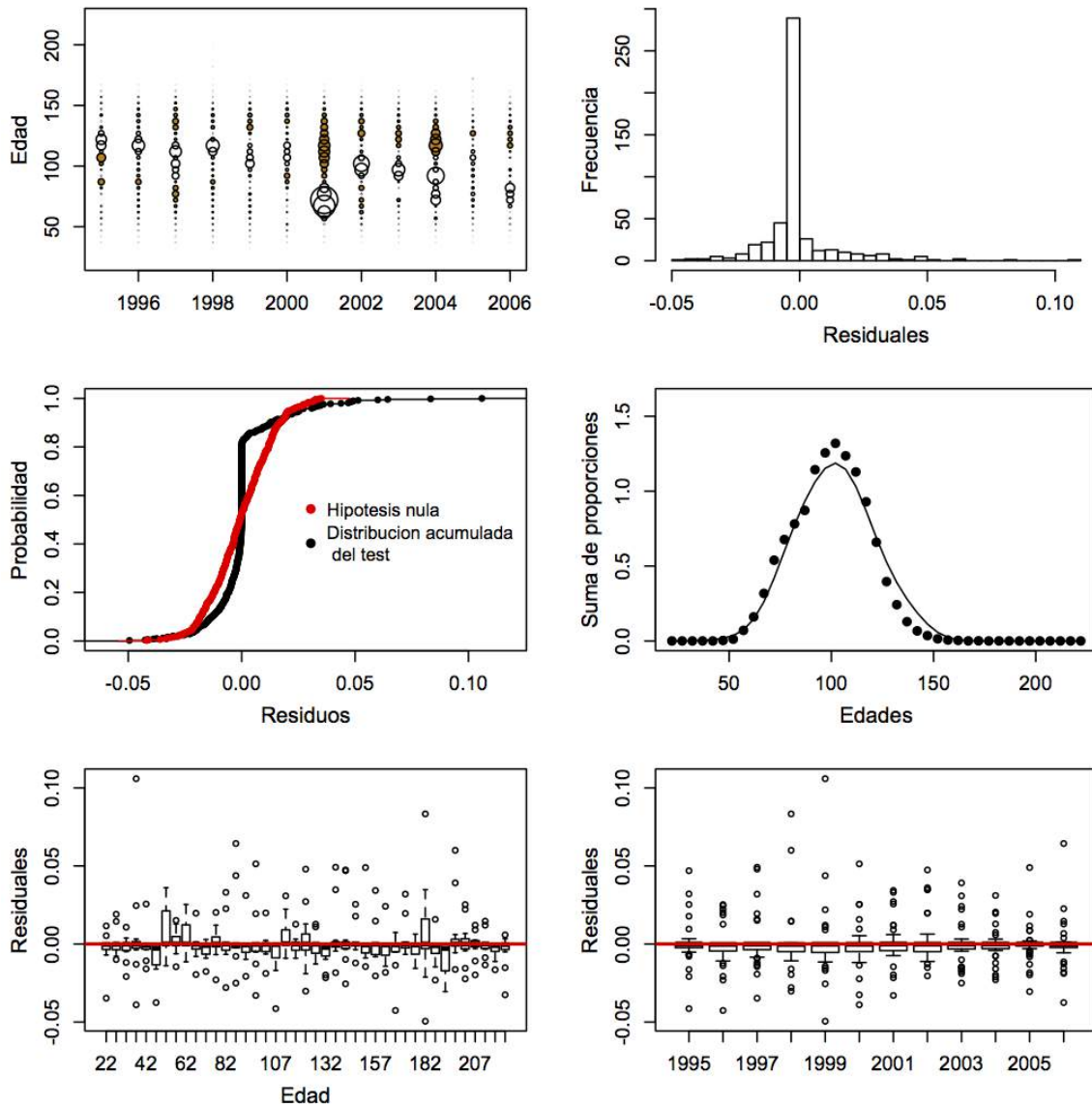


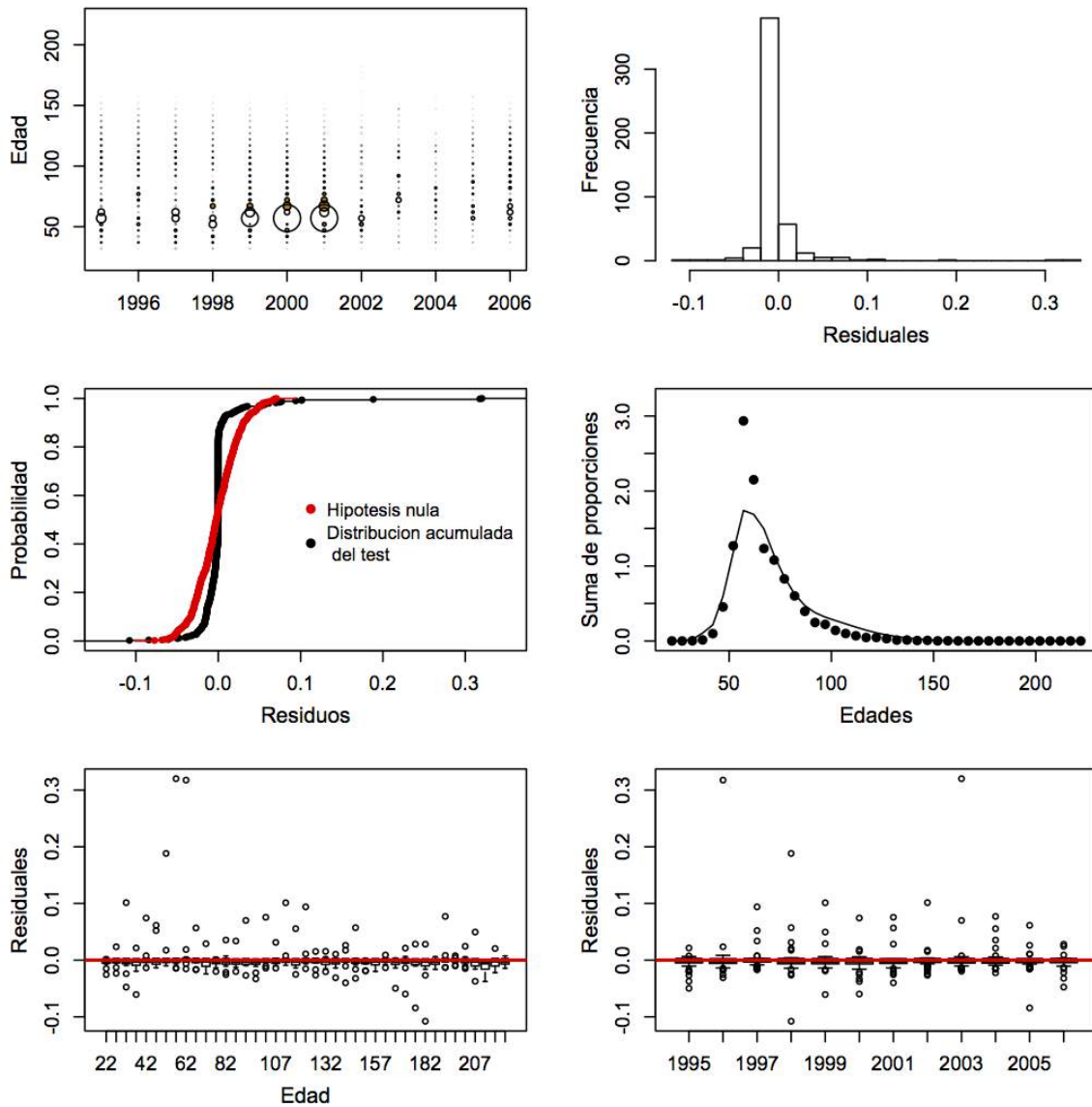
Figura 7. Análisis de residuales de la composición de edades de las capturas industriales. Años 2007 a 2015. Caso 2.



**Figura 8.** Análisis de residuales de la composici3n de edades de las capturas artesanales. Años 2007 a 2015. Caso 2.



**Figura 9.** Análisis de residuales de la composición de longitudes de las capturas industriales. Años 1995 a 2006. Caso 2.



**Figura 10.** Análisis de residuales de la composición de longitudes de las capturas artesanales. Años 1995 a 2006. Caso 2.

# **A N E X O 4**

---

Datos Modelo Bacalao profundidad 2017  
*(Incluida en CD presentado al inicio del documento)*





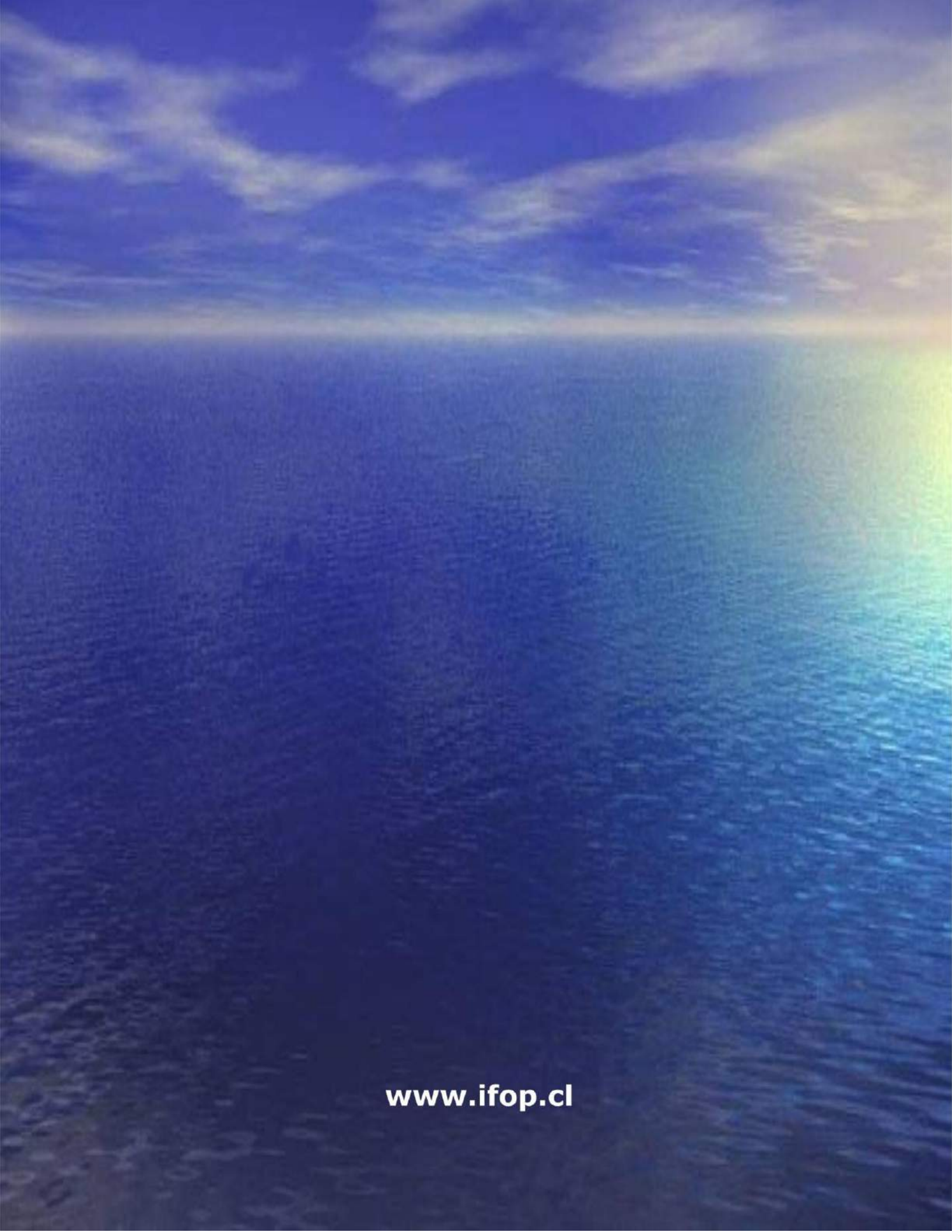
---

**INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO**

Sección Ediciones y Producción  
Almte. Manuel Blanco Encalada 839,  
Fono 56-32-2151500  
Valparaíso, Chile  
[www.ifop.cl](http://www.ifop.cl)

---





[www.ifop.cl](http://www.ifop.cl)