



## **INFORME ESTATUS Y CBA**

Convenio de Desempeño 2019

Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2020:

**Bacalao de profundidad**

**SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Agosto 2019**



## **INFORME ESTATUS Y CBA**

Convenio de Desempeño 2019  
Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de  
los principales recursos pesqueros nacionales, año 2020:

**Bacalao de profundidad**

**SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Agosto 2019**

### **REQUIRENTE**

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

Subsecretario de Economía y Empresas de Menor Tamaño  
**Ignacio Guerrero Toro**

### **EJECUTOR**

**INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP**

Director Ejecutivo  
**Luis Parot Donoso**

Jefe (I) División Investigación Pesquera  
**Sergio Lillo Vega**

### **JEFE DE PROYECTO**

Renzo Tascheri Oyaneder

### **AUTOR**

Renzo Tascheri Oyaneder



## RESUMEN EJECUTIVO

---

El **Informe Estatus y CBA** de bacalao de profundidad reporta el estado de situación del recurso actualizado al año 2018 y el análisis de Captura Biológicamente Aceptable (CBA) para el año 2020.

La primera parte del informe introduce y describe los antecedentes de historia de vida del recurso y los datos e información disponibles junto con los modelos conceptuales que sirven de marco para interpretar estos datos e información, entregando de esta manera el contexto que soporta la implementación de la evaluación del stock de este recurso.

El informe detalla también los procedimientos metodológicos seguidos para estimar los parámetros y puntos biológicos de referencia y el modo en que estos son usados para determinar el estatus de este recurso de acuerdo con las disposiciones y convenciones adoptadas por el comité Científico Técnico Recursos Demersales de Aguas Profundas (CCT-RDAP).

En la segunda mitad de este informe se entregan los resultados de la evaluación de stock, incluyendo los ajustes de los modelos y una descripción de las fluctuaciones y características más relevantes de los principales parámetros y variables de estado. Se informan también las estimaciones de los puntos biológicos de referencia y el estudio del estatus del recurso que hacen uso de los resultados de la evaluación. Finalmente se realiza un estudio de la CBA, se discuten los resultados y se extraen conclusiones.

La evaluación del stock de bacalao de profundidad fue actualizada usando los nuevos datos disponibles para el año 2018 con soporte en los dos modelos conceptuales que han sido usados en las recientes implementaciones de esta evaluación. De este modo, se realizaron actualizaciones de los dos casos de evaluación basados en estos modelos conceptuales: en el Caso 1 se asumió que las poblaciones de bacalao del Pacífico y Atlántico forman parte de un único stock y en el Caso 2 se asumió que el bacalao de profundidad distribuido en el Pacífico sur oriental corresponde a una población cerrada con relación a los individuos desovantes y al reclutamiento y de este modo que éste es independiente de las capturas del realizadas Atlántico.

Los nuevos datos incluyeron las composiciones de edad de las pesquerías artesanal e industrial chilenas, actualizaciones de los índices de abundancia relativa basadas en datos recopilados por el proyecto de seguimiento de estas pesquerías y las capturas realizadas en el año 2018 tanto en las pesquerías chilenas como en las argentinas.



Los resultados mostraron que la biomasa desovante se redujo rápidamente entre los años 1988 y 2003 hasta un 30% del tamaño inicial, pero también que la tasa de reducción en biomasa fue notablemente menor entre los años 2004 y 2014 y que ésta se ha mantenido relativamente estable en los últimos 3-4 años, alcanzando las 52.884 toneladas en el año 2018 de acuerdo con el Caso 1 o 32.292 toneladas según el Caso 2.

Siguiendo las fluctuaciones de la biomasa desovante, el potencial reproductivo de este recurso experimentó una importante reducción en los años 90s, como resultado del incremento de la mortalidad que resultó del desarrollo de la pesquería artesanal y las actividades de pesca industrial en los océanos Pacífico y Atlántico, alcanzado el nivel objetivo en la segunda mitad de la década de los 90s. A pesar de una reducción en el esfuerzo de pesca entre los años 2000 a 2007, que mantuvo el potencial reproductivo cercano a un 30%, un nuevo incremento en el esfuerzo de pesca, que tuvo lugar en los últimos 10 años, localiza el potencial reproductivo del año 2018 próximo a su valor límite de 20%, estimándose su valor en 0,23 en los dos casos de evaluación estudiados.

De esta manera los resultados de la evaluación de stock, actualizada al año 2018, indican que la situación del bacalao de profundidad es aquella de una **pesquería sobreexplotada**.

Los factores y procesos que probablemente se han combinado para determinar la situación presente de este stock son discutidos en la sección final de este informe.



## ÍNDICE GENERAL

	Página
<b>1. OBJETIVOS DEL PROYECTO .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Objetivos .....</b>	<b>5</b>
<b>2. ANTECEDENTES.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Descripción del recurso .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2 Pesquería.....</b>	<b>11</b>
2.2.1 Escenario internacional .....	11
2.2.2 Pesquería chilena de bacalao de profundidad .....	15
2.2.3 Pesquería argentina de bacalao de profundidad .....	18
2.2.4 Pesquería peruana de bacalao de profundidad .....	19
2.2.5 Aparejos y métodos de pesca .....	21
<b>2.3 Modelo conceptual .....</b>	<b>25</b>
<b>2.4 Parámetros de historia de vida.....</b>	<b>26</b>
2.4.1 Mortalidad natural.....	26
2.4.2 Crecimiento .....	28
2.4.3 Madurez sexual .....	30
2.4.4 Productividad y resiliencia.....	33
<b>3. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....</b>	<b>36</b>
<b>3.1 OBJETIVO 1: Implementar procedimientos de evaluación de stock.....</b>	<b>36</b>
3.1.1 Datos disponibles para la estimación de parámetros.....	36
3.1.2 Composiciones de longitud .....	37
3.1.3 Composiciones de edad .....	40
3.1.4 Pesos medios a la edad .....	41
3.1.5 Bitácoras de pesca y registros oficiales de captura .....	42
3.1.6 Capturas .....	44
<b>3.2 Descripción general del modelo.....</b>	<b>49</b>
3.2.1 Estructura del modelo .....	49
3.2.2 Diagnóstico del modelo de evaluación .....	50
3.2.3 Incertidumbre del modelo.....	51
3.2.4 Ponderación de los datos de composición de las capturas tomando en consideración las correlaciones .....	51
<b>3.3 OBJETIVO 2: Establecer el estatus actualizado del recurso .....</b>	<b>53</b>
3.3.1 Evaluación del estatus basado en la biomasa desovante.....	53
3.3.2 Marco biológico de referencia .....	53
<b>3.4 OBJETIVO 3: Análisis de Captura Biológicamente Aceptable.....</b>	<b>57</b>
<b>3.5 OBJETIVO 4: Programa de Mejoramiento Continuo.....</b>	<b>57</b>
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>58</b>
<b>4.1 OBJETIVO 1: Implementar procedimientos de evaluación de stock.....</b>	<b>58</b>
4.1.1 Ponderación de los datos y penalizaciones.....	58
4.1.4.1 Selectividades.....	84
4.1.4.2 Mortalidades.....	87
4.1.4.3 Reclutamientos .....	89



4.1.4.4	Biomاسas .....	91
4.1.5	Resumen de la evaluación de stock.....	94
<b>4.2</b>	<b>OBJETIVO 2: Establecer el estatus actualizado del recurso .....</b>	<b>95</b>
4.2.1	Puntos biológicos de referencia .....	95
4.2.2	Evaluación del estatus basado en la biomasa desovante.....	96
4.2.3	Marco biológico de referencia .....	96
4.2.4	Resumen del estatus del stock de bacalao de profundidad.....	98
4.2.5	Estado de situación de la pesquería de bacalao de profundidad.....	99
<b>4.1</b>	<b>OBJETIVO 3: Análisis de la Captura Biológicamente Aceptable.....</b>	<b>100</b>
<b>5.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>110</b>

## ANEXOS

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

**Anexo 2.** Estimación de índices de abundancia relativa.

**Anexo 3.** Residuales de los datos de composición de edad y longitud de las capturas y de los índices de abundancia relativa.



## **1. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

---

### **1.1 Objetivos**

- Implementar procedimientos de evaluación de stock basados en protocolos científicos para la determinación del estatus de bacalao de profundidad con arreglo al nivel de conocimiento, información e incertidumbre correspondiente, conforme a los estándares actuales en ciencia pesquera.
  
- Establecer el estatus actualizado del recurso bacalao de profundidad, sobre la base de sus principales indicadores estandarizados de estado y flujo al menos por grupo de pesquerías, incorporando la incertidumbre de estimación involucrada, empleando el mejor conocimiento e información disponible a la fecha de ejecución del estudio, acorde con los estándares definidos por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura y recomendados por los Comités Científico y Técnico respectivos.
  
- Realizar los análisis estocásticos de las posibilidades futuras de explotación y la determinación de los niveles de Captura Biológicamente Aceptable (CBA) de bacalao de profundidad, para la siguiente temporada extractiva anual (año 2020), reportando el riesgo de no alcanzar los objetivos de conservación, considerando la incertidumbre de la estimación de sus indicadores y estados probables de la naturaleza, conforme a lo dispuesto por la Ley General de Pesca y Acuicultura y en el Plan de Manejo o Programa de Recuperación respectivo, según corresponda.
  
- Informar el avance del Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría Científica (PMCCAC) realizado durante el presente proyecto y consignar en un listado de comprobación (checklist) el cumplimiento de cada una de las recomendaciones realizadas en las revisiones por pares, cuando corresponda.



## **2. ANTECEDENTES**

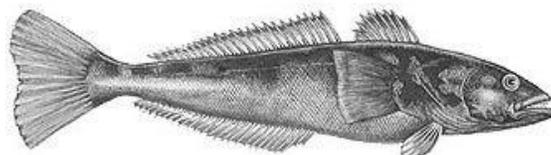
---

De acuerdo con la Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA) de Chile, la Subsecretaría de Pesca tiene la responsabilidad de elaborar el programa de investigación necesario para la regulación de la pesca y la acuicultura, cuyos resultados sirven de base para la fundamentación de las medidas de administración y conservación y en general para el proceso de toma de decisiones para la actividad pesquera extractiva (Párrafo 1º Artículo 91). Este programa comprende proyectos de investigación básica o permanente que son ejecutados por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) incluyendo entre otros, la evaluación indirecta de los stocks con el objeto de determinar su estado de situación y las posibilidades de explotación biológicamente sustentables o captura total permisible (Párrafo 1º Artículo 92).

En este contexto el IFOP ejecuta el Convenio de Desempeño que incluye el estudio Estatus y Posibilidades de Explotación Biológicamente Sustentables de los Principales Recursos Pesqueros Nacionales al año 2019 entre los cuales se encuentra el bacalao de profundidad.

En consecuencia, el proyecto de Estatus y Posibilidades de Explotación de Bacalao de profundidad constituye uno de los sustentos técnicos fundamentales para el proceso de toma de decisiones para la actividad pesquera extractiva de este recurso, permitiendo establecer los rangos de Captura Biológicamente Aceptable (CBA).

## 2.1 Descripción del recurso



**Figura 1.** Bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898). Ilustración: Bruce Mahalski.

El recurso bacalao de profundidad (**Figura 1**) es un pez de aguas profundas (50-3.000 m) perteneciente a la familia *Nototheniidae* que es conocido internacionalmente como Patagonian toothfish, Chilean sea bass o merluza negra.

*D. eleginoides* tiene una distribución circum-sub-Antártica encontrándose en la plataforma continental del sur de la Patagonia y Chile, alrededor de islas sub-antárticas (Georgias del Sur, Shag Rocks, Crozet, Kerguelen, Heard y MacDonald, Macquarie e islas del Príncipe Eduardo), bancos (e.g. Banco Banzare) y montes submarinos (e.g. Lena y Ob) entre las latitudes 45° y 62°.

Su distribución recorre la Convergencia Antártica y se extiende al norte hasta los 37° S en la plataforma Patagónica en el Atlántico (Nakamura 1986), desde el Norte de Perú hasta el extremo austral de Chile en el Pacífico (Oyarzún y Campos 1987, Guerrero y Arana 2009) y hasta los 40° en el Suroeste del océano Índico (Abellán 2005).

En el mar de Escocia, la distribución se extiende desde el Oeste de Shag Rocks hasta Georgia del Sur y la región Norte de las Islas Sandwich del Sur. El registro más austral corresponde a 61°24'S en aguas de la Isla King George (Arana y Vega, 1999) y el más septentrional al Estrecho Davis (63° 02' N, 53° 32' W, a una profundidad de 1.331 m) frente a Groenlandia (Møller et al. 2003). El bacalao de profundidad es común también en la región norte del Mar de Ross (Hanchet et al., 2004).

Durante su ciclo de vida el bacalao de profundidad ocupa un amplio rango batimétrico. El reclutamiento a menudo se concentra espacialmente sobre áreas reducidas y la fase juvenil transcurre en aguas someras donde los individuos permanecen por espacio de 4 a 5 meses. En la plataforma Patagónica, la Isla de los Estados es la principal área de reclutamiento, sin embargo los reclutas también pueden observarse en pequeños números a través de la plataforma sur de la Patagonia (Collins et al., 2010).



En la plataforma patagónica los juveniles y sub-adultos se encuentran en un rango de profundidad entre 150 y 400 m hasta que alcanzan los 7 a 8 años de edad (Laptikhovsky and Brickle 2005). Cuando alcanzan un tamaño de 50–70 cm. LT, los juveniles de bacalao se dispersan y migran gradualmente hacia aguas más profundas a través del talud continental, lo que puede estar asociado con cambios en crecimiento, la dieta y/o con el inicio de la maduración sexual (Laptikhovsky et al. 2006, Collins et al. 2010). En general los adultos de bacalao ocupan aguas profundas (>500 m) y de este modo exhibe el típico patrón de estratificación por tamaño con la profundidad, comúnmente observado en peces de aguas profundas (Collins et al., 2010).

El estudio genético de Canales-Aguirre et al. (2018), sugiere la existencia de una sola gran población que distribuida desde el norte del Perú hasta el extremo austral de Chile y desde allí hasta las costas de Argentina, incluyendo las Islas Malvinas.

La dispersión puede tener lugar a través de dos mecanismos, dispersión de huevos y larvas y el movimiento de adultos. Las aguas profundas pueden representar una barrera para los adultos y el Frente Polar Antártico puede prevenir el transporte larval (Smith y McVeagh 2000, Shaw et al. 2004), sin embargo, en áreas de fuertes corrientes, la dispersión de juveniles puede ser favorecida por el largo estadio larval (Toomey et al., 2016). De acuerdo con estudios de marcaje, el bacalao de profundidad normalmente no realiza desplazamientos de larga distancia (Welsford et al. 2012, Brown et al. 2013) y consecuentemente, la existencia de meta-poblaciones es una hipótesis viable (Toomey et al., 2016). Excepcionalmente, se han documentado también situaciones en donde los individuos han mostrado la capacidad de realizar grandes desplazamientos (Møller et al. 2003, Welsford et al. 2011). Sin embargo, estos movimientos no representan necesariamente contribuciones genéticas y *D. eleginoides* es aún considerada una especie que exhibe un alto grado de filopatría (Welsford et al. 2011).

*D. eleginoides* es un desovador sincrónico con dos a tres grupos de ovocitos de diferente tamaño i.e. un grupo en el estadio de crecimiento primario y dos grupos de ovocitos vitelogenicos (Kock y Kellermann 1991, Young et al. 1999, Boucher 2018).

En términos generales, el desove del bacalao de profundidad tiene lugar durante el invierno austral entre junio y septiembre (Agnew et al., 1999, Laptikhovsky et al., 2006, Lord et al., 2006). Frente a la costa Pacífica de Sudamérica, esta especie presenta un período amplio de desove y la evidencia sugiere que este proceso sólo tiene lugar en la región austral de Chile (Young et al., 1999, Arana 2009). Aquí el desove se inicia en julio y termina en octubre, exhibiendo su máxima expresión en septiembre (Arana 2009). Esta región de desove conecta con el área de puesta en la plataforma Argentina delimitada por el Banco Burdwood, sur del estrecho de Le Maire y sur de Tierra del Fuego (57°S) (Pájaro et al. 2005, Laptikhovsky et al., 2006), donde el desove tiene lugar anualmente entre abril y agosto con dos máximos en mayo y agosto (Boucher 2018).



Una característica de gran importancia y que requiere de mayor investigación, es la posibilidad de que no todas las hembras maduras de bacalao de profundidad desoven cada año. En su estudio de la biología reproductiva de bacalao de profundidad en las Islas Malvinas, Boucher (2018) encontró que las hembras en estados de desarrollo gonadal incrementaban su frecuencia en diciembre y marzo en anticipación a los máximos reproductivos de mayo y agosto, respectivamente. Sin embargo, la mayoría de la población consistió de individuos no-desovantes que permanecieron en el estadio de regresión gonadal. La reabsorción del tejido gonadal fue observada en 1 a 22% de las hembras que omitieron el desove. Este autor sugiere que esto posiblemente se debe a que los individuos que permanecen en el área de desove tienen una mayor oportunidad de participar del proceso reproductivo, a diferencia de aquellos que emprenden migraciones con fines de alimentación (Boucher 2018).

En su estudio de las características reproductivas de la población de bacalao de profundidad de las Islas Georgias del Sur, a través de una serie de 18 años (1997-2014), Brigden et al. (2017) encontraron que la fracción de individuos desovantes en la población experimentó una reducción en tamaño y masa, sugiriendo que esta reducción en el número de individuos de gran tamaño puede ser el resultado de una prolongada explotación pesquera.

*D. eleginoides* tiene una longevidad de 35 a 53 años (Kalish y Timmiss 1998, Horn 2002, Oyarzún et al. 2003b) y alcanza su primera madurez sexual a los 8-10 años de edad (Kock et al. 1985).

La dieta de los peces adultos es de tipo generalista, con una tendencia a los peces óseos (Oyarzún et al. 2003b, Collins et al. 2010, López et al. 2014). Con el incremento en tamaño de los individuos, la dieta cambia para incluir especies de mayor tamaño y de distribución más profunda (Arkhipkin et al. 2003).

En aguas profundas de la plataforma continental del Pacífico (al sur del paralelo 47°L.S.), *D. eleginoides* exhibe una alta tasa de depredación, alimentándose principalmente de gadiformes (Cohen et al. 1990) de las familias *Merluccidae* (merluzas) y *Macrouridae* (peje ratas, granaderos) (Sallaberry-Pincheira et al. 2018), si bien peces ofididos (*Genypterus maculatus* Tschudi, 1846), también han sido referidos como presas importantes (Murillo et al. 2008).

Los datos acerca de los depredadores del bacalao de profundidad son relativamente limitados. En aguas someras, los reportes de depredadores de juveniles incluyen pingüinos (Goldsworthy et al., 2001), lobos marinos (Reid y Arnould, 1996) y elefantes marinos (Reid y Nevitt, 1998), pero con el incremento de tamaño y profundidad del hábitat, probablemente el rango de potenciales depredadores se reduce (Collins et al., 2010).



Los depredadores más importantes de los adultos son probablemente grandes vertebrados, capaces de bajar hasta aguas profundas, tales como cachalotes (*Physeter macrocephalus*) y elefantes marinos (*Mirounga leonina*; Reid y Nevitt 1998, van den Hoff et al. 2017), que tienen la capacidad de sumergirse hasta el hábitat del bacalao. Las ballenas de esperma son en general considerados grandes depredadores de calamar, pero los registros de bacalao en estómagos de estas ballenas, sugieren que estas son también importantes depredadores de bacalao (Abe y Iwami 1989). Recientemente Tixier et al. (2019a) usaron isótopos estables para obtener evidencia de que el bacalao de profundidad también constituye un ítem presa importante en la dieta natural (i.e. no fue incorporado en la dieta como consecuencia del desarrollo de la pesca de palangre) de las orcas (*Orcinus orca*) en las islas Crozet.

Cachalotes y orcas capturan bacalaos desde los espineles, durante las operaciones de virado de estos aparejos (Ashford et al. 1996, Nolan et al. 2000, Kock et al. 2006, Purves et al. 2004, Rubilar et al. 2014, Tixier et al. 2019a). Recientemente, van den Hoff et al. (2017) utilizando un sistema de video para aguas profundas, capturaron imágenes de *M. leonina* depredando bacalaos desde líneas caladas a profundidades superiores a 1.000 m, estableciendo de este modo que los elefantes marinos al igual que los cachalotes y orcas, también se alimentan de bacalaos en las operaciones de pesca y no de manera natural exclusivamente.



## 2.2 Pesquería

### 2.2.1 Escenario internacional

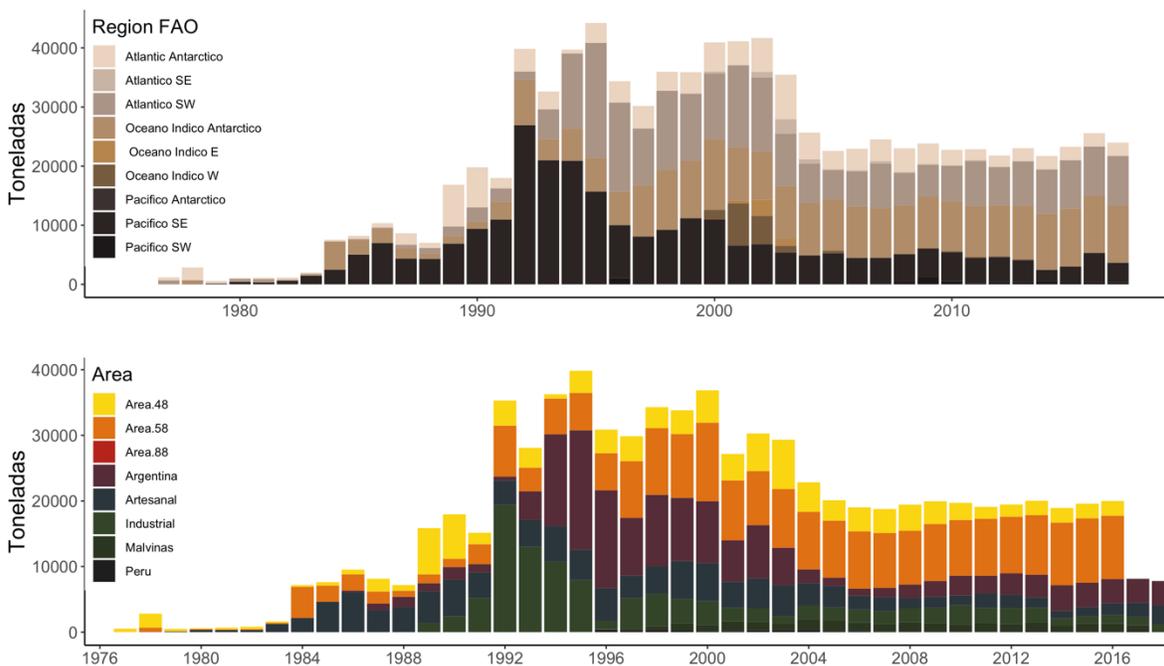
La investigación del bacalao de profundidad como un recurso pesquero potencial se inició en Chile en los años 50s con pescas exploratorias a bajas profundidades (Guerrero y Arana 2009; Moreno 1991). La pesquería comercial de bacalao fue iniciada en la Región de Valparaíso por el sector artesanal en 1970 (Guerrero y Arana 2009) sumándose luego la Región del Biobío y en los años 80s ya se había extendido entre las regiones de Tarapacá y del Biobío.

A fines de los años 60s se inicia la actividad pesquera en aguas subantárticas y entonces el bacalao de profundidad era capturado en pequeñas cantidades como fauna acompañante en la plataforma Patagónica y en las pesquerías de marbled rockcod (*Notothenia rossii*) y Grey rockcod (*Lepidonotothen squamifrons*) alrededor de las islas Georgias del Sur y Kerguelen (Australian Antarctic Division 2001). De este modo, cuando en 1985 se descubrieron cantidades comerciales de bacalao de profundidad en las Kerguelen, el mercado norteamericano de este recurso ya se encontraba establecido (Salas et al. 1987, Australian Antarctic Division 2001).

Debido al alto precio del producto en el mercado internacional, la pesquería rápidamente se expandió a otras áreas incluyendo las islas Georgias del Sur, Marion, Crozet y Príncipe Eduardo, Macquarie y Heard (Australian Antarctic Division 2001).

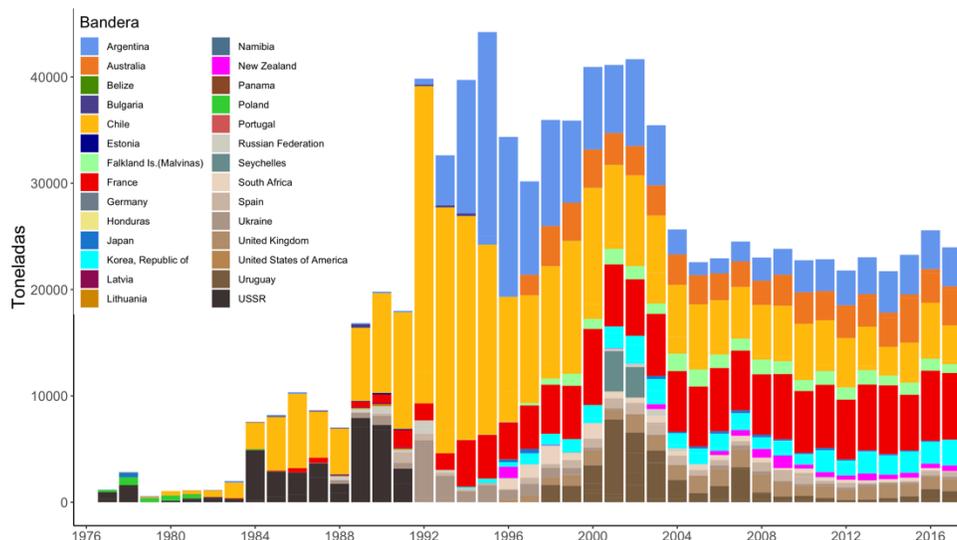
Solamente contabilizando las capturas legales, los desembarques en la zona de CCAMLR y aguas territoriales se incrementaron desde menos de 5.000 t en 1983 a 40.000 toneladas en 1992 (**Figura 2**).

La pesca de bacalao de profundidad se inició con el uso de arrastre de fondo, sin embargo, hoy la mayor parte de los desembarques corresponden a pesca de palangre (o modificaciones e.g. cachalotera) con excepción de la pesca Australiana y Francesa desarrollada en Kerguelen (Australian Antarctic Division 2001) y la pesca Argentina desarrollada en la plataforma patagónica (Wöhler 2013).



**Figura 2.** Desembarques anuales de bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) en diferentes regiones (Fuente FAO; IFOP, IMARPE).

En Georgia del Sur 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 (**Figura 3**). 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). Una peque3a pesquer3a tambi3n se desarrolla en las Islas Sandwich del Sur (Roberts y Agnew 2008, CCAMLR 2009).



**Figura 3.** Desembarques anuales de bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) declarados bajo diferentes pabellones (Fuente FAO).

En 1984/1985 barcos de la Unión Soviética encontraron bacalao de profundidad en la plataforma oeste de la Isla Kerguelen e iniciaron una pesquería de arrastre dirigida a grandes concentraciones de juveniles de este recurso (**Figura 3**). La pesquería de palangre se inició en Kerguelen en 1991 y desde inicios del año 2000 esta pesquería se ha desarrollado exclusivamente usando el espinel (Lord et al., 2006). Las operaciones de pesca en Kerguelen se desarrollan durante todo el año y las capturas legales son del orden de las 5.000 toneladas por año (**Figura 2**).

En 1996 se desarrolló una pesquería de arrastre dirigida al bacalao de profundidad y icefish (*Champscephalus gunnari*) en las islas Heard y McDonald (**Figura 2**). En los años 2002/2003 esta pesquería fue abierta también a la pesca de palangre. La plataforma de las islas Heard y McDonald es contigua con la plataforma de la isla Kerguelen de modo que es probable que las pesquerías de estas localidades estén explotando el mismo stock.



En la isla Crozet, la pesquería de palangre comenzó en 1996/1997 con capturas reportadas del orden de 1.200 toneladas. Actualmente las capturas legales son menores a 1.000 toneladas por año, pero entre los años 1995 y 2002 esta pesquería estuvo sujeta a una considerable pesca ilegal (**Figura 2**).

La pesquería de las Islas Príncipe Eduardo, 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 (Australian Antarctic Division 2001).

La pesca de bacalao de profundidad también ha tenido lugar en bancos aislados y montes submarinos de la CCAMLR, tales como el banco Banzarre y los montes Ob y Lena. Las pesquerías en estas áreas fueron sobreexplotadas rápidamente y hoy permanecen agotadas (McKinlay et al., 2008).

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

La pesquería argentina comenzó en los 90s alcanzando su mayor captura en 1995 con 19.225 toneladas (**Figuras 2 y 3**), sin embargo, desde entonces las capturas se han reducido. En la plataforma patagónica el bacalao de profundidad era inicialmente capturado como fauna acompañante en la pesquería de arrastre, pero luego se establecieron pesquerías de espinel tanto en Argentina como en las Islas Malvinas. Debido a recomendaciones del INIDEP<sup>1</sup>, desde el año 2000 se exigen capturas documentadas y se ha regulado el tamaño de los anzuelos, establecido un tamaño mínimo de captura, profundidades mínimas de operación y un área de protección de juveniles.

La pesca de espinel comenzó en las Islas Malvinas como una pesca experimental en 1992 y se estableció en 1994 (Laptikhovsky y Brickle 2005). Las capturas alcanzaron un máximo de 2.733 toneladas en 1994 y luego se estabilizaron en el rango de las 1.200 - 1.800 toneladas (**Figura 3**).

---

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

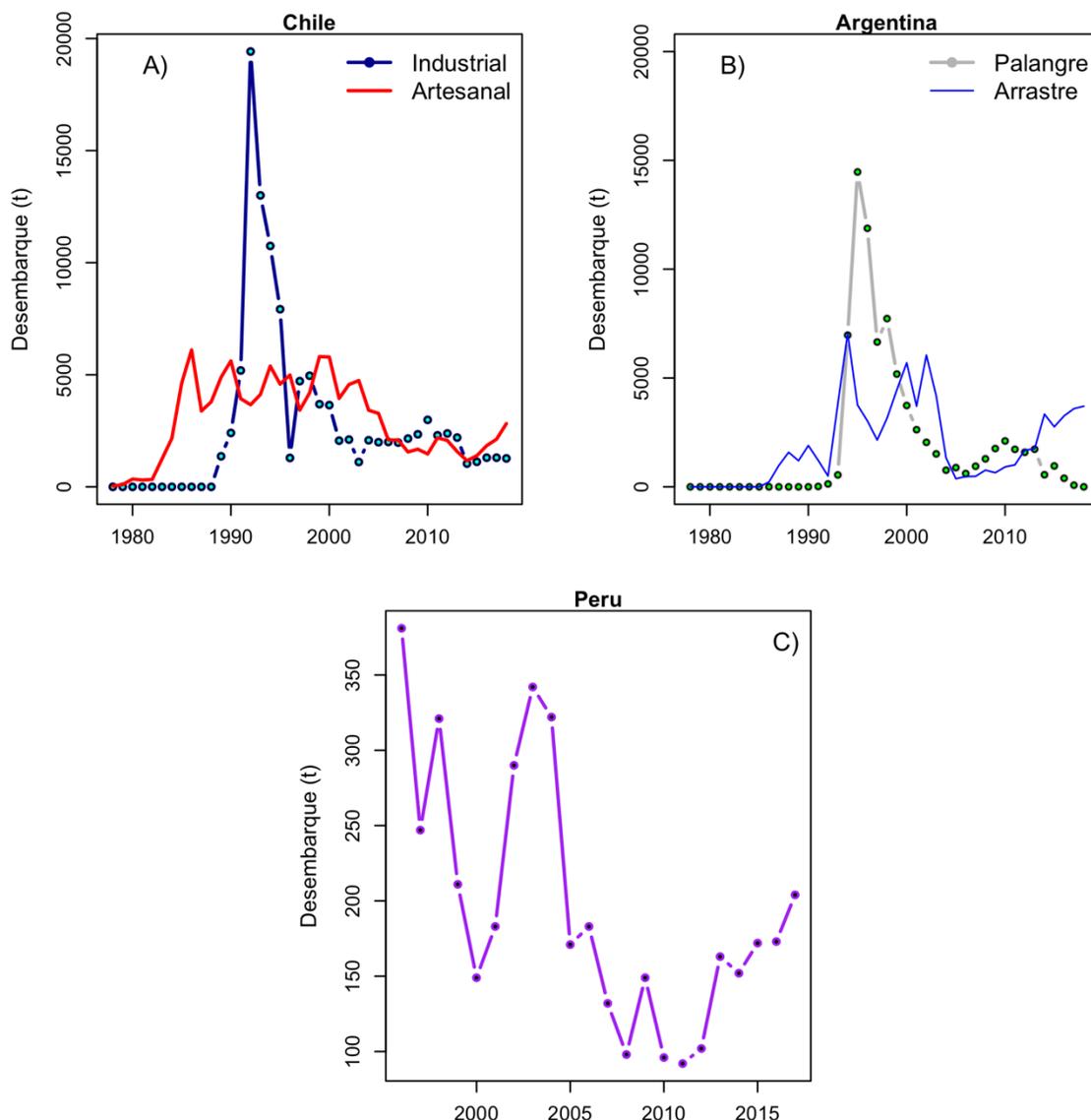


En Uruguay *D. eleginoides* se encuentra presente tanto en la ZEE como en la Zona Común de Pesca (ZCP) compartida con Argentina. Según los resultados de la pesca exploratoria llevada a cabo en 1998, el bacalao de profundidad presenta bajos niveles de abundancia. Históricamente la flota arrastrera captura pequeñas cantidades de bacalao juvenil como pesca incidental de otros recursos y ha sido vendida en el mercado local. Sin embargo, su nivel de abundancia no es considerado suficiente para soportar una pesca dirigida a la especie (Cajal y García Fernández 2002).

## 2.2.2 Pesquería chilena de bacalao de profundidad

En Chile el primer reporte de capturas de este recurso se remonta al año 1888 frente al Archipiélago de los Chonos (De Witt, 1962). Más tarde, en prospecciones pesqueras realizadas frente a Valparaíso en 1955, se registraron capturas de bacalao junto con congrio dorado. Durante la década de los 60s y 70s, se realizaron una serie de investigaciones pesqueras principalmente en la VIII Región, en donde se analizaron tanto el desempeño del arrastre como del espínel de fondo al igual que la selectividad y rendimiento del espínel, probando diferentes diseños, numeración de anzuelos y tiempos de reposo, e incluso en la VIII Región se estudió el desempeño del enmalle. 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 en el talud no era continua sino que presentaba focos de abundancia en donde se localizaban los caladeros (Salas et al. 1987).

La pesquería como tal se inició en 1970, con la actividad de una flota artesanal de la Región de Valparaíso (Guerrero y Arana 2009), incorporándose luego la Región del Biobío. A mediados de los años 80s, la pesca ya se había extendido entre las regiones de Tarapacá y del Biobío. Este desarrollo fue motivado por una fuerte demanda en el mercado norteamericano, lo que facilitó la formación de numerosas pequeñas y medianas empresas, orientadas a la exportación de bacalao. Estas empresas operaban abastecidas por el sector artesanal, a quienes estas habilitaban para su operación. El sector artesanal recibió también apoyo financiero a través de la línea de créditos CORFO/BID lo que les permitió incorporar y/o adecuar embarcaciones y renovar sus equipos de pesca (Salas et al. 1987, Schurman 1996). 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 (Figura 4).



**Figura 4.** Desembarques anuales de bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) en los espacios marítimos Chileno, Argentino y Peruano (notar la escala diferente de los desembarques en Perú). (Fuentes: SERNAPESCA, IFOP, INIDEP y Consejo Federal Pesquero, IMARPE 2017).

De acuerdo con Young et al. (1997), entre los años 1986 a 1996 los rendimientos de pesca presentaban un patrón latitudinal, 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 también describen 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 Región de los Lagos, con el puerto de Quellón como el principal centro de desembarque (Oyarzún et al., 2003b). Esta situación corresponde con la etapa final del progresivo desplazamiento de la flota artesanal hacia el sur descrito en Young et al. (1997), que tuvo lugar desde el inicio de esta pesquería y que se caracterizó por una búsqueda constante del recurso a fin 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). Para enfrentar esta situación, los barcos arrastreros fábrica comenzaron a destinar un mayor esfuerzo de pesca hacia la merluza de cola en tanto que los buques arrastreros hieleros incrementaron sus operaciones en la pesca de merluza común.

Por el contrario, las flotas espinelera hielera y espinelera fábrica, que desde el año 1986 se encontraban operando en la zona sur austral de Chile, no contaban con un recurso alternativo que les permitiera continuar operando. La Subsecretaría de Pesca de Chile impulsó entonces el desarrollo de políticas orientadas a diversificar la explotación pesquera demersal de la región austral hacia otras especies, a fin de disminuir la presión de pesca sobre la merluza del sur y el congrio dorado y estimular el aprovechamiento de recursos alternativos que permitieran a las flotas operar durante todo el año (Aguayo et al. 1991, Young et al. 1997).

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 claras perspectivas para el desarrollo de una nueva pesquería. En consecuencia entre los años 1990 y 1991, la Subsecretaría de Pesca autorizó pescas exploratorias de bacalao en la XI y XII Regiones, las que permitieron comprobar que el recurso se encontraba disponible en el área (Young et al. 1997).

Los resultados obtenidos posibilitaron abrir la pesquería del bacalao al sur del paralelo 47° bajo un régimen de pesquería incipiente, la que es manejada sobre la base de cuotas de captura individuales transferibles. De esta manera la pesquería chilena de bacalao quedó dividida en dos zonas: la zona norte (18° 21' - 47° S), es reservada exclusivamente para la pesca artesanal. La zona sur (47° S - 57° S) corresponde al área de pesca industrial (**Figura 4**).

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



La pesquería chilena de bacalao de profundidad ha sido el origen de innovaciones en los aparejos de pesca, tales como los experimentos en la Región de Valparaíso en los años 80s con espinel de fondo (Salas et al. 1987) y posteriormente el desarrollo de la cachalotera (Moreno et al. 2006, 2008).

### 2.2.3 Pesquería argentina de bacalao de profundidad

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

Desde sus inicios, en el año 1990, la operación con palangre constituyó una pesca dirigida efectivamente hacia el recurso y su área de operación cubría prácticamente todo el rango de distribución del recurso en la plataforma argentina. Esta pesquería fue también la responsable del mayor desembarque histórico de bacalao en Argentina, registrado en el año 1995, luego de lo cual las capturas y los rendimientos de pesca de esta flota se redujeron notablemente (**Figuras 2, 3 y 4**).

La flota que opera con arrastre de fondo inició su operación en 1980, pero sus capturas no fueron significativas sino hasta 1987. La mayor parte de los lances de esta pesca se realizaban entre 100 m y 500 m de profundidad con un gran impacto sobre la fracción juvenil de la población.

Medidas implementadas por la administración pesquera Argentina en 1999, con el objetivo de proteger al stock patagónico de merluza (*Merluccius hubbsi*), causaron un incremento en la asignación del esfuerzo de pesca de esta flota hacia el bacalao de profundidad, la que concentró sus operaciones en las cuadrículas estadísticas 5462 y 5463, localizadas en la vecindad de la Isla de los Estados en donde esta flota realizó el 90% de la captura del año 2000, incrementando significativamente su rendimiento.

El monitoreo de las capturas en los años 2000 y 2001 permitió establecer que estas se componían de un 97% de ejemplares de tamaño inferior a 82 LT cm, longitud empleada por INIDEP para clasificar los individuos como juveniles (Martínez y Wöhler 2016).

Estos indicadores, en conjunto con el conocimiento de historia de vida de la especie, motivaron a INIDEP, representantes de la industria y a la administración pesquera a regular esta actividad a través de la resolución SAGPyA N°19/2002<sup>2</sup> que entre otras disposiciones definió el Área de Protección de Juveniles de Merluza Negra (APJMN) en las cuadrículas 5462 y 5463, fijó en 15% el porcentaje de juveniles permitidos en la composición de las capturas dirigidas a este recurso y estableció la obligatoriedad de embarcar observadores científicos e inspectores en los barcos de esta flota (Martínez y Wöhler 2016).

Esta disposición permitió reducir el porcentaje de juveniles en las capturas y mejorar la información biológica y pesquera para soportar la toma de decisiones de administración (Martínez y Wöhler 2016).

---

<sup>2</sup> Secretaría Argentina de Agricultura, Pesca y Acuicultura



De este modo y luego que los rendimientos de los buques arrastreros experimentaron un incremento entre los años 1993 y 2003 estos mostraron una significativa reducción.

Al mismo tiempo, el número de barcos que componen la flota palangrera ha ido en una gradual disminución, desde un máximo de 24 en 1996, 3 en el año 2013 (Wöhler, 2013) y 1 en 2017 (que sólo realizó una marea). La reducción del tamaño de esta flota ha sido consecuencia de los cambios introducidos en la modalidad de manejo de esta pesquería, principalmente mediante el otorgamiento de cupos limitados de captura para la especie (Martínez y Wöhler, 2005, 2006, Wöhler y Martínez, 2005).

En el presente participan en la pesquería 5 barcos arrastreros (con cuota de pesca asignada) (Wöhler 2013).

#### 2.2.4 Pesquería peruana de bacalao de profundidad

Los registros de pesca oficiales de *D. eleginoides* en el Perú se inician en 1995 (**Figura 4**) con la operación de la empresa SIPESA, pionera en la pesca de bacalao de profundidad en Perú y en la colocación del producto peruano en el mercado de Estados Unidos.

La pesquería de bacalao de profundidad se inició oficialmente en el Perú en 1999 con lo cual la especie se convirtió en el principal producto de exportación en la categoría de fresco refrigerado (Sancho 2002).

El desarrollo de la pesquería fue impulsado luego en el año 2001 por iniciativas y convenios de cooperación, tanto entre empresas pesqueras peruanas y españolas como con colaboración con el gobierno español que, a través de su Subsecretaría de Pesca Marítima, puso en marcha una campaña de pesca experimental para evaluar la viabilidad de la explotación de bacalao de profundidad y otras especies demersales en el Perú. Esta campaña se llevó a cabo mediante tres buques palangreros, que prospectaron la ZEE del Perú desde el norte hasta el sur de la plataforma y el talud (Sancho 2002, Aramayo 2016).

Los desembarques de este recurso en Perú han sido sin embargo muy variables, tanto en las capturas obtenidas como en las zonas de pesca que han sido reportadas, lo que se debería a la fuerte influencia que ha ejercido el mercado sobre la explotación de esta especie (**Figura 4**; Aramayo 2016).



La flota palangrera que opera sobre el bacalao de profundidad inicialmente estuvo conformada por embarcaciones tanto de menor escala (1-32 m<sup>3</sup>) como de mayor escala (32,6-110 m<sup>3</sup>). En el presente, sin embargo, la pesca es realizada por 6 embarcaciones con una capacidad de bodega que no supera los 32.56 m<sup>3</sup> y que operan a lo largo del litoral (IMARPE 2016).

Con relación a la distribución espacial del esfuerzo las zonas de pesca parecen haber ocurrido progresivamente, desde el inicio formal de la pesquería de bacalao de profundidad (1994-2001) cuando las pescas exploratorias buscaron bacalao en la región sur de la costa peruana (por simple referencia latitudinal a la pesquería de bacalao que se realizaba en Chile), pasando por un período de transición que incluye la ejecución del Reglamento Operativo de Pesca (ROP) del bacalao de profundidad, su aplicación, restricciones (2002-2006) y finalmente el período actual (2007-2013) (Aramayo 2016). Sin perjuicio de ello y desde un punto de vista histórico, las zonas de pesca de las costas central y sur de Perú han sido las más importantes (IMARPE 2016).

El 100% del producto peruano es exportado en forma de congelado/refrigerado (Aramayo 2016).

La reglamentación de pesca del bacalao de profundidad se rige por el ROP (Resoluciones Ministeriales N° 252-2000-PE y N° 236-2001-PE) que apunta a regular el número de embarcaciones de pesca y el esfuerzo de pesca mediante la limitación de permisos para nuevas embarcaciones. Sin embargo, debido a que la pesca es desarrollada por embarcaciones de menor escala, que no están obligadas a instalar a bordo un sistema de seguimiento por satélite (SISESAT), capturas IUU dificultan el monitoreo y registro de la información biológica y pesquera y como consecuencia de ello, el conocimiento que se tiene acerca de la población de *D. eginoides* en aguas peruanas es limitado, con el consecuente efecto que esto tienen para implementar un ordenamiento efectivo de su pesquería (Aramayo 2016).

Sin perjuicio de lo anterior y con soporte en un modelo de biomasa dinámica de Schaefer (1954), se ha establecido que en el año 2017 el recurso se encontraba en estado de sobreexplotación (por debajo de la biomasa que produce el RMS). En este estudio del estatus del recurso, se enfatiza la importancia de mejorar el monitoreo de la actividad mediante el despliegue de observadores científicos y de la mantención de los procedimientos de recopilación de bitácoras de pesca (IMARPE 2016) a fin de dar continuidad y mejorar en el tiempo la información disponible para la evaluación del stock.

En el año 2016 Perú estableció una cuota de captura para este recurso de 135 toneladas R. M. N 264-2016-PRODUCE (IMARPE 2016).



## 2.2.5 Aparejos y métodos de pesca

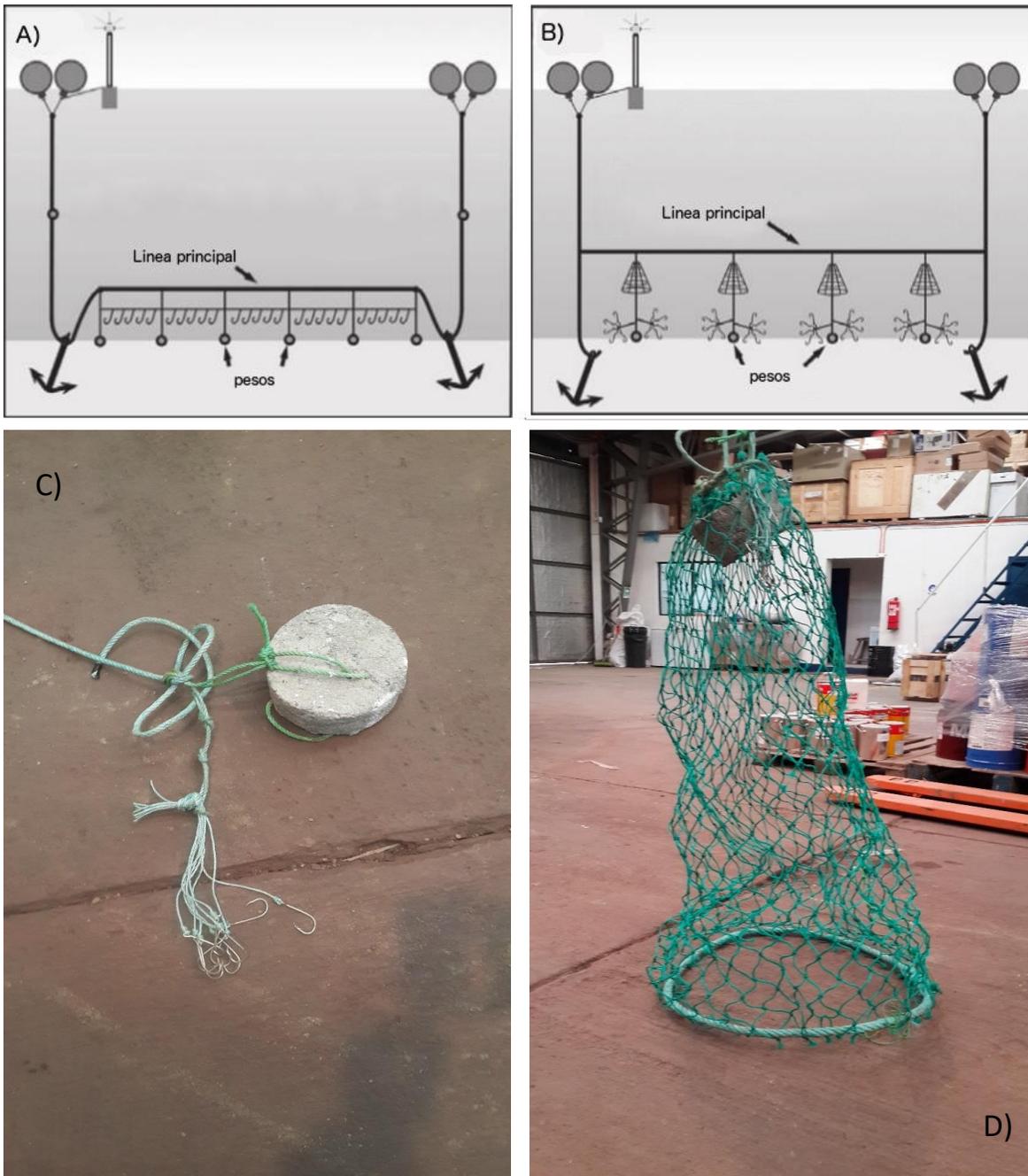
El principal método de pesca usado para capturar adultos de bacalao de profundidad es el espinel o palangre de fondo. Este método consiste en calar una línea larga de anzuelos encarnados en el fondo, a profundidades de hasta 2.000 m. Boyas dispuestas en la superficie señalan la presencia de las líneas. 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 presentan en general una eslora en el rango de 30 – 80 m.

En Chile se han empleado dos tipos de espineles: el sistema español (doble línea) y la cachalotera o sistema trotline, este último normalmente incluyendo redes de exclusión de cetáceos (cachaloteras) (**Figuras 5A y 5B**).

El sistema trotline es una modificación del sistema español, en el cual la línea madre (en donde se disponen los anzuelos) se elimina y los anzuelos son puestos en líneas secundarias que llevan peso. Esto produce un incremento en la velocidad de hundimiento del aparejo durante su calado, reduciendo completamente la mortandad 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 introdujeron en las líneas secundarias del sistema trotline, un cono de red, de tal manera que durante la recuperación del aparejo los peces capturados son cubiertos por este cono, contribuyendo a reducir la depredación por mamíferos marinos (Moreno et al. 2008, Goetz et al. 2011; **Figura 5D**).

El término cachalotera se utiliza indistintamente para referir el sistema trotline modificado con 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 5C**). El sistema se cala en líneas que reciben el nombre de caceas y que tienen una longitud media de 14 km cada una con 720 a 780 líneas secundarias o barandillos. En Chile, dependiendo de la empresa/operador, cada cachalotera incluye un racimo de 6, 8 o 10 anzuelos (**Figura 5C**).



**Figura 5.** Ilustraci3n de los sistemas de espindel usados en Chile. (A) palangre espa1ol (sistema de doble lnea), (B) sistema trotline con cachalotereras (Modificado de Collins et al. 2010). C) racimo de anzuelos y peso; D) posici3n de la cachaloterera durante el virado donde se observa el cono de red. (Fotos: Globalpesca SpA.).

En Chile la cachalotera fue introducida en el año 2006 (Moreno et al 2008) y su adopción fue gradual entre los años 2006 (26% de las operaciones) y 2007 (41%). A partir del año 2008 todos los barcos emplean la cachalotera. En Argentina la cachalotera fue introducida en el año 2009 y hasta el año 2012 se encontraba en uso en el 50% de la flota, representando entre el 42% y 60% de las operaciones. En el presente, la captura de bacalao en Argentina se realiza casi exclusivamente con red de arrastre de fondo (Fuente: INIDEP).

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).

Recientemente se ha observado una modificación adicional a la cachalotera, consistente en una extensión al cono de red de aproximadamente 70 centímetros de malla, con un monofilamento que acciona el cierre del cono durante el virado. Esta innovación fue observada en un barco al inicio de la temporada 2017 y en septiembre del mismo año se extendió a la totalidad de la flota. La nueva modificación ha logrado reducir la pérdida de pesca debido depredación, pero el pescado aún puede sufrir daños por esta causa (**Figura 6**).



**Figura 6.** Fotografía que muestra la malla adicional incluida para cerrar el cono durante el virado y el monofilamento al centro que acciona el mecanismo de cierre (Fuente: IFOP).



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. En esta pesquería se empleaban anzuelos de diseño recto, en un número que fluctuaba entre 3.000 y 10.000 unidades por lance calando la línea muy próxima al fondo (Young et al. 1997).

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

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



## 2.3 Modelo conceptual

La mejor evidencia sugiere que el recurso bacalao de profundidad en la región Patagónica/plataforma de Sudamérica constituye un solo stock (Canales-Aguirre et al. 2018, Polacheck 2015). La información disponible actualmente es, si embargo, insuficiente para determinar el grado de estructuración espacial y temporal de los reclutas y desovantes a través de toda esta región.

Modelos conceptuales alternativos pueden involucrar diferencias importantes en términos del estatus y manejo del recurso y por esta razón en la evaluación de stock es importante considerar modelos conceptuales representativos del rango de alternativas posibles. Desde esta perspectiva, en la evaluación de stock de stock de bacalao de profundidad se consideran dos casos:

### Caso1

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

Las poblaciones del Pacífico y Atlántico están conectadas a través la mezcla de adultos en el área de desove y posiblemente mediante un intercambio limitado de juveniles/sub-adultos. De este modo, el reclutamiento en las plataformas Pacífica y Patagónica depende de la biomasa desovante combinada de ambos océanos.

**Soporte:** existe un área de desove continua entre el Pacífico y el Atlántico y los datos disponibles de marcaje y recaptura sugieren un intercambio de individuos entre los dos océanos.

**Consecuencias:** la pesquería en Chile no puede ser evaluada efectivamente sin considerar las pesquerías del Atlántico.

### Caso2

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

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).

**Soporte:** La fuerte y persistente estructura de corrientes alrededor del cono Sur, el limitado movimiento exhibido por los juveniles (de acuerdo con los datos disponibles de marcaje) y las limitaciones fisiológicas que impiden al bacalao adulto nadar grandes distancias, restringen la conexión entre las poblaciones de los océanos Atlántico y Pacífico.

**Consecuencias:** La pesquería en Chile puede ser evaluada sin considerar las capturas registradas en el Atlántico.



## 2.4 Parámetros de historia de vida.

### 2.4.1 Mortalidad natural

Con la excepción de los modelos de biomasa dinámica (Schaefer 1954), todos los modelos de dinámica de peces requieren la tasa instantánea de mortalidad natural ( $M$ ) como un parámetro. Este es sin embargo extremadamente difícil de medir de manera directa y dado que la mayoría de las poblaciones evaluadas han sido explotadas por un tiempo previo al inicio de la recopilación de datos, la separación de la mortalidad total ( $Z$ ) en la mortalidad atribuible a la pesca ( $F$ ) y  $M$  es problemática (Vetter 1988, Cook 2004).

Por esta razón, en la mayoría de los casos, las estimaciones de  $M$  son realizadas de manera indirecta a partir de características biológicas de la especie, tales como la longevidad y la tasa de crecimiento (Cook 2004) y su valor es asumido como una constante específica para el stock que se está evaluando. Estas estimaciones son, sin embargo, inciertas ya que presumiblemente el valor de  $M$  de un determinado stock experimenta variaciones importantes (Vetter 1988, Clark 1999).

La abundancia de muchos stocks de peces es estimada ajustando modelos estructurados por edades a datos de captura por edades e índices de abundancia relativa, que son obtenidos desde la pesca comercial y cruceros científicos. En general se considera que es a veces posible estimar el valor de  $M$  usando estos modelos, si se cuenta con datos suficientes (Cook 2004, Lee et al. 2011). Francis (2012), sin embargo, recomienda cautela al momento de tomar en consideración las estimaciones de  $M$  obtenidas con estos modelos de evaluación de stock, dada la frecuencia con que se obtienen estimaciones poco realistas.

Se sigue que nuestro conocimiento del valor real de  $M$  y su variabilidad para un determinado stock es aún pobre y la confiabilidad de las estimaciones obtenidas con modelos de evaluación de stock permanece como una pregunta abierta (Vetter 1988, Francis 2012).

El uso de un valor erróneo de  $M$  producirá estimaciones sesgadas del tamaño y la productividad del stock y de este modo tiene también un efecto sobre las tasas de captura sustentables y las cuotas de captura recomendadas.



El uso de un valor erróneo de  $M$  afecta principalmente las estimaciones de la mortalidad por pesca y por lo tanto de la abundancia del stock, pero no tiene un efecto sobre la selectividad. En el corto plazo esto puede causar recomendaciones de tasas de explotación excesivas, cuando el valor de  $M$  se encuentra sobreestimado y las tasas de captura históricas son bajas, lo que puede evitarse adoptando un valor conservador para este parámetro. Por otro lado, el rendimiento de largo plazo bajo una mortalidad igual a  $F_{RMS}$  no es particularmente sensible a error en la tasa instantánea de mortalidad natural, provisto que esta última no se encuentre severamente subestimada (Clark 1999).

La sensibilidad del estatus de la pesquería desarrollada en el cono sur a la incertidumbre del valor de  $M$ , fue explorada para el rango 0,1 a 0,2 (Tascheri et al. 2019, i.e. un rango que contiene todos los valores que se han estimado para este recurso y/o considerado en evaluaciones del stock o (Tabla 1).

**Tabla 1.**

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

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



## 2.4.2 Crecimiento

El crecimiento individual es un proceso biológico fundamental que exhiben las poblaciones animales y por lo tanto una parte integral de los modelos de evaluación de stock. En los modelos estructurados por edad, fundados en el número de peces por edad, se utiliza un modelo matemático para el crecimiento para: i) convertir los estimados de captura ingresados al modelo desde biomasa a número de individuos; ii) convertir los resultados de número de individuos a biomasa; iii) convertir la selectividad basada en longitud a selectividad basada en edades; iv) calcular las composiciones de tamaños esperadas (Francis 2016).

Para especificar el crecimiento en modelos de dinámica de poblaciones se ha seguido dos aproximaciones diferentes: La aproximación más simple pero menos común, ignora el tamaño de los peces y requiere que el analista provea una o más matrices de peces medios por clase de longitud y año. Este camino evita muchos de los problemas asociados con la modelación del crecimiento, pero está limitado por el hecho de no usar la información de tamaños de los individuos capturados. En estos modelos los únicos parámetros de crecimiento son las matrices de pesos medios por edades y estos son siempre estimados fuera del modelo (i.e. son ingresados como constantes; Francis 2016).

La aproximación común para incluir el crecimiento en una evaluación de stock es, sin embargo, especificar dos relaciones funcionales: i) entre el tamaño del pez y su peso; ii) entre su edad y su tamaño:

$\widehat{W}_L = \alpha L^\beta$  donde  $\widehat{W}_L$  es el peso medio del pez de tamaño  $L$  y  $\alpha$  y  $\beta$  son parámetros del modelo. La forma paramétrica más común usada para el tamaño medio por edad es la ecuación de von Bertalanffy  $\widehat{L}_a = L_\infty [1 - \exp(-k(a - t_0))]$ , donde  $\widehat{L}_a$  es el tamaño medio a la edad  $a$  y  $L_\infty$ ,  $k$  y  $t_0$  son parámetros que pueden ser estimados interna o externamente al modelo (Francis 2016).

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

Un problema que se presenta con la lectura de edades en escamas es que en los peces más viejos la periferia de la estructura no permite discernir los anillos de crecimiento. La lectura de edad en otolitos no tiene este problema y de este modo, en las composiciones obtenidas mediante la determinación de la edad en escamas, la edad de los peces más viejos se encuentra subestimada 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). Para el bacalao de profundidad, existe un número de estimaciones de los parámetros de la función de crecimiento de von Bertalanffy (**Tabla 2**).



Todas las estimaciones para el Pacífico Sur Oriental se han efectuado con información de edad leída en escamas, con la excepción del trabajo de Oyarzún et al. (2003b) quienes realizaron una estimación usando edades determinadas en otolitos (**Tabla 2**). Dado el sesgo introducido en las edades más viejas cuando se usan escamas de *D. eleginoides* para determinar su edad, las estimaciones de los parámetros de crecimiento que han usado edades determinadas en otolitos parecen ser la más apropiadas para ser consideradas en la 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).

<b>Regiones</b>	<b>Sexo</b>	<b>L<sub>∞</sub></b>	<b>K</b>	<b>t<sub>0</sub></b>	<b>Autores</b>
Plataforma Patagónica	Hembra	141.4	0.150	-1.100	Ashford et al. (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 et al. (1992)
	Macho	195.6	0.074	-0.721	
Isla Heard	Hembra	74.40	0.480	-0.460	Ashford et al. (2001)
	Macho	73.90	0.310	-1.710	
Kerguelen	Hembra	103.5	0.110	-4.700	Ashford et al. (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 et al. (2001)
Chile centro-sur	Combinados	177.8	0.109	0.000	Pavéz et al. 1983
	Combinados	218.0	0.048	-0.066	Rubilar et al. (1999)
	Combinados	152.2	0.085	-0.590	Oyarzún et al. 2003b
Chile sur-austral	Combinados	210.8	0.064	-0.432	Aguayo y Cid (1991)
	Combinados	212.6	0.066	-0.477	Young et al. (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 et al. (1990)
	Combinados	207.0	0.075	-0.290	Cassia (1998)



### 2.4.3 Madurez sexual

La información de la biología reproductiva, en particular la fecundidad y la producción de huevos es fundamental en el estudio de la dinámica poblacional de peces (Hunter et al. 1992), siendo la base para cuantificar la capacidad reproductiva de la especie a nivel individual y poblacional (Murua et al. 2006, El Habouz et al. 2011). Algunos métodos de evaluación usan información tal como: la edad ( $E_{50\%}$ ) o longitud media ( $L_{50\%}$ ) de madurez sexual, la fecundidad y la frecuencia de desove para estimar la biomasa. En los modelos estructurados por edades, la biomasa desovante es calculada integrando el producto entre número de individuos estimados por clase de edad, el peso medio y la proporción de individuos sexualmente maduros y para estos efectos a menudo la ojiva de madurez es asumida como constante en el tiempo (Rijnsdorp et al. 2010). Sin embargo, los cambios interanuales en estas variables pueden afectar la productividad del stock y la variabilidad del reclutamiento (Macchi et al. 2004).

El incremento en la intensidad de pesca tiende a afectar la distribución de tamaños del stock, reduciendo la proporción de individuos de mayor tamaño y en general este cambio es considerado nocivo. Por el contrario, una alta frecuencia de peces de gran tamaño y sexualmente maduros (a menudo denominados “megadesovantes”) es considerada un indicador de una estructura saludable del stock (Froese 2004, Lappalainen et al. 2016).

En bacalao de profundidad se ha observado variación temporal en el porcentaje de peces maduros por clase de edad lo que puede ser el resultado de cambios anuales en la tasa de crecimiento, sin que haya cambios en la frecuencia de madurez por edades, o en la ojiva de madurez por edades, sin que se registren necesariamente cambios en la distribución de tamaños por clase de edad (Patterson et al. 2001, Stahl y Kruse 2008).

El patrón de madurez por edad puede también cambiar espacialmente, entonces la fracción de peces maduros seleccionados por la pesca puede también variar como consecuencia de la asignación espacial del esfuerzo. Esta variabilidad espaciotemporal afecta las estimaciones de biomasa desovante y consecuentemente debe ser considerada en la evaluación de stock (Stahl y Kruse 2008).

Posibles cambios en la maduración sexual de los stocks, inducidos a través del efecto selectivo de la pesca, también han generado preocupación ya que estos pueden constituirse en una presión evolutiva hacia un menor tamaño medio de maduración sexual (Pukk et al. 2013, Brigden et al. 2017) con efectos sobre los rendimientos de pesca de largo plazo dado que el proceso de reversión de estos cambios puede ser lento (Law y Grey 1989).



Los patrones observados en estas variables deben sin embargo ser considerados detenidamente, dado que siempre existe la posibilidad de que puedan ser explicados por sesgos del muestreo que resultan de: la asignación espacial y temporal del esfuerzo de pesca, selectividad de los artes/aparejos de pesca, estructuración espacial de los diferentes componentes del stock e inmigración de individuos con diferentes patrones de historia de vida (Stahl and Kruse 2008, Pukk et al. 2013, Yates 2018).

En las evaluaciones de stock, el peso de los ejemplares sexualmente maduros se emplea por lo general como una aproximación de la biomasa desovante (i.e. en sustitución de la fecundidad o la producción de huevos). Una situación común es que la información disponible de madurez sexual es difundida en forma resumida, usando la longitud media de madurez sexual ( $L_{50\%}$ ; **Tabla 3**).  $L_{50\%}$  es un indicador que describe la función de madurez sexual por clase de longitud, pero no permite reproducir esta relación funcional<sup>3</sup>. En el mejor de los casos se cuenta con los parámetros de la función que describe la curva de 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 et al. (1999)	South Georgia	750	1010
Laptikhovsky et al. (2006)	Islas Malvinas	860	900
Payá y Brickle (2008)	Islas Malvinas		897
Prenski y Almeyda (2000)	Argentina	763	871
Moreno et al. (1997)	Chile	1050	1170
Young et al. (1999)	Chile	1287	
Oyarzún et al. (2003a)	Chile	780-940	1130-1170
Arana (2009)	Chile	810	890
Balbontín et al. (2011)	Chile		899
Duhamel (1991)	Kerguelen	650	800
Lord et al. (2006)	Kerguelen	630	850
Pájaro et al. (2009)	Argentina	823	837
Day et al. (2014)	Macquarie Island	1396	

<sup>3</sup> Para describir la información reproductiva disponible para implementar un modelo de dinámica poblacional estructurado en edades/longitudes, es mejor reportar la frecuencia de madurez por clase de edad/longitud. En su defecto, reportar también el valor de  $L_{90\%}$  y/o los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  de la función logística ajustada para estimar  $L_{50\%}$ .



De lo anterior se desprende que para construir una curva que describe la proporción de individuos sexualmente maduros por clase de edad (la forma más frecuente en que la información 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.

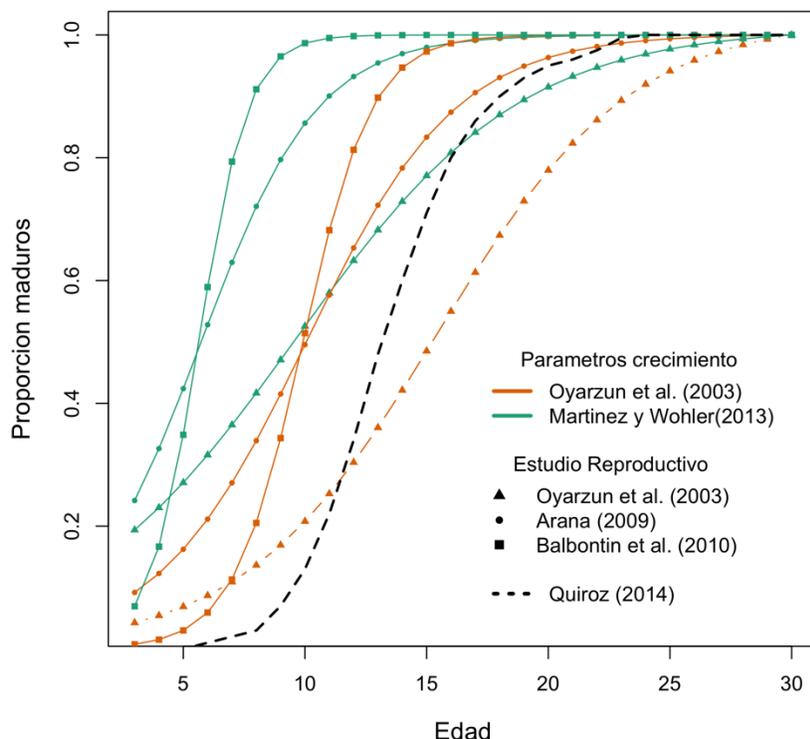
Esta situación necesariamente introduce incerteza en la estimación de las proporciones de individuos maduros por clase de edad, en circunstancia que pueden existir diferentes estimaciones de estos parámetros de madurez y/o de crecimiento para una misma región o para regiones en donde el proceso de maduración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

Evaluaciones de stock recientes del bacalao de profundidad explotado en Chile han hecho uso de una ojiva caracterizada por una edad media de madurez sexual de 12,4 años (Quiroz 2014, Tascheri et al. 2015; **Figura 7**).

Esta curva aparece claramente desplazada hacia un mayor edad con respecto a otras estimaciones reportadas para la misma región (**Figura 7**) o para regiones vecinas (Prenski y Almeyda 2000, Martínez y Wöhler 2013) e incluso en las Islas Malvinas (Laptikhovsky et al. 2006), todas las cuales exhiben una edad media de madurez sexual contenida en el intervalo 7,8 a 9,8 años (**Figura 7**).

Al respecto Kock *et al.* (1985) señalan que *D. eleginoides* podría alcanzar 8 a 10 años de edad antes de tener su primer desove.

En este contexto, parece más adecuado emplear la ojiva informada en Balbontín et al. (2011) (**Figura 7**), 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 encuentran los principales caladeros de la flota industrial), cubren el ciclo anual desde enero a diciembre de 2010 y un amplio rango de tamaños de esta especie (58 a 225 cm de longitud total) y su estimación es concordante con otras estimaciones disponibles para la misma región y regiones vecinas.



**Figura 7.** Tres ojivas de madurez sexual por clase de longitud estimadas por diferentes autores con muestras tomadas en aguas chilenas transformadas a madurez por clase de edad usando dos conjuntos de parámetros de crecimiento: uno con muestras tomadas en aguas chilenas y otros en aguas argentinas. La figura ilustra el rango de variación de las estimaciones realizadas para una misma región y la variación introducida cuando se usan diferentes conjuntos de parámetros de crecimiento. A modo de comparación se incluye también la ojiva de madurez utilizada en las evaluaciones conducidas por IFOP hasta el año 2013.

#### 2.4.4 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 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 t3cnicas cuantitativas y por esta raz3n la forma m3s apropiada de la relaci3n stock –reclutas es a3n un punto de discusi3n para muchos stocks (Patterson et al. 2001, Zhou 2007, Williams y Shertzer 2003). Estos 3ltimos autores recomiendan para el manejo, sin embargo, la relaci3n de Beverton y Holt (BH; 1957) porque cuando se usa de esta relaci3n los puntos biol3gicos de referencia son m3s conservadores.

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

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

Estas ecuaciones pueden ser usadas para relacionar  $\alpha$  y  $\beta$  con  $h$ .

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

En el caso del stock Sudamericano de bacalao de profundidad (W3hler 2013), la falta de conocimiento acerca de la forma de la relaci3n stock-reclutas (Pay3 et al. 2014), motiv3 que en su evaluaci3n de stock la modelaci3n del reclutamiento fuese implementada como desviaciones simples en torno a un nivel medio de reclutamiento (Tascheri y Canales 2016), lo que equivale a especificar  $h=1$ . He et al. (2006) demostraron que poblaciones con valores bajos de  $h$  (e.g. inferiores a 0,4) tienen una probabilidad muy baja de subsistir en una situaci3n 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  $h$  (Brand3o et al. 2002, Brand3o y Butterworth 2011), aun cuando la magnitud de su efecto en el estatus hist3rico puede ser m3nima (CCAMLR 2014).

En las evaluaciones de stock de bacalao de profundidad en Chile se ha usado un valor de  $h=0,6$  pero en otras 3reas 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 an3lisis de sensibilidad) y en la CCAMLR se ha adoptado un valor igual a 0,75 (CCAMLR 2014). En el Atl3ntico Sudoccidental el valor de este par3metro ha sido estimado en 0,67 (Mart3nez y W3hler 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.

<b>Fuente</b>	<b>Área</b>	<b>Rango <math>h</math></b>		<b><math>h</math> caso base</b>
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 et al. (2002)	Prince Edward Islands	0,35	0,9	0,6
Martínez y Wöhler (2013)	Atlántico Sudoccidental	-	-	0,67
Hillary et al. (2006)	South Georgia sub-área 48.3	0,7	0,9	0,8
Ziegler et al. (2014)	McDonald Islands	-	-	0,75
Wayte and Fay (2013)	Macquarie Island	0,5	0,9	0,75
Day et al. (2014)	Macquarie Island	-	-	0,75



### 3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

#### 3.1 OBJETIVO 1: Implementar procedimientos de evaluación de stock

##### 3.1.1 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 - 2018.
  - Composiciones de edad 2007 – 2018 (otolitos).
  - Pesos medios a la edad 1995 – 2018.
  - Capturas 1978 – 2018.
  - Bitácoras de pesca FIP 96-32 1968 – 1997.
  - Registros de pesca artesanal (IFOP) 1998 – 2018.
- **Flota industrial (palangre; 47° S – 57° L.S.)**
  - Composiciones de longitud 1996 –2006.
  - 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 longitud 2007 – 2018.
  - Composiciones de edad 2007 – 2018 (otolitos).
  - Pesos medios a la edad 2007 – 2018.
  - Bitácoras de pesca industrial (AOBAC\*) 2007 –2013.
  - Bitácoras de pesca industrial 2014 – 2018.
  - Capturas 2007 - 2018.

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

- **Flota arrastre** (sur de la latitud 54°S.)
  - Composiciones de longitud 2003 – 2017.
  - Capturas 1986 – 2018.
- **Flota palangre** (sur de la latitud 54°S)
  - Composiciones de longitud 2003 – 2016.
  - Capturas 1991 – 2018.



- \* El 13 de mayo de 2014, AOBAC A.G.<sup>4</sup> puso a disposición de IFOP la información biológica y pesquera del recurso bacalao de profundidad recopilada por CEPES S.A.<sup>5</sup> con financiamiento de esta entidad entre los años 2007 y 2013 para su uso en las evaluaciones de stock del Instituto de Fomento Pesquero (Anexo 2 en Tascheri et al. 2015.).
- \*\* El 21 de agosto de 2014 INIDEP y el IFOP establecieron un Convenio Marco formalizando las relaciones de cooperación entre ambas instituciones que incluyen promover y fortalecer procesos de investigación, establecimiento de grupos técnicos conjuntos y mejorar la toma de decisiones, entre otras actividades.

### 3.1.2 Composiciones de longitud

Las composiciones de longitud de las capturas industriales y artesanales son obtenidas mediante el muestreo rutinario realizado por el proyecto de seguimiento de la pesquería de aguas profundas (Céspedes et al. 2016, 2017) y luego expandidas al desembarque para ser usadas en el modelo de evaluación de stock y en el estudio de la composición de edad de las capturas (**Figura 8**).

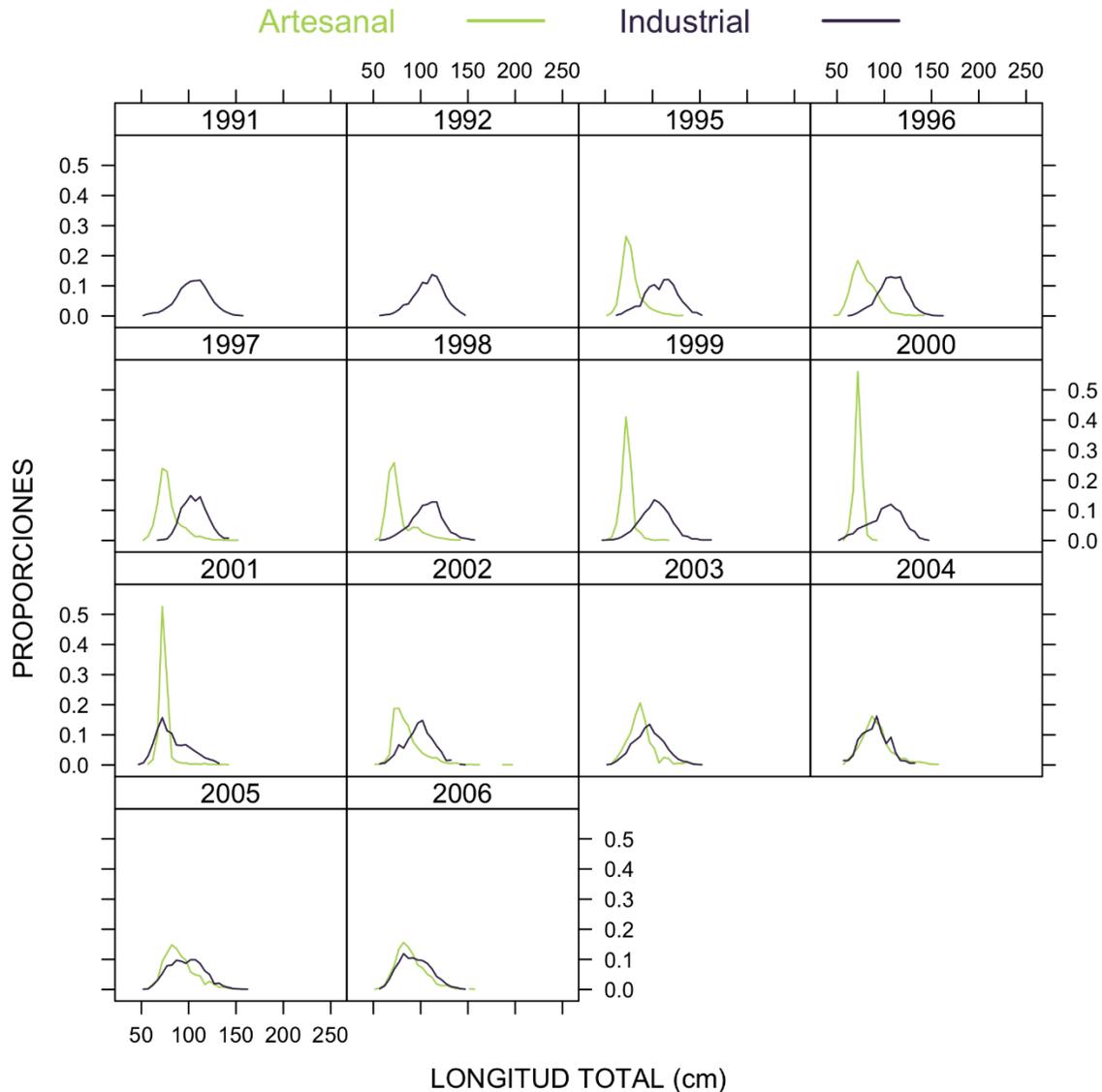
Los datos de composición de longitud de las capturas industriales y artesanales de los años 1991 a 2006 son empleados en el modelo de evaluación de stock en sustitución de los datos de composición de edades obtenidos a través de la lectura de edades en escamas (Tascheri 2019).

Las composiciones de longitud de las capturas de las flotas arrastrera y de palangre argentinas corresponden a toda el área de la pesquería y se encuentran disponibles para los años 2003 a 2017 (**Figura 9**).

---

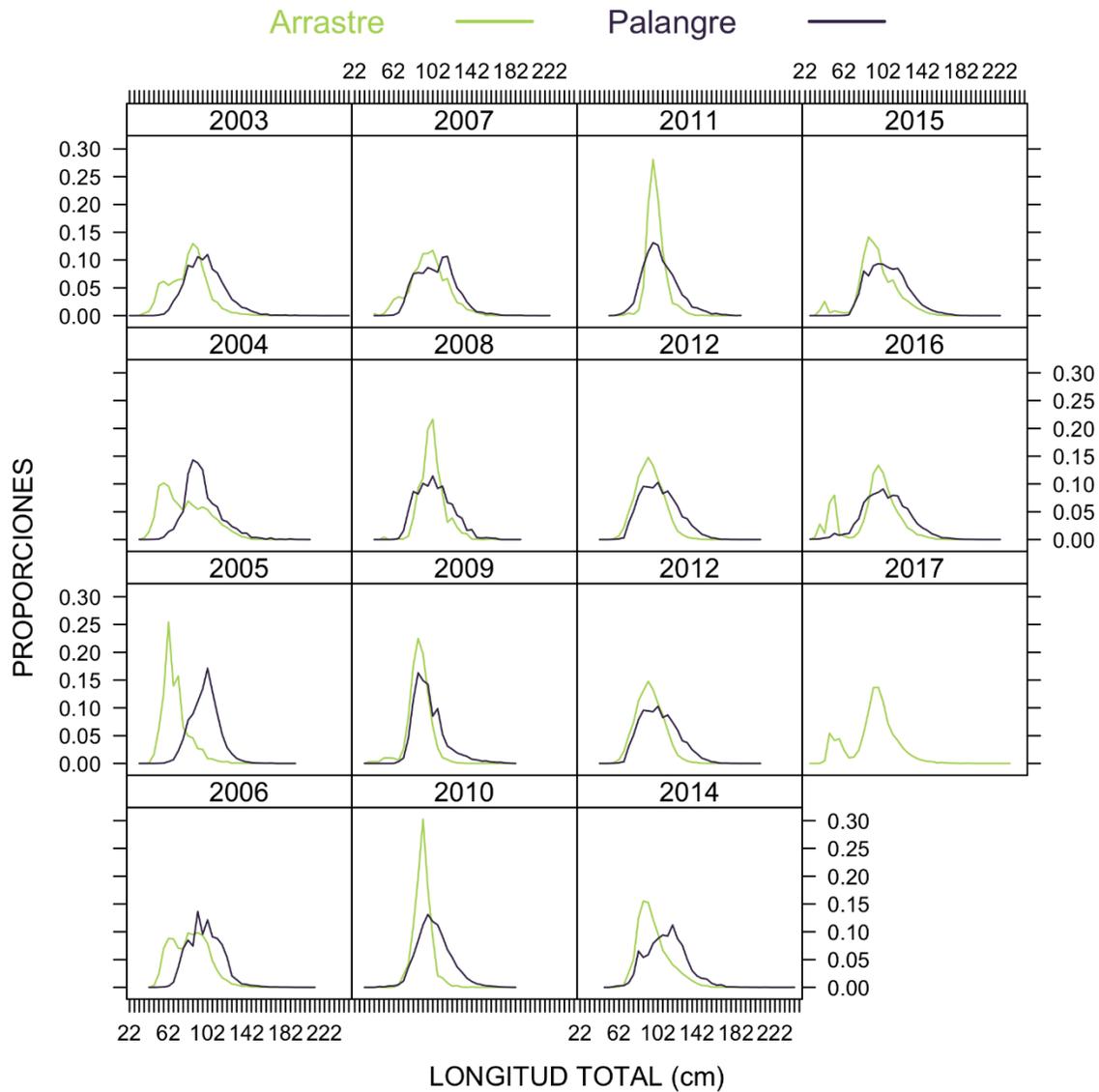
<sup>4</sup> Asociación de Operadores del Bacalao de Profundidad de Magallanes. <http://home.aobac.cl/>

<sup>5</sup> Centro de Estudios Pesqueros S.A. [www.cepes.cl](http://www.cepes.cl)



**Figura 8.** Composici3n de tama1o de las capturas de industriales y artesanales a1os 1991 a 2006 (fuente: IFOP).

Los datos de composici3n de tama1o de las capturas se emplean en reemplazo de los datos de composici3n de edades de la pesca argentina originalmente utilizados por Tascheri et al. (2015), a fin de evitar el efecto de suavizamiento de la variabilidad de la informaci3n de captura a la edad, que introducido por el procedimiento de slicing de las cohortes aplicado para obtener los datos de composici3n de la captura argentinas (Mart3nez y W3hler 2013) y para evitar el conflicto que se produce con los datos de composici3n de edades de las capturas chilenas obtenidas usando otolitos (Polacheck, 2015).

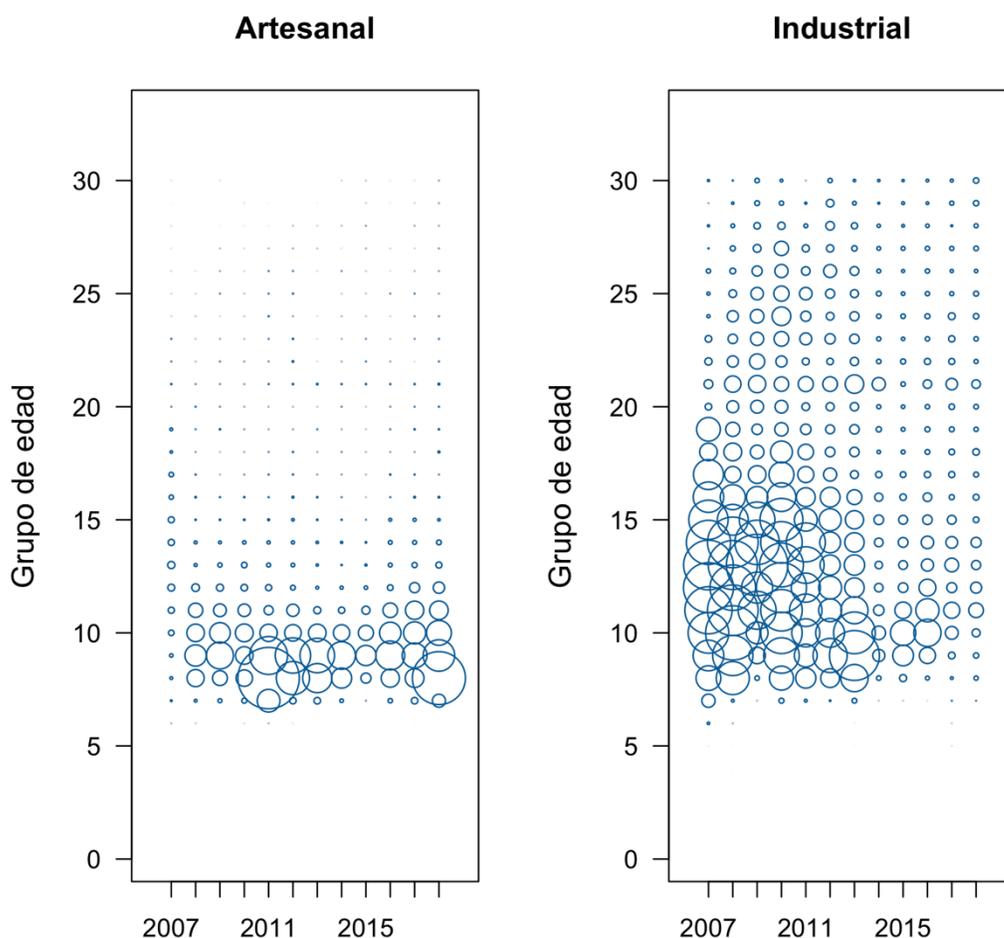


**Figura 9.** Composici3n de tama1o de las capturas de arrastre y palangre argentinas para toda el 1rea de la pesquer1a (fuente: INIDEP).

### 3.1.3 Composiciones de edad

Para evitar la subestimación de las cohortes más viejas en los años previos a 2007 (SC-CAMLR 2001, Polacheck 2015), la información de edades determinadas mediante la lectura de escamas no ha sido incluida en las evaluaciones de stock desarrolladas por IFOP a partir del año 2015 (Tascheri y Canales 2016).

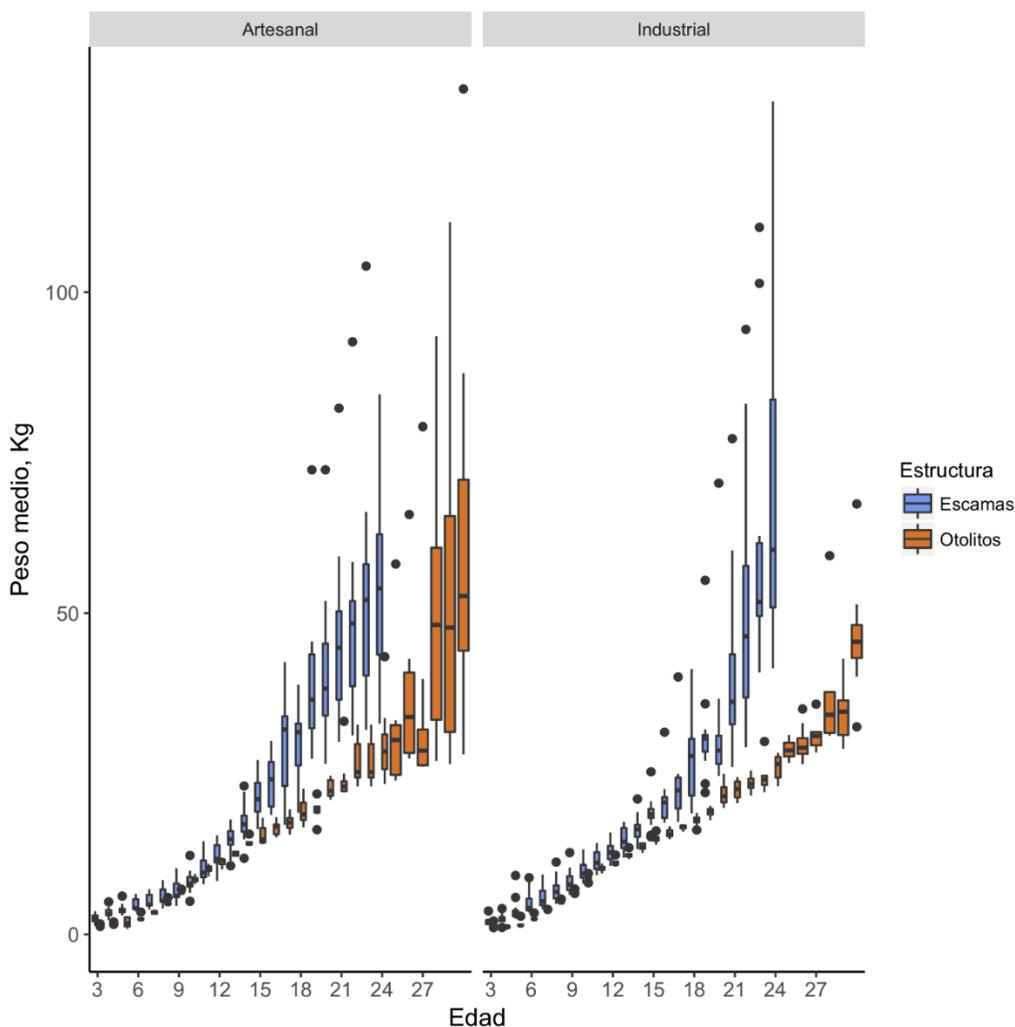
Los datos de composición por edades de las capturas de las pesquerías artesanal e industrial de Chile y que se basan en la lectura de otolitos se encuentran disponibles para los años 2007 a 2018 (Figura 10).



**Figura 10.** Series de composición de edades de las capturas artesanales e industriales de bacalao de profundidad extraídas en aguas Chilenas y que son estimadas a partir de la lectura de edad en otolitos.

### 3.1.4 Pesos medios a la edad

La subestimación de la edad del bacalao de profundidad que resulta del uso de escamas respecto de la determinación de la edad usando otolitos se encuentra bien documentada (SC-CAMLR. 2001, Oyarzún et al. 2003b). Cuando se determinan las edades usando escamas, los peces más viejos (+23) se encuentran mal clasificados como individuos más jóvenes y consecuentemente el peso medio de estos últimos exhibe un sesgo positivo (**Figura 11**).



**Figura 11.** Pesos promedio por edades de bacalao de profundidad correspondientes a los datos de composición de las capturas artesanales e industriales estimados usando tanto escamas como otolitos. Escamas: años 1995 a 2006; Otolitos: años 2007 a 2018. Fuente: IFOP.



### 3.1.5 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 2018. Estos registros de operaciones de pesca corresponden a una combinación de registros tomados directamente por IFOP (mediante el embarque de observadores científicos; Céspedes et al. 2016) y de bitácoras recopiladas indirectamente a través del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA). Esta base de datos es mantenida por el instituto en un banco centralizado de datos.

#### Registros 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 obtienen 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 (Céspedes et al. 2017).

La primera se compone de registros de viajes de pesca realizados entre los años 1986 a 1997 que fueron recopilados en los puertos de Caldera, San Antonio, Constitución, Lebu y Valdivia. La segunda contiene registros de viajes de pesca realizados entre los años 1998 y 2018 recopilados en los puertos de San Antonio, Lebu, Valdivia, Quellón y en las caletas Anahuac, Chinquihue y Carelmapu.

Para los propósitos de esta evaluación de stock estos datos se han consolidado en una única base, la que es regularmente actualizada por el proyecto de monitoreo de esta pesquería.

#### Bitácoras de pesca AOBAC A.G.

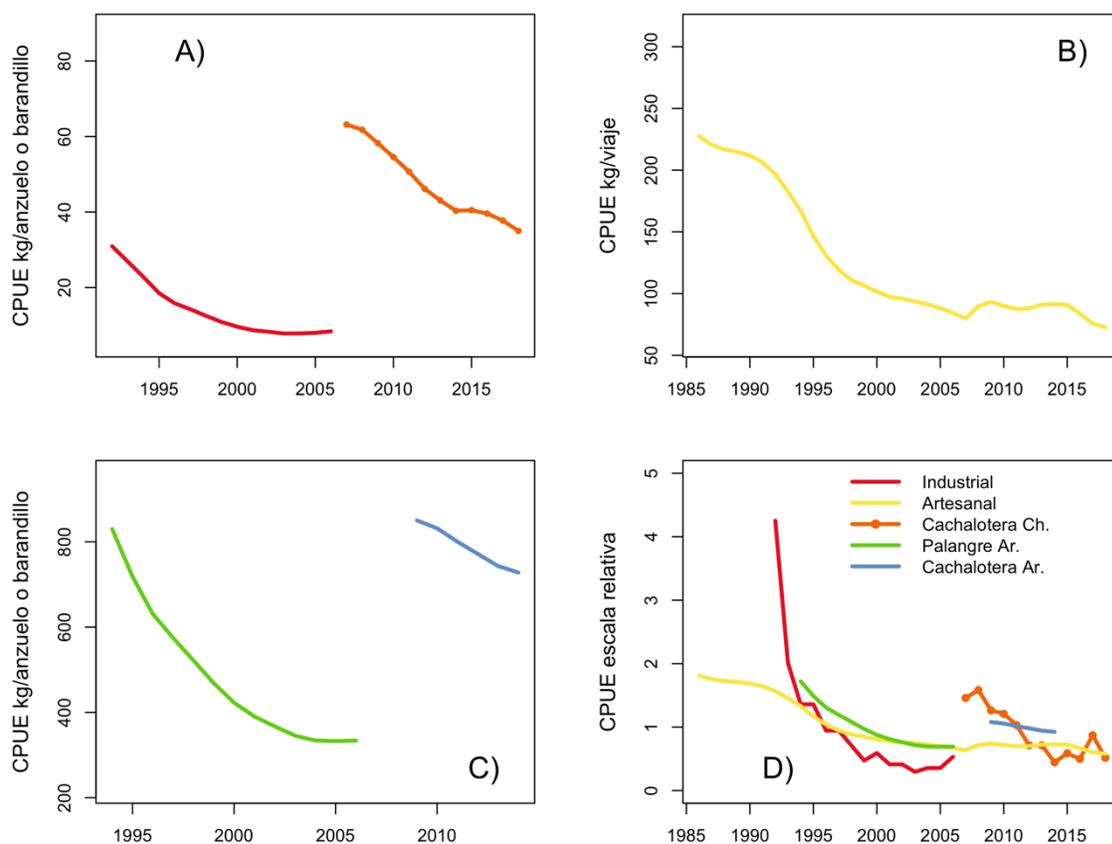
La base de datos AOBAC contiene información de la operación de pesca a la escala del lance y se extiende entre los años 2006 y 2013. Estos registros corresponden a una combinación de registros de operaciones de pesca tomados por observadores científicos de CEPES S.A. y otros llenados por los capitanes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

Esta base de datos distingue las operaciones con palangre español de aquellas que emplearon el sistema trotline con cachalotera (**Figura 5**).

Índices estandarizados de abundancia relativa

Los datos de captura y esfuerzo disponibles se han utilizado en la estimación de tres índices de abundancia relativa (Tascheri 2019), los que corresponden a la pesca con palangre industrial, la pesca industrial con cachalotera (**Figura 12A**) y la pesca artesanal (**Figura 12B**).

El Convenio Marco de cooperación establecido entre INIDEP y el IFOP, para promover y fortalecer procesos de investigación, ha permitido también contar con índices de abundancia relativa estimados por INIDEP para la pesca con palangre y con cachalotera desarrolladas en la plataforma Patagónica (**Figura 12C**).



**Figura 12.** Índices de abundancia relativa. A): Palangre industrial Chile (1992-2006) y cachalotera (2007-2018). B): Palangre artesanal Chile (1986-2018); C) Palangre Argentino (1994 - 2006) y Cachalotera (2009 - 2014); D) Comparación en la misma escala.



Entre las fuentes de incertidumbre más importantes para la interpretación de los índices de CPUE de la pesquería Sudamericana de *D. eleginoides* como índices de abundancia relativa, se cuentan: la segregación espacial del recurso por tamaño/edad v/s la distribución espacial del esfuerzo de pesca, la interacción de la pesca con mamíferos marinos y los cambios de aparejo de palangre a cachalotera y modificaciones más recientes de este último.

### 3.1.6 Capturas

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

En aguas de la Comisión para la Conservación de los Recursos Vivos Marinos Antárticos (CCRVMA), la pesca ilegal, no reportada y no regulada (IUU) alcanzó niveles importantes durante la etapa de desarrollo de la pesquería de bacalao de profundidad. En años recientes, sin embargo, el sistema de documentación de las capturas (CDS), adoptado por los países miembros de la convención a partir del año 2000, ha contribuido a evitar distorsiones en la cuantificación de las capturas. Este sistema está diseñado para poder demostrar que el bacalao fue capturado cumpliendo las normas de conservación, lo que se consigue mediante el seguimiento de los desembarques y de las transacciones (Collins et al. 2010).

Como suscriptor de la CCRVMA, Chile debe cumplir con el CDS, tanto para los desembarques industriales como artesanales. Hasta el año 2012, la flota artesanal no estaba sujeta a la obligación de usar un sistema de posicionamiento satelital, y entonces para emitir el CDS bastaba con la certificación de los desembarques por parte del SERNAPESCA. En Estados Unidos, el principal mercado para el bacalao de profundidad, ya no se aceptan importaciones de producto capturado por barcos sin conexión al sistema centralizado de la CCRVMA. Esta situación motivó modificaciones a la LGPA a fin de incluir disposiciones diseñadas para normalizar el registro de los desembarques artesanales, la más notable fue 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 resolvió efectuar una revisión de los registros oficiales de desembarque del SERNAPESCA correspondientes a los años 1980 a 2001. Esta revisión fue soportada tanto en los datos de captura recopilados por los proyectos de monitoreo llevados por el IFOP 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 con 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 con 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 capturas realizadas en aguas internacionales, sólo fue posible entre los años 1991<sup>6</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 han sido documentadas. Sin perjuicio de lo anterior y por razones de consistencia con evaluaciones previas, estas últimas ediciones también se han incluido en las evaluaciones de stock de los últimos cuatro años (**Tabla 5**).

---

<sup>6</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 industriales oficiales de acuerdo con los Anuarios Estadísticos de Pesca y Acuicultura ([www.sernapesca.cl](http://www.sernapesca.cl)) vs los datos de capturas anuales propuestos por IFOP a partir de revisiones de los datos oficiales de desembarque. Años 1978 a 2018.

Año	SERNAPESCA	IFOP	Año	SERNAPESCA	IFOP
1978	0.2	-	1999	4520	3688
1979	19.2	-	2000	4184	3646
1980	67	-	2001	2620	2062
1981	29	-	2002	2186	2109
1982	277	-	2003	1013	1109
1983	216	-	2004	1651	2079
1984	313	-	2005	2006	2300
1985	396	-	2006	2455	1940
1986	877	-	2007	2358	2682
1987	953	-	2008	2883	2880
1988	504	-	2009	3018	3016
1989	2002	1363	2010	3293	3291
1990	3771	2406	2011	2298	2298
1991	6471	5191	2012	2383	2382
1992	10384	19420	2013	2128	2199
1993	5927	13002	2014	1036	1037
1994	5517	10747	2015	1117	1117
1995	5738	7924	2016	1301	1302
1996	2006	1290	2017	1301	1302
1997	4637	4716	2018	-	1270
1998	4979	4957	2019	-	-

**Tabla 6.**

Desembarques artesanales oficiales de acuerdo con los Anuarios Estadísticos de Pesca y Acuicultura ([www.sernapesca.cl](http://www.sernapesca.cl)) vs los datos de capturas anuales propuestos por IFOP a partir de revisiones de los datos oficiales de desembarque. Años 1978 a 2018.

Año	SERNAPESCA	IFOP	Año	SERNAPESCA	IFOP
1978	38.3	38.3	1999	5808	5787
1979	101.2	101.2	2000	5793	5223
1980	347	414	2001	3944	3592
1981	291	334	2002	4565	4565
1982	330	348	2003	4742	4402
1983	1248	1391	2004	3419	3155
1984	2167	2470	2005	3278	2236
1985	4636	4560	2006	2091	1804
1986	6108	3925	2007	2090	1895
1987	3384	3492	2008	1558	1553
1988	3796	3530	2009	1681	1651
1989	4887	4744	2010	1467	1465
1990	5616	6155	2011	2189	2189
1991	3931	4236	2012	2064	2070
1992	3664	4700	2013	1558	1575
1993	4122	4675	2014	1280	1280
1994	5387	5630	2015	1609	1391
1995	4582	3969	2016	1721	1838
1996	4987	4442	2017	1946	2125
1997	3422	3538	2018	-	2821
1998	4193	4375	2019	-	-

En las evaluaciones de los años 2015 y 2018 se han incluido las capturas de las flotas artesanal e industrial chilenas y las capturas de palangre y arrastre registradas en la plataforma argentina. (Figura 3).



## 3.2 Descripción general del modelo

A partir del año 2015, las evaluaciones de bacalao de profundidad se implementan usando el “Modelo de Evaluación para Alaska” (AMAK; <https://github.com/NMFS-toolbox/AMAK>), 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, resolviendo los parámetros utilizando máxima verosimilitud.

La plataforma permite ajustar los parámetros de un máximo de siete componentes de una función de máxima verosimilitud penalizada, incluyendo los parámetros correspondientes a los índices de abundancia, selectividad, reclutamiento, capturas, proporciones por edad, mortalidad por pesca, distribuciones a priori para la mortalidad natural y la capturabilidad de los índices de abundancia.

Las selectividades se pueden modelar usando una de cuatro formas funcionales y usando una penalización para la curvatura de esta función es posible permitir 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, requiriendo ésta de una medida del tamaño efectivo de muestra para cada año con información de edad.

La distribución posterior de los parámetros puede ser aproximada usando Markov chain Monte Carlo (MCMC).

### 3.2.1 Estructura del modelo

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 son modelados (3 a 30+). En cada año, los reclutamientos de edad 3 son estimados como desviaciones desde el valor medio esperado de una curva de stock-reclutas de Beverton y Holt (1957).

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



### 3.2.2 Diagnóstico del modelo de evaluación

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

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

#### Bondad de ajuste

Para juzgar si los índices han sido ajustados satisfactoriamente, además del examen gráfico del ajuste, se emplean dos indicadores:

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

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

La raíz del cuadrado medio del error (RCME):

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

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



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

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

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

### 3.2.3 Incertidumbre del modelo.

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

De acuerdo con lo anterior, en la evaluación de stock de bacalao regularmente se exploran *Escenarios* alternativos al modelo base para cada *Caso* considerado en la evaluación (Tascheri 2019).

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

Las actuales evaluaciones de stock utilizan procedimientos estadísticos basados en máxima verosimilitud para extraer información acerca de cantidades de interés para el manejo desde múltiples bases de datos y para describir la incertidumbre. El peso atribuido a cada una de estos conjuntos de datos y que es controlado por el parámetros de varianza de la función de verosimilitud correspondiente, puede tener un gran impacto en los resultados de una evaluación de stock y en las subsecuentes recomendaciones de manejo (Maunder et al. 2017).

Para calcular los ponderadores de los datos de composición de edades y longitud, en las evaluaciones del stock de bacalao de profundidad conducidas por el IFOP se sigue el procedimiento propuesto por Francis (2011) que toma en consideración las correlaciones en los datos de composición de edades y longitud. Este procedimiento define los ponderadores en dos etapas: en la primera se ajusta el modelo usando tamaños de muestra adecuados (e.g. número de viajes muestreados u otra cantidad relevante)



y en la segunda etapa se utiliza la información aportada por este primer ajuste del modelo y el método de ponderación de 2<sup>da</sup> etapa indicado como TA1.8 en la Tabla A1 en Francis (2011). De este modo, el error estandarizado es:

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

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 que utilizar es entonces (Tabla A1 en Francis 2011):

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

Donde:  $\bar{O}_{jy}$  y  $\bar{E}_{jy}$  son las edades (o longitudes) medias observadas y esperadas, respectivamente.  $x_b$  es la edad (o longitud) asociada con la clase de edad (o longitud)  $b$ .

En esta situación el tamaño de muestra inicial es el mismo para todos los años y de este modo  $\tilde{N}_{jy} = \tilde{N}_j$ .

En los casos analizados en la evaluación de stock de bacalao de profundidad, las composiciones de edad de las capturas industriales y artesanales fueron ponderadas inicialmente con un tamaño de muestra de 60 en todos los años para los que se cuenta con este tipo de información (Años 2007 a 2018).

Las composiciones de longitud en cambio (disponibles para los años 1991, 1992 y 1995 a 2006 en el caso industrial, 1995 a 2006 en el caso artesanal, entre los años 2003 y 2016 en el caso de la



pesquería de palangre Argentina y entre los años 2003 y 2017 para la pesca de arrastre de Argentina) estos datos fueron ponderados con un tamaño de muestra igual a 20 en todos los años en los que esta información se encuentra disponible.

### 3.3 **OBJETIVO 2: Establecer el estatus actualizado del recurso**

#### 3.3.1 **Evaluación del estatus basado en la biomasa desovante**

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

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

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

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

#### 3.3.2 **Marco biológico de referencia**

La LGPA establece que el estatus actualizado de un recurso pesquero (i.e. su estado de situación) desde el punto de vista de la conservación, se debe determinar de acuerdo con el marco biológico de referencia (MBR) descrito en la definición 59 del Título I, Artículo 2.

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

El marco biológico de referencia (MBR) representa los cambios de estado del stock con relación al nivel de explotación a través del tiempo y 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 RMS ( $B_t/B_{RMS}$ ) y en el eje  $y$  se representa la razón entre la mortalidad por pesca en el año  $t$  y la mortalidad por pesca que produce el RMS ( $F_t/F_{RMS}$ ).



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

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

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

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

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

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

En esa oportunidad el CCT-RDAP adoptó también para el bacalao de profundidad la clasificación **1b** asignada a esta pesquería de acuerdo con 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 los datos disponibles para cada stock en particular. De acuerdo con 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 subniveles, entre los cuales el **subnivel 1b** corresponde a una situación en donde se escogen valores sustitutos para los PBRs del RMS. La selección de estos sustitutos toma en consideración la incertidumbre en el modelo de evaluación de stock y el grado (o falta) de resiliencia de la especie.

La clasificación en el **Nivel 1b** de la pesquería de bacalao de profundidad determina el método de cálculo recomendado para determinar los valores sustitutos de  $F_{RMS}$  y  $B_{RMS}$  (Payá et al. 2014).



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

- Sustituto de  $F_{RMS}$ :  $\tilde{F}_{RMS} = F_{45\%SPR}$
- Sustituto de  $B_{RMS}$ :  $\tilde{B}_{RMS} = \bar{R}_g SPR_0 0,45$
- $B_{LIM}$  se define:  $\tilde{B}_{LIM} = 0,5\tilde{B}_{RMS}$

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

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

Una vez estimados los PBRs se puede construir el MBR considerando lo establecido en la LGPA. En el marco del proyecto Revisión de los Puntos Biológicos de Referencia (Rendimiento Máximo Sostenible) en las Pesquerías Nacionales (Payá et al. 2014) se propuso el siguiente diagrama, en donde los límites de la zona de plena explotación han sido definidos como  $0,25PBR_{RMS}$  y  $1,75PBR_{RMS}$  (**Figura 13**).

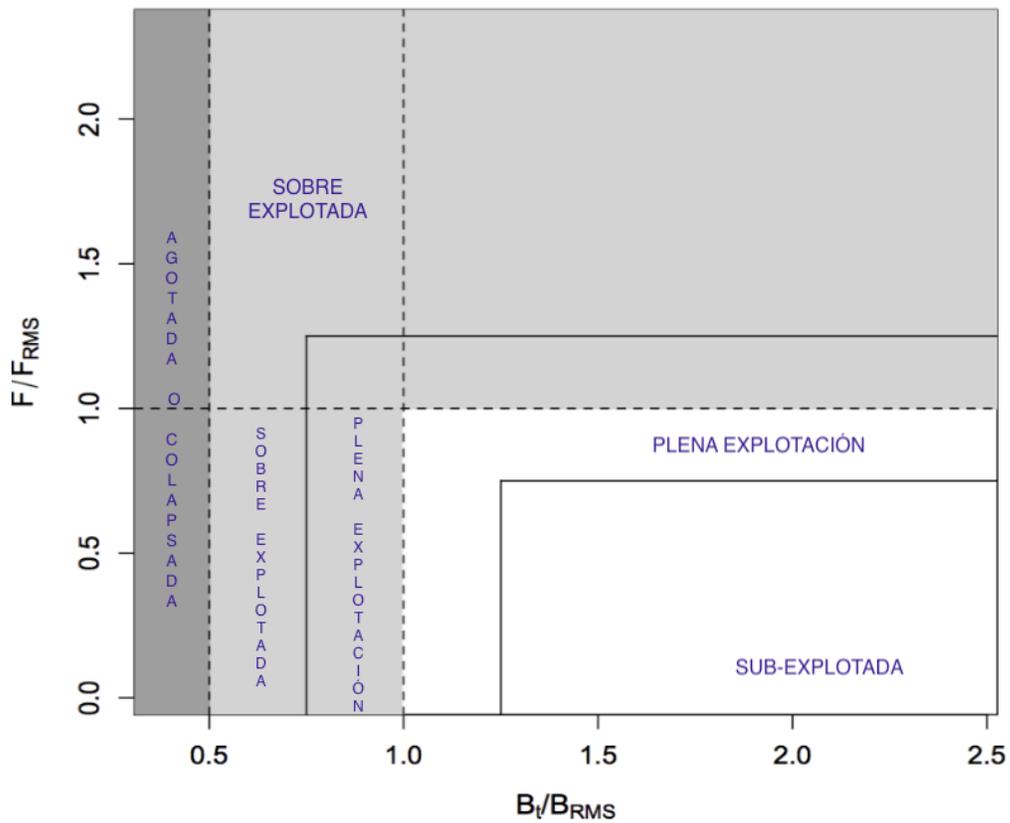


Figura 13. Marco biológico de referencia propuesto en el año 2014 (Payá et al. 2014).



### **3.4 OBJETIVO 3: Análisis de Captura Biológicamente Aceptable.**

Las proyecciones de la población se realizarán en un horizonte de 50 años, que es un período de tiempo apropiado para juzgar el desempeño de las diferentes estrategias al corresponder este con un período generacional (Horn 2002).

En las proyecciones se utiliza la selectividad y el número de individuos por grupo de edad estimados para el año en curso, asumiendo como capturas las cuotas de pesca fijadas para el año tanto en Chile como en Argentina. En el caso de Argentina, la Captura Máxima Permisible no es distribuida por flota (i.e. palangre y arrastre) por lo que esta es distribuida de acuerdo con las proporciones de la captura total de bacalao de profundidad desembarcada en Argentina por cada una de las flotas que hayan operado en el año previo a la evaluación.

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

La estrategia de explotación corresponde a la mortalidad por pesca del rendimiento máximo sostenible ( $F_{RMS}$ ) calculada según lo adoptado por el CCT-RDAP para este recurso (Acta CCT-RDAP, enero 2015) y a proporciones de la misma mortalidad.

De conformidad con el marco legal vigente, en la determinación del estatus y las posibilidades de explotación del recurso, se tomarán en consideración los descartes según fueren sean informados por el Programa de Investigación del Descarte y Captura de Pesca Incidental (Bernal et al. 2018).

### **3.5 OBJETIVO 4: Programa de Mejoramiento Continuo.**

El trabajo de mejoramiento continuo del proyecto de estatus y posibilidades de explotación de bacalao de profundidad se guía por las observaciones y recomendaciones de la revisión de pares realizada al proyecto en el año 2014 (Polacheck 2015).

En esta versión del proyecto se implementará además una versión del modelo en la plataforma Stock synthesis (Methot y Wetzel 2013) en conformidad con los términos técnicos del estudio.



## 4. RESULTADOS

### 4.1 OBJETIVO 1: Implementar procedimientos de evaluación de stock

#### 4.1.1 Ponderación de los datos y penalizaciones.

La comparación entre las edades (o longitudes) medias observadas y estimadas para el Caso 1 se presenta en la (Figura 14). Los valores estimados se encuentran en general contenidos en el intervalo de confinaza de 95% de los valores observados con algunas claras excepciones, implicando que la variabilidad fue mayor a lo esperado desde un muestreo aleatorio simple con un tamaño de muestra igual a 60 (o 20 en caso en el caso de las composiciones de tamaño).

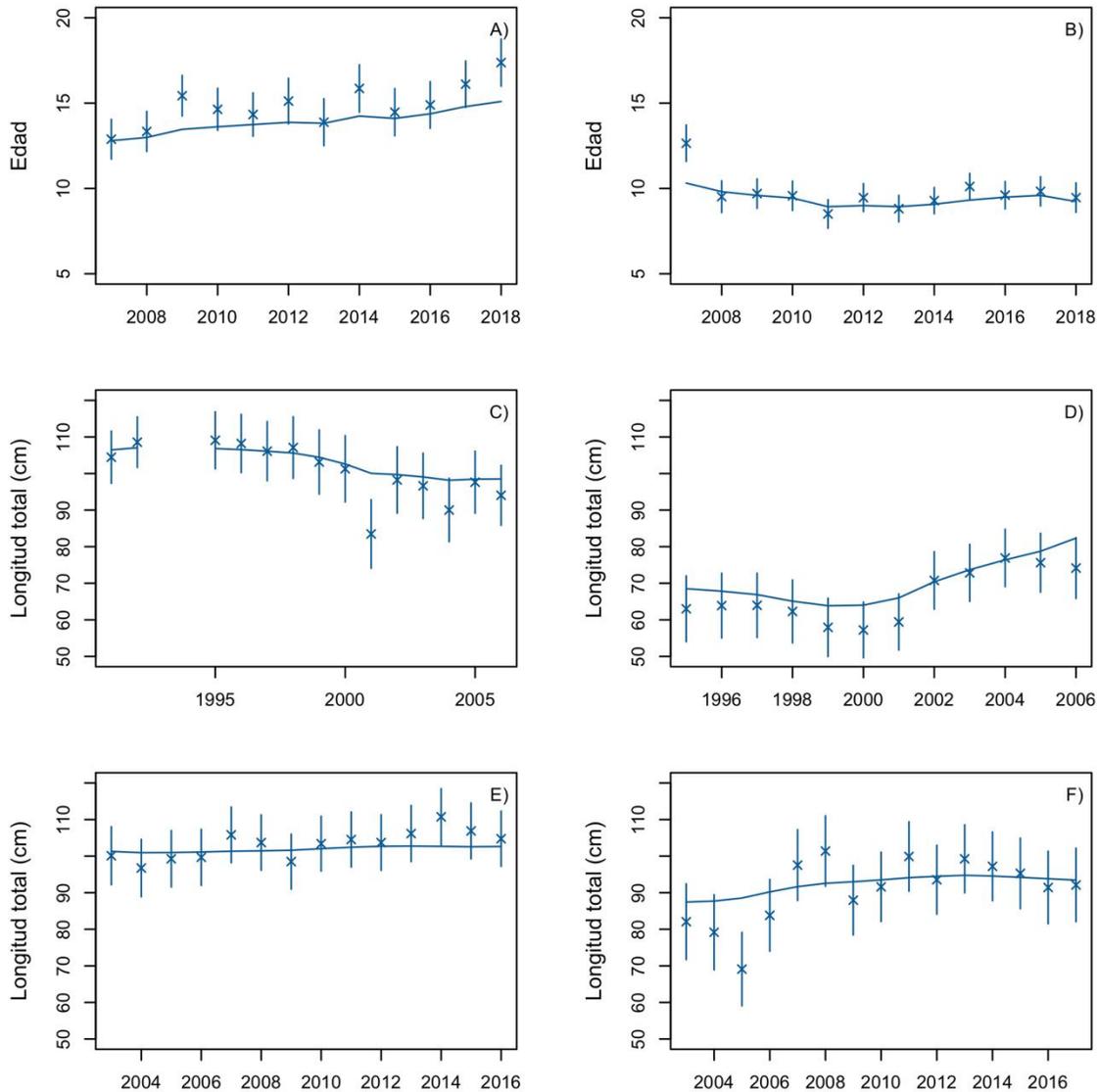
La situación observada en el Caso 2 fue similar a lo observado en los ajustes a las composiciones de edad y longitud de las capturas artesanales e industriales obtenidas bajo el Caso 1 (Figura 15).

Las estimaciones de los tamaños de muestra de segunda etapa de las composiciones de edad/longitud incluidas en los Casos 1 y 2 se presentan en las Tablas 7 y 8.

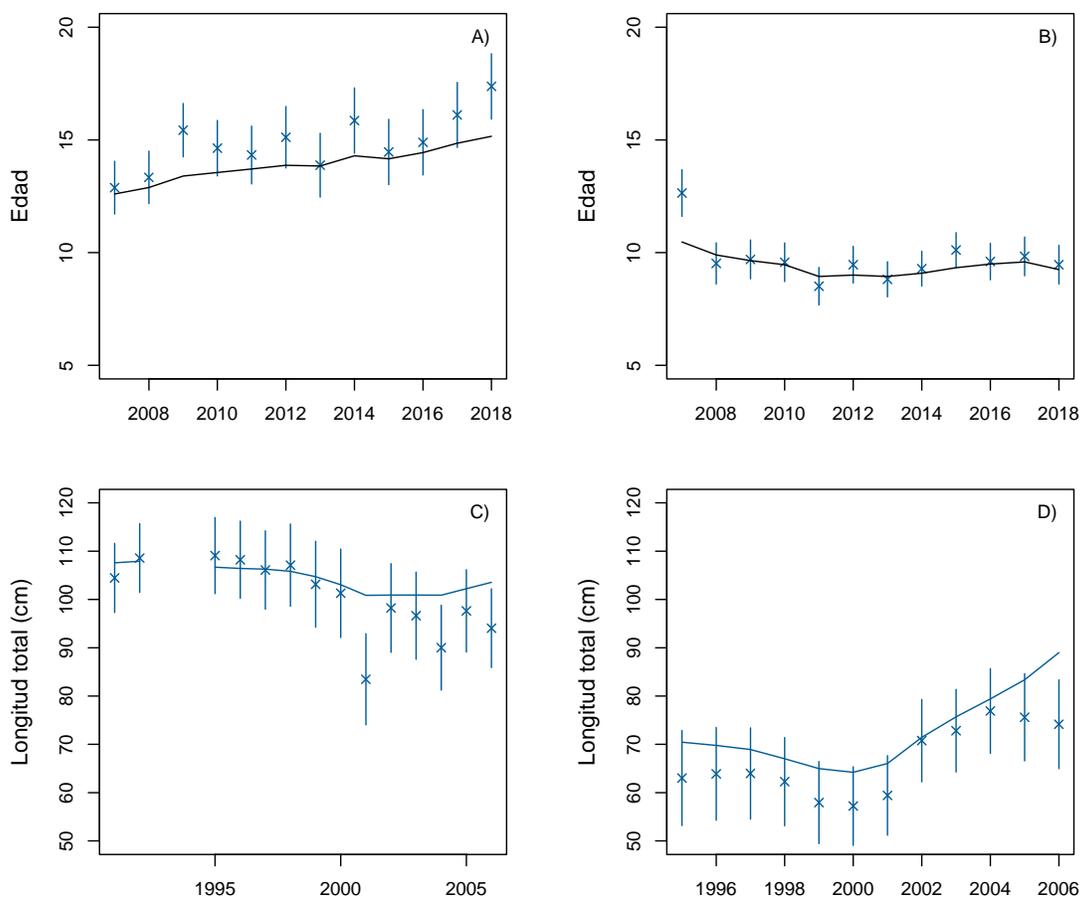
**Tabla 7.**

Tamaños de muestra de primera y segunda etapa para dos conjuntos de datos de composición de edades y cuatro conjuntos de composición de longitudes de las capturas de bacalao de profundidad ingresados en el modelo de evaluación. Caso 1.

Pesquería	Datos	Verosimilitud	Etapas 1	Etapas 2	Años
<b>Chile</b>					
Industrial	edad	Multinomial	60	49	2007-2018
Artesanal	edad	Multinomial	60	31	2007-2018
Industrial	longitud	Multinomial	20	20	1991,1992,1995-2006
Artesanal	longitud	Multinomial	20	41	1995-2006
<b>Argentina</b>					
Palangre	longitud	Multinomial	20	28	2003-2016
Arrastre	longitud	Multinomial	20	10	2003-2017



**Figura 14.** Edades observadas (x) y esperadas (línea continua) de dos conjuntos de composición de edades y cuatro conjuntos de composición de tamaños de las capturas de bacalao de profundidad incluidos en el Caso 1 de evaluación de stock. 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.



**Figura 15.** Edades observadas (x) y esperadas (línea continua) de dos conjuntos de composición de edades y dos conjuntos de composición de longitudes de las capturas de bacalao de profundidad incluidos en el Caso 2 de evaluación de stock. A y C) Pesquería industrial chilena; B y D) Pesquería artesanal de Chile; 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.

**Tabla 8.**

Tamaños de muestra de primera y segunda etapa para dos conjuntos de datos de composición de edades y dos conjuntos de composición de longitudes de las capturas de bacalao de profundidad ingresados en el modelo de evaluación. Caso 2.

Pesquería	Datos	Verosimilitud	Etapla 1	Etapla 2	Años
Industrial	edad	Multinomial	60	54	2007-2018
Artesanal	edad	Multinomial	60	32	2007-2018
Industrial	longitud	Multinomial	20	15	1991,1992,1995-2006
Artesanal	longitud	Multinomial	20	34	1995-2006

Los coeficientes de variación ingresados para los datos de captura, índices de abundancia relativa y penalizaciones se presentan en la **Tabla 9**.

**Tabla 9.**

Coefficientes de variación especificados para las verosimilitudes de los datos de captura, abundancia relativa y las penalizaciones de los desvíos del reclutamiento y selectividades.

Componente de Verosimilitud	Modelo de error	c.v.	Años
CPUE palangre industrial.	Log normal.	0,2	1992-2006
CPUE cachalotera industrial.	Log normal.	0,2	2007-2018
CPUE artesanal.	Log normal.	0,2	1986-2018
Captura industrial.	Log normal.	0,05	1989-2018
Captura artesanal.	Log normal.	0,05	1978-2018
Datos Argentina			
CPUE palangre.	Log normal.	0,2	1994-2008
CPUE cachalotera.	Log normal.	0,2	2009-2016
Captura palangre.	Log normal.	0,05	1991-2016
Captura arrastre.	Log normal.	0,05	1986-2018
Penalizaciones			
Sigma $\bar{r}$	Log normal.	0,75	1978-2018
Sigma selectividad industrial	Log normal.	0,5	1991,1992,1995-2018
Sigma selectividad artesanal	Log normal.	0,5	1995-2018
Sigma selectividad palangre Ar.	Log normal.	0,25	2003-2016
Sigma selectividad arrastre Ar.	Log normal.	0,25	2003-2017



#### 4.1.2 Incertidumbre de modelo

El análisis de sensibilidad de los modelos considerará 10 escenarios alternativos al modelo base para cada caso (**Tabla 10**), contrastando el ajuste del modelo que incluyó las ponderaciones de primera etapa para los datos de composición de edades/longitudes (S0) con el ajuste del modelo que utilizó los ponderadores de segunda etapa determinados de acuerdo al procedimiento propuesto por Francias (2011) (S1), variando los supuestos de steepness (S2 y S3), la mortalidad natural (S4, S5 y S6), usando la serie de desembarques oficiales en sustitución de la serie de capturas propuesta por el IFOP (S7), eliminando el año 1992 desde la serie de abundancia relativa industrial correspondiente a los datos de palangre (S8) y cambiando la ojiva de madurez asumida en los casos base por las ojivas de madurez sexual estimadas por Oyarzún et al. (2003) (S9) y por Arana (2009) (S10).

**Tabla 10.**

Resumen de los escenarios alternativos explorados en ambos casos de evaluación para estudiar la incertidumbre del modelo.

Escenario	Modificación	Comentario
S0		Casos base con componentes de verosimilitud ponderados con los pesos de primera etapa ( <b>Tabla 7</b> ).
S1		Casos base con componentes de verosimilitud ponderados con los pesos de segunda etapa ( <b>Tabla 7</b> ) de acuerdo con Francis (2011).
S2	h=0.4	Cambio en <i>steepness</i> .
S3	h=0.8	Cambio en <i>steepness</i> .
S4	M=0.1	cambio en M.
S5	M=0.2	cambio en M.
S6	M estimado	cambio en M. Estimado en el modelo de evaluación.
S7	Capturas	Uso de las capturas del Anuario Estadístico de Pesca (Sernapesca).
S8	Índices	Elimina el año 1992 del índice de palangre industrial chilena
S9	Ojiva madurez	Utiliza la ojiva de madurez de Oyarzún et al. (2003). <b>Figura 6</b> .
S10	Ojiva madurez	Utiliza la ojiva de madurez de Arana (2004). <b>Figura 6</b> .



#### 4.1.2.1 Incertidumbre de modelo Caso 1

La reducción en el valor de steepness a 0,4 y la reducción en el valor de la mortalidad natural ( $M=0,1$ ) resultaron en un incremento en el valor de  $B_0$  y una reducción de la biomasa desovante estimada para último año incluido en la evaluación y en consecuencia en un cambio en el estatus respecto del determinado bajo el escenario base y de este modo en los escenarios S2, S4 y S6 el recurso se ubica en la región de colapso (**Tablas 10 y 11; Figura 16**).

El uso de la ojiva de madurez estimada por Oyarzún et al. (2003) (S9), transformada a edades con los parámetros de crecimiento estimados por estos mismos autores, también resultó en un estatus de agotamiento o colapso, debido a que esta ojiva de madurez se encuentra desplazada hacia edades mayores respecto de la ojiva estimada por Balbontín et al (2010) y que es utilizada en el caso base (**Tablas 10 y 11; Figura 16**).

Por el contrario, el uso de la ojiva de madurez estimada por Arana (2009) (S10), transformada a edades con los parámetros de crecimiento estimados por Oyarzún et al. (2003), resultó en un stock desovante reducido a sólo 28% de  $B_0$ .

La ponderación de los conjuntos de datos usando el procedimiento de Francis (2011)(S1), el uso de un mayor valor de steepness (S3;  $h=0.8$ ), el uso de un mayor valor de mortalidad natural (S5;  $M=0,2$ ), el uso de los desembarques oficiales como valores de captura (S7; con valores de captura de los años 1992 a 1994 notablemente inferiores a los valores propuestos para estos años por el IFOP; **Tabla 5**) y la eliminación del alto valor de CPUE estimado para el año 1992 usando los datos de palangre industrial (S8), no alteraron el estatus del recurso determinado en el caso base (S0; **Tablas 10 y 11; Figura 16**).

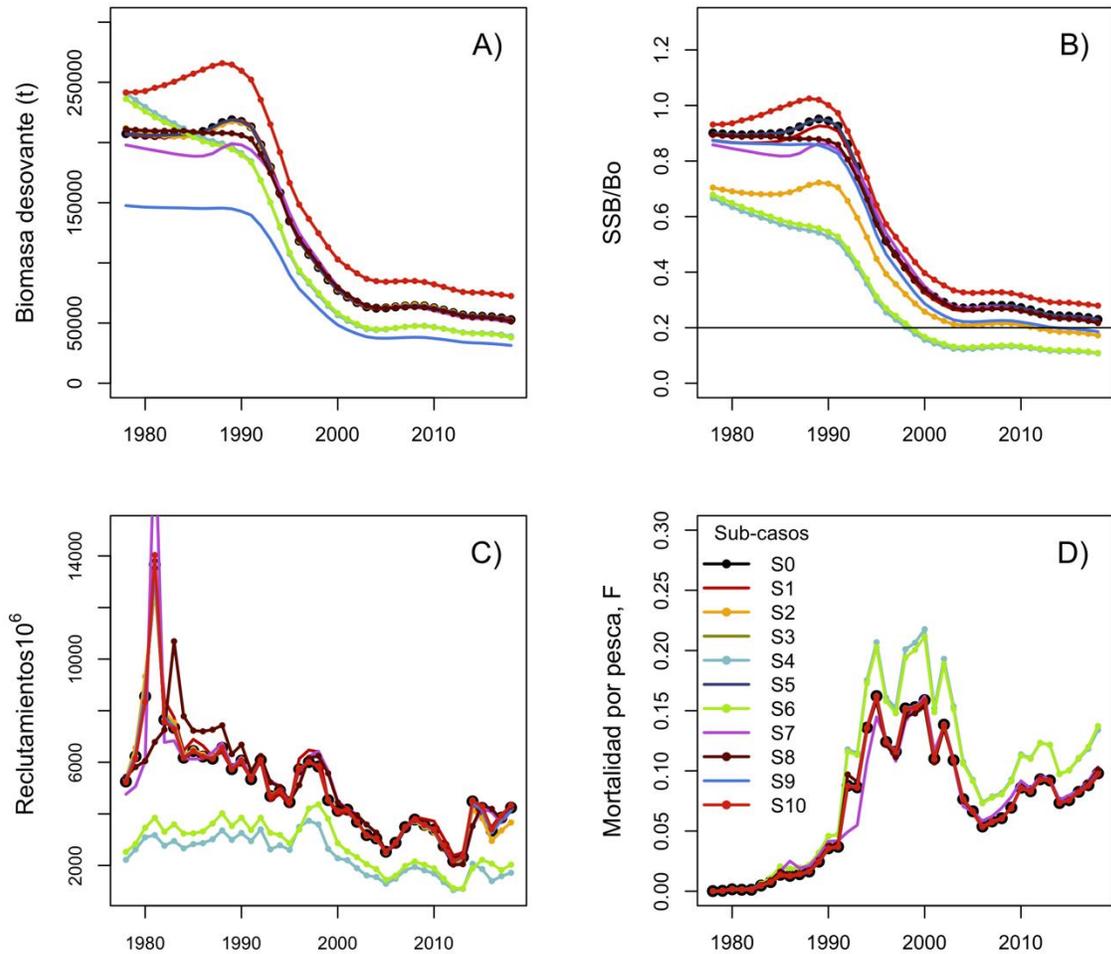
Un valor de mortalidad natural ( $M=0,1$ ) inferior al usado en el caso base (S4 y S6) resultó también en un nivel de los reclutamientos notablemente menor a los estimados con el caso base (**Figura 16**) y en un potencial reproductivo también significativamente menor. Una situación similar se observó con un nivel de steepness (S2;  $h=0,4$ ) inferior al usado en la situación base, aunque sólo para los años previos al año 2000 (**Figura 16**).

El uso de la ojiva de madurez estimada por Oyarzún et al. (2003) también implicó un tamaño poblacional notablemente menor al del caso base. La situación opuesta se observó con el uso del esquema de ponderación de Francis (2011) (S1) observándose en este último escenario un tamaño poblacional mayor al promedio de los escenarios (**Figura 16**).

**Tabla 11.**

Componentes de verosimilitud de 10 escenarios de incertidumbre de modelo explorados para el Caso 1 de evaluación.

Escenario	Captura	Edad	Longitud	Selectividad	Índices	Reclutas	F_penal	priors_1	priors_2	Total	B <sub>0</sub>	B <sub>fin</sub>	IRS	gmax
S0	0.112	110.043	139.186	74.077	65.845	-25.501	0.016	29.454	4.617	397.863	230117	52884	0.23	0.009
S1	0.116	88.477	120.943	70.606	65.275	-25.732	0.016	29.633	6.058	355.409	236443	54002	0.23	0.008
S2	0.113	109.094	139.199	73.546	66.552	-25.752	0.016	29.482	4.616	396.967	300945	51782	0.17	0.007
S3	0.112	110.043	139.186	74.077	65.845	-25.501	0.016	29.454	4.617	397.863	230117	52884	0.23	0.008
S4	0.181	102.031	144.859	71.361	64.772	-26.491	0.015	26.218	5.101	388.156	361938	38967	0.11	0.008
S5	0.112	110.043	139.186	74.077	65.845	-25.501	0.016	29.454	4.617	397.863	230117	52884	0.23	0.008
S6	0.167	107.035	141.577	74.801	62.217	-26.287	0.015	26.490	2.340	388.456	347782	38020	0.11	0.008
S7	0.119	114.131	138.588	78.226	63.196	-24.340	0.016	29.877	1.330	401.162	230588	50117	0.22	0.005
S8	0.081	109.644	135.603	76.281	55.949	-25.544	0.016	30.047	1.828	383.919	236237	51197	0.22	0.020
S9	0.113	109.996	139.102	73.979	65.941	-25.697	0.016	29.421	4.611	397.504	169052	31422	0.19	0.007
S10	0.111	109.966	139.286	74.143	65.801	-25.263	0.016	29.482	4.619	398.170	259375	72481	0.28	0.008



**Figura 16.** Trayectorias de la biomasa desovante, 3ndice de reducci3n del stock, reclutamientos y mortalidad por pesca del bacalao de profundidad explotado en las ZEE de Chile y Argentina entre los a3os 1978 y 2018 seg3n 10 escenarios alternativos a la situaci3n base (S0). Caso 1.



#### 4.1.2.2 Incertidumbre de modelo Caso 2

El uso del procedimiento de Francis (2011) para ponderar los conjuntos de datos (S1), el uso de un menor valor de steepness (S2), el uso de un menor valor de mortalidad natural (S4 y S6) y el uso de la ojiva de madurez de Oyarzún et al. (2003) (S9) resultaron en un estatus de agotamiento o colapso (**Tablas 10 y Tabla 12; Figura 17**).

Un mayor valor de steepness (S3), un mayor valor de mortalidad natural (S5) y el uso de la ojiva de madurez estimada por Arana (2009) (S10), resultaron en un estatus notablemente superior al del caso base, con un Índice de Reducción de Stock (IRS) igual a 0.27, 0.44 y 0.26, respectivamente (**Tabla 12; Figura 17**).

El uso de los desembarques oficiales como valores de captura (S7; **Tabla 5**) y la eliminación del alto valor de CPUE del año 1992, estimado usando los datos de palangre industrial (S8), no resultaron en un estatus significativamente diferente al determinado en el caso base (**Tablas 10 y 12; Figura 17**).

El uso de un mayor valor de mortalidad natural ( $M=0,2$ ) resultó además en una escala poblacional y de los reclutamientos significativamente mayores a aquellos observados en el caso base (S5; **Figura 17**). El uso de este valor de mortalidad natural también determinó que los valores estimados de la mortalidad por pesca fuesen más bajos que en los demás escenarios y que los valores de potencial reproductivo fuesen más altos (**Figura 17**).

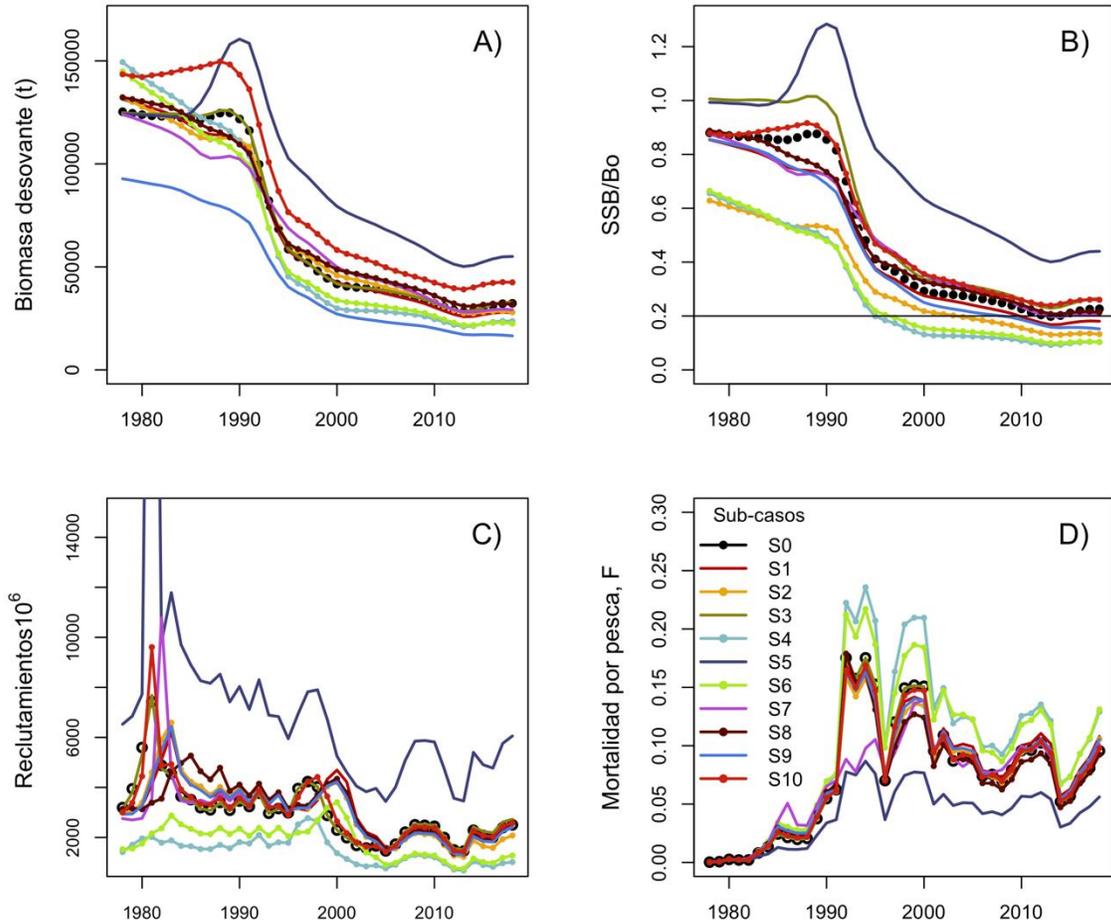
Por el contrario, el uso de un menor valor de mortalidad natural (S4 y S6;  $M=0,1$ ) resultó en reclutamientos significativamente menores y mortalidades por pesca significativamente mayores en los años posteriores a 1990 (**Figura 17**).



**Tabla 12.**

Componentes de verosimilitud de los 10 escenarios de incertidumbre de modelo explorados para el Caso 2 de evaluación.

Escenario	Captura	C_edad	Ctamaño	Selectividad	Indices	Rec	F_penal	Post_priors_q	Post_priors	Total	Bo	Bfin	IRS	gmax
S0	0.225	95.061	55.584	60.346	57.669	-25.246	0.006	20.055	5.112	268.831	142417	32292	0.23	0.004
S1	0.242	90.820	67.047	60.666	56.091	-25.772	0.006	20.253	5.277	274.662	153864	27785	0.18	0.005
S2	0.222	99.476	65.059	67.927	57.019	-24.542	0.006	20.702	4.608	290.655	210712	27914	0.13	0.006
S3	0.218	95.208	55.695	60.522	57.746	-24.494	0.006	20.075	5.145	270.121	124015	32922	0.27	0.004
S4	0.349	85.179	59.892	57.786	56.562	-24.891	0.006	17.902	5.292	258.198	227806	23663	0.10	0.009
S5	0.064	99.918	61.620	67.914	52.125	-20.803	0.008	25.292	0.463	286.602	125066	55055	0.44	0.007
S6	0.308	95.222	67.832	65.894	54.652	-23.427	0.006	18.563	5.019	284.185	217943	22460	0.10	0.002
S7	0.201	100.949	66.652	70.996	60.934	-24.152	0.007	21.268	4.553	301.428	141744	29171	0.21	0.001
S8	0.113	95.624	63.064	67.262	50.128	-25.516	0.007	21.483	4.770	276.954	148953	31810	0.21	0.007
S9	0.223	101.126	64.842	68.732	56.214	-25.275	0.006	20.482	4.615	291.001	108456	16493	0.15	0.007
S10	0.209	95.693	60.121	63.693	55.410	-24.119	0.006	20.284	1.141	272.454	163423	42497	0.26	0.003



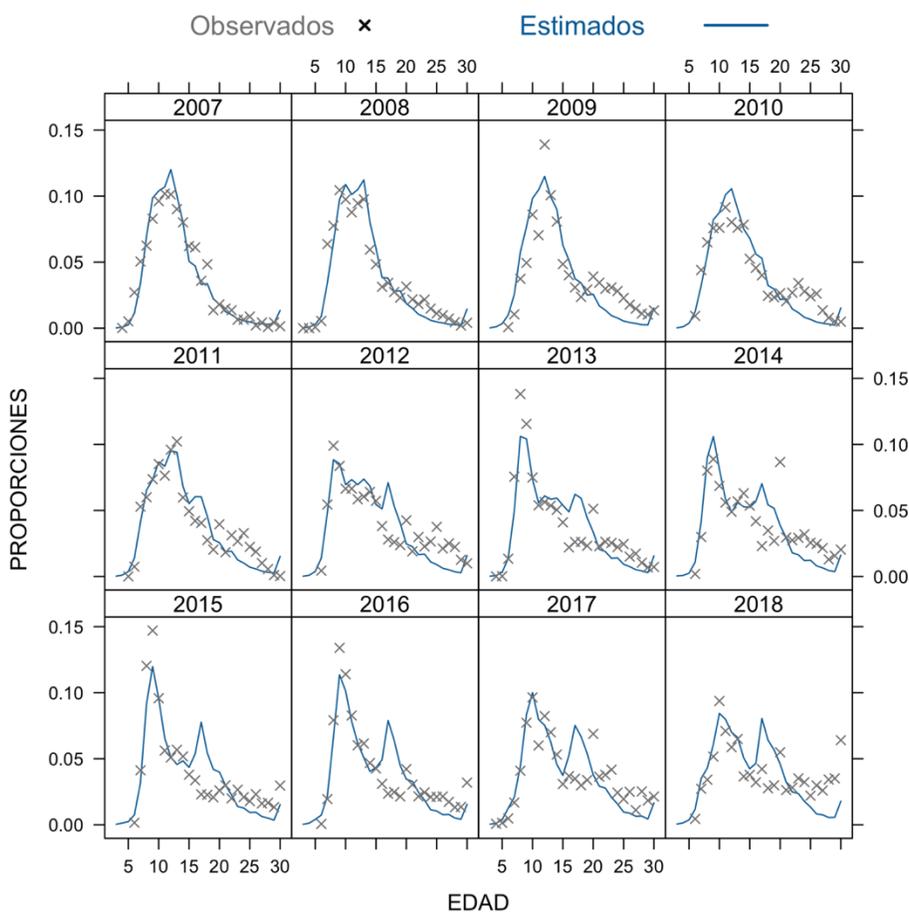
**Figura 17.** Trayectorias de la biomasa desovante, índice de reducción del stock, reclutamientos y mortalidad por pesca del bacalao de profundidad explotado en la ZEE de Chile entre los años 1978 y 2018 según 10 escenarios alternativos a la situación base (S0). Caso 2.

### 4.1.3 Medidas de ajuste

En esta secci3n se informan los ajustes del modelo a los diferentes conjuntos de datos que soportan la evaluaci3n de stock. Informaci3n adicional del ajuste de estos datos se puede encontrar en el **Anexo 3**.

**Caso 1:** Modelo que incluye las pesquerías de la plataforma Pacífica (flotas industrial y artesanal de Chile) y Patagónica (Pesquerías de palangre y arrastre de Argentina).

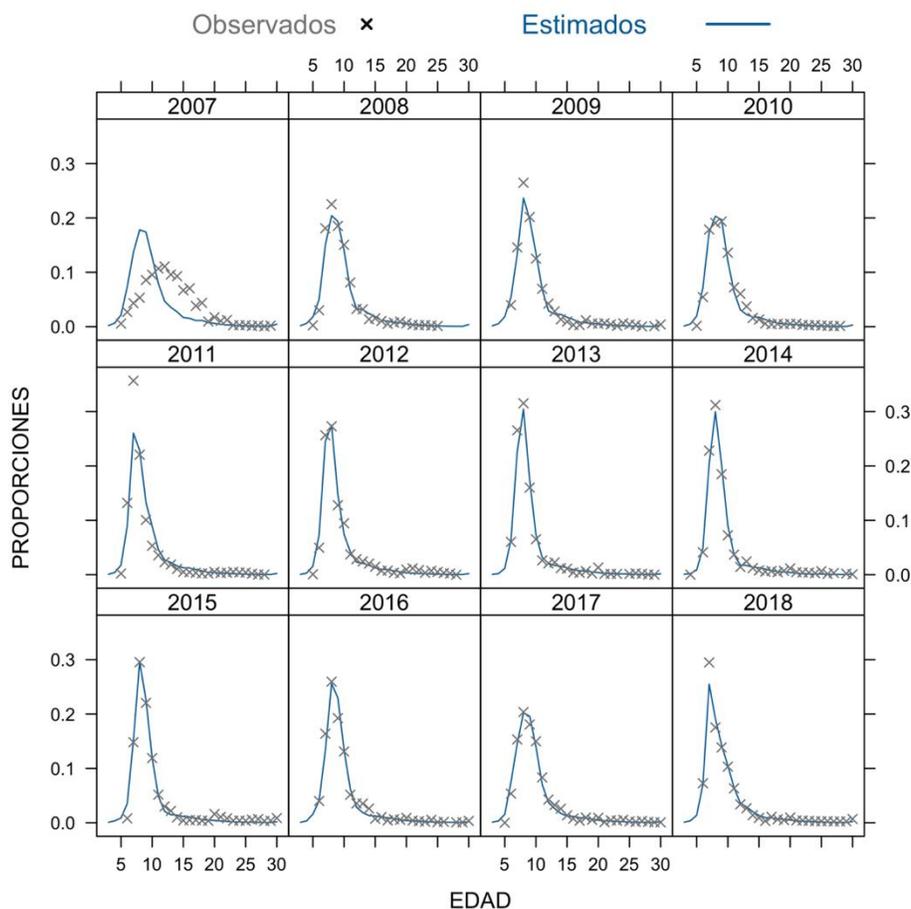
El ajuste a las composiciones de edad de las capturas industriales subestimó las edades mayores a 20 en todos los años con excepci3n del año 2007. La edad 10 tambi3n fue subestimada en los años 2009, 2012-13, 2015-16 y 2018. Por el contrario, las edades 15 a 20 fueron sobreestimadas en los ajustes de los años 2012 a 2018 (**Figura 18; Anexo 3**).



**Figura 18.** Ajuste del modelo a los datos de composici3n de edades de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota industrial chilena entre los años 2007 y 2018. Caso 1.

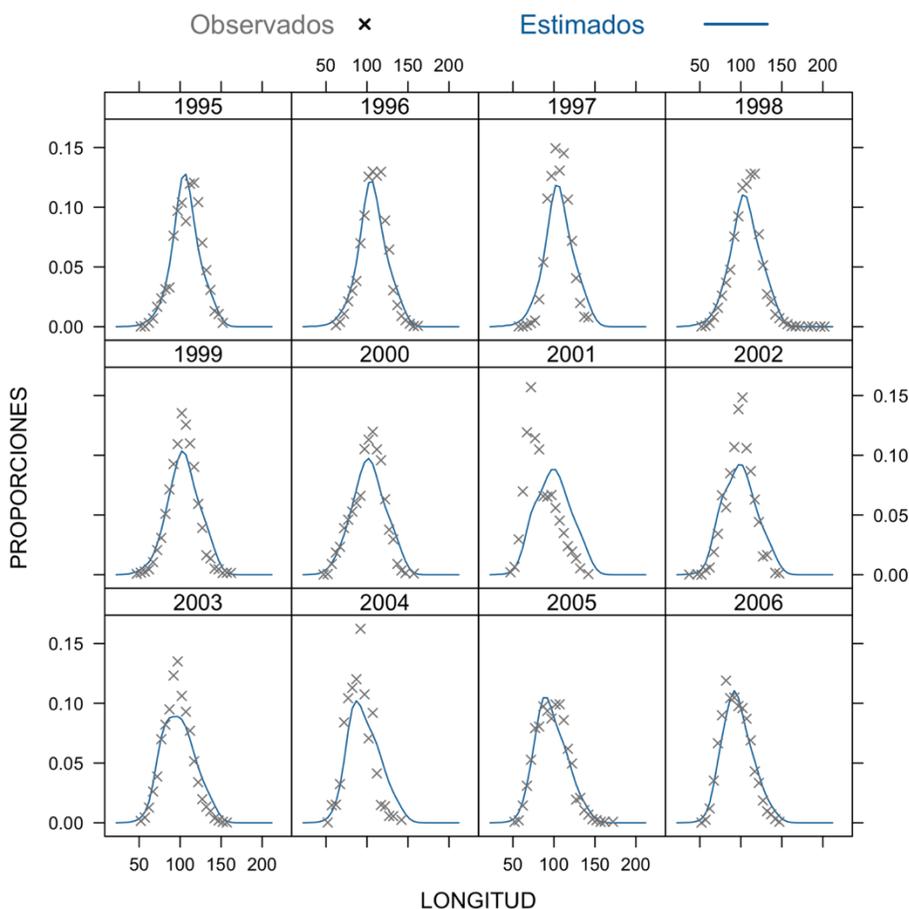


El ajuste de los datos de composición de edad de las capturas artesanales fue mejor al observado con las capturas industriales en todos los años con excepción del año 2007, en el que el modelo sobreestimó las edades menores a 10 y subestimó las edades entre 10 y 20. El modelo también subestimó la edad modal en los años 2008-09 y 2018 (**Figura 19; Anexo 3**).



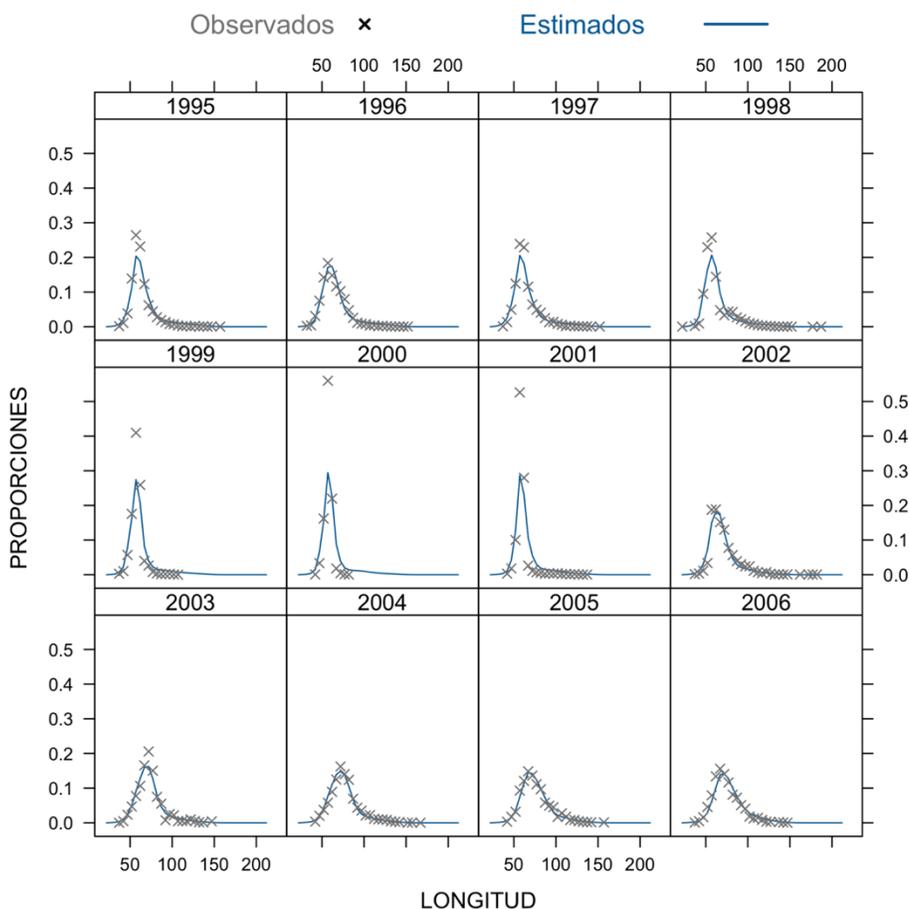
**Figura 19.** Ajuste del modelo a los datos de composición de edades de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota artesanal chilena entre los años 2007 y 2018. Caso 1.

En el ajuste de las composiciones de longitud de la captura industrial el modelo sistemáticamente subestimó la longitud modal entre los años 1997 y 2004. El modelo también sobreestimó las longitudes entre 100 y 150 cm en los años 2001 y 2004. En el ajuste del año 2001 el modelo también subestimó las clases de longitud 52 a 97 cm LT (**Figura 20; Anexo 3**).



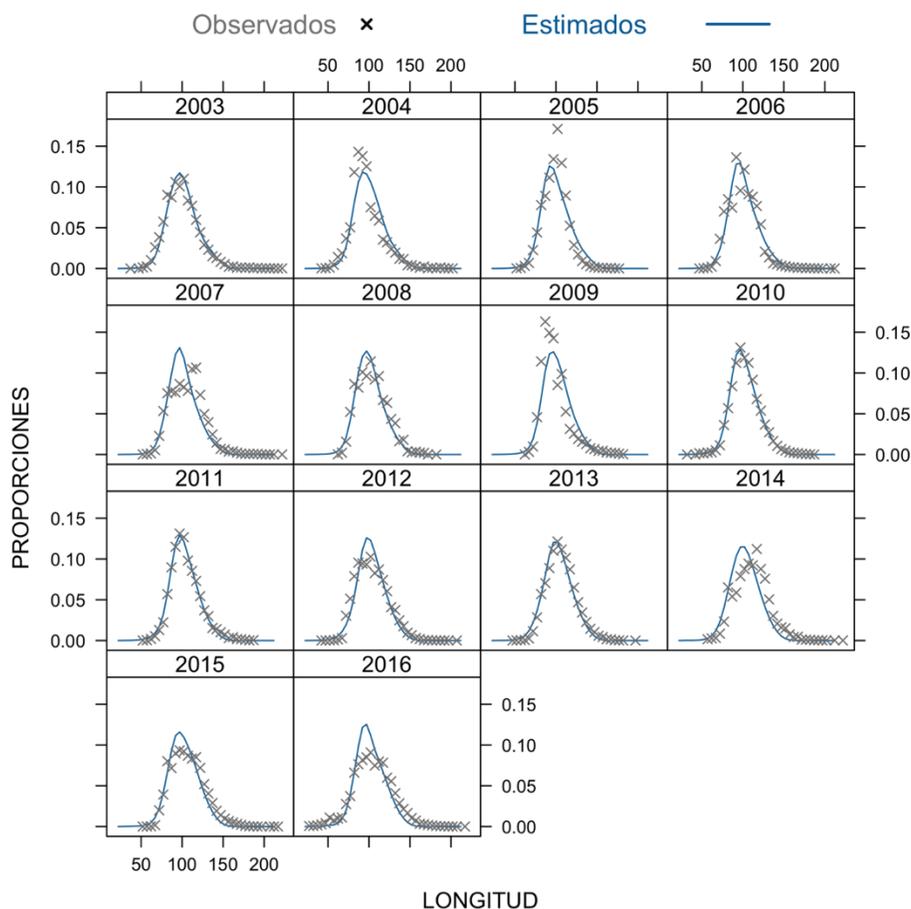
**Figura 20.** Ajuste del modelo a los datos de composici3n de longitudes de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota industrial chilena en los ańos 1995 a 2006. Caso 1.

El ajuste a los datos de composici3n de longitud de la captura artesanal subestim3 la longitud modal de los ańos 1995, 1997, 1998 a 2001 y en el ańo 2003. En los ańos 1999 a 2001 la subestimaci3n de la proporci3n modal de estos datos fue notable (**Figura 21; Anexo 3**).



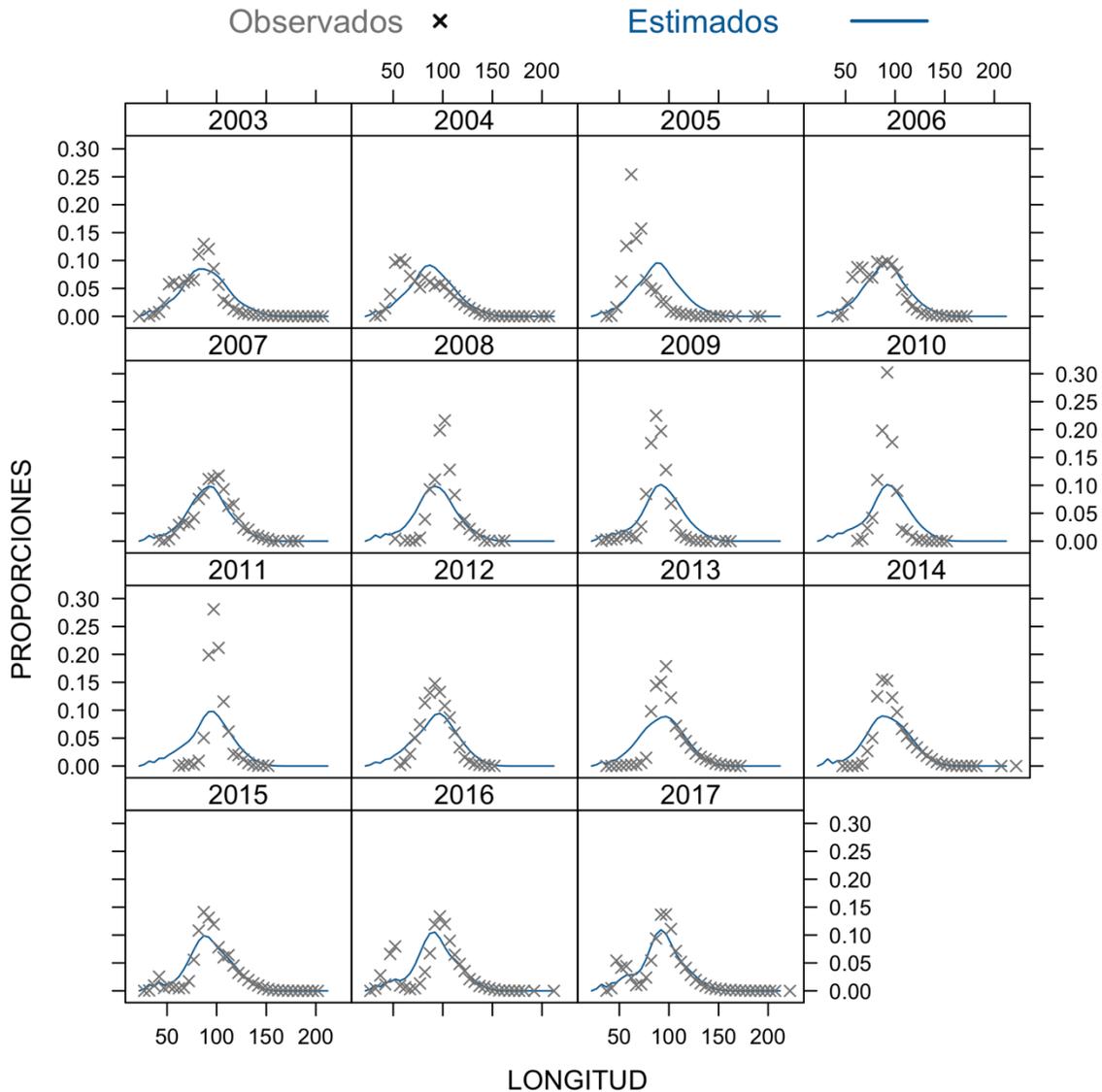
**Figura 21.** Ajuste del modelo a los datos de composici3n de longitudes de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota artesanal chilena entre los ańos 1995 y 2006. Caso 1.

El ajuste de las composiciones de tamańo de las capturas de palangre argentinas sobreestim3 la longitud modal de los ańos 2012, 2015 y 2016 y subestim3 la longitud modal de los ańos 2004, 2005, 2007, 2009 y 2014. En los ańos 2007 y 2014 el ajuste tambi3n sobreestim3 las clases de longitud 82 cm LT a 97 cm LT (**Figura 22; Anexo 3**).



**Figura 22.** Ajuste del modelo a los datos de composición de logitud de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota palangrera argentina entre los años 2003 y 2016. Caso 1.

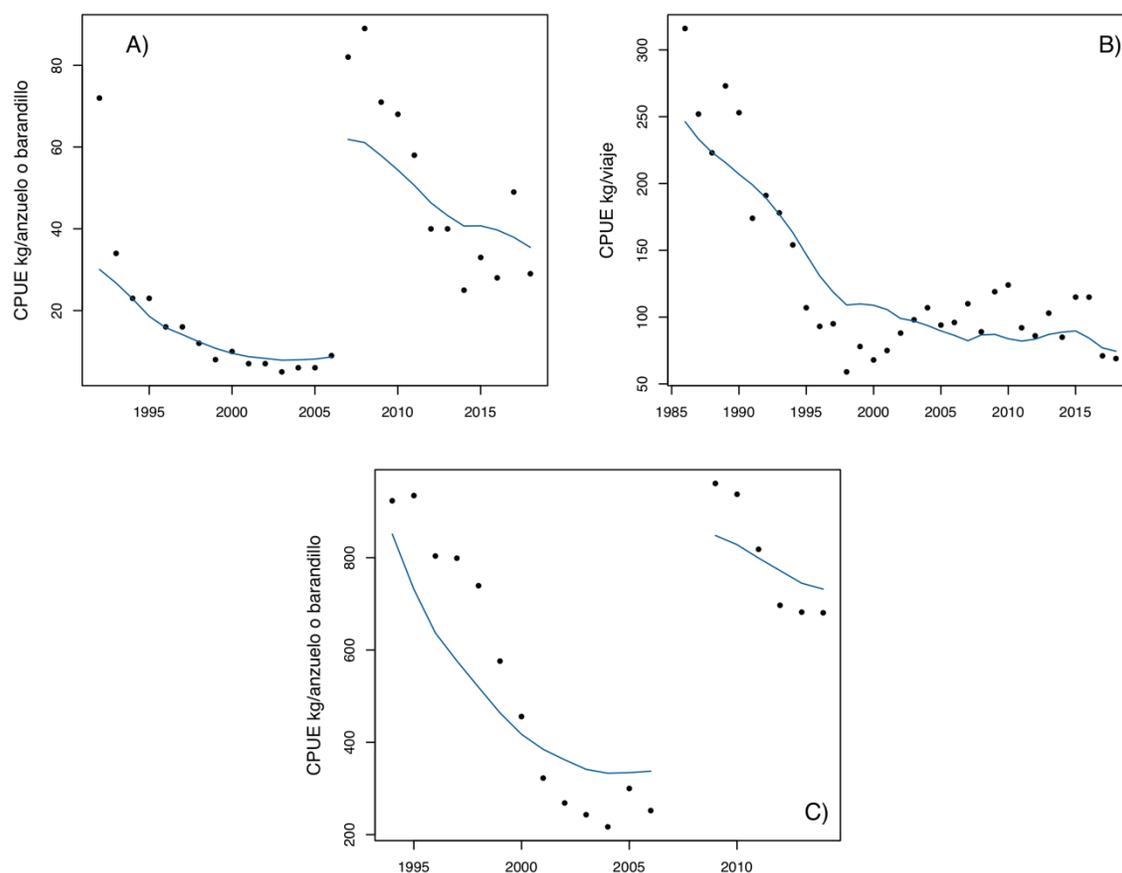
El ajuste de las composiciones de tamaño de las capturas de la pesca de arrastre argentina mostró importantes subestimaciones de la longitud modal en los años 2003, 2005 y 2008 a 2015. En los años 2015 a 2017 estos datos muestran una moda secundaria de individuos menores a 70 cm LT (**Figura 23; Anexo 3**).



**Figura 23.** Ajuste del modelo a los datos de composición de longitud de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota arrastrera argentina entre los años 2003 y 2017. Caso 1.

El ajuste a los índices de abundancia relativa se presenta en la **Figura 24**. Los análisis de estandarización del esfuerzo conducidos para estimar estos índices se informan en el **Anexo 2**. Los residuales de los ajustes se encuentran en el **Anexo 3**.

El ajuste a la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) de la pesca industrial de palangre fue bueno sin embargo, como se ha observado en ajustes previos de estos datos, el modelo no ajusta el dato del año 1992 (**Figura 24 A**) (Los resultados de un ajuste en donde se excluyó este dato se pueden ver en las **Tablas 10 y 11** y en la **Figura 16**). El ajuste a las tasas de captura industriales obtenidas con cachalotera fue satisfactorio pero en general inferior al obtenido con los datos de palangre (**Figura 24 A**). El ajuste de las tasas de captura artesanales en general representa su reducción a través del tiempo, sin embargo, el modelo no ajusta bien los valores más altos de CPUE que corresponden a los años 1986-87 y 1989-90 (**Figura 24 B**).



**Figura 24.** Ajuste del modelo a los índices de abundancia relativa. A): ajuste de los índices estimados con datos de la pesca chilena de palangre (1992-2006) y cachalotera (2007-2018). B): ajuste del índice estimado con datos de la pesca artesanal (1986-2018); C) Ajuste del modelo a los índices estimados con datos de la pesca argentina de palangre (1994 - 2006) y cachalotera (2009 - 2014). Caso 1.



Los ajustes de los índices estimados con datos de las pesquerías argentinas describen relativamente bien la reducción de las tasas de captura en el tiempo, sin embargo el ajuste de la serie de palangre argentina es inferior al ajuste de la serie chilena de palangre industrial (**Figuras 24 A y C**).

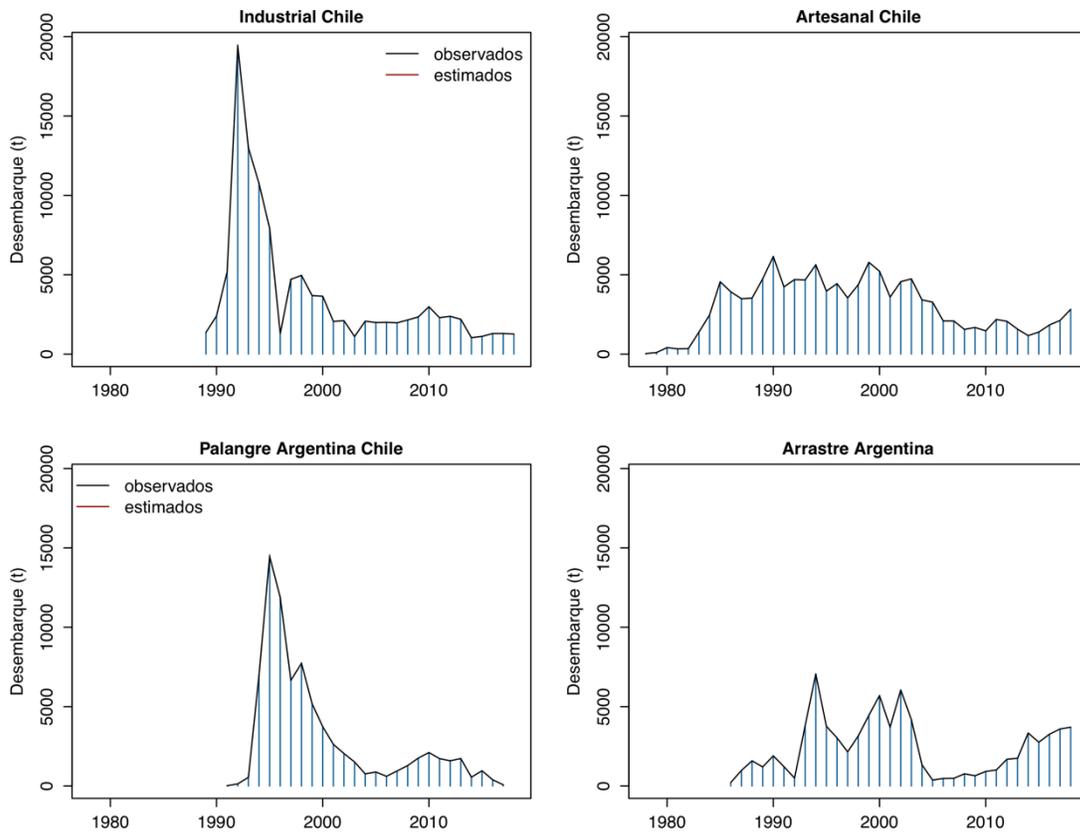
Los valores calculados de la desviación estándar de los residuales normalizados (DERN) y de la raíz del cuadrado medio del error (RCME) para los cinco índices de abundancia ajustados en el Caso 1 de evaluación se muestran en la **Tabla 13**. Un valor de DERN menor a uno implica que el conjunto de datos fue ajustado mejor a lo esperado. Los valores de RCME en cambio deben ser próximos al valor del coeficiente de variación adoptado para el ajuste de estos datos. El bajo valor de RCME para el índice basado en la cachalotera argentina puede estar influido por el escaso número de observaciones (**Figuras 24 C**).

**Tabla 13.**

Valores de la desviación estándar de los residuales normalizados (DERN) y de la raíz del cuadrado medio del error (RCME) para los cinco índices de abundancia relativa incluidos en el ajuste del modelo del Caso 1.

Estadístico	Índices				
	Palangre Chile	Cachalotera Chile	Artesanal Chile	Palangre Argentina	Cachalotera Argentina
DERN	0.150	0.038	0.014	0.004	0.001
RCME	0.309	0.269	0.239	0.266	0.096

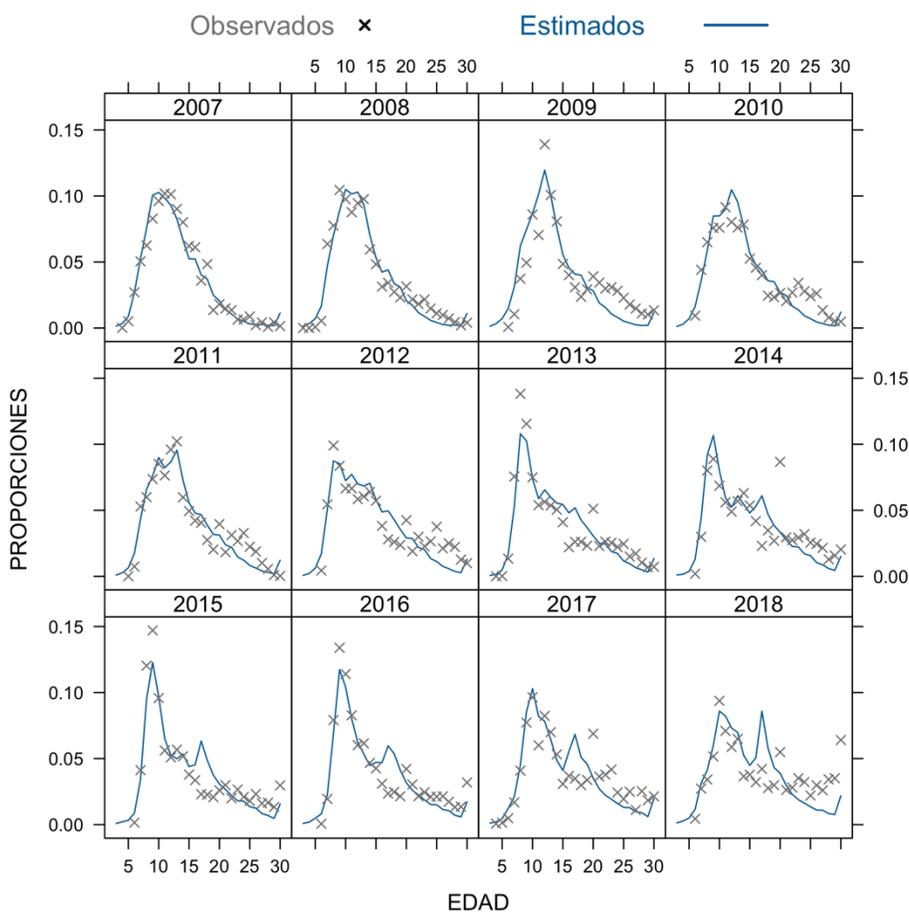
El bajo valor del coeficiente de variación adoptado para las capturas (**Tabla 9**) determina que el ajuste a estos datos sea estrecho (**Figura 25**).



**Figura 25.** Ajuste del modelo a las capturas industriales (1989-2018) y artesanales (1978-2018) chilenas y de palangre (1991-2017) y arrastre argentinas (1986-2018). Caso 1.

**Caso 2:** Modelo que incluye sólo la plataforma Pacífica (flotas industrial y artesanal de Chile).

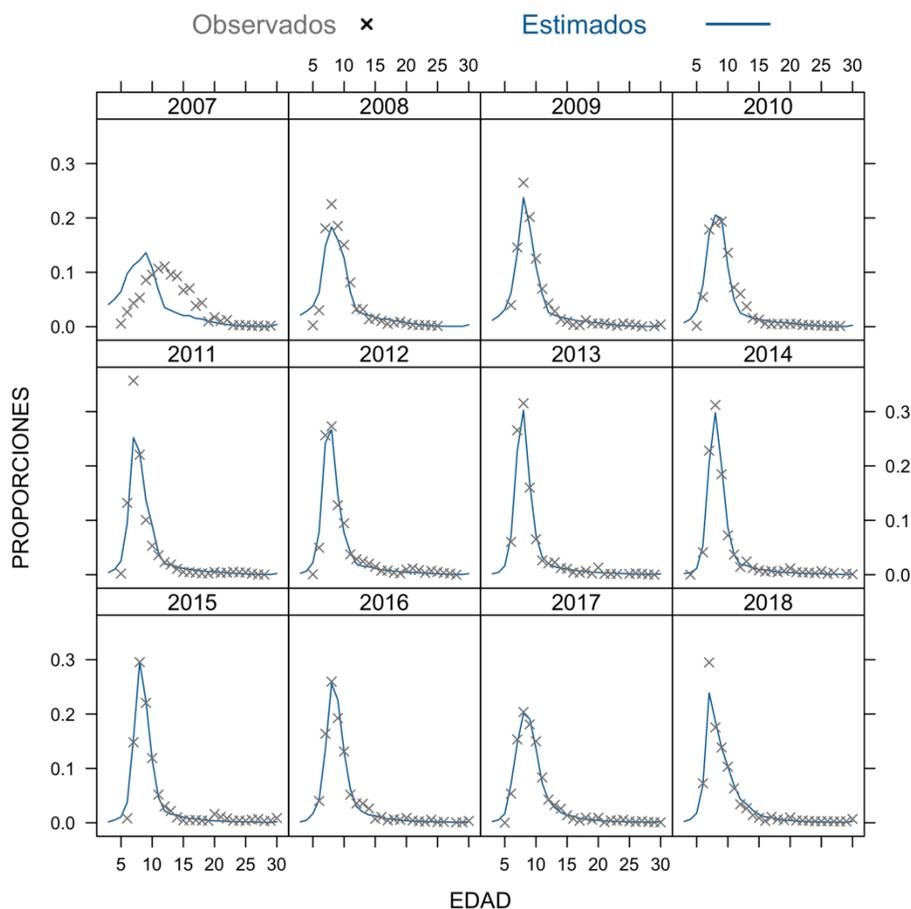
Similar a lo observado en el Caso 1 (**Figuras 18 y 26**), el ajuste de las composiciones de edad de la captura industrial en el Caso 2 subestimó las edades mayores a 20 en la mayoría de los años con excepción del año 2007 y posiblemente también el año 2015. Del mismo modo, la edad 10 fue también subestimada en este caso en los años 2009, 2012-13, 2015-16 y 2018. Las edades 15 a 20 también fueron sobreestimadas en los ajustes de los años posteriores al año 2012 (**Figura 26; Anexo 3**).



**Figura 26.** 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 2018. Caso 2.

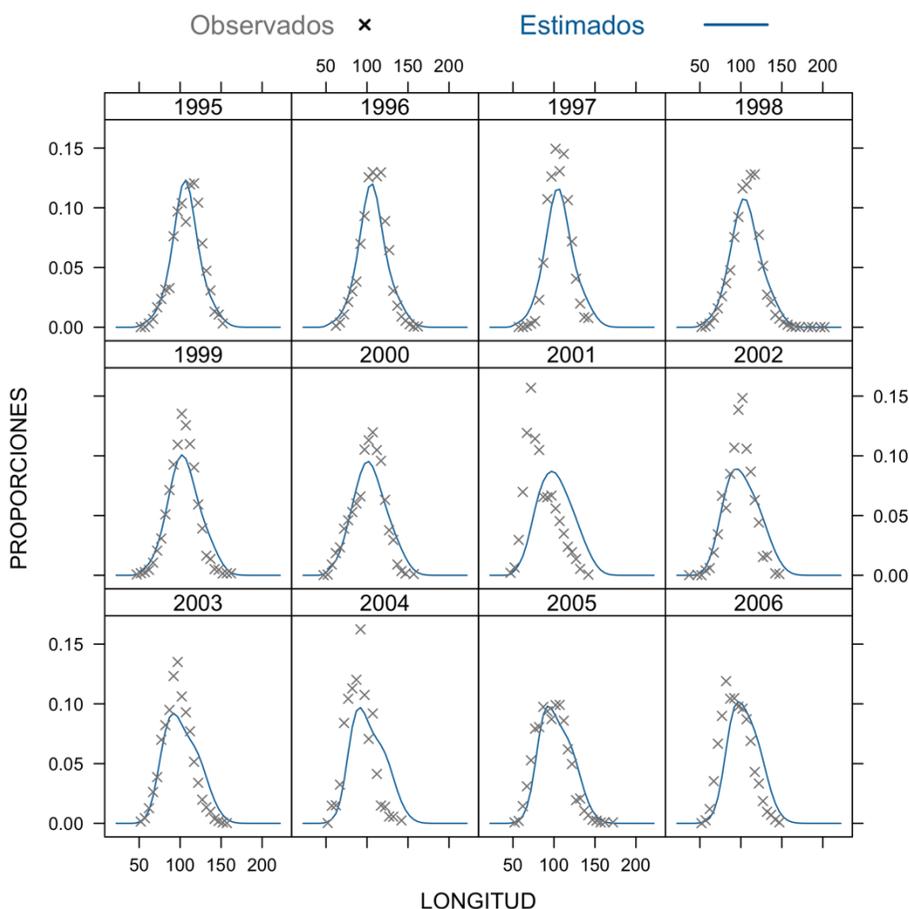


El ajuste de los datos de composición de edad de las capturas artesanales fue también esencialmente el mismo al observado con este conjunto de datos en el Caso 1 (**Figuras 19 y 27**), observándose un satisfactorio ajuste en en todos los años con excepción del año 2007, en donde el modelo sobrestimó las edades menores a 10 y subestimó las edades superiores a 10 y menores a 20 (**Figura 27; Anexo 3**).



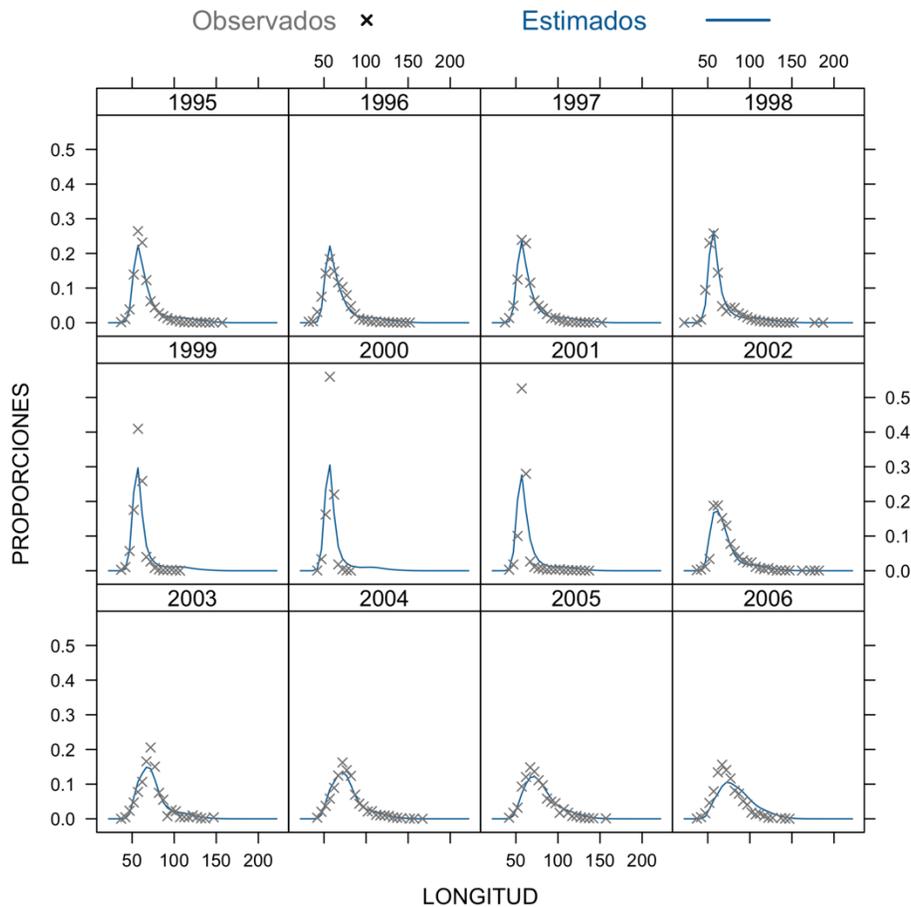
**Figura 27.** Ajuste del modelo a los datos de composición de edades de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota artesanal chilena entre los años 2007 y 2018. Caso 2.

El ajuste de las composiciones de longitud de la captura industrial de los años 1995 a 2006 en este caso y al igual que en el Caso 1 subestimó la longitud modal de los años 1997 a 2004. Tal como fue descrito para el Caso 1, el ajuste del Caso 2 a este conjunto de datos también sobreestimó las longitudes entre 100 y 150 cm en los años 2001 y 2004 pero a diferencia del Caso 1 esto se observó también en el ajuste a los datos del año 2006. En el ajuste de los datos del año 2001, el modelo también subestimó las longitudes 52 a 97 cm LT (**Figuras 20 y 28; Anexo 3**).



**Figura 28.** 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.

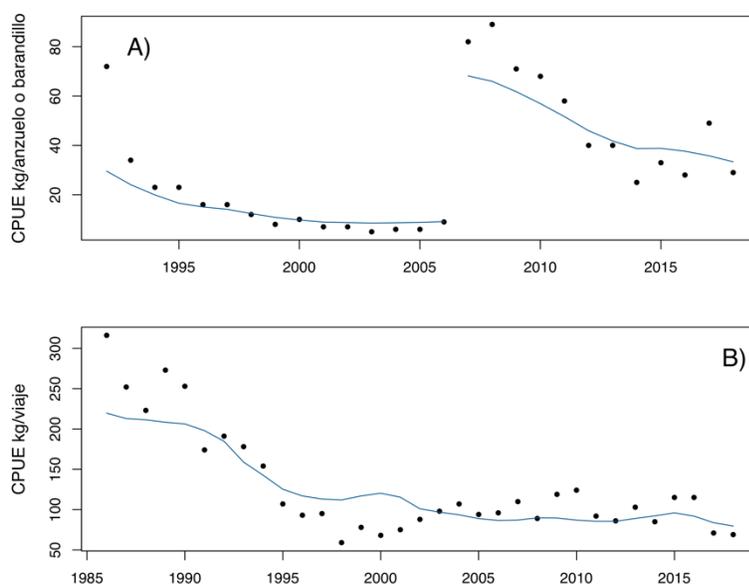
En general el ajuste a los datos de composición de longitud de la captura artesanal se asemeja al obtenido con este conjunto de datos en el Caso 1, observándose en ambos casos una notable subestimación de la longitud modal de los años 1999 a 2001. En el Caso 2, sin embargo, el ajuste a de los años 1997 y 1998 fue mejor al obtenido en el Caso 1 (**Figuras 21 y 29; Anexo 3**).



**Figura 29.** 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 a los índices de abundancia relativa se presenta en la **Figura 30**. Los análisis de estandarizaci3n del esfuerzo conducidos para estimar estos índices se informan en el **Anexo 2**. Los residuales de los ajustes se encuentran en el **Anexo 3**.

En este caso el ajuste a la captura por unidad de esfuerzo de la pesca industrial de palangre fue satisfactorio pero característicamente el modelo no pudo ajustar el valor de CPUE del año 1992 (Figura 30 A) (Los resultados de un ajuste en donde se excluyó este dato se pueden ver en las Tablas 10 y 12 y en la Figura 17). El ajuste a la serie de datos correspondientes a la cachalotera fue en general bueno y algo mejor al obtenido con estos datos en el Caso 1 (Figuras 24 y 30 A). El ajuste de las tasas de captura artesanales también se observó satisfactorio, sin embargo, el modelo subestimó las tasas de captura de los años 1986-87 y 1989-90 y sobreestimó aquellas de los años 1998 a 2001. Estas características del ajuste también se observaron en el Caso 1 con el mismo conjunto de datos pero el ajuste a esta pieza de información en el Caso 2 parece en general mejor (Figuras 24 y 30 B).



**Figura 30.** 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 (2007-2018). B): ajuste del índice estimado con datos de la pesca artesanal (1986-2018). Caso 2.

Los valores de DERN son inferiores a 1 y de este modo sugieren que el ajuste del modelo a las series de abundancia relativa fue bueno, sin embargo, los valores de RCME sugieren que el ajuste a estos datos es inferior al esperado considerando el coeficiente de variación asumido para esta pieza de información (Tablas 9 y 14).

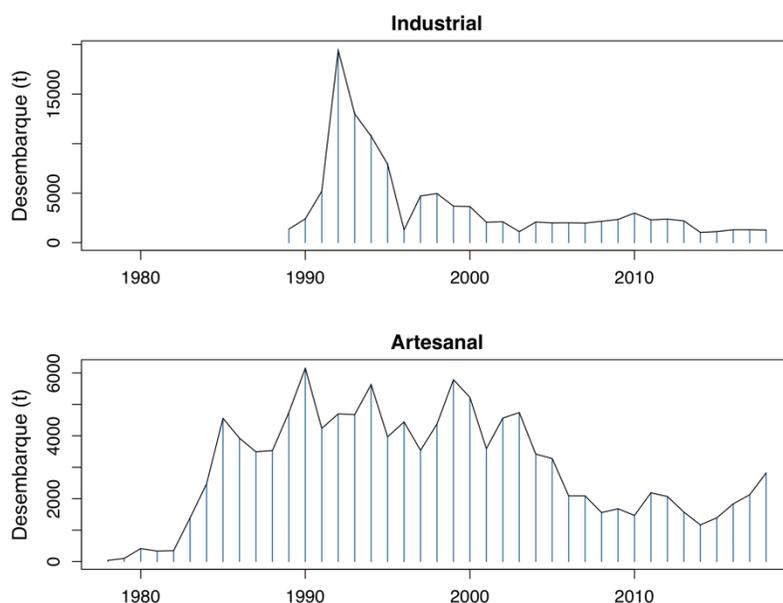


**Tabla 14.**

Valores de la desviaci3n estandar de los residuales normalizados (DERN) y de la raiz del cuadrado medio del error (RCME) para los tres indices de abundancia relativa incluidos en el ajuste del modelo del Caso 2.

Estadistico	Indices		
	Palangre Chile	Cachalotera Chile	Artesanal Chile
DERN	0.180	0.034	0.015
RCME	0.349	0.230	0.245

Al igual que en el Caso 1, el ajuste de las capturas obtenido en el Caso 2 es consecuente con el coeficiente de variaci3n ingresado al modelo (**Figura 31; Tabla 9**).



**Figura 31.** Ajuste del modelo a las capturas industriales (1989-2018) y artesanales (1978-2018). Caso 2.



#### 4.1.4 Estimaciones de los parámetros

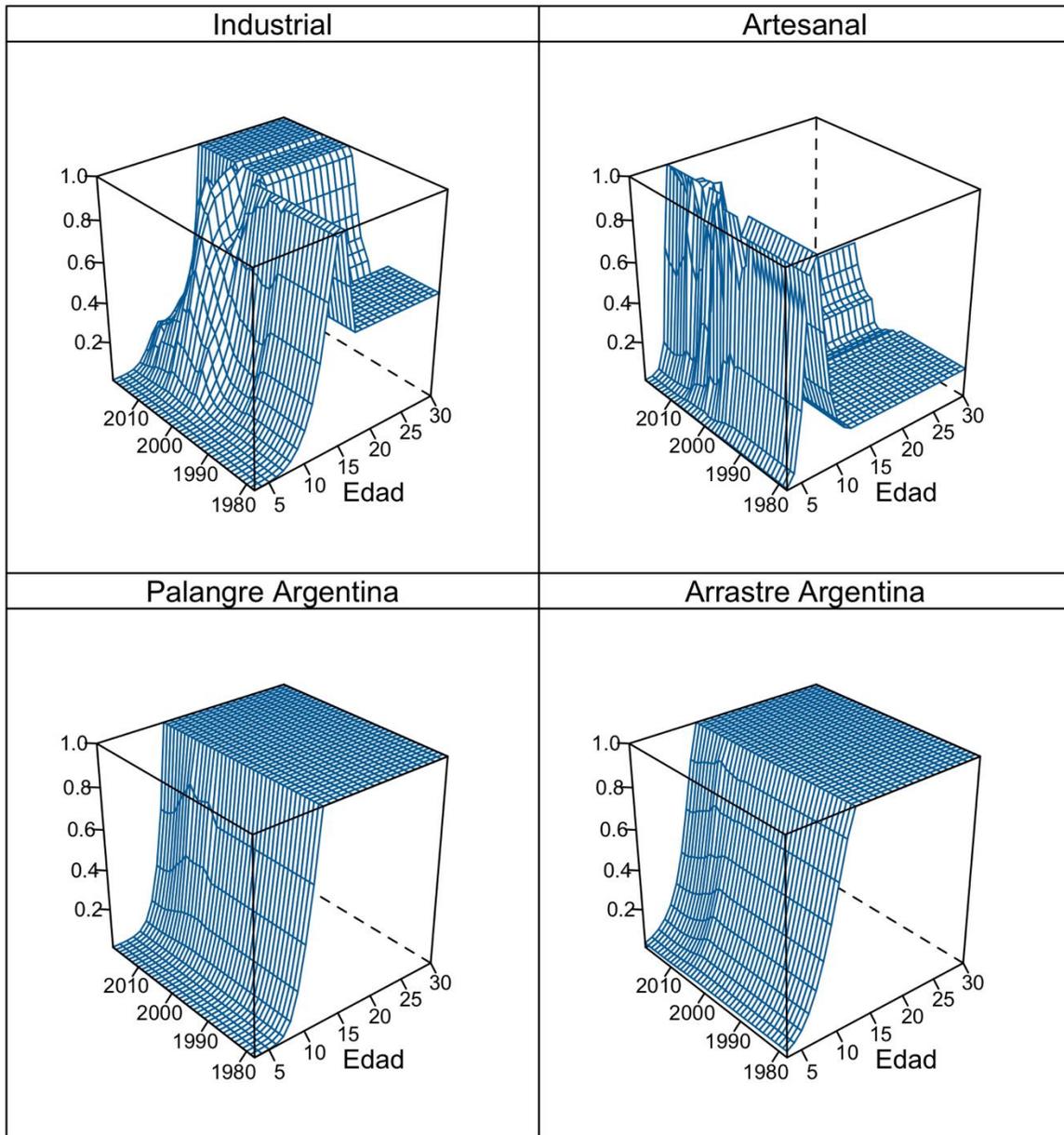
##### 4.1.4.1 Selectividades

Una de las características atractivas del modelo AMAK es la flexibilidad que ofrece para la estimación de las selectividades. El uso de una relación no paramétrica suavizada permite a la selectividad variar tanto a través del tiempo como a través de las edades, lo que a menudo resulta en patrones más complejos de selectividad, tales como los estimados para las pesquerías chilenas (**Figuras 32, 33 y 34**).

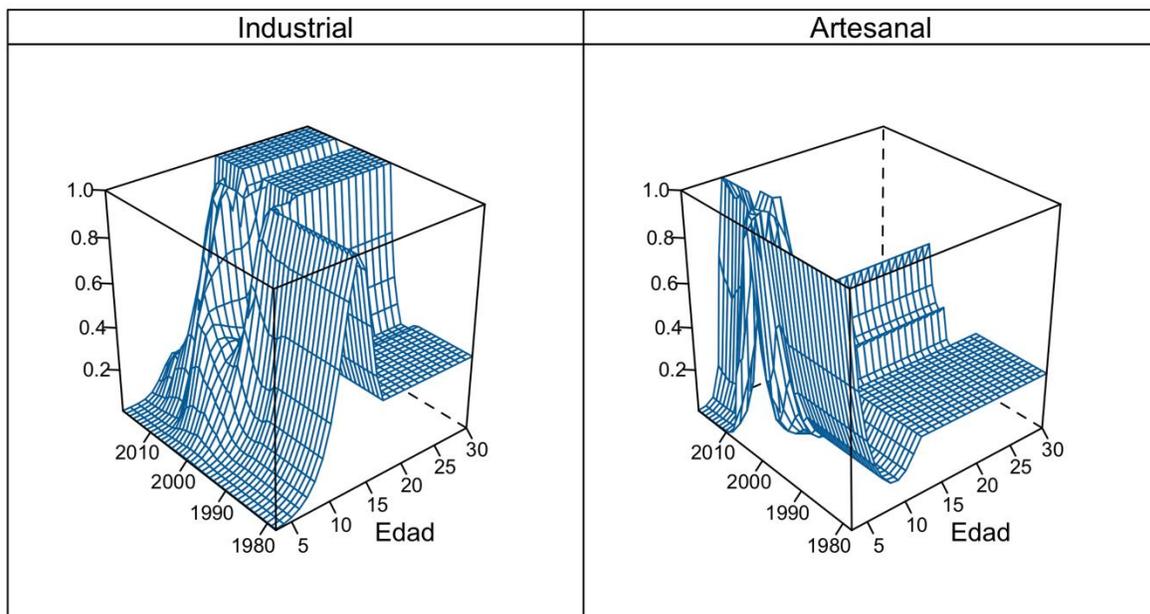
De este modo, la selectividad industrial hasta el año 2000 alcanzó una edad completamente reclutada de 15 a 16 años a partir de la cual se observa luego un cierto nivel de escape de las edades 17+ (**Figuras 32 y 33**). En los años 2001 a 2018, sin embargo, la selectividad adopta una forma asintótica, si bien algo “inusual” con una edad completamente reclutada igual a 17 años (**Figuras 32, 33 y 34**).

La selectividad de la pesquería artesanal presenta una forma cercana a un domo con una alta selectividad de individuos juveniles, alcanzando una edad completamente reclutada de 6 años con una probabilidad de escape cercana al 90% por sobre la edad 10 (**Figuras 32 y 33**). En años más recientes la edad completamente reclutada de esta flota se desplazó a 7 a 8 años con una probabilidad de escape prácticamente constante de 80% por sobre la edad 11 (**Figuras 32, 33 y 34**).

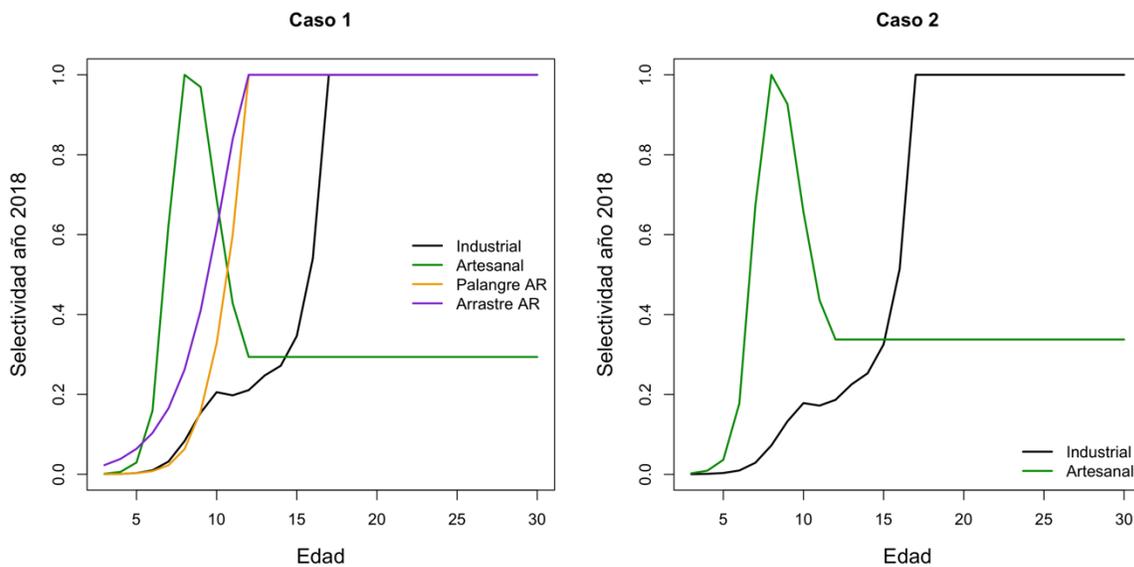
Por el contrario, las selectividades de las flotas argentinas presentaron una selectividad asintótica con una forma más cercana a modelos paramétricos de selectividad, con selectividades de 50% de retención de 10.6 años y 9.5 años y edades completamente reclutadas de 12 años en las flotas de palangre y arrastre, respectivamente (**Figuras 32 y 34**).



**Figura 32.** Selectividades estimadas para las flotas industrial y artesanal chilena y las flotas de palangre y arrastre de Argentina. Caso 1.



**Figura 33.** Selectividades estimadas para la flota industrial y artesanal chilena. Caso 2.



**Figura 34.** Selectividades de las flotas de pesca estimadas para el a#o 2018 en cada caso de evaluaci3n. Panel izquierdo: Caso 1; Panel derecho: Caso 2.

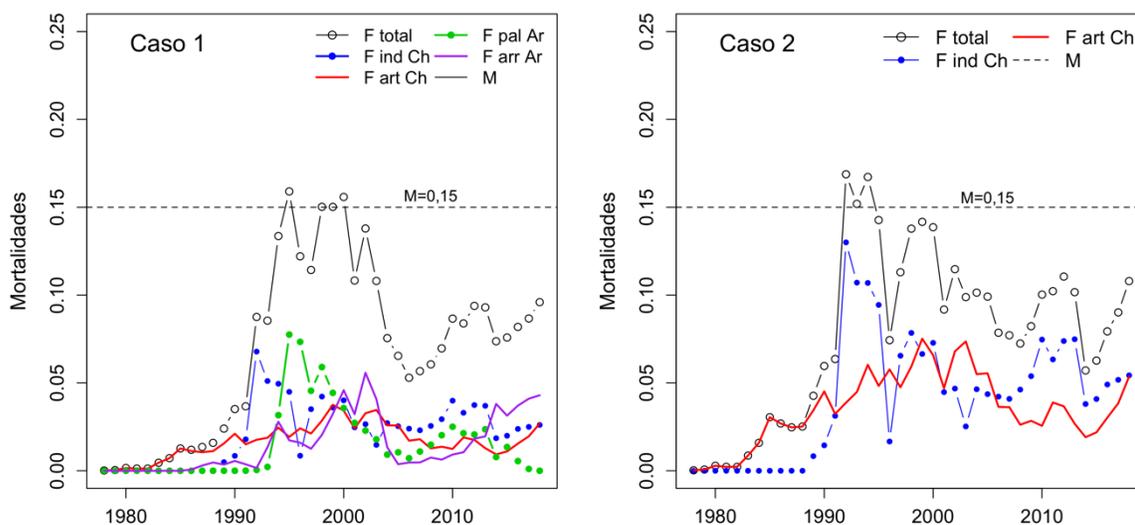


#### 4.1.4.2 Mortalidades

Luego de iniciada la pesquería en la década de los 70s y con la posterior expansión de la pesca desde la Región de Valparaíso a las regiones de Tarapacá y del Biobío, impulsada por una creciente demanda en el mercado exportador, la mortalidad por pesca de este recurso experimentó un incremento continuo a partir del año 1984, alcanzando un valor máximo en 1995 cuando sobrepasó el valor de la mortalidad natural (**Figura 35**). Luego de experimentar algunas fluctuaciones, el valor de la mortalidad por pesca superó nuevamente la mortalidad natural en el año 2000. Estos valores máximos de mortalidad por pesca son alcanzados a pocos años de iniciadas las pesquerías industriales en Chile y Argentina.

Luego de una reducción en la mortalidad por pesca entre los años 2003 y 2006, esta experimentó un nuevo incremento entre los años 2006 y 2018, principalmente como resultado del aumento de los desembarques artesanales en Chile y de la pesca con arrastre en Argentina (**Figuras 4B y 35**). El reciente incremento en la mortalidad por pesca tuvo lugar sin perjuicio de la importante (pero transitoria) reducción en la cuota de captura de la flota industrial chilena en el año 2014 y de la notable reducción en la pesca de palangre en Argentina.

Es de notar que con el inicio de la actividad industrial a comienzos de los años 90s la pesquería de bacalao alcanzó el valor estimado para el punto biológico de referencia adoptado por el CCT-RDAP para la mortalidad por pesca que produce el RMS ( $\tilde{F}_{RMS} \sim F_{45\%SPR} \sim 0,06$ ) (en el año 1992 en el Caso 1 y en 1990 en el Caso 2). Desde entonces, la pesquería se ha mantenido por sobre este valor con excepción de los años 2005-08 (Caso 1) o los años 2014-15 (Caso 2) en donde la mortalidad por pesca regresó transitoriamente a este nivel de referencia (**Figura 35**).



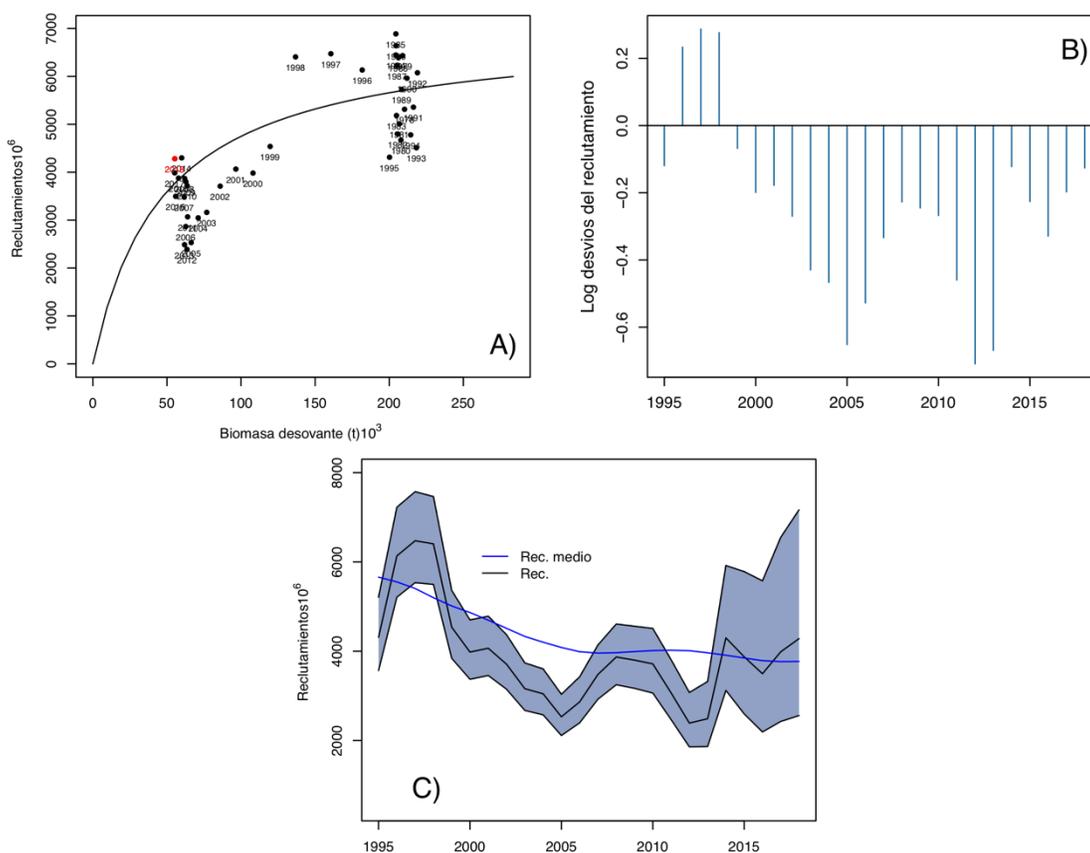
**Figura 35.** Mortalidades por pesca de las edades completamente reclutadas a la pesquería de bacalao de profundidad. F total: mortalidad total; F ind Ch: pesquería industrial chilena; F pal Ar: pesquería palangre argentina; F arr Ar: pesquería arrastre argentina; F art Ch: pesquería artesanal chilena. La línea segmentada corresponde al valor de la mortalidad natural (M). Casos 1 y 2.

#### 4.1.4.3 Reclutamientos

El reclutamiento medio a este stock caracteristicamente muestra una disminuci3n gradual a trav3s del tiempo que sigue la tendencia estimada de la biomasa desovante (**Figuras 36 y 37**).

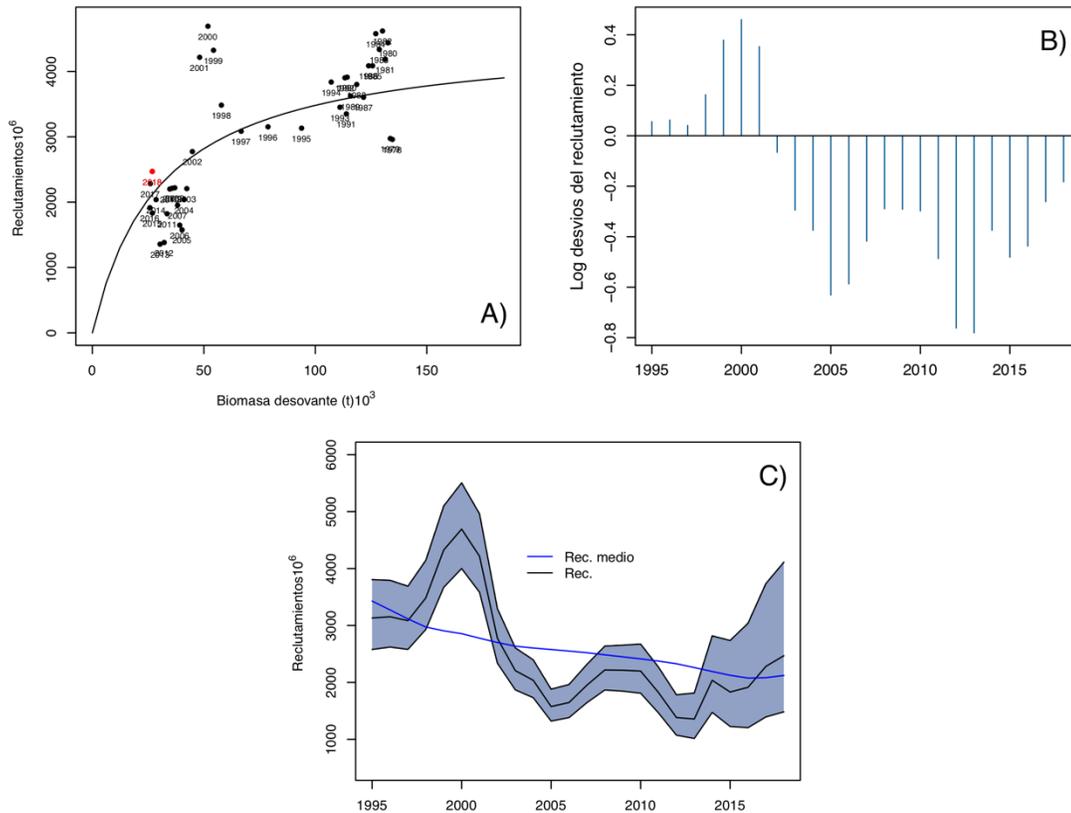
A pesar de que las tendencias y patr3n de los desv3os del reclutamiento fueron similares en ambos casos de evaluaci3n (**Figuras 36 y 37**), los valores altos del reclutamiento en el Caso 1 est3n asociados con desv3os positivos en los a3os 1996 a 1998 (**Figura 36**) y en el Caso 2 con los desv3os positivos de los a3os 1998 a 2001 (**Figura 37**).

La reducci3n de los reclutamientos est3 asociada a un prolongado per3odo de desv3os negativos que se extinguen entre los a3os 1999 y 2018 en el Caso 1 y en los a3os 2002 y 2018 en el Caso 2 de evaluaci3n (**Figuras 36 y 37**).



**Figura 36.** Reclutamientos de bacalao de profundidad estimados entre los a3os 1978 y 2018; A) Curva stock reclutas y reclutamientos estimados en cada a3o (A3o 2018 indicado en rojo); B) desv3os log normales; C) Reclutamiento estimado con banda de confianza de 95%. Rec. medio: reclutamiento Beverton y Holt sin error de proceso. Caso 1.

Es de notar que el incremento relativo de los reclutamientos entre los a1os 2014 y 2018 est1 asociado desv1os comparativamente m1s pr3ximos a cero (**Figuras 36 y 37**).



**Figura 37.** Reclutamientos de bacalao de profundidad estimados entre los a1os 1978 y 2018; A) Curva stock reclutas y reclutamientos estimados en cada a1o (A1o 2018 indicado en rojo); B) desv1os log normales; C) Reclutamiento estimado con banda de confianza de 95%. Rec. medio: reclutamiento Beverton y Holt sin error de proceso. Caso 2.



#### 4.1.4.4 Biomosas

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

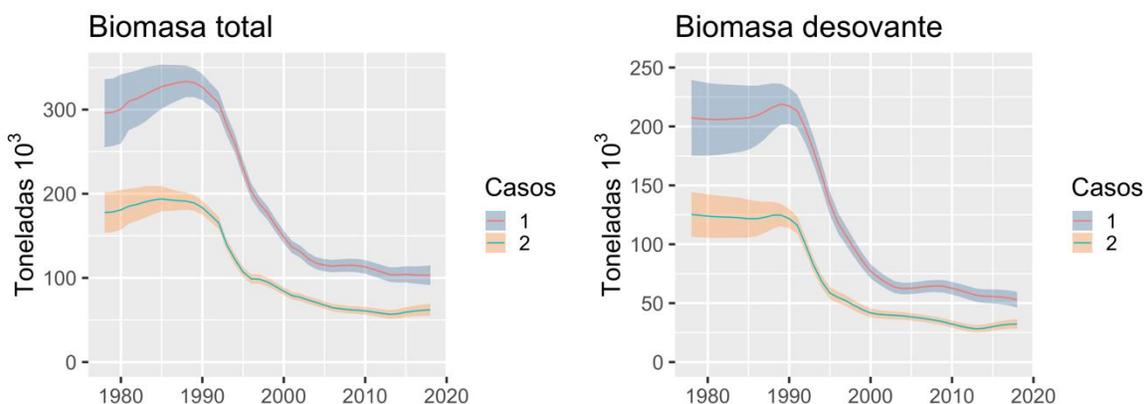
La **biomasa desovante** es el peso de la población que ha alcanzado la madurez sexual y que se encuentra presente a inicios de agosto.

En los dos casos estudiados las fluctuaciones que experimenta la biomasa desovante son similares pero en diferente escala (en el Caso 1 el valor estimado para el parámetro de escala  $B_0$  fue de 230.117 toneladas mientras que en el Caso 2 su valor fue estimado en 142.417 toneladas; **Tablas 11 y 12**) con un máximo en el Caso 1 de 333.630 toneladas que son alcanzadas en el año 1988 y de 193.910 toneladas en el Caso 2 y que se alcanzan en el año 1985 (**Figura 38; Tablas 15 y 16**).

Entre los años 1990 y 2003 la biomasa total declinó en un 60% en ambos casos estudiados, para continuar posteriormente disminuyendo entre los años 2004 y 2018 pero a una tasa inferior de 12% (**Figura 38; Tablas 15 y 16**). La biomasa desovante disminuyó entre un 67% y 70% y de 15% a 18% (dependiendo del caso estudiado) en los mismos períodos.

De este modo, la biomasa total promedio entre los años 2004 y 2018 en el Caso 1 fue estimada en 109.548 toneladas y la biomasa desovante en 59.633 toneladas, en circunstancia que la biomasa total promedio entre los años 1978 y 1990 se estimó era de 318.364 toneladas y la biomasa desovante media 209.755 toneladas. En el Caso 2 la biomasa total media estimada para los años 2004 a 2018 fue de 61.731 toneladas y la biomasa desovante en 32.024 toneladas, en tanto que la biomasa total promedio en los primeros 13 años de la pesquería en el Caso 2 fue estimada en 187.304 toneladas y la biomasa desovante en 123.298 toneladas (**Figura 38; Tablas 15 y 16**).

La biomasa total en el año 2018 fue estimada en 103.250 toneladas en el Caso 1 y en 62.117 en el Caso 2 y la biomasa desovante en 52.884 toneladas y 32.292 toneladas, respectivamente (**Figura 38; Tablas 15 y 16**).



**Figura 38.** Series de biomasa total (edades 3+; panel izquierdo) y biomasa desovante (panel derecho) de bacalao de profundidad, con las respectivas bandas de confianza de 95%. Casos 1 y 2, años 1978 a 2018.

**Tabla 15.**

Biomasa total 3+, biomasa desovante, reclutamientos, mortalidad por pesca y tasas de explotaci3n de bacalao de profundidad, estimadas para los aros 1994 a 2018. Caso 1.

Aros	Biomasa total 3+ (toneladas)	Biomasa desovante (toneladas)	Reclutas (10 <sup>6</sup> )	Mort. Pesca (F)	Tasa Explot. (u)
1994	259700	158330	4908	0.13	0.12
1995	230090	134800	4454	0.16	0.14
1996	203260	118110	5728	0.12	0.11
1997	188250	107070	6009	0.11	0.10
1998	177260	96138	5836	0.15	0.13
1999	162190	85892	4535	0.15	0.13
2000	148750	77121	4119	0.16	0.13
2001	136850	71622	4164	0.11	0.10
2002	131520	67063	3694	0.14	0.12
2003	122880	63502	3178	0.11	0.10
2004	117420	62384	3049	0.08	0.07
2005	115130	62596	2534	0.07	0.06
2006	114020	63431	2880	0.05	0.05
2007	114720	64191	3487	0.06	0.05
2008	115040	64566	3779	0.06	0.05
2009	114620	64270	3575	0.07	0.06
2010	113180	62706	3388	0.09	0.08
2011	110190	60834	2759	0.08	0.07
2012	107080	58724	2172	0.09	0.08
2013	103920	56743	2322	0.09	0.08
2014	103660	55873	4483	0.07	0.07
2015	104310	55690	4231	0.08	0.07
2016	103510	55240	3345	0.08	0.07
2017	103170	54369	3852	0.09	0.08
2018	103250	52884	4243	0.10	0.09

**Tabla 16.**

Biomasa total 3+, biomasa desovante, reclutamientos, mortalidad por pesca y tasas de explotación de bacalao de profundidad, estimadas para los años 1994 a 2018. Caso 2.

Años	Biomasa total 3+ (toneladas)	Biomasa desovante (toneladas)	Reclutas (10 <sup>6</sup> )	Mort. Pesca (F)	Tasa Explot. (u)
1994	122080	68460	3153	0.17	0.14
1995	107070	58587	2987	0.14	0.12
1996	98915	54836	3954	0.07	0.07
1997	98527	52016	4231	0.11	0.10
1998	95168	47974	4026	0.14	0.12
1999	89844	44453	2881	0.14	0.12
2000	84167	41672	2295	0.14	0.12
2001	79022	40556	1990	0.09	0.08
2002	77108	40028	1682	0.11	0.10
2003	73662	39658	1576	0.10	0.09
2004	70799	39187	1661	0.10	0.09
2005	67617	38355	1462	0.10	0.09
2006	64631	37498	1727	0.08	0.07
2007	63297	36482	2208	0.08	0.07
2008	62226	35355	2504	0.07	0.06
2009	61612	34053	2483	0.08	0.07
2010	60833	32238	2443	0.10	0.09
2011	59496	30513	1995	0.10	0.09
2012	57943	29036	1500	0.11	0.10
2013	56723	28182	1452	0.10	0.09
2014	57292	28716	2285	0.06	0.05
2015	59280	30084	2079	0.06	0.06
2016	60570	31276	2001	0.08	0.07
2017	61525	32093	2389	0.09	0.08
2018	62117	32292	2502	0.11	0.10



#### 4.1.5 Resumen de la evaluación de stock

La evaluación del stock de bacalao de profundidad fue actualizada al año 2018 sustentada en los dos modelos conceptuales que han dado el contexto a las recientes implementaciones de este estudio. De acuerdo con ello, el Caso 1 de evaluación asumió que las poblaciones de bacalao del Pacífico y Atlántico forman parte de un único stock cuyo proceso de reclutamiento se sustenta en la biomasa desovante combinada de ambos océanos. En el Caso 2, en cambio, se asumió que el bacalao de profundidad distribuido en el Pacífico sur oriental conforma una población cerrada con respecto a los desovantes y el reclutamiento y de este modo su dinámica no depende de las capturas realizadas en el Atlántico.

Los nuevos datos incorporados en esta evaluación incluyeron las composiciones de edad de las pesquerías artesanal e industrial chilenas, actualizaciones de los índices de abundancia relativa con los datos que fueron recopilados durante el año 2018 por el proyecto de seguimiento de estas pesquerías y las capturas realizadas en el año 2018 tanto en las pesquerías chilenas como en las argentinas.

De acuerdo con los resultados, al inicio de la pesquería la biomasa desovante del recurso se encontraba cercano a un valor medio de 209.755 toneladas en el Caso 1 y de 123.298 toneladas en el Caso 2. Junto con el desarrollo de la actividad pesquera, entre los años 1988 y 2003 la biomasa disminuyó en un 70% alcanzando un valor de 63.502 toneladas al final de este período en el Caso 1 y de 39.658 toneladas en el Caso 2. Entre los 2004 y 2014, si bien la biomasa desovante de la población continuó su reducción, ésta tuvo lugar a una menor velocidad de modo que la reducción porcentual en este período fue de un 15% a 18% (dependiendo del caso analizado) alcanzando en el año 2018 52.884 toneladas y 32.292 toneladas en los Casos 1 y 2, respectivamente.

Como resultado de la reducción progresiva de la biomasa desovante a través del tiempo, los reclutamientos experimentaron también cambios en la misma dirección y magnitud relativa, de manera que entre los años 2004 y 2014 esta disminución fue bastante más lenta en comparación con la reducción estimada para el período 1988 y 2003, tal como se observó con las fluctuaciones de la biomasa.

## 4.2 OBJETIVO 2: Establecer el estatus actualizado del recurso

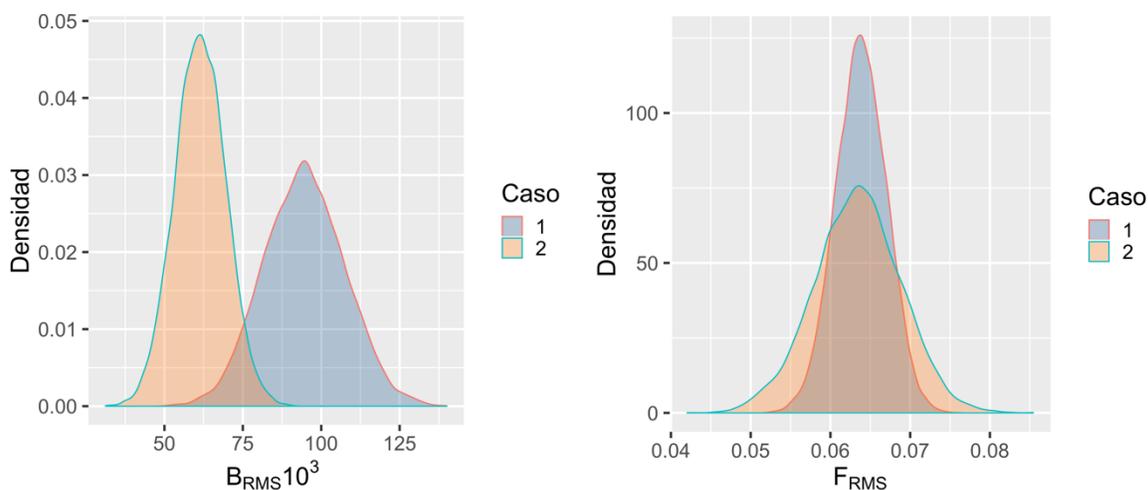
### 4.2.1 Puntos biológicos de referencia

Los valores estimados para los puntos biológicos de referencia sustitutos del RMS en cada caso de evaluación de stock se entregan en la **Tabla 17** y **Figura 39**.

**Tabla 17**

Valores sustitutos de los puntos biológicos de referencia del Rendimiento Máximo Sostenible (RMS) estimados para el bacalao de profundidad en los casos 1 y 2 de la evaluación de stock.

	$F_{RMS}$			$B_{RMS}$		
	25%	50%	75%	25%	50%	75%
<b>Caso 1</b>	0,062	0,064	0,066	86.247	94.831	103.727
<b>Caso 2</b>	0,060	0,063	0,067	55.746	61.448	66.950



**Figura 39.** Distribuciones de probabilidad de los puntos biológicos de referencia del rendimiento máximo sostenible estimados para los dos casos estudiados en la evaluación.



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

Según el Caso 1, entre los años 1978 y 1990 el stock desovante se mantuvo en un 90% de su potencial reproductivo máximo y en un 87% de acuerdo con el Caso 2. A partir del año 1991 y coincidiendo con un incremento del esfuerzo en la pesquería artesanal y con el desarrollo de la actividad industrial (en Chile y Argentina en el Caso 1 y sólo en Chile en el Caso 2) el IRS disminuyó rápidamente, alcanzando el nivel objetivo de reducción de la biomasa desovante en los años 1998-99 en el Caso 1 y en los años 1995-96 en el Caso 2 (**Figura 40**).

El esfuerzo de pesca total experimentó una reducción entre los años 2000 y 2007 alcanzando un valor de mortalidad por pesca inferior o próximo a  $F_{RMS}$  (dependiendo del caso) lo que contribuyó a desacelerar la reducción en el potencial reproductivo manteniéndolo próximo a un 30% durante este período en los dos casos analizados (**Figura 40**).

El esfuerzo de pesca se incrementó una vez más a partir del año 2008 superando nuevamente el valor de  $F_{RMS}$  y reduciendo el potencial reproductivo hacia el valor límite de 20% establecido para la reducción de la biomasa desovante ( $0,2B_0 \sim 0,5B_{RMS}$ ). En el año 2018 el valor del IRS fue estimado en 0,23 en ambos casos de evaluación (**Tabla 18; Figura 40**).

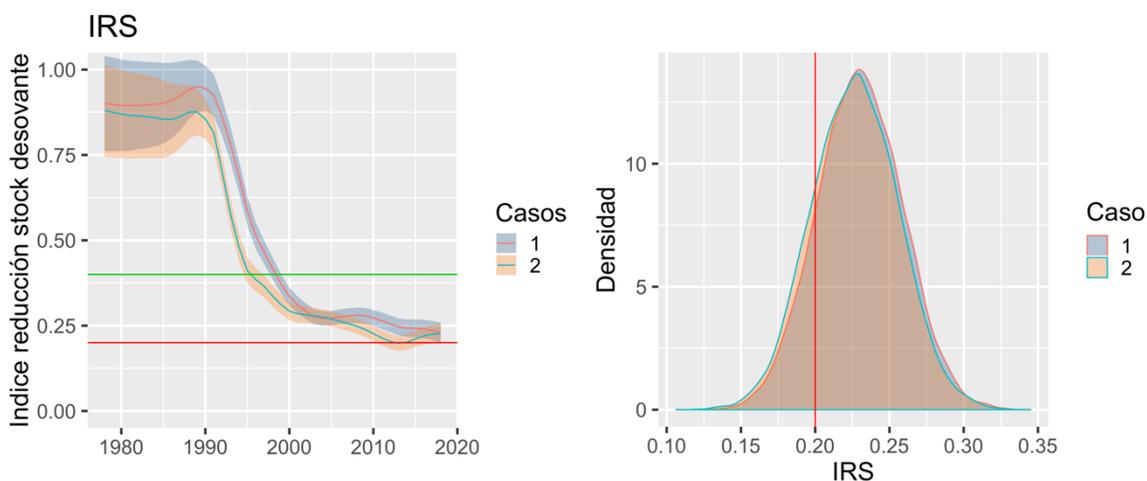
**Tabla 18**

Cuartiles 1 al 3 de los valores estimados del Índice de Reducción del stock Desovante (IRS) de bacalao de profundidad entre los años 1978 y 2018 y en dos casos de evaluación de stock.

	Índice de Reducción del Stock Desovante (IRS)		
	25%	50%	75%
<b>Caso 1</b>	0,209	0,229	0,249
<b>Caso 2</b>	0,207	0,226	0,246

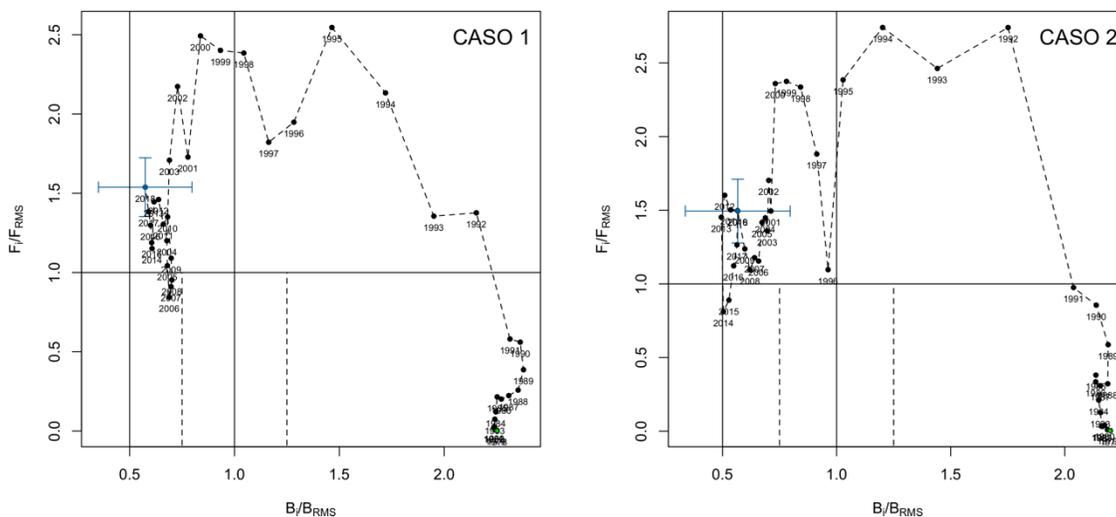
#### 4.2.3 Marco biológico de referencia

Con los valores de la biomasa desovante, la mortalidad por pesca y los puntos biológicos de referencia estimados en la evaluación, podemos observar los cambios de estado del stock a través del tiempo con relación su nivel de explotación, representando esta información en un marco biológico de referencia o diagrama de fase del stock (**Figura 41**). De acuerdo con el MBR el stock se encontraba sub-explotado entre los años 1978 y 1991. Luego del inicio de la pesca industrial en Chile y Argentina, a inicios de los años 90s, la mortalidad por pesca sobrepasó el valor de  $F_{RMS}$  y la biomasa desovante se redujo desplazando el stock a la región de sobre-explotación en el año 1999 (Caso 1) o 1996 (Caso 2).



**Figura 40.** Panel izquierdo: Fluctuaciones del índice de reducción del stock desovante (IRS) de bacalao de profundidad estimado para los dos casos estudiados en la evaluación de stock. Se incluye la banda de confianza de 95%; Panel derecho: distribuciones de probabilidades del IRS en el año 2017 en los dos casos analizados. En ambos gráficos se indica el límite que define la zona de colapso (línea roja:  $0,2B_0$ ). En el panel izquierdo se indica además el nivel de reducción objetivo (línea verde:  $0,4B_0$ ).

La mortalidad por pesca experimentó una reducción entre los años 2000 y 2007 de manera que que en el Caso 1 esta se localizó transitoriamente por debajo del valor de  $F_{RMS}$  en los años 2005 a 2008, luego de lo cual se volvió a incrementar moviendo al stock proximo a la región de agotamiento o colapso (**Figura 41**). En el Caso 2 , en cambio, la mortalidad por pesca se incrementó nuevamente entre los años 2008 y 2013 lo que significó el ingreso del stock a la región de agotamiento o colapso en el año 2013. La drástica reducción en las cuotas de captura en los años 2014-2015 redujo la mortalidad por pesca por debajo del nivel de  $F_{RMS}$  y localizó al stock en la región de sobreexplotación. A pesar de observarse un nuevo incremento en la mortalidad por pesca, por sobre el valor de  $F_{RMS}$ , entre los años 2016 y 2018 el potencial reproductivo estimado en el Caso 2 se matuvo alrededor de un valor de 22-23% (**Figura 41**).



**Figura 41.** MBR mostrando la trayectoria del stock de bacalao de profundidad entre los años 1978 y 2018 para los dos casos de evaluación de stock. CASO 1: modelo que incluye las pesquerías de las ZEE de Chile y Argentina; CASO 2: modelo que incluye sólo las pesquerías chilenas. La situación del stock en el año 2018 se destaca en azul.

#### 4.2.4 Resumen del estatus del stock de bacalao de profundidad

La información, datos y conocimiento acerca de la biología, dinámica y estructura poblacional del bacalao de profundidad y del desarrollo de la actividad pesquera en la plataforma Pacífica y Patagónica fueron actualizados e interpretados en el contexto de los dos modelos conceptuales que han servido de soporte a las evaluaciones de este stock en los últimos cuatro años a fin de determinar su estatus al año 2018.

Con esta finalidad, se actualizaron las dos evaluaciones que corresponden con estos casos y con ellas los puntos biológicos de referencia, el índice de reducción del stock desovante y el marco biológico de referencia para cada caso.

De acuerdo con los resultados el potencial desovante se mantuvo próximo a su valor máximo hasta el año 1990 para luego experimentar una rápida reducción debido al incremento de la mortalidad por pesca como resultado del concurrente incremento del esfuerzo en la pesquería artesanal y el desarrollo de las operaciones industriales en aguas de la zona austral de Chile y en Argentina. Esta disminución del potencial desovante alcanzó el valor objetivo de  $0,4B_0$  en los años 1998-99 según el Caso 1 o 1995-96 según el Caso 2. Una reducción en el esfuerzo de pesca mantuvo el potencial reproductivo cercano a un 30% en los años 2000 a 2007, sin embargo, el incremento en el esfuerzo de pesca en los últimos 10 años resultó en una reducción del potencial reproductivo hacia el valor límite de referencia de  $0,2B_0$  situando el valor del IRS estimado para el año 2018 en 0,23 en los dos casos analizados.



La trayectoria de los cambios de situación del stock a través del tiempo, de acuerdo con su historia de explotación, muestra que hasta el año 1991 el stock se encontraba en una situación de sub-explotación. Luego simultáneamente al notable incremento del esfuerzo durante la década de los 90s, la que superó durante este período el valor de  $F_{RMS}$ , la biomasa desovante se redujo localizando el stock, a mediados/fines de este período, en la región de sobreexplotación. En este punto se observaron diferencias entre los casos 1 y 2. En el primero la mortalidad por pesca se redujo rápidamente entre los años 2000 a 2007 y luego se incrementó gradualmente hasta el año 2018 y de este modo la mortalidad por pesca entre los años 2005 y 2007 se encontró bajo el valor de  $F_{RMS}$ . El creciente esfuerzo de los años siguientes localizó al stock próximo a la biomasa límite. En el Caso 2, la reducción del esfuerzo entre los años 2000 a 2007 no alcanzó el valor de  $F_{RMS}$  pero su subsecuente incremento llevó al stock a la región de agotamiento en el año 2013. La reducción de la cuota de captura en el año 2014 y procesos de reclutamiento y crecimiento en los últimos años contribuyeron a mover al stock desde la zona de agotamiento a la región de sobreexplotación.

#### 4.2.5 Estado de situación de la pesquería de bacalao de profundidad

Los resultados de la evaluación de stock actualizada al año 2018 indican que el stock se encuentra en un 0,23% de su potencial desovante máximo y de este modo la biomasa desovante es superior al punto biológico de referencia límite de  $0,5 \cdot B_{RMS}$ . Consecuentemente, la situación del bacalao de profundidad es aquella de una **pesquería sobreexplotada**.



### 4.3 **OBJETIVO 3: Análisis de la Captura Biológicamente Aceptable**

Las proyecciones de la población fueron realizadas con un horizonte de 50 años usando las estimaciones de selectividad y del número de individuos por grupo de edad del año 2019, las que fueron obtenidas asumiendo que las capturas serán igual a la magnitud de las cuotas de captura establecidas para este año, tanto en las pesquerías industrial y artesanal chilena (Dto. Exento 468/2018 SUBPESCA) como en la pesca argentina de este recurso (Resolución 5/2019 Consejo Federal Pesquero).

Las estrategias de explotación evaluadas fueron cinco y correspondieron a una mortalidad por pesca constante e igual a  $F_{RMS}$  y a mortalidades por pesca constantes de 75%, 50%, 25% y 0% de  $F_{RMS}$ .

Los descartes del recurso fueron incluidos en la determinación de la CBA incrementando la captura observada según el valor del factor correspondiente al porcentaje descartado por año y flota/pesquería (la CBA estimada debe ser luego reducida de acuerdo al mismo factor de descarte, siendo este específico de cada una de las flotas que hayan registrado descartes; **Tabla 19**). Las estimaciones del descarte fueron proporcionadas por el Programa de Investigación del Descarte y Captura de Pesca Incidental (Bernal et al. 2018).

**Tabla 19**

Porcentaje descartado (PD), factor de corrección por descarte y valores de captura corregidos (Captura + D) de la flota industrial chilena de acuerdo con las estimaciones realizadas por Bernal et al. (2018).

Año	Captura	PD	Factor	Captura + D
2015	1117	7.88	1.0788	1205
2016	1301	1.77	1.0177	1324
2017	1302	12.2	1.13895	1483
2018	1270	10.6	1.11832	1420
2019	2208	10.6	1.11832	2469



En el análisis de desempeño de las estrategias se usaron los siguientes indicadores: la reducción de la biomasa desovante en el año 50 de la proyección ( $B_{2069}$ ) respecto de la biomasa presente en el año 2019 ( $B_{2019}$ ), 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 que la biomasa desovante al final de la proyección sea inferior a  $B_{2019}$ , la probabilidad que la biomasa desovante al final de la proyección sea inferior a  $B_{RMS}$  y la probabilidad que la biomasa al final de la proyección sea inferior a la biomasa límite ( $0,5 \cdot B_{RMS}$ ). Los tiempos de recuperación del stock (años que toma a la población alcanzar el estado de plena explotación) también se reportan para cada caso y estrategia evaluada. Los análisis fueron realizados en el contexto de los dos casos estudiados en la evaluación de stock y de dos escenarios en cada caso (con y sin corrección por descarte).

Los escenarios con descartes fueron implementados aplicando las correcciones en la flota en donde estos fueron originados (i.e. el factor de descarte es específico de cada flota), de este modo y en ausencia de otras estimaciones de descartes, estas sólo fueron realizadas para la flota industrial chilena.

#### 4.3.1 Caso 1 (incluye flotas artesanal e industrial chilenas y palangre y arrastre de argentina).

En ausencia de descartes, el ejercicio de una mortalidad igual a  $F_{RMS}$  permitiría extraer un total de 4.658 toneladas de bacalao permitiendo aun un incremento de 70% en la biomasa desovante y de este modo alcanzar un 80% de  $B_{RMS}$  en 50 años. Bajo una estrategia de  $F_{RMS}$  la probabilidad de disminuir la biomasa por debajo de la presente es mínima y de este modo es también improbable que esta estrategia pueda llevar el recurso a su agotamiento en 50 años. La probabilidad de no alcanzar el objetivo de manejo es, sin embargo, alta (**Tabla 21**).

Una estrategia con mortalidad igual a  $0,75F_{RMS}$  equivale a extraer un total de 3.524 toneladas permitiendo aún duplicar la biomasa al final del período proyectado y de esta manera alcanzar la región de plena-explotación en 36 años. Con esta estrategia la probabilidad de no alcanzar el objetivo de manejo al final del período proyectado es inferior a 50% y el riesgo de disminuir la biomasa por debajo la presente o de agotar el stock es mínimo (**Tabla 21**).

La extracción de una captura en el rango 0 a 2.369 toneladas implicaría incrementar la biomasa desovante de 3 a más de 4 veces su tamaño presente con una alta probabilidad de alcanzar la región de plena-explotación en 9 a 18 años (**Tabla 21**).

**Tabla 21.**

Análisis de cinco estrategias de explotación de mortalidad por pesca constante. En la última línea se incluyen los años que le toma al stock llegar al estado de plena explotación.  $F_{RMS}$  es la mortalidad por pesca del rendimiento máximo sostenible. Caso 1, sin considerar descartes.

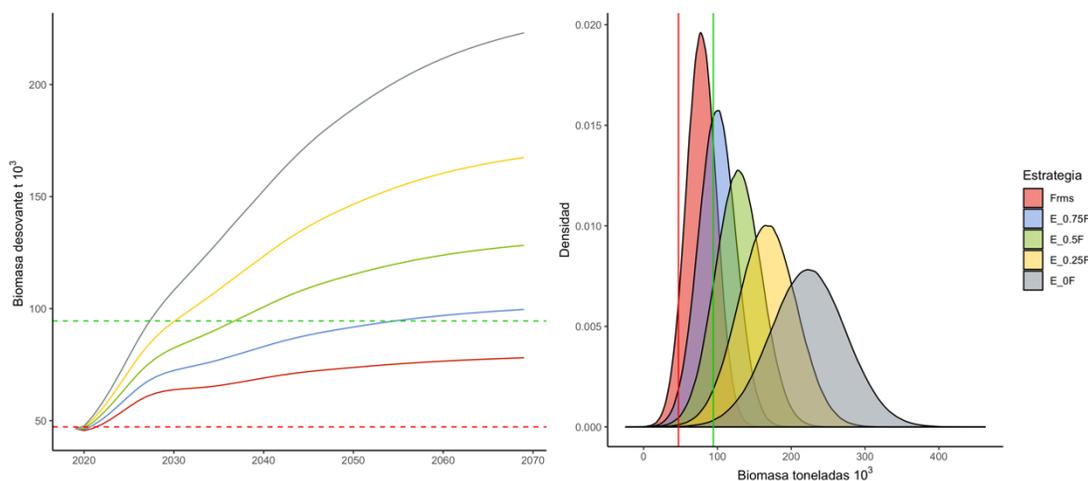
	$F_{RMS}$	$0,75*F$	$0,5*F$	$0,25*F$	$0,0*F$
Capturas 2020	4.658	3.524	2.369	1.195	0
$BD_{2069}/BD_{2019}$	1,7	2,1	2,7	3,6	4,8
$BD_{2069}/BD_{RMS}$	0,8	1,1	1,4	1,8	2,4
$P(BD_{2069}<BD_{2019})$	0,1	0	0	0	0
$P(BD_{2069}<BD_{RMS})$	0,8	0,4	0,1	0	0
$P(BD_{2069}<0,5*BD_{RMS})$	0,1	0	0	0	0
Tiempo a $0,75 BD_{RMS}$	>50	36	18	12	9

Los porcentajes descartados de bacalao de profundidad son en general bajos y sólo han sido medidos en la pesca industrial chilena. De este modo, las diferencias en CBA que resultan de incluir estos descartes en las proyecciones con estrategias de explotación iguales a una mortalidad por pesca de  $0,25*F_{RMS}$  o mayor se encuentran en un rango de 11 a 42 toneladas (**Tabla 22; Figura 42**).

**Tabla 22.**

Análisis de cinco estrategias de explotación de mortalidad por pesca constante. En la última línea se incluyen los años que le toma al stock llegar al estado de plena-explotación.  $F_{RMS}$  es la mortalidad por pesca del rendimiento máximo sostenible. Caso 1, incorporando corrección por descartes.

	$F_{RMS}$	$0,75*F$	$0,5*F$	$0,25*F$	$0,0*F$
Capturas 2020	4.616	3.492	2.348	1.184	0
$BD_{2069}/BD_{2019}$	1,7	2,1	2,8	3,6	4,8
$BD_{2069}/BD_{RMS}$	0,8	1,1	1,4	1,8	2,4
$P(BD_{2069}<BD_{2019})$	0,1	0	0	0	0
$P(BD_{2069}<BD_{RMS})$	0,8	0,4	0,1	0	0
$P(BD_{2069}<0,5*BD_{RMS})$	0,1	0	0	0	0
Tiempo a $0,75 BD_{RMS}$	>50	36	18	12	9



**Figura 42.** Panel izquierdo: 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 derecho: distribución de probabilidades de la biomasa desovante en el último año de la proyección. Las líneas verticales roja y verde indican la posición de la biomasa límite y objetivo, respectivamente. Caso 1, incorporando corrección por descartes.

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

En el contexto del Caso 2 una mortalidad por pesca constante igual a  $F_{RMS}$  significa extraer una captura igual a 2.795 toneladas de bacalao y aún alcanzar un 80% de  $B_{RMS}$  en 50 años. La probabilidad de reducir la biomasa por debajo de la presente o de agotar el stock con esta estrategia es mínima, sin embargo, es improbable que esta estrategia permita alcanzar la zona de plena explotación en los próximos 50 años (**Tabla 23**).

Una mortalidad por pesca constante igual a  $0,75F_{RMS}$  sería equivalente a extraer una captura de 2.115 toneladas. Con esta estrategia sería posible duplicar la biomasa desovante al final del período proyectado con una buena probabilidad de alcanzar la región de plena explotación en 35 años y una mínima probabilidad de reducir la biomasa por debajo de la estimada para el año 2019 o de agotar el stock (**Tabla 23**).

Capturas en el rango de 0 a 1.423 permiten como mínimo duplicar la biomasa desovante presente con una alta probabilidad de alcanzar la región de plena explotación en un mínimo de 8 y un máximo de 17 años (**Tabla 23**).



**Tabla 23.**

Análisis de cinco estrategias de explotación de mortalidad por pesca constante. En la última línea se incluyen los años que le toma al stock llegar al estado de plena explotación.  $F_{RMS}$  es la mortalidad por pesca del rendimiento máximo sostenible. Caso 2, sin considerar descartes.

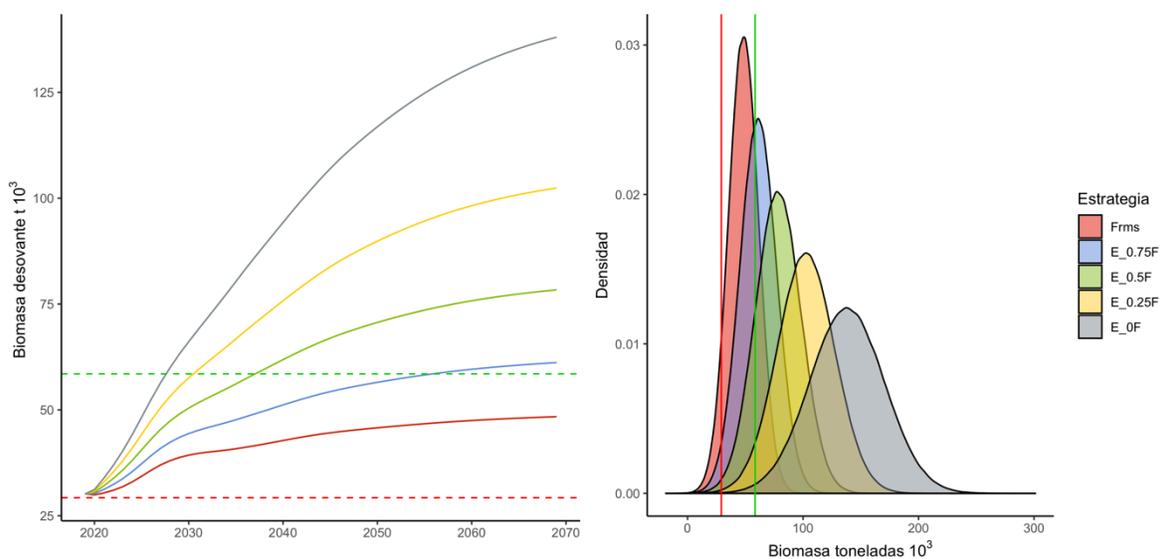
	$F_{RMS}$	$0,75*F$	$0,5*F$	$0,25*F$	$0,0*F$
Capturas 2020	2.795	2.115	1.423	718	0
$BD_{2069}/BD_{2019}$	1,5	1,9	2,4	3,2	4,3
$BD_{2069}/BD_{RMS}$	0,8	1,1	1,3	1,8	2,4
$P(BD_{2069}<BD_{2019})$	0,1	0	0	0	0
$P(BD_{2069}<BD_{RMS})$	0,8	0,4	0,2	0	0
$P(BD_{2069}<0,5*BD_{RMS})$	0,1	0	0	0	0
Tiempo a $0,75 BD_{RMS}$	>50	35	17	11	8

Debido a que el Caso 2 sólo considera las pesquerías desarrolladas en el territorio marítimo chileno (2 flotas), las diferencias en CBA cuando se consideran los descartes respecto de la situación sin estas correcciones son mayores, aún en la circunstancia en que los descartes sólo han sido estimados para la pesca industrial. De esta manera, las diferencias en CBA, que resultan de incluir estas correcciones en los escenarios donde se aplicó una mortalidad por pesca igual a  $0,25*F_{RMS}$  o mayor, se encontraron en el rango de 32 a 127 toneladas (**Tabla 24; Figura 43**).

**Tabla 24.**

Análisis de cinco estrategias de explotación de mortalidad por pesca constante. En la última línea se incluyen los años que le toma al stock llegar al estado de plena explotación.  $F_{RMS}$  es la mortalidad por pesca del rendimiento máximo sostenible. Caso 2, incorporando corrección por descartes.

	$F_{RMS}$	$0,75*F$	$0,5*F$	$0,25*F$	$0,0*F$
Capturas 2020	2.668	2.020	1.359	686	0
$BD_{2069}/BD_{2019}$	1,6	2	2,6	3,4	4,6
$BD_{2069}/BD_{RMS}$	0,8	1	1,3	1,8	2,4
$P(BD_{2069}<BD_{2019})$	0,1	0	0	0	0
$P(BD_{2069}<BD_{RMS})$	0,8	0,4	0,2	0	0
$P(BD_{2069}<0,5*BD_{RMS})$	0,1	0	0	0	0
Tiempo a $0,75 BD_{RMS}$	>50	37	19	12	9



**Figura 43.** Panel izquierdo: 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 derecho: distribución de probabilidades de la biomasa desovante en el último año de la proyección. Las líneas verticales roja y verde indican la posición de la biomasa límite y objetivo, respectivamente. Caso 2, incorporando corrección por descartes.



#### **4.4 OBJETIVO 4: Programa de Mejoramiento Continuo.**

La principal guía para el mejoramiento de este estudio han sido las observaciones y recomendaciones realizadas en la revisión de pares (Polacheck 2015), las recomendaciones del CCT-RDAP y las revisiones técnicas realizadas por expertos nacionales independientes como parte del proceso regular de gestión de este proyecto.

Un desarrollo importante proyectado para este año es la implementación de un caso de evaluación usando el software Stock Synthesis (SS; Methot y Wetzel 2013), lo que permitirá ampliar la investigación que se realiza con relación a la incertidumbre de modelo y probar los beneficios que puede traer el uso de una plataforma de uso extendido como es SS con una estructura estandarizada de los archivos de entrada y salida del modelo de evaluación.

Algunos de los avances más importantes en el mejoramiento técnico de este estudio, no son del dominio de acción de este proyecto sino se encuentran en el mejoramiento continuo de importantes piezas de información que son usadas en la evaluación tales como, la estimación de descartes o el estudio de la depredación de la captura por mamíferos marinos. Este último de gran importancia desde el punto de vista ecosistémico y económico y en donde una especial atención a los procedimientos de observación y estimación, potencialmente conlleva grandes beneficios no sólo para el mejoramiento de la evaluación de stock sino también en información directa para la toma de decisiones de administración de esta pesquería.

Una de los principales ejes de la incertidumbre en esta evaluación de stock es el modelo conceptual que mejor describe la historia de vida y dinámica temporal y espacial del stock, con importantes implicancias para establecer la escala de la población sometida a explotación, el nivel de la mortalidad por pesca y la interdependencia entre las pesquerías desarrolladas en los océanos Pacífico y Atlántico por mencionar algunas.

Renovados esfuerzos para implementar un proyecto de marcaje con el objetivo explícito de producir información para la evaluación de stock, podrían ser fructíferos en este sentido, en particular si existe consenso en que el modelo conceptual que soporta el Caso 1 de esta evaluación es quizás el más probable. En este contexto, una colaboración aún más estrecha con los científicos del INIDEP que desarrollan investigación relacionada a la dinámica de la población de bacalao de profundidad en el Atlántico, para desarrollar un programa conjunto de marcaje y recaptura y/o un proyecto metodológico conjunto en el ámbito de la evaluación de stock, ciertamente son desarrollos futuros deseables que tienen un impacto directo sobre este proyecto de estatus.



## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

---

La evaluación fue conducida en el contexto de los dos modelos conceptuales que han servido de marco en las últimas cuatro evaluaciones de este stock (Tascheri 2019). De acuerdo con estos, las poblaciones de bacalao del Pacífico y Atlántico dependen de la biomasa desovante combinada de ambos océanos y de este modo constituyen un sólo stock (Caso 1) o los procesos de reproducción y reclutamiento de la población que habita en el océano Pacífico son independientes de aquellos de la población del Atlántico (Caso 2).

Las evaluaciones de stock enmarcadas en estos dos casos y que incluyeron los nuevos datos disponibles para el año 2018, ubican a la población de bacalao de profundidad en la región de sobre-explotación situación que, sin embargo, tiene lugar en ausencia de una reducción en la mortalidad por pesca, la que por el contrario ha venido exhibiendo un aumento entre los años 2014 y 2018.

De este modo, la situación presente del stock es el resultado de procesos de sobrevivencia, crecimiento y reclutamiento y consecuentemente de un débil pero constante incremento de la abundancia que es observable a partir del año 2014.

Luego de este año, el esfuerzo de la pesca con palangre en Argentina se redujo notablemente y en el año 2018 solamente un barco palangrero se encontraba operando. De esta manera, en los últimos tres años esta pesquería se ha desarrollado mayoritariamente con red de arrastre y por una flota de cinco barcos (Tróccoli y Martínez 2018).

La Resolución N°48 de 1999 de la Secretaría Argentina de Agricultura, Pesca y Acuicultura (AGPyAN) desplazó la flota de congeladores arrastreros argentinos al sur de la latitud 48° S y en el presente estos barcos operan al sur de la latitud 52° S, principalmente en los cuadros estadísticos 5461, 5462 y 5463, desde donde se obtiene alrededor del 90% de la captura. Estas cuadrículas de hecho forman parte del Área de Protección de Juveniles de Merluza Negra, sin embargo y de acuerdo con las medidas de administración vigentes para la pesca argentina, el porcentaje máximo de juveniles (individuos menores a 82 cm de LT) permitido en las capturas es 15% (Resolución SAGPyAN°19/2002, Resolución CFPN°21/2012) (Martínez et al. 2016, Tróccoli y Martínez 2018) y de acuerdo con estos autores el cumplimiento de esta normativa en el año 2018 fue satisfactorio.

Según lo anterior, es relativamente seguro asumir que la flota arrastrera en Argentina ha visto incrementada la proporción de individuos menores a 97 cm LT en sus capturas (**Figura 8**) aún en circunstancias en que la flota ha estado activamente evitando la captura de juveniles para cumplir con la normativa argentina. Es de notar aquí que en la evaluación del año 2018 se incorporó la información de tres años (2015 a 2017) de datos de composición de longitud de esta flota, lo que tuvo un efecto significativo en los parámetros de la selectividad y consecuentemente en el estatus del recurso (Tascheri 2019).



La estructura de edades de la captura de la pesca artesanal chilena de bacalao de profundidad se caracteriza por estar mayoritariamente compuesta por edades jóvenes y consecuentemente con una escasa participación de individuos de mayor edad (>14 años). Sin perjuicio de esta característica general, a partir del año 2011 la composición de edades de la captura artesanal se concentró en peces aún más jóvenes que en años anteriores, con modas importantes en los grupos de edad (GE) GE VII y VIII (~ 64 a 84 cm LT) (Céspedes et al. 2018). Esta característica se observa también en la composición de las capturas industriales, con una mayor importancia relativa de las edades más jóvenes e.g. GE VIII - GEXV (~ 70 a 117 cm LT) con posterioridad al año 2011 (Céspedes et al. 2018). Estas observaciones son concordantes con la tendencia observada en los desvíos del reclutamiento cuyas estimaciones se han aproximado gradualmente a cero en los últimos 5 años.

Es de notar que esto tiene lugar en ausencia de una disminución en la representación de las edades 15+, siendo posible incluso observar un incremento en el número de individuos en el GEXXX+ a partir del año 2014, característica que es particularmente notable en el año 2018, lo que sugiere un incremento de la sobrevivencia en los últimos 5 años.

Esta tendencia a una mayor sobrevivencia puede estar también relacionada al mejoramiento continuo del conocimiento empírico de los pescadores respecto de los patrones de comportamiento de los mamíferos que depredan la pesca y su aplicación en la asignación espacial del esfuerzo (selección de caladeros) y estrategias de “move-on”, las que a través de los últimos 13 años han contribuido a una progresiva reducción en la interacción de mamíferos marinos con la pesca (Tixier et al. 2019b).

Los cambios en selectividad como resultado de la selección específica de cada arte/aparejo de pesca, el movimiento de los peces entre subpoblaciones, los cambios en el tiempo de la composición de tamaños/edades de las capturas como resultado de procesos de reclutamiento o cambios en el patrón de distribución espacial del esfuerzo de pesca, contribuyen a determinar la forma de la selectividad y consecuentemente afectan las recomendaciones para la toma de decisiones de administración pesquera, a través de por ejemplo, los valores estimados de los puntos biológicos de referencia y el estado de situación de la pesquería (Sampson y Scott 2011, Crone et al. 2014).

Estas características justifican el uso del modelo AMAK como plataforma para implementar esta evaluación de stock (Tascheri y Canales 2016) la que al facilitar el uso de formas más flexibles de selectividad ha permitido capturar las formas más complejas de la selectividad agregada que emergen como consecuencia de estos factores (Thorson y Taylor 2014).

La aproximación comúnmente observada, sin embargo, es el uso de una forma funcional para la selectividad (asintótica o en forma de domo) que se mantiene constante a través del tiempo o al interior de bloques temporales. Una revisión reciente del tema, sin embargo, señala que el supuesto de selectividad constante a menudo es violado y que no es infrecuente que la forma funcional asumida sea incorrecta y/o altamente inflexible de manera que formas “inusuales” de la selectividad que pudieron ser consideradas poco realistas en el pasado son ahora consideradas como las más probables (Maunder et al. 2014).



## 6. CONCLUSIONES

---

- Entre los años 1988 y 2003 la biomasa disminuyó en un 70% (independientemente del modelo conceptual) y entre los años 2004 y 2014 ésta reducción fue más lenta y equivalente a un 15% o 18% (dependiendo del caso analizado).
- Los reclutamientos experimentaron una similar disminución junto con la reducción de la biomasa desovante en donde la velocidad de este cambio fue comparativamente más lenta entre los años 2004 y 2014 con respecto de la reducción que tuvo lugar entre los años 1988 a 2003.
- Con el concurrente incremento del esfuerzo en la pesquería artesanal y desarrollo de las operaciones industriales durante la primera mitad de los años 90s, la mortalidad por pesca se incrementó notablemente y como consecuencia de ello, el potencial reproductivo del stock exhibió una rápida reducción.
- El incremento de la mortalidad por pesca que durante los años 90s superó el nivel de  $F_{RMS}$  y redujo la biomasa desovante, condujo a la pesquería a una situación de sobre-explotación al final de ese período.
- Un gradual incremento del reclutamiento, procesos de crecimiento y la reducción en la interacción de mamíferos marinos con la pesca durante los últimos años, posiblemente han contribuido en el presente a situar a la pesquería en la región de sobreexplotación, sin perjuicio de que el incremento del esfuerzo de pesca durante el mismo período mantiene al stock próximo al valor de biomasa límite.



## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Abe, T. and Iwami, T. 1989. Notes on fishes from the stomachs of whales taken in the Antarctic II. On *Dissostichus* and *Ceratius*, with an appendix (Japanese names of important Antarctic fishes). Proc. NIPR Symp. Polar Biol. 2, 78–82.
- Abellan, L. J. L. 2005. Patagonian toothfish in international waters of the southwest Indian Ocean (Statistical Area 51). CCAMLR Sci. 12, 207–214.
- Agnew, D., Heaps, L., Jones, C., Watson, A., Berkiet, K., and Pearce, J. 1999. Depth distribution and spawning pattern of *Dissostichus eleginoides* at South Georgia. CCAMLR Sci. 6, 19–36.
- Agnew, D. J. 2004. Fishing South: History and Management of South Georgia Fisheries. The Penna Press, St Albans, 128pp.
- Aguayo, M., I. Paya, C. Vera, V. Ojeda, I. Céspedes y J. Donoso. 1991. Diagnóstico de las principales pesquerías nacionales 1990. Pesquerías demersales “Peces” zona sur austral. Estado de situación y perspectivas del recurso. CORFO-IFOP. 83 p.
- Aguayo, M., y Cid, L. 1991. Recopilación, proceso y análisis de los antecedentes biológico-pesqueros en la pesca exploratoria de bacalao de profundidad realizada por el B/P /Friosur VI. 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.
- Aramayo, V. 2016. Breve síntesis sobre el recurso bacalao de profundidad *Dissostichus eleginoides* en Perú. Revista de Biología Marina y Oceanografía 51(2): 229-239
- 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. M., and Vega, R. 1999. Exploratory fishing for *Dissostichus* spp in the Antarctic region (sub-Areas 48.1, 48.2 and 88.3). CCAMLR Sci. 6, 1–17.
- Arana, P. 2009. Reproductive aspects of the Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) off southern Chile. Latin Am. J. Aqua. Res. 37, 381–394.



- Arkhipkin, A., Brickle, P., and Laptikhovsky, V. 2003. Variation in the diet of the Patagonian toothfish with size, depth and season around the Falkland Islands. *J. Fish Biol.* 63, 428–441.
- Ashford, J. R., Rubilar, P. S., and Martin, A. R. 1996. Interactions between cetaceans and longline fishery operations around South Georgia. *Mar. Mamm. Sci.* 12, 452–457.
- Ashford, J. R., S. Wischniowski, C. Jones, S. Bobko and I. Everson. 2001. A comparison between otoliths and scales for use in estimating the age of *Dissostichus eleginoides* from South Georgia. *CCAMLR Sci.* 8, 75–92.
- Ashford, J., Duhamel, G., Jones, C., and Bobko, S. 2005. Age, growth and mortality of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) caught off Kerguelen. *CCAMLR Sci.* 12, 9–41.
- Australian Antarctic Division 2001. A history of the Patagonian toothfish fishery. *Australian Antarctic Magazine.* Australia Department of Environment and Energy. 46-47.
- 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 rybnogo khozyaistva. [On the question of the biological basis of fisheries.] *Nauchn. Issled. Ikhtologicheskii Inst. Izv.* 1: 81-128.
- Belchier, M., and Collins, M. A. 2008. Recruitment and body size in relation to temperature in juvenile Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) at South Georgia. *Mar. Biol.* 155, 493–503.
- Bernal, C., Escobar, V., Román, C., San Martín, M., Saavedra-Nievas, J., Barraza, A., Bravo, C., López, J. y Vargas, C. 2018. Informe final. Sección I. Programa de Investigación del Descarte y Captura de Pesca Incidental 2017-2018. Programa de Monitoreo y Evaluación de los Planes de Reducción del Descarte y Captura de Pesca Incidental 2017-2018. Subsecretaría de Economía y EMT. 193 p + Anexos.
- Beverton R.J.H. and Holt S. J. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. *Fish. Invest. U.K. Ser. II;* 19:1–533.
- Boucher, E.M. 2018. Disentangling reproductive biology of the Patagonian toothfish *Dissostichus eleginoides*: skipped vs obligatory annual spawning, foraging migration vs residential life style. *Environ Biol Fish.* 101:1343–1356.



- 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.
- Brown J, Brickle P, Scott BE (2013) Investigating the movements and behavior of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898) around the Falkland Islands using satellite linked archival tags. J Exp Mar Biol Ecol 443:65–74.
- Brigden K.E., C. T. Marshall, B. E. Scott, E. F. Young and P. Brickle. 2017. Interannual variability in reproductive traits of the Patagonian toothfish *Dissostichus eleginoides* around the sub-Antarctic island of South Georgia. 91(1): 278-301.s
- 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.
- 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. 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.
- CCAMLR 2014. Scientific Committee Report, Annex 7: Report of the Working Group on Fish Stock Assessment. Hobart, Australia.
- Cajal, J. y J. García Fernández. 2002. Informe de Uruguay. En: Sancho A, B Ortiz & N Naranjo (eds). La pesca y el comercio de bacalao de profundidad *Dissostichus eleginoides* en América del Sur, pp. 96-112. TRAFFIC América del Sur, Quito
- 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.
- Céspedes, R., C. Vargas y L. Adasme. 2016. Monitoreo de la pesquería del bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*): observadores científicos y sus desafíos. Anales Instituto Patagonia (Chile). 44(3):39-48
- Céspedes, R., L. Chong, R. San Juan, P. Gálvez, V. Ojeda, G. Moyano, R. Bravo, L. Muñoz, L. Adasme y J. González. 2017. Seguimiento de las Pesquerías Demersales y Aguas Profundas, 2016. (Informe final Sección VI: Pesquerías de Aguas Profundas). Valparaíso: Instituto de Fomento Pesquero.
- Clark, W. G. 1999. Effects of an erroneous natural mortality rate on a simple age-structured stock assessment. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 56: 1721–1731.
- Cohen, D.M., T. Inada, T. Iwamoto and N. Scialabba. 1990. FAO species catalogue. Vol. 10. Gadiform fishes of the world (Order Gadiformes). An annotated and illustrated catalogue of cods, hakes, grenadiers and other gadiform fishes known to date. FAO Fisheries Synopsis. No. 125, Vol. 10. Rome, FAO. 1990. 442 p.
- Cook, R. M. 2004. Estimation of the age-specific rate of natural mortality for Shetland sandeels. e ICES Journal of Marine Science, 61: 159-164.
- 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.
- Crone, P., M. Maunder, J. Valero, J. Mcdaniel and B. Semmens. 2014. Selectivity: Theory, estimation, and application in fishery stock assessment models. CAPAM Workshop Report 1. 158. 10.1016/j.fishres.2014.03.017.



- Cubillos, L y M. Araya. 2007. Estimaciones empíricas de mortalidad natural en el bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898). *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 42(3): 287 – 297.
- Day J, Wayte S, Haddon M and Hillary R. 2014. Stock Assessment of the Macquarie Island fishery for Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) using data up to and including August 2013. Report to SARAG 48, 1 April 2014. CSIRO, Australia.
- Des Clers, S., Nolan, C. P., Baranowski, R., and Pompert, J. 1996. Preliminary stock assessment of the Patagonian toothfish longline fishery around the Falkland Islands. *J. Fish Biol.* 49, 145–156.
- De Witt, M. M. 1962. On the probable identity of *Macrias amissus* a deepwater nototheniid fish from the Chilean coast. *Copeia* 1962 (3): 657-659.
- Duhamel, G. 1991. Biology and harvesting of *Dissostichus eleginoides* around Kerguelen Islands (Division 58.5.1). CCAMLR WG-FSA 91/7.
- El Habouz, H, L. Recasens, S. Kifani, A. Moukrim, A. Bouhaimi, S. El Ayoubi. 2011. Maturity and batch fecundity of the European hake (*Merluccius merluccius*, Linnaeus, 1758) in the eastern central Atlantic. *Scientia Marina.* 75(3):447-454.
- Everson, I., and Murray, A. W. A. 1999. Size at sexual maturity of Patagonian toothfish. *CCAMLR Sci.* 6, 37–46.
- 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. 2016. Growth in age-structured stock assessment models. *Fisheries Research* 180:77–86.
- Francis, R.I.C. 2012. The reliability of estimates of natural mortality from stock assessment models. *Fisheries Research.* (119–120): 133–134.
- Froese, R. 2004. Keep it simple: three indicators to deal with overfishing. 5:86-91.



- Canales-Aguirre, C., S. Ferrada, R. Galleguillos, F. X. Oyarzun and C. Hernández. 2018. Population genetic structure of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) in the Southeast Pacific and Southwest Atlantic Ocean. PeerJ. e4173.
- Céspedes, R., L. Chong, R. San Juan, P. Gálvez, V. Ojeda, G. Moyano, R. Bravo, L. Muñoz, L. Adasme, J. González. 2019. Convenio de desempeño 2018. Seguimiento de la Pesquerías Demersales y Aguas Profundas Sección VI: Pesquería de Aguas Profundas, 2018. IFOP / Subsecretaría de Economía y EMT.
- 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.
- Goldsworthy, S. D., He, X., Tuck, G. N., Lewis, M., and Williams, R. 2001. Trophic interactions between the Patagonian toothfish, its fishery, and seals and seabirds around Macquarie Island. Mar. Ecol. Prog. Ser. 218, 283–302.
- 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.
- Hanchet, S. M., Stevensen, M. L., Phillips, N. L., and Horn, P. L. 2004. A characterization of the toothfish fishery in sub-areas 88.1 and 88.2 from 1997/98 to 2003/04. CCAMLR WG-FSA 04/20.
- Harley, S. and M. Maunder. 2003. Recommended diagnostics for large statistical stock assessment models. Inter-American Tropical Tuna Commission. SCTB16 Working Paper. MWG-3. 34.p.
- He, X., Mangel, M. and MacCall, A. 2006 A prior for steepness in stock–recruitment relationships, based on an evolutionary persistence principle. Fishery Bulletin 104, 428–433.
- Hilborn, R and C. Walters. 1992. Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics and Uncertainty. Chapman and Hall. 563 p.
- Hillary, R. M, G.P. Kirkwood and D. J. Agnew. 2006. An Assessment of toothfish in SubArea 48.3 using CASAL. CCAMLR Science Vol 13. 65-95.



- Horn, P. L. 2002. Age and growth of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) and Antarctic toothfish (*D. mawsoni*) in waters from the New Zealand sub-Antarctic to the Ross Sea, Antarctica. Fish. Res. 56, 275–287.
- Hunter, J.R., B.J. Macewicz, N.C.H. Lo and C.A. Kimbrell. – 1992. Fecundity, spawning and maturity of female Dover sole, *Microstomus pacificus*, with an evaluation of assumptions and precision. Fish. Bull., 90: 101-128.
- IMARPE. 2016. Estado de la pesquería del bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides* Smitt 1898) con proyección de captura al 2017. Instituto del Mar del Perú. 13 p.
- 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.
- Kock, K. H., G. Duhamel and J.C., Hureau. 1985. Biology and status of exploited Antarctic fish stocks, a review. BIOMASS Scientific Series, 6, 1-143.
- Kock, K. H., and Kellermann, A. 1991. Reproduction in Antarctic notothenioid fish. Antarct. Sci. 3, 125–150.
- Kock, K. H., Purves, M. G., and Duhamel, G. 2006. Interactions between cetacean and fisheries in the Southern Ocean. Polar Biol. 29, 379–388.
- Lappalainen, A., L. Saks, M. Sustar, O. Heikinheimo, K. Jürgens, E. Kokkonen, M. Kurkilahti, A. Verliin, M. Vetema. 2016. Length at maturity as a potential indicator of fishing pressure effects on coastal pikeperch (*Sander lucioperca*) stocks in the northern Baltic Sea. Fisheries Research 174: 47–57.
- Laptikhovsky, V. and Brickle, P. 2005. The Patagonian toothfish fishery in Falkland Islands waters. Fish. Res. 74, 11–23.
- Laptikhovsky, V., Arkhipkin, A., and Brickle, P. 2006. Distribution and reproduction of the Patagonian toothfish *Dissostichus eleginoides* Smitt around the Falkland Islands. J. Fish Biol. 68, 849–861.
- Law, R. and Grey, D., 1989. Evolution of yields from populations with age-specific cropping. Evol. Ecol. 3, 343–359.
- Lee, Hui-Hua, M. N. Maunder, K. R. Piner and R. D. Methot. 2011. Estimating natural mortality within a fisheries stock assessment model: An evaluation using simulation analysis based on twelve stock assessments. Fisheries Research 109: 89–94.



- 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.
- Lopez, S., R. Meléndez y B. Molina. 2014. Análisis estomacal principales ítems alimentarios del bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) en aguas del sur austral de Chile (2013). Informe de Avance (bajo Subcontrato con IFOP), Universidad Andrés Bello, Laboratorio de Biología Marina, junio de 2014, 10 p.
- 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.
- Macchi, G.J., M. Pájaro and M. Ehrlich. 2004. Seasonal egg production pattern of the Patagonian stock of Argentine hake (*Merluccius hubbsi*). *Fish. Res.*, 67: 25-38.
- Mace, P.M. and Doonan, I.J. 1988. A generalized bioeconomic simulation model for fish population dynamics. New Zealand Fishery Assessment Research Document 88/4. Fisheries Research Centre, MAFFish, POB 297, Wellington, NZ.
- Martínez, P., D. y Wöhler, O. C. 2005. La pesquería argentina de merluza negra durante el año 2004. Informe Interno INIDEP N° 01/05: 18 pp.
- Martínez, P., D. y Wöhler, O. C. 2006. Estimación de la abundancia y el potencial pesquero durante el período 1986-2005 de la merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) del Atlántico Sudoccidental. Informe Interno INIDEP N° 30/06: 30 pp.
- Martínez, P. 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. y Wöhler. 2016. Hacia la recuperación de la pesquería de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) en el Mar Argentino: un ejemplo de trabajo conjunto entre el sector de la administración, la investigación y la industria. *Frente Marítimo*, Vol. 24: 115-124.
- Martínez, P., E. Di Marco, O. Wöhler y G. Tróccoli. 2016. Diagnóstico del estado de explotación de la merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) del atlántico sudoccidental. recomendación de la captura biológicamente aceptable año 2017. Informe Técnico Oficial 53. INIDEP 25 p.
- Maunder, M.N., P.R. Crone, J. L. Valero and B.X. Semmens. 2014. Selectivity: Theory, estimation, and application in fishery stock assessment models. *Fisheries Research*. 158:(1-4):0165-7836.



- Maunder, M. N. P. R. Crone, A. E. Punt, J. L. Valero, B. X. Semmens. 2017. Data conflict and weighting, likelihood functions and process error. *Fisheries Research* 192:1–4.
- 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.
- Methot, R. D. and C. R. Wetzel. 2013. Stock synthesis: A biological and statistical framework for fish stock assessment and fishery management. *Fisheries Research* 142: 86–99.
- Moreno, C. 1991. Hook selectivity in the longline fishery of *Dissostichus eleginoides* (*Notothenidae*) off the Chilean coast. *CCAMLR Sel. Sci. Pap.* 8, 107–119.
- Moreno C. A. and P.S. Rubilar. 1992. Notas sobre la mortalidad de *Dissostichus eleginoides* de la subárea 48.3. *CCAMLR Selected Scientific Papers* 9: 21-30.
- Moreno C. 1998. Do the males of *Dissostichus eleginoides* grow faster, or only mature before females? *CCAMLR WG-FSA* 98/17.
- Moreno, C. A., Rubilar, P. S., and Zuleta, A. 1997. Ficha técnica del bacalao de profundidad *Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898. *CCAMLR WG-FSA* 97/42.
- Moreno, C., J. Arata, P. Rubilar, R. Hucke-Gaete and G. Robertson. 2006. Artisanal longline in Southern Chile: Lessons to be learned to avoid incidental seabird mortality. *Biological conservation.* 127:27-36.
- Moreno, C., Castro, R., Mujica, L. J., and Reyes, P. 2008. Significant conservation benefits obtained from the use of a new fishing gear in the Chilean Patagonian toothfish fishery. *CCAMLR Sci.* 15, 78–79.
- Møller, P. R., N.G. Jørgen, I. Fossen. 2003. Patagonian toothfish found off Greenland. *Nature.* 42:599.
- Murillo, C., C. Oyarzún y I. Fernández. 2008. Variación latitudinal y estacional en la dieta de *Dissostichus eleginoides* smitt, 1898 (perciformes: nototheniidae) en ambientes profundos de la costa centro-sur de Chile. *Gayana* 72(1):94-101.
- Murua, H., P. Lucio, M. Santurtún, L. Motos. 2006. Seasonal variation in egg production and batch fecundity of European hake *Merluccius merluccius* (L.) in the Bay of Biscay. *Fish. Biol.* 69(5): 1304-1316.



- Nakamura, I. (Ed.). 1986. Important fishes trawled off Patagonia. Japan Marine Fishery Resource Research Center, Tokio. 369 p.
- Nolan, C.P., G.M. Liddle and J. Elliot. 2000. Interactions between killer whales (*Orcinus orca*) and sperm whales (*Physeter macrocephalus*) with a longline fishing vessel. *Mar. Mamm. Sci.*, 16 (3): 658–664.
- Oyarzun, C. y Campos, P. W. 1987. *Dissostichus eleginoides* Smith 1898: Consideraciones sobre su determinación taxonómica e implicancias biogeográficas (Pisces, Perciformes, Nototheniidae). *Revista de Biología Marina*. 23(2): 173-192.
- Oyarzún, C., S. Gacitúa M. Araya, L. Cubillos, R. Galleguillos, C. Pino, G. Aedo, M. Salamanca, M. Pedraza y J. Lamilla. 2003a. 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. 2003b. 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. 2005. detección de un área de puesta de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) sobre la base del análisis histológico. INIDEP. Informe Técnico N° 87/05. 9 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 and H. Flores, 1983. Estudio del bacalao de profundidad *Dissostichus amisus* como recurso pesquero en la región de Valparaíso (33°S-72°W); Evaluación biológica, tecnológica y económica. Inf. Final Secret. Reg. de Plan. y Coord. De la región de Valparaíso. Estudios y documentos Universidad Católica de Valparaíso 1/183: 1-160.
- Payá, I., and Brickle, P. 2008. Stock Assessment and Total Allowable Catch of Toothfish (*Dissostichus eleginoides*). Falkland Islands Government Fisheries Department Scientific Report.
- Payá, I. C. Canales, D. Bucarey, M. Canales, F. Contreras, E. Leal, R. Tascheri, A. Yáñez, M. J. Zúñiga, W. Clark, M. Dorn, M. Dunn, C. Fernández, M. Haddon, N. Klaer, M. Sissenwine and S.



- Zhou. 2014. Convenio II: "Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales año 2014". Proyecto 2.16: Revisión de los puntos biológicos de referencia (Rendimiento Máximo Sostenible) en las pesquerías nacionales. Subsecretaría de Economía y EMT. IFOP. Informe Final. 51 p. + Anexos.
- Payne, A. G., Agnew, D. J., and Brandao, A. 2005. Preliminary assessment of the Falklands Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) population: Use of recruitment indices and the estimation of unreported catches. *Fish. Res.* 76, 344–358.
- Phillips K.L., Rodgers M., and Ansell E. 2009. Macquarie Island toothfish fishery. In "Fishery status reports 2007: status of fish stocks managed by the Australian Government" (D. T. Wilson, R. Curtotti, G. A. Begg, and K. L. Phillips, Eds), pp. 359–365. Bureau of Rural Sciences, Canberra.
- Polacheck, T. 2015. Review Report on the 2014 Stock Assessment of the Chilean Sea Bass (Patagonian toothfish, *Dissostichus eleginoides*). 64 p. In: Ernst, B., C. Parada, J. Porovic, N. Mermoud y M. Rubio. Programa anual de revisión experta a la asesoría científica de las principales pesquerías nacionales, año 2013: bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) y camarón nailon (*Heterocarpus reedi*). Proyecto N° 2013-90-DAP-23. 54 p.
- Prenski, L. B. and Almeyda, S. M. 2000. Some biological aspects relevant to Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) exploitation in the argentine exclusive economic zone and adjacent ocean sector. *Frente Marítimo* 18, 103–124.
- Pukk, L., Kuparinen, A., Järv, L., Gross, R., Vasemägi, A., 2013. Genetic and life-history changes associated with fisheries-induced population collapse. *Evol. Appl.* 6, 749–760.
- Punt, A. y D. Kinzey. 2009. Report of the Alaska Crab Stock Assessment Workshop. Crab Plan Team. North Pacific Fishery Management Council. 43 p.
- Purves, M. G., Agnew, D. J., Balguerías, E., Moreno, C. A., and Watkins, B. 2004. Killer whale (*Orcinus orca*) and sperm whale (*Physeter macrocephalus*) interactions with longline vessels in the Patagonian toothfish fishery at South Georgia, South Atlantic. *CCAMLR Sci.* 11, 111–126.
- 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.
- Reid, K., and Arnould, J. P. Y. 1996. The diet of Antarctic fur seals *Arctocephalus gazella* during the breeding season at South Georgia. *Polar Biol.* 16, 105–114.
- Reid, K., and Nevitt, G. A. 1998. Observation of southern elephant seal, *Mirounga leonina*, feeding at sea near South Georgia. *Mar. Mamm. Sci.* 14, 637–640.
- Rijnsdorp, A. D., van Damme, C. J. G., and Witthames, P. R. 2010. Implications of fisheries-induced changes in stock structure and reproductive potential for stock recovery of a sex-dimorphic species, North Sea plaice. – *ICES Journal of Marine Science*, 67: 1931–1938.
- Roberts, J., and Agnew, D. A. 2008. Proposal for an extension to the mark recapture experiment to estimate toothfish population size in Subarea 48.4. CCAMLR WG-FSA 08/46.
- Rubilar, P., C. Moreno y A. Zuleta. 1999. Edad y crecimiento de *Dissostichus eleginoides* (Pisces: *Notheniidae*) en la costa centro-sur de Chile (38°19' a 43°). *Rev. Chilena de Hist. Nat.* 72: 285- 296.
- Rubilar, P., A. Zuleta, F. Balbontín y P. Troncoso. 2010. Bases para un programa colaborativo de monitoreo científico en la pesquería del bacalao. Pesca de Investigación Bacalao 2009. Informe Primera Etapa. Centro de Estudios Pesqueros S.A. 47 p.



- Rubilar, P., A. Zuleta y C. Moreno. 2014. Monitoreo pesquería - dependiente y marcaje del bacalao de profundidad en Chile. Pesca de Investigación Bacalao 2013. Informe final. CEPES. S.A. 67 p.
- SC-CAMLR. 2001. Report of the workshop on estimating age in Patagonian toothfish. In: Report of the twentieth meeting of the scientific committee, annex 5, appendix H. CCAMLR, Hobart, Australia, pp 533–558.
- Sancho, A. 2002. Informe de Perú. En: Sancho A, B Ortiz & N Naranjo (eds). La pesca y el comercio de bacalao de profundidad *Dissostichus eleginoides* en América del Sur, pp. 96-112. TRAFFIC América del Sur, Quito
- Sallaberry-Pincheira, P. P. Gálvez, B. E. Molina-Burgos, F. Fernandoy, R. Melendez, S. A. Klarian. 2018. Diet and food consumption of the Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) in South Pacific Antarctic waters. *Polar Biology*. 41:2379–2385.
- Salas, R. A., H. Robotham, G. Lizama. 1987. Investigación del bacalao. VIII Región. Informe Intendencia Región del Bio Bio. Secretaría Regional de Planificación y Coordinación de la Región del Bio Bio. Instituto de Fomento Pesquero. Informe Técnico. 107 p.
- Sampson, D. B. and Scott, R. D., 2011. A spatial model for fishery age-selection at the population level. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 68, 1077–1086.
- Schaefer, M.B. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. *IATTC Bull.* 1:27--56.
- Schurman, R. A. 1996. Snails, southern hake and sustainability: Neoliberalism and natural resource exports in Chile. *World Development*. 24(11): 1695-1709.
- Shust R. R, P. S. Gasiukov, R. S. Dorovkikh and B. A. 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.
- Shaw, P.W., Arkhipkin, A.I. & Al-Khairulla, H. 2004. Genetic structuring of Patagonian toothfish populations in the southwest Atlantic Ocean: the effect of the Antarctic Polar Front and deep-water troughs as barriers to genetic exchange. *Molecular Ecology*, 13, 3293–3303.
- Smith P, McVeagh M. 2000. Allozyme and microsatellite DNA markers of toothfish population structure in the Southern Ocean. *Journal of Fish Biology* 57:72–83.
- Stahl, J. P. and G. H. Kruse. 2008. Spatial and temporal variability in size at maturity of Walleye Pollock in the Eastern Bering Sea. *Transactions of the American Fisheries Society* 137:1543–1557.



- Tascheri, R., C. Canales, R. Céspedes y L. Chong. 2015. Convenio de Desempeño 2014: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales al año 2015: Bacalao de profundidad, 2015. DOCUMENTO TÉCNICO N°2. Subsecretaría de Economía y EMT - IFOP. 141 p.
- Tascheri, R. y C. Canales. 2016. Documento Técnico Consolidado. Convenio de Desempeño 2015: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales al año 2016: Bacalao de profundidad, 2016. Subsecretaría de Economía y EMT - IFOP. 120 p.
- Tascheri, R. 2019. Informe 2 Consolidado. Convenio de Desempeño 2018: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2019: Bacalao de profundidad, 2019. Subsecretaría de Economía y EMT - IFOP. 126 p.
- Thorson, J. T., I. G. Taylor. 2014. A comparison of parametric, semi-parametric, and non-parametric approaches to selectivity in age-structured assessment models. *Fisheries Research* 158:74–83.
- Tixier, P., J. Giménez, R. R. Reisinger, P. Méndez-Fernandez, J. P. Y. Arnould, Y- Cherel and C. Guinet. 2019a. Importance of toothfish in the diet of generalist subantarctic killer whales: implications for fisheries interactions. *Mar Ecol Prog Ser.* 613: 197–210.
- Tixier, P., P. Burch, G. Richard, K. Olsson, D. Welsford MA. Lea, M. Hindell, C. Guinet, A. Janc, N. Gasco, G. Duhamel, M. Ching, L. Suberg, R. Arangio, M. Soffker and J. P. Y. Arnould. 2019b. Commercial fishing patterns influence odontocete whale-longline interactions in the Southern Ocean. *Scientific Reports.* 9(1):2045-2322.
- Toomey, L., D. Welsford, S. A. Appleyard, A. Polanowski, C. Faux, B. E. Deagle, M. Belchier, J. Marthick and S. Jarman. 2016. Genetic structure of Patagonian toothfish populations from otolith DNA. *Antarctic Science.* 28(5): 347-360.
- Tróccoli, G. y P. A. Martínez. 2018. Síntesis de la evolución de la pesquería de merluza negra (*Disostichus eleginoides*) en el espacio marítimo argentino. Informe Técnico Oficial N° 024. 9 p
- van den Hoff, J., R. Kilpatrick, D. Welsford. 2017. Southern elephant seals (*Mirounga leonina* Linn.) depredate toothfish longlines in the midnight zone. *PLoS ONE* 12(2): e0172396. doi:10.1371/journal.pone.0172396



- Vetter, E. F. 1988. Estimation of natural mortality in fish stocks: A re- view. *Fishery Bulletin*, 86: 25–43.
- 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.
- Welsford, D.C., Candy, S.G., Lamb, T.D., Nowara, G.B., Constable, A.J. & Williams, R. 2011. Habitat use by Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides* Smitt 1898) on the Kerguelen Plateau around Heard Island and the McDonald Islands. In DUHAMEL, G. & WELSFORD, D.C., eds. *The Kerguelen Plateau: marine ecosystem and fisheries*. Paris: Société Française d'Ichtyologie, 125–136.
- Welsford, D.C., J. Mcivor, S.G. Candy and G. B. Nowara. 2012. The spawning dynamics of Patagonian toothfish in the Australian EEZ at Heard Island and the McDonald Islands and their importance to spawning activity across the Kerguelen Plateau. Final report, FRDC Project TRF 2010/064. Kingston: Australian Antarctic Division, 60 pp.
- Williams, E. H., and K. W. Shertzer. 2003. Implications of life-history invariants for biological reference points used in fishery management. *Can. J. Fish. Aquat. Sci* 60:710–720.
- Wöhler, O. C. y Martínez, P.A. 2005. Estimación de la abundancia y el potencial pesquero de la merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) en el Atlántico Sudoccidental período 1986-2004. Informe Interno INIDEP 15/05: 32pp.
- Wöhler, O. C. 2013. La Pesquería de Merluza Negra en el Atlántico Sudoccidental. Aspectos de su evolución histórica y el esquema de manejo actual. Presentación entregada en el Taller de trabajo Científico Chileno-Argentino "Estructura Espacial del Stock Sudamericano de Bacalao (*Dissostichus eleginoides*), Facultad de Ciencias, Universidad Austral de Chile, Campus Isla Teja, Valdivia 24-26 Septiembre de 2013, Chile.
- Yáñez E y L Pizarro. 1984. Análisis del rendimiento por recluta del bacalao de profundidad (*Dissostichus amissus*, Gill and Townsend, 1901) en la región de Valparaíso (33°S - 72°W). *Investigaciones Marinas, Valparaíso* 12: 87-92.
- Yates, P., P. Ziegler, D. Welsford, J. Mcivor, B. Farmer and E. Woodcock. 2018. Spatio-temporal dynamics in maturation and spawning of Patagonian toothfish *Dissostichus eleginoides* on the sub-Antarctic Kerguelen Plateau. *Journal of Fish Biology*. 92: 34–54.
- 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 G.P. and Z. A. Frolkina. 1976. Some data on distribution and biology of the Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides* Smitt) occurring in the Southwest Atlantic (in Russian). Trudy AtlantNIRO 65: 143-150.
- Zhou, S. 2007. Discriminating alternative stock–recruitment models and evaluating uncertainty in model structure. Fish. Res. 86: 268–279.
- Zuleta A and C.A. Moreno. 1992. Catch at age analysis applied to new fisheries: the case of *Dissostichus eleginoides*. CCAMLR Selected Scientific Papers. SC-CAMLR - SSP/9: 3-9.
- Zuleta, A. y Z. Young. 1996. Investigación CTP de bacalao de profundidad al sur 47° L.S. 1997. Informe Final. 14 p + Anexo.
- Zuleta, A y S. Hopf. 2010. Gestión y asesoría 2009 a los operadores de bacalao (OBAC). Centro de Estudios Pesqueros S.A.- OBAC. 23 p. + Anexos.
- Ziegler P., D. Welsford, Bill de la Mare and Paul Burch, 2014. An Integrated Stock Assessment for the Heard Island and the McDonald Islands Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) fishery (Division 58.5.2). WG-FSA-14/34, Australian Antarctic Division of Environment, 203 Channel Highway, Kingston, Tasmania 7050, Australia: 53 p.

# **A N E X O S**

---

# **A N E X O 1**

---

Modelo de evaluación de stock  
(Descripción matemática).

---



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

Definición general	Símbolo	Uso en el modelo de captura a la edad
Índice anual: $i = \{1978, \dots, 2018\}$	$i$	
Índice de edades: $j = \{3, 4, \dots, 30^+\}$	$j$	
Índice de longitudes: $l = \{22, 27, \dots, 222^+\}$	$l$	
Longitud media a la edad	$L_j$	
Matriz de probabilidades de la longitud a la edad	$\Gamma_{l,j}$	
Flota	$f$	Industrial, artesanal, palangre argentina, arrastre argentina.
Coef. de variación de la longitud a la edad	$cv$	
Peso medio a la edad $j$	$W_j$	
Edad máxima luego de la cual la selectividad es constante	$Max_e$	Parametrización de la selectividad
Tasa mortalidad natural	$M$	0,15 constante a través de los años y edades
Proporción maduros a la edad $j$	$p_j$	Definición de la biomasa 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	$Y_i^f$	$\hat{Y}_i^f = q_i^f \sum_{j=3}^{30+} S_j^f W_{i,j} e^{Z_{ij} \frac{6}{12}} N_{i,j}$
2) Captura anual en peso	$C_i$ ; Pacífico años 2007 a 2018	$C_i = \sum_j W_{i,j} N_{i,j} \frac{F_{i,j}}{Z_{i,j}} (1 - e^{-Z_{i,j}})$
3) Captura en número por clase de longitud.	$C_{i,l}$ ; Pacífico 1991 a 2006; Atlántico 2003 a 2018.	$\hat{C}_{i,l} = \Gamma_{1,j} \hat{C}_{i,j}$ $\tau_{i,j} = \int_j^{j+1} e^{\frac{1}{2\sigma_j^2}(l-L_j)^2} dl$
3) Proporciones a la edad j en el año i	$P_{i,j}, \sum_{j=3}^{30} P_{i,j} = 1$	$P_{ij} = \frac{N_{i,j} S_{i,j}^f}{\sum_{k=3}^{31+} N_{i,k} S_{i,k}^f}$
Proporciones por clase de longitud l en el año i.	$P_{i,l}, \sum_{l=22}^{222} P_{i,l} = 1$	$P_{il} = \frac{C_{i,l}}{\sum_{l=22}^{222} C_{i,l}}$
4) Números iniciales a la edad	$j=3$	$N_{1978,1} = e^{\mu_R + \epsilon_{1978}}$
5) Años subsecuentes (i > 1978)	$3 < j < 29$ $j=30+$ $j=3$ $3 < j < 29$ $j=30+$	$N_{1978,j} = e^{\mu_R + \epsilon_{1978-j}} \prod_{j=3}^j e^{-M}$ $N_{1978,31} = N_{1978,30} (1 - e^{-M})^{-1}$ $N_{i,1} = e^{\mu_R + \epsilon_i}$ $N_{i,j} = N_{i-1,j-1} e^{-Z_{i-1,j-1}}$ $N_{i,30+} = N_{i-1,30} e^{-Z_{i-1,29}} + N_{i-1,31} e^{-Z_{i-1,30}}$
6) Efecto anual, i=1978,...,2017	$\epsilon_i, \sum_{i=1978}^{2018} \epsilon_i = 1$	$N_{i,1} = e^{\mu_R + \epsilon_i}$ $F_{i,j} = e^{\mu_f + \eta_j^f + \phi_i}$
7) Mortalidad por pesca instantánea	$\mu_i$	
Efecto medio de la pesca	$\mu_i$	
Efecto anual de la pesca en el año i	$\phi_i, \sum_{i=1978}^{2018} \phi_i = 0$	
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		$\alpha = \frac{4hR_0}{5h-1}$ y $\beta = \frac{B_0(1-h)}{5h-1}$
		$h = 0.6$
		$B_0 = \tilde{R}_0 \varphi$
		$\varphi = \frac{e^{-M} W_{31} P_{31}}{1 - e^{-M}} + \sum_{j=3}^{31} e^{-M(j-1)} W_j P_j$
<b>Parámetros a estimar</b>		
$\phi_i(\#), R_0, \varepsilon_i(\#), \mu^f, M, \eta_j^f(\#)$		



**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	$V_1 = \lambda_1 \sum_i \ln \frac{Y_i^f}{\bar{Y}_i^f} \frac{1}{2\sigma_i^2}$	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	$V_3 = \lambda_3 \sum_{i=1978}^{2018} \epsilon_i^2 \frac{1}{2\sigma_R^2}$	Influencia los estimados en ausencia de datos. Si no hay señal del reclutamiento, este converge al reclutamiento medio.
14) Verosimilitud de la captura.	$V_4 = \lambda_4 \sum_{i=1978}^{2018} \ln \left( \frac{C_i}{\hat{C}_i} \right)^2$	Ajuste a la captura de cada año.
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.	$V_6 = \lambda_6 \sum_{i=1978}^{2018} \phi^2$	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.	$\dot{V} = \sum_{k=1}^7 V_k$	

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

---

Estimación de índices de abundancia relativa

---



---

## Índices de abundancia relativa de bacalao de profundidad estimados a partir de datos dependientes de las pesquerías chilenas de palangre industrial y artesanal.

---

### 1. Resumen

Se informa el análisis de estandarización del esfuerzo de las pesquerías industrial y artesanal de bacalao de profundidad desarrolladas en el territorio marítimo chileno.

En este proceso se emplearon los datos correspondientes a la pesca industrial con cachalotera desarrollada al sur de la latitud 47°S entre los años 2007 y 2018. Estos datos fueron obtenidos desde los registros del monitoreo desarrollado por el Centro de Estudios Pesqueros (CPES) entre los años 2007 a 2013 y por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) entre los años 2014 y 2018.

Los datos de la pesca artesanal fueron obtenidos desde los registros del proyecto FIP 96-32 “Análisis de la captura y del esfuerzo de pesca en la pesquería de Bacalao de Profundidad en la zona Centro-Sur” que incluyó los años 1986 a 1996 y desde los registros de pesca recopilados por el proyecto de seguimiento de esta pesquería desarrollado por el IFOP entre los años 1997 y 2018.

Los datos industriales fueron sometidos a un proceso de validación y utilizados en el ajuste de un modelo lineal generalizado mixto (GLMM) de las tasas de captura de la pesca con cachalotera (kg/(barandillo x hora de reposo) compuesto de un predictor lineal que incluyó los factores Año, Mes y Zona y los efectos aleatorios Barco e interacción Año:Zona.

Las tasas de captura artesanales (kg/días fuera de puerto) fueron estudiadas usando un modelo lineal generalizado (GLM) que incluyó los predictores Año, Mes, Zona y Potencia de motor y la interacción Año:Zona y un modelo GLMM incluyendo los factores Año, Mes y Zona como efectos fijos y el factor Potencia y la interacción Año:Zona como efectos aleatorios.

En todos los modelos se asumió una distribución normal de la respuesta una vez estabilizada la varianza mediante la aplicación de logaritmo.

La tendencia de la abundancia relativa estimada con los datos de la pesca industrial describió una disminución progresiva entre los años 2008 y 2014 y un nivel relativamente estable de la abundancia entre los años 2015 y 2018, la que fluctuó en torno de un valor ligeramente mayor al estimado para el año 2014. La abundancia relativa estimada con los datos artesanales disminuyó rápidamente entre los años 1986 a 1998 y se mantuvo relativamente estable entre los años 1999 y 2018, fluctuando alrededor de un valor medio ligeramente superior al estimado para el año 1998.



Se discuten algunos de los atributos y limitaciones de los datos disponibles para la estimación de índices de abundancia dependientes de la actividad pesquera y nuevos antecedentes con relación al posible efecto que la depredación por mamíferos marinos podría tener sobre las tendencias estimadas de la abundancia relativa en particular cuando se hace uso de los datos de pesca industrial.

## 2. Introducción

Los modelos estadísticos de captura a la edad y modelos integrados son los métodos empleados cuando se requieren estimaciones de abundancia, reclutamiento y mortalidad por pesca de una población explotada de peces (Quinn 2003, Maunder y Punt 2013). Estos modelos, como mínimo, requieren de la composición de edades de las capturas y de un índice de abundancia.

En las evaluaciones de stock de bacalao de profundidad se hace uso de estas herramientas para determinar el estatus del recurso (Tascheri 2019).

En muchas pesquerías no se cuenta con evaluaciones directas de la abundancia del recurso objetivo y en estos casos, suponiendo que la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) es proporcional a la abundancia del stock, es posible usar los datos de captura y esfuerzo de la actividad pesquera comercial para obtener un indicador de las variaciones del tamaño de la población a través del tiempo (Hinton y Maunder 2003, Maunder y Punt 2004). Diversos factores (e.g. cambios en los patrones estacionales y espaciales del esfuerzo y de la población explotada, diferencias del poder de pesca entre embarcaciones y los propios cambios de la abundancia), sin embargo, pueden afectar el valor del coeficiente de capturabilidad (i.e. la proporcionalidad entre la CPUE y la abundancia) y su efecto sobre las tasas de captura se debe considerar en el proceso de estimación de la abundancia relativa. Este procedimiento, que utiliza un conjunto de técnicas estadísticas, recibe el nombre de *estandarización del esfuerzo* (Hinton y Maunder, 2003, Maunder y Punt 2004).

A fin de implementar un análisis de estandarización del esfuerzo de la pesca del bacalao de profundidad explotado en aguas chilenas, los datos de captura y esfuerzo de la pesca con cachalotera, tomados por el Centro de Estudios Pesqueros S.A. (CPES; <https://www.aobac.cl/cepes>) entre los años 2007 y 2013 (Rubilar et al 2014) y aquellos tomados por el proyecto de seguimiento de la pesca de aguas profundas, conducido por el IFOP entre los años 2014 y 2018 (Céspedes et al 2017), fueron combinados en una base de datos que cubre 12 años de operaciones con este aparejo de pesca.

De igual modo, se combinaron los datos de la pesca artesanal tomados entre los años 1986 y 1996 por el proyecto FIP 96-32 (Young et al. 1997) y los registros del proyecto de seguimiento de la pesca artesanal de IFOP (Céspedes et al 2017) para conducir un análisis de estandarización del esfuerzo de pesca artesanal entre los años 1986 y 2018.

En este anexo se informan los análisis de estandarización del esfuerzo de las pesquerías dirigidas al bacalao de profundidad en el territorio marítimo chileno cuya implementación hace uso de estos datos.



En la implementación de la estandarización del esfuerzo de pesca industrial, los datos de pesca con cachalotera fueron utilizados para ajustar un modelo lineal generalizado mixto (GLMM) que incluyó los factores Año, Mes y Zona, y los efectos aleatorio Barco e interacción Año:Zona. La serie estimada con este modelo mostró una continua disminución de la abundancia relativa entre los años 2008 y 2014, sin embargo, ésta parece haberse estabilizado en los últimos cuatro años.

El análisis de estandarización del esfuerzo de pesca artesanal involucro el ajuste de dos modelos, un modelo lineal generalizado (GLM) incluyendo los factores Año, Mes, Zona, Potencia de motor y la interacción Año:Zona y un GLMM que incluyó los efectos fijos Año, Mes y Zona y los efectos aleatorios Potencia de motor e interacción Año:Zona. De acuerdo con las series estimadas de abundancia relativa, esta disminuyó notablemente entre los años 1986 y 1998, fluctuando luego alrededor de un valor medio ligeramente mayor a quel estimado para el año 1998. No se observaron diferencias entre los cambios interanuales de la abundancia relativa media estimada con cada modelo, los que sólo difirieron en la amplitud de los intervalos de confianza, esto último una característica relacionada con los aspectos teóricos de cada tipo de modelo.

### 3. Métodos

#### 3.1. Análisis de estandarización del esfuerzo de la pesca industrial de bacalao de profundidad desarrollada entre los años 2007 y 2018.

##### 3.1.1. Fuentes de datos

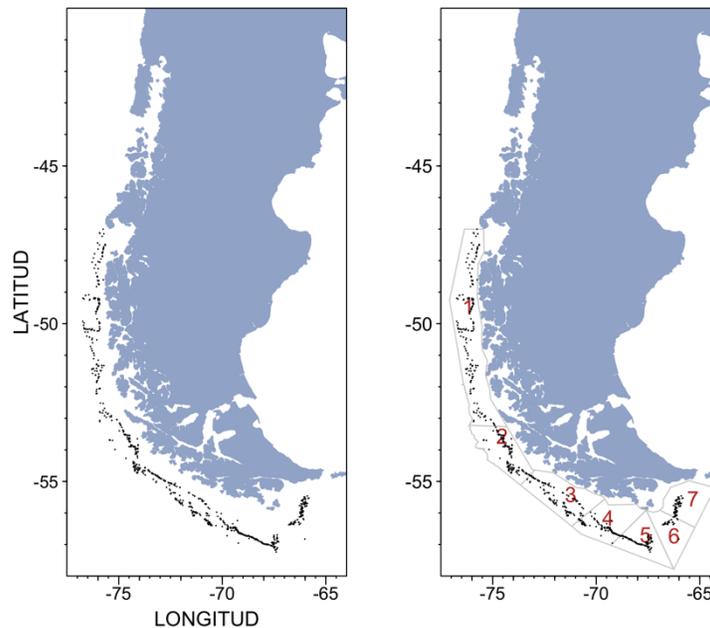
En el año 2006 la cachalotera fue introducida en la flota industrial chilena y fue rápidamente adoptada en todos los barcos de la flota, registrando un 26% de las operaciones en el año 2006, 41% en el 2007 y en un 100% de las operaciones a partir del año 2008.

Considerando que el palangre español y la cachalotera no sólo presentan diferencias operacionales sino también en eficiencia y debido a que la medida del esfuerzo que mejor aproxima la mortalidad por pesca es también diferente en estos dos aparejos (Rubilar et al. 2010), la base de datos de captura y esfuerzo industrial fue separada en dos conjuntos, cada uno correspondiendo a la operación con un sólo tipo de aparejo. Ambas conjuntos de datos identifican las embarcaciones con un código y contienen información del esfuerzo de pesca (e.g. localización geográfica del lance, captura retenida por especie, número de anzuelos totales, profundidad de operación, fecha y hora de inicio y fin del calado y virado del aparejo).

La estandarización del esfuerzo usando los datos de la pesca con palangre desarrollada entre los años 1989 y 2006 fue informada en Tascheri et al. (2015) y de este modo se informa aquí sólo el análisis de estandarización del esfuerzo de la pesca realizada con cachalotera entre los años 2007 y 2018.

La base de registros de pesca con cachalotera está compuesta por registros tomados entre los años 2006 y 2013 por el CPES y de registros tomados por el proyecto de seguimiento de la pesquería entre los años 2014 y 2017, estos últimos contienen una combinación de datos registrados por la propia tripulación y por observadores científicos del IFOP.

Las bitácoras de pesca registradas por el proyecto de seguimiento de la pesquería durante el año 2018 fueron sometidas al proceso de validación descrito en Tascheri et al. (2015) y que incluye la asignación de cada registró a un caladero o Zona de pesca. Estas zonas de pesca fueron determinadas a partir de información contribuida por los capitanes de la empresa Globalpesca SpA Tascheri et al. (2015). A continuación del pre-proceso de los nuevos datos, estos fueron anexados a la base de datos de operación con cachalotera para obtener así una base de 6.024 registros, correspondientes a los lances de pesca realizados con este aparejo entre los años 2007 a 2018. (Figura 1).



**Figura 1.** Posición de los lances registrados en las bitácoras de pesca industrial de bacalao de profundidad recopiladas durante el año 2018 (panel izquierdo) y su distribución en los 7 caladeros identificados para esta flota (panel derecho) Fuente:IFOP.



### 3.1.2. Estandarización del esfuerzo

El modelo de estandarización correspondió a un modelo lineal generalizado mixto (GLMM) que incluyó los efectos fijos Año, Mes y Zona, el efecto aleatorio Barco y la interacción aleatoria Año:Zona. De acuerdo con la nomenclatura de codificación (Bates et al. 2015) el modelo fue el siguiente:

$$\log(\text{CPUE}) \sim \text{Año} + \text{Mes} + \text{Zona} + (1|\text{Barco}) + (1|\text{Año:Zona})$$

Luego de estabilizar la varianza aplicando logaritmos, se asumió que las tasas de captura (kg/(n° barandillos calados\* h. de reposo)) siguen una distribución normal.

La exploración de los datos, análisis estadístico y representación gráfica de los resultados fue realizada usando el lenguaje y ambiente para la computación estadística R (R Core Team 2019) en conjunto con las librerías dplyr (Wickham et al. 2017), PBSmapping (Schnute et al. 2017), lme4 (Bates et al. 2015), emmeans (Lenth 2018), ggplot2 (Wickham 2016) y ggCaterpillar (<https://rdr.io/github/davebraze/FDB1/man/ggCaterpillar.html>).

## 3.2. Análisis de estandarización del esfuerzo de la pesca artesanal de bacalao de profundidad de los años 1986 a 2018.

### 3.2.1. Fuentes de datos

Los datos de la operación de pesca artesanal incluyen los registros del proyecto de “Análisis de la captura y el esfuerzo de pesca en la pesquería de bacalao de profundidad en la zona centro-sur” (Young et al. 1997) que cubren los años 1986 a 1996 y los registros del proyecto de seguimiento de la pesquería recopilados entre los años 1997 y 2018 (Céspedes et al. 2017).

Estos proyectos fueron ambos ejecutados por el IFOP, pero difieren en cobertura, detalle de la información recopilada y en sus criterios de validación.

Los datos del año 2018 fueron validados siguiendo los criterios aplicados en Tascheri et al (2019), manteniendo la restricción de los datos al norte del paralelo 47° LS manteniendo consistencia con la información del estudio de Young et al (1997). Del mismo modo, en este análisis de estandarización se continuó utilizando las zonas latitudinales y categorías de potencia de motor de las embarcaciones definidos por Young et al (1997) (**Tablas 1 y 2**).



**Tabla 1**

Zonas latitudinales usadas por Young et al. (1997) en su an3lisis de la captura y esfuerzo de la pesca de bacalao de profundidad.

Zona	Rango latitudinal
z1	17°30' - 28°00'
z2	28°00' - 36°00'
z3	36°00' - 40°00'
z4	40°00' - 42°00'
z5	42°00' - 47°00'

**Tabla 2**

Categorías de embarcaciones seg3n su potencia de motor usadas por Young et al. (1997) en su an3lisis de la captura y esfuerzo de la pesca de bacalao de profundidad.

Categoría	Potencia de motor (HP)
c1	<50
c2	50 - 90
c3	90 - 130
c4	130 - 170
c5	170 - 210
c6	210 - 250
c7	250 - 290
c8	290 - 300
c9	>300

### 3.2.2. Estandarizaci3n del esfuerzo

Para el caso de la flota artesanal se ajustaron dos modelos, un modelo lineal generalizado (GLM; McCullagh y Nelder 1989, Venables y Dichmont 2004) y un modelo lineal generalizado mixto (GLMM; Gelman y Hill 2006, Venables y Dichmont 2004), el primero incluyendo los factores A3o, Mes, Zona y Potencia de motor, adem3s de la interacci3n A3o:Zona y el segundo incluyendo los efectos fijos A3o, Mes y Zona, el efecto aleatorio Potencia y la interacci3n aleatoria A3o:Zona. De acuerdo con la sintaxis de codificaci3n (Bates et al. 2015):



M1:  $\log(\text{CPUE}) \sim \text{Año} + \text{Mes} + \text{Zona} + \text{Potencia} + \text{Año:Zona}$

M2:  $\log(\text{CPUE}) \sim \text{Año} + \text{Mes} + \text{Zona} + (1|\text{Potencia}) + (1|\text{Año:Zona})$

La exploración de los datos, análisis estadístico y representación de los resultados fue implementada en el lenguaje y ambiente para la computación estadística R (R Core Team 2019) y las librerías dplyr (Wickham et al. 2019), PBSmapping (Schnute et al. 2017), lme4 (Bates et al. 2015), emmeans (Lenth 2018), ggplot2 (Wickham 2016) y ggCaterpillar (<https://rdrr.io/github/davebraze/FDB1/man/ggCaterpillar.html>).

#### 4. Resultados

4.1. Análisis de estandarización del esfuerzo de la pesca industrial de bacalao de profundidad desarrollada entre los años 2007 y 2018.

##### 4.1.1. Descripción de los registros de captura industrial.

El mayor número de operaciones de pesca registradas por año en la base de datos corresponde al año 2013 con 23% de las operaciones de pesca y a los años 2017 y 2018 con 15% y 17% de las operaciones, respectivamente (**Tabla 3**).

El mayor número de operaciones de pesca por zona/caladero corresponde a la Zona 7 con un 30% de las operaciones registradas en la base de datos. Las zonas 3 y 6 le siguen en importancia a esta zona, con un 15% y 16% de los registros, respectivamente (**Tabla 3**).



**Tabla 3**

Distribución anual de los registros de operaciones de pesca industrial con cachalotera por caladero.

Año	Zona/Caladero							%
	1	2	3	4	5	6	7	
2007	0	3	4	14	0	2	0	0.4
2008	5	34	44	18	33	25	12	2.8
2009	19	71	121	62	33	58	19	6.4
2010	34	18	66	51	29	31	31	4.3
2011	17	46	75	77	64	101	90	7.8
2012	38	33	53	38	64	168	188	9.7
2013	141	91	92	96	148	179	642	23.1
2014	12	2	19	39	25	34	164	4.9
2015	26	12	30	16	27	52	146	5.1
2016	24	4	42	48	63	32	58	4.5
2017	87	25	191	135	64	116	256	14.5
2018	78	31	176	176	180	152	201	16.5
%	8.0	6.1	15.2	12.8	12.1	15.8	30.0	100

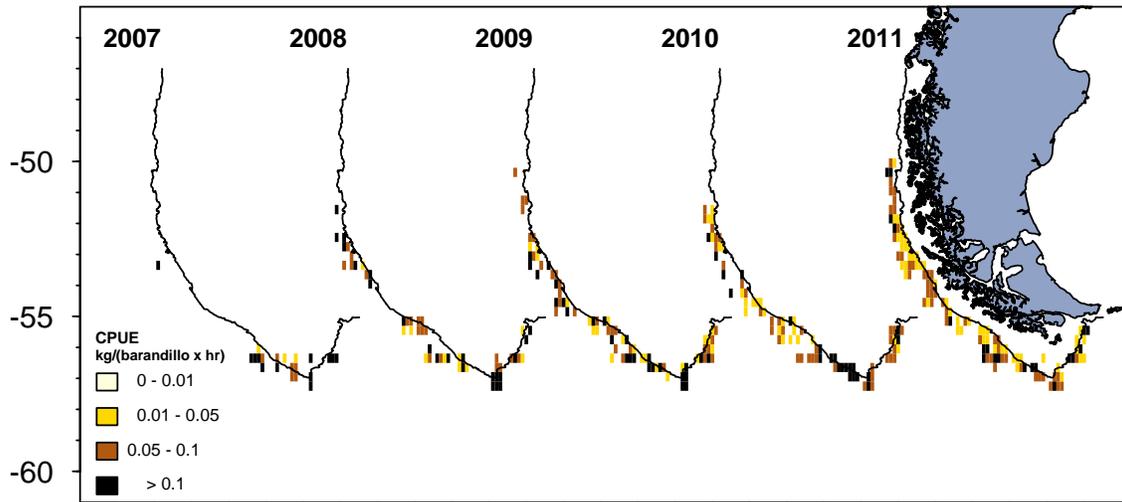
Una vez validada, la base de datos de registros disponibles para el análisis de estandarización de la pesca con cachalotera contiene un total de 9 barcos de los cuales 3 (i.e. 400075, 940239, 940391) dan cuenta de un 61% de los registros de operaciones de pesca (**Tabla 4**). Los años mejor representados en la base de datos corresponden a 2013 (23% de los registros), 2017 (15%) y 2018 (17%) (**Tabla 4**).

**Tabla 4**

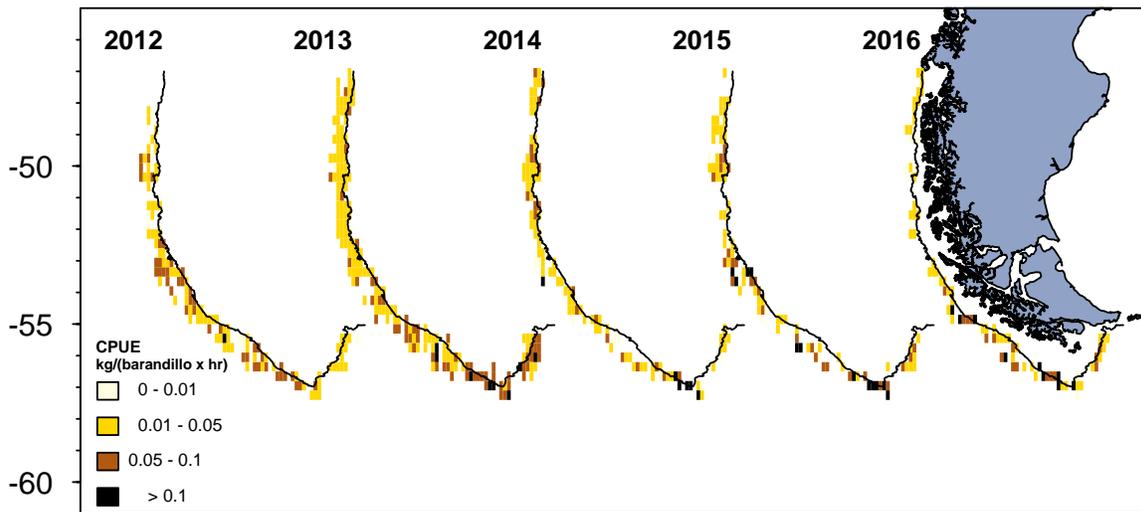
Número de lances por año y barco realizados en la pesquería industrial de bacalao de profundidad utilizando el aparejo cachalotera.

Barco	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	%
400065	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	62	0	1.1
400074	0	0	35	4	30	148	282	0	0	0	0	0	8.3
400075	0	0	47	0	45	143	224	98	130	50	243	282	20.9
400099	0	0	0	0	0	0	65	106	0	0	0	0	2.8
940239	0	10	12	155	137	0	240	69	70	0	182	186	17.6
940391	23	162	202	75	136	186	215	8	34	63	67	159	22.1
941225	0	0	0	0	0	0	65	0	0	0	246	321	10.5
941612	0	0	87	26	123	100	224	14	0	75	0	0	10.8
942434	0	0	0	0	0	2	74	0	75	83	75	46	5.9
%	0.4	2.9	6.4	4.3	7.8	9.7	23.1	4.9	5.1	4.5	14.5	16.5	100

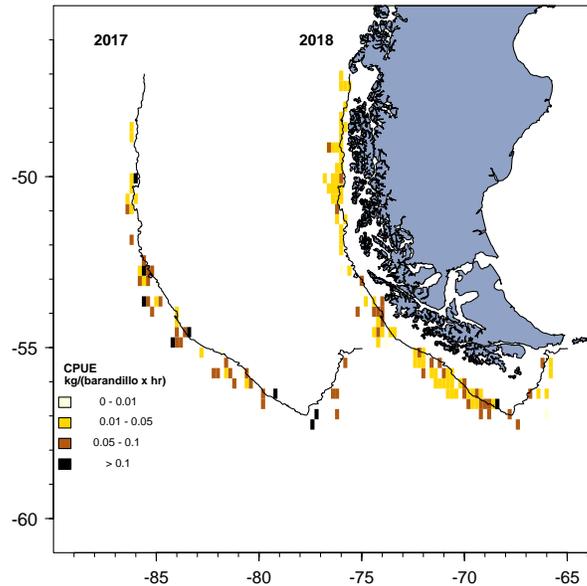
En el año 2007 la distribución de la pesca con cachalotera se observó al sur del paralelo 56° L.S. principalmente (**Figura 2**). En los años 2008 a 2010 la pesca con este aparejo se extiende más hacia el norte del área de pesca industrial, pero permanece al sur de la latitud 51° S. A partir del año 2012 la operación con cachalotera se extiende a toda el área de pesca industrial, sin embargo, los mayores rendimientos tienden a encontrarse al sur de la latitud 52° S. (**Figuras 2 a 4**).



**Figura 2.** Tasas de captura de bacalao de profundidad con cachalotera integradas por año y en cuadrantes de 0,2 x 0,3 grados. Pesquería industrial chilena. Años 2007 a 2011 (contorno corresponde a la isobata de 500 m).



**Figura 3.** Tasas de captura de bacalao de profundidad con cachalotera integradas por año y en cuadrantes de 0,2 x 0,3 grados. Pesquería industrial chilena. Años 2012 a 2016. (contorno corresponde a la isobata de 500 m).

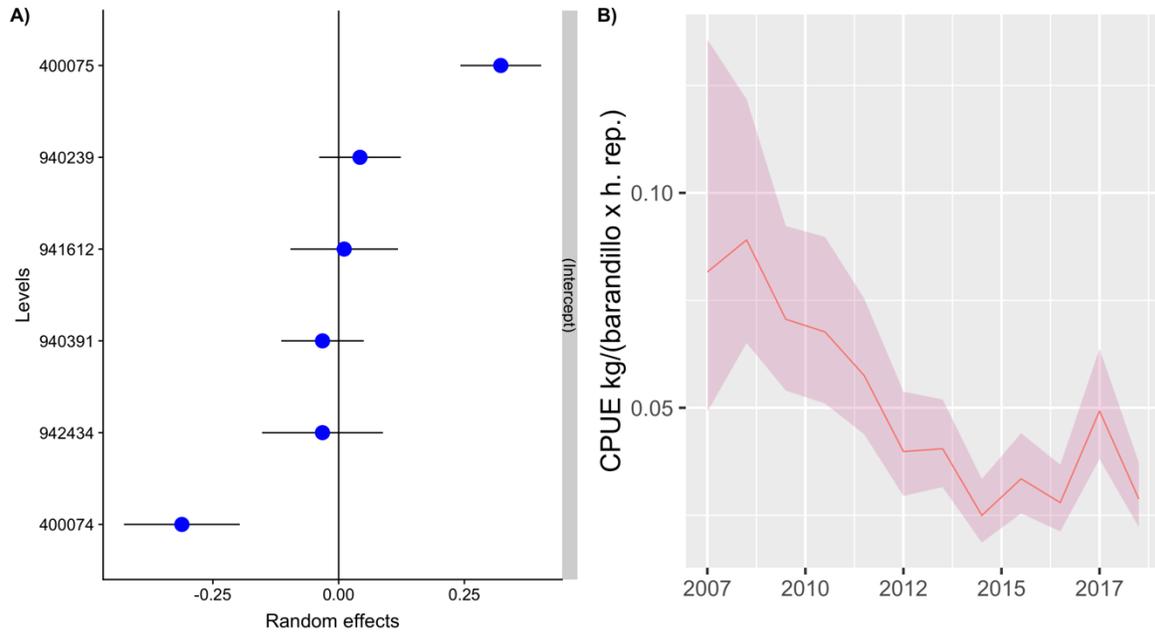


**Figura 4.** Tasas de captura de bacalao de profundidad con cachalotera integradas por a1o y en cuadrantes de 0,2 x 0,3 grados. Pesquería industrial chilena. A1os 2017 a 2018. (contorno corresponde a la isobata de 500 m).

#### 4.1.2. Estandarizaci3n del esfuerzo industrial

Las desviaciones estandar de los efectos aleatorios Barco e interacci3n Area:Barco correspondieron a 0,200 y 0,223 respectivamente. La desviaci3n estandar residual en tanto fue igual a 0,912. Los cuantiles normales del efecto aleatorio Barco se presentan en la **Figura 5A**.

La serie estimada mostr3 una disminuci3n continua de la abundancia relativa entre los a1os 2008 y 2014 (de 0,08159 a 0,02496 kg/(barandillo x horas de reposo), respectivamente). La abundancia relativa entre los a1os 2015 y 2018, sin embargo, se observ3 relativamente estable con un valor medio de 0,03488 kg/(barandillo x horas de reposo). En estos 1ltimos a1os el mayor valor estimado correspondi3 al a1o 2017 con 0,04927 kg/(barandillo x horas de reposo) (**Figura 5B**).



**Figura 5. A)** Cuantiles normales del efecto aleatorio Barco del GLMM; **B)** Fluctuaciones del efecto fijo Año estimado con este modelo. Modelo de estandarización de las tasas de captura de la flota industrial chilena de bacalao de profundidad registradas entre los años 2007 y 2018.



#### 4.2. Análisis de estandarización del esfuerzo de la pesca artesanal de bacalao de profundidad de los años 1986 a 2018.

##### 4.2.1. Descripción de los registros de captura artesanal

La información espacial considerada en los modelos de estandarización no está disponible para la zona 1 (**Tabla 1**) en ninguno de los años representados en la base de datos, con excepción del año 2018 (**Tabla 3**). En el año 2018 se observó una mejor cobertura de la actividad de pesca en las zonas 1 y 2 (región norte del área de pesca artesanal), las que en conjunto representaron un 73% de los datos de ese año. Debido a consideraciones de balance de la información disponible para estimar los parámetros de los modelos de estandarización (Campbell 2004), sin embargo, la zona 1 no fue incluida en este análisis.

La mayor cantidad de la información disponible para este proceso de estandarización proviene de las zonas 2, 3 y 4, con un 30%, 37% y 28% del total de los registros que componen la base de datos, respectivamente (**Tabla 3**).

Una vez finalizada la investigación de Young et al. (1997) la recopilación de datos en esta pesquería declinó rápidamente, de manera tal que los datos tomados entre los años 1996 y 2003 representan el 94% del total de los registros en esta base de datos (**Tabla 3**).

Entre los años 1998 y 2006 la cobertura espacial de los datos exhibió un notable incremento en la zona 5 (región meridional del área de pesca artesanal, **Tabla 2**) coincidiendo con el desplazamiento hacia el sur de la actividad pesquera descrito en Young et al. (1997). Sin embargo, los cambios en la distribución de los registros de pesca artesanal por zona latitudinal, observados entre los años 2007 y 2016, obedecen más a aspectos de la cobertura del muestreo que a aspectos operacionales (**Tabla 3**). A partir del año 2017 se observó una mejora importante en la recopilación de datos de la actividad pesquera artesanal, los que para ese año se distribuyen entre las zonas 2 y 5 (**Tabla 3**). En el año 2018, en cambio, se observó un notable incremento de la recopilación de datos de las zonas 1 y 2, lo que probablemente se debe a mejoras de la cobertura de la toma de información. De acuerdo con la distribución de los datos de este último año se puede apreciar la existencia de actividad en toda el área de pesca artesanal (**Tabla 3**).

En el período 1986 – 2003 el 94% de los registros de operaciones de pesca se distribuyó en las categorías de embarcación 3 a 8 (**Tablas 2 y 4**). En los años 2017 y 2018, sin embargo, el 81% de los registros de pesca correspondió a las categorías 5, 8 y 9 (**Tablas 2 y 4**).

**Tabla 3**

Distribuci3n anual y por zona de pesca de los registros de pesca artesanal de bacalao de profundidad. Los registros de los a1os 1986 a 1996 corresponden al proyecto FIP 96-32 y los registros de los a1os 1997 a 2018 a los datos tomados por el proyecto de seguimiento de la pesquer1a artesanal.

A1o	Zonas					%
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	
1986	0	356	256	50	0	3.3
1987	0	629	447	227	0	6.4
1988	0	235	544	569	0	6.6
1989	0	632	430	912	0	9.7
1990	0	685	681	737	0	10.3
1991	0	472	539	598	0	7.9
1992	0	373	530	325	0	6.0
1993	0	605	546	301	0	7.1
1994	0	751	700	635	0	10.3
1995	0	503	645	557	0	8.4
1996	0	208	533	464	0	5.9
1997	0	54	439	87	1	2.9
1998	0	41	60	60	19	0.9
1999	0	68	364	4	30	2.3
2000	0	34	135	9	182	1.8
2001	0	22	109	0	56	0.9
2002	0	49	253	0	189	2.4
2003	0	11	126	0	140	1.4
2004	0	0	1	0	74	0.4
2005	0	2	8	0	29	0.2
2006	0	1	2	0	19	0.1
2007	0	0	4	4	6	0.1
2008	0	2	2	1	7	0.1
2009	0	9	14	0	0	0.1
2010	0	2	11	0	0	0.1
2011	0	3	6	0	0	0.0
2012	0	2	2	0	4	0.0
2013	0	9	31	1	0	0.2
2014	0	21	10	3	0	0.2
2015	0	22	17	7	0	0.2
2016	0	0	2	5	10	0.1
2017	0	43	23	22	31	0.6
2018	252	228	92	26	64	3.3
%	1	30	37	28	4	100



**Tabla 4**

Distribución anual de los registros de la pesca artesanal de bacalao de profundidad por categoría de potencia de motor. Los registros de los años 1986 a 1996 corresponden al proyecto FIP 96- 32 y aquellos de los años 1997 a 2018 al proyecto de seguimiento de IFOP.

<b>Categoría potencia de motor</b>										
<b>Año</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>	<b>C7</b>	<b>C8</b>	<b>C9</b>	<b>%</b>
1986	13	84	252	34	187	18	26	7	0	3.5
1987	48	76	435	77	489	28	71	11	0	6.9
1988	32	49	323	113	459	111	123	17	0	6.9
1989	27	40	369	244	576	307	125	89	0	10.0
1990	5	44	321	176	681	348	187	110	0	10.5
1991	18	12	209	160	503	292	195	70	0	8.2
1992	2	11	116	105	431	235	118	64	0	6.1
1993	17	1	162	120	411	354	153	44	0	7.1
1994	17	31	224	177	608	426	235	129	0	10.4
1995	18	36	152	155	532	305	194	147	0	8.6
1996	8	25	119	59	342	182	188	130	0	5.9
1997	0	2	58	68	196	79	114	64	0	3.3
1998	12	1	3	9	40	16	1	18	11	0.6
1999	5	6	12	64	55	62	35	51	38	1.8
2000	1	0	2	46	39	50	18	41	48	1.4
2001	0	2	6	19	30	19	11	21	40	0.8
2002	1	1	19	52	72	33	43	69	127	2.3
2003	0	2	7	18	25	20	32	50	102	1.4
2004	0	0	0	1	2	6	10	18	31	0.4
2005	0	0	0	3	6	4	4	8	11	0.2
2006	0	0	1	0	1	0	2	4	12	0.1
2007	0	0	0	1	2	1	0	0	6	0.1
2008	0	0	0	0	1	0	1	2	6	0.1
2009	0	0	2	1	8	5	0	1	5	0.1
2010	0	0	2	1	0	2	2	0	6	0.1
2011	0	0	2	0	4	1	2	0	0	0.1
2012	0	0	0	0	1	1	1	0	4	0.0
2013	0	0	2	1	2	2	3	3	20	0.2
2014	0	0	4	3	7	0	4	6	10	0.2
2015	0	0	4	6	8	5	3	5	15	0.3
2016	0	0	0	1	5	2	0	1	5	0.1
2017	2	0	3	7	17	11	8	19	38	0.6
2018	7	0	10	11	69	15	10	27	178	1.8
<b>%</b>	<b>1.3</b>	<b>2.4</b>	<b>15.8</b>	<b>9.7</b>	<b>32.6</b>	<b>16.5</b>	<b>10.8</b>	<b>6.9</b>	<b>4.0</b>	<b>100</b>



#### 4.2.2. Estandarización del esfuerzo artesanal

La eliminación secuencial de factores desde el modelo GLM no resultó en un modelo estadísticamente mejor al ajustado con la totalidad de los factores (AIC=45558) coincidiendo de este modo con los resultados del análisis de devianza, el cual señaló como estadísticamente significativos a todos los factores incluidos en el modelo (**Tabla 5**).

Las desviaciones estándar de los efectos aleatorios Potencia e interacción Area:Potencia incluidos en el modelo GLMM correspondieron a 0.193 y 0.223 respectivamente, con una desviación estándar residual de 0.858. Los cuantiles normales del efecto aleatorio Potencia se muestran en la **Figura 6**.

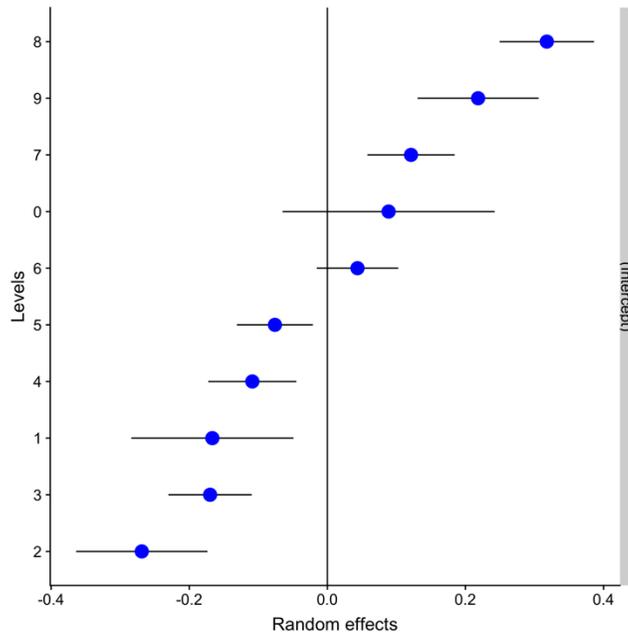
Las series estimadas de abundancia relativa (CPUE kg / dfp) disminuyeron rápidamente su valor desde ~325 kg/dfp en 1986 a 62 kg/dfp en 1998 y se mantuvieron relativamente estables entre los años 1999 y 2018, fluctuando en torno a un valor medio de 96 kg/dfp (**Figura 7**). Los intervalos de confianza de 95% reflejan la mayor variabilidad en los datos (en gran medida debido al bajo número de registros disponibles de los años 2005 a 2016; **Tablas 3 y 4**) pero también la mayor incertidumbre de la serie estimada usando un modelo GLMM, debido a que es este último toma en cuenta las correlaciones de los datos y entonces no asume que estos son independientes, como es el caso con el GLM. Sin perjuicio de esto último, la tendencia media de la abundancia relativa estimada con ambos modelos fue esencialmente la misma (**Figura 7**).

El histograma de los residuales del GLM, los valores ajustados vs los residuales y un qqplot de los cuantiles normales de los residuales estandarizados, se entregan en la **Figura 8**.

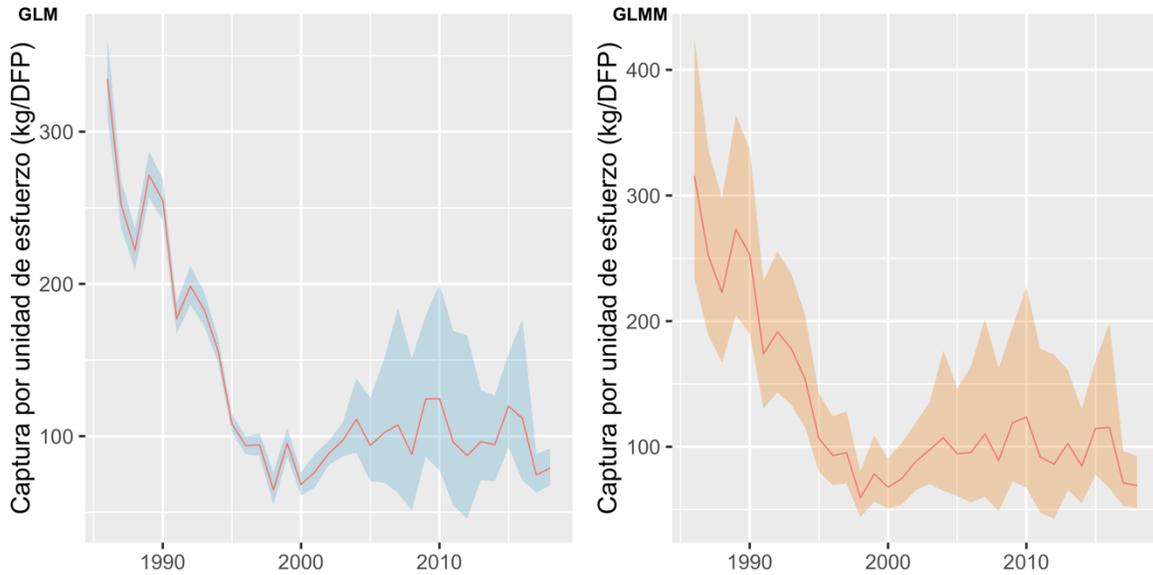
**Tabla 5.**

Análisis de devianza de un GLM de las tasas de captura artesanales de bacalao de profundidad registradas entre los años 1986 y 2018.

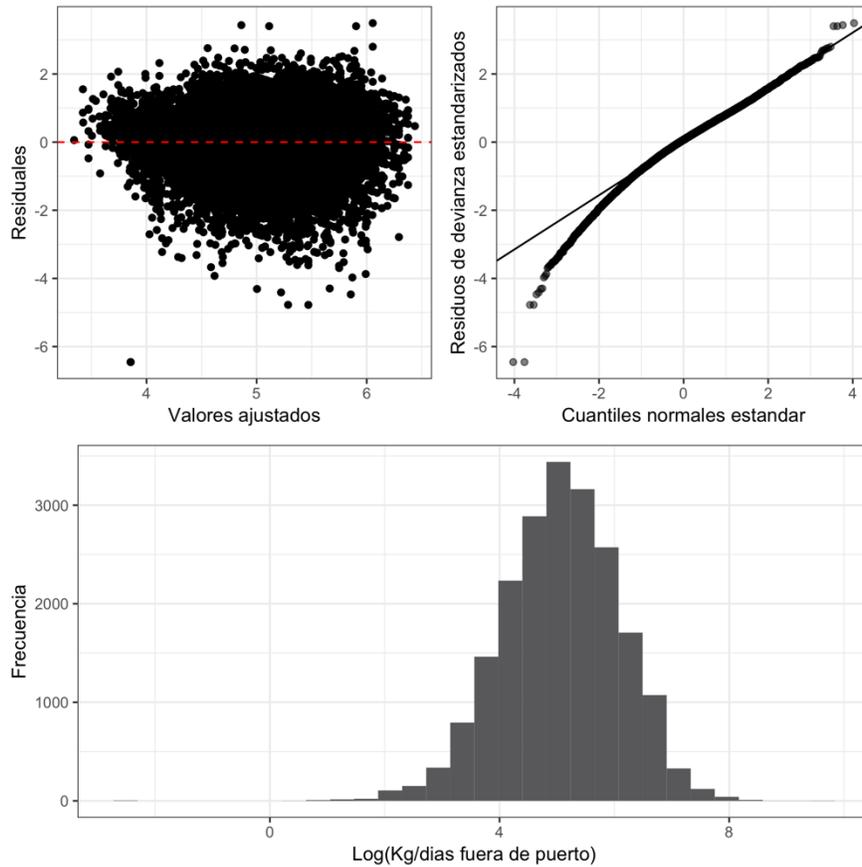
Factor	G.L.	Devianza	G.L.Res.	Dev.Res.	F	Pr(>F)
Nulo		17855	18216			
Año	32	2618	17823	15599	109.3	<0,000
Mes	9	636	17814	14962	94.4	<0,000
Mes	11	161	17803	14801	19.6	<0,000
Zona	3	1479	17800	13323	658.6	<0,000



**Figura 6.** Cuantiles normales del efecto aleatorio Potencia de motor de un GLMM de las tasas de captura artesanales de bacalao de profundidad registradas entre los a1os 1986 y 2018.



**Figura 7.** Series de abundancia relativa estimadas usando datos de la pesca artesanal de bacalao de profundidad y modelos GLM (panel izquierdo) y GLMM (panel derecho). A1os 1986 a 2018.



**Figura 8.** Panel superior izquierdo: valores ajustados vs residuales del GLM de estandarizaci3n; Panel superior derecho: qqplot de los cuantiles normales de los residuales estandarizados del GLM. Panel inferior: histograma del logaritmo de la captura por unidad de esfuerzo de la pesca artesanal de bacalao de profundidad.



## 5. Discusión y conclusiones

### 5.1. Discusión

En la evaluación de stock de bacalao de profundidad se utiliza un modelo integrado (Maunder y Punt 2013) lo que requiere disponer de un índice de abundancia además de la composición de edades de las capturas. En ausencia de evaluaciones directas de este recurso, en este estudio se conduce regularmente un análisis de estandarización del esfuerzo a objeto de estimar indicadores de abundancia relativa a partir de los datos de la pesca comercial (Maunder y Punt 2004).

La posibilidad de remover el efecto que otros factores (además de la abundancia) puedan tener sobre las variaciones temporales de las tasas de captura, está condicionada por la información contenida en las bases de datos disponibles para este tipo de análisis.

Las bases de datos de la pesca industrial y artesanal de bacalao están compuestas por registros originados en diferentes programas de monitoreo que desarrollaron sus actividades en períodos de años diferentes. En el caso industrial estos registros provienen del programa desarrollado por CPES entre los años 2007 y 2013 (Rubilar et al 2014) y del proyecto de seguimiento conducido por el IFOP entre los años 2014 y 2018 (Céspedes et al 2017). En el caso de la pesca artesanal, estos registros provienen del “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) que cubrió el período de 1986 a 1996 y del proyecto de seguimiento de la pesca artesanal de IFOP (Céspedes et al 2017) de los años 1997 a 2018.

Entre las limitaciones que presentan estas fuentes de datos, cabe mencionar el reducido número de registros disponibles para estandarizar el esfuerzo de pesca artesanal de los años 2004 a 2016 y la ausencia de información de la operación artesanal en la zona 1 para la gran mayoría de los años contenidos en la base de datos. En el año 2017 los operadores industriales introdujeron nuevas modificaciones al aparejo de pesca, sin embargo, los registros analizados no incluyen información que permita distinguir las operaciones en que se usaron estas modificaciones.

Los registros de la base de datos industrial tomados por el CPES entre los años 2007 y 2013 contienen un conjunto de variables que entregan información de la interacción de la pesca con mamíferos marinos (Rubilar et al. 2014). Esta información fue analizada en el contexto de la estandarización del esfuerzo de pesca industrial en Tascheri et al. (2015) concluyendo que en términos promedio la interacción con mamíferos no había sido significativa. Efectivamente, aun cuando el porcentaje de reducción media de la CPUE debido a la depredación fue estimado en 30% y 20% para los años 2012 y 2013, respectivamente, el valor medio de reducción porcentual de la CPUE debido a la depredación para el período analizado fue estimado en 7,4%.



Este valor de reducción media de la CPUE debido a la depredación fue en su momento considerado bajo con relación a lo relatado por los operadores, quienes observan valores notablemente mayores. Efectivamente, tomando en consideración los relatos de los pescadores y los reportes en la literatura científica que indican que la depredación por mamíferos puede fácilmente resultar en la pérdida de más de un 50% de la captura (Ashford et al. 1996, Tilney y Purves 1999) i.e. a una pérdida considerable de dinero (Söffker et al 2015, Guinet et al. 2015), estos valores podrían corresponder a una subestimación, atribuible a una falta de resolución de las variables que fueron registradas por los observadores científicos para medir la interacción con mamíferos, requiriéndose entonces revisar estos procedimientos para efectivamente medir esta interacción. Esta es la razón del porqué este análisis no se ha actualizado incluyendo el período 2014 a 2018 (lo que requiere establecer si los procedimientos aplicados por el IFOP para tomar esta información son comparables a los aplicados por CPES en los años 2007 a 2013).

Sin embargo, otra explicación alternativa que reconcilia las observaciones de terreno con las estimaciones hasta ahora realizadas, es que los relatos de los pescadores corresponden a eventos de intensa depredación observada a escala de las operaciones de pesca y las estimaciones corresponden a una integración de toda la información disponible a escala anual, de modo que la estimación de los efectos de los mamíferos marinos es confundida con el comportamiento de evasión por parte de los pescadores ya que ambos afectan las tasas de captura.

En este contexto existe una preocupación fundada de que la tendencia negativa de las tasas de captura pudiera estar reflejando un incremento en la tasa de depredación (en contradicción al bajo porcentaje de reducción en CPUE debido a la depredación estimado en Tascheri et al. (2015).

En un artículo reciente, Tixier et al (2019) estimaron que la interacción de cachalotes y orcas con la pesca ha disminuido desde el año 2006 sugiriendo la efectividad de las estrategias de evasión implementadas por los barcos de pesca como una de las probables causas.

En este análisis de estandarización, las series de CPUE estimadas sugieren una notable reducción de la abundancia en el tiempo, en particular, las tasas de captura de la pesca con cachalotera exhiben una tendencia decreciente entre los años 2007 y 2018. De los resultados de Tixier et al (2019), se sigue que la reducción en las tasas de captura industriales no es el resultado de un incremento de la tasa de depredación en el tiempo, lo que otorga soportando de este modo la interpretación de que el índice de CPUE representa una reducción de la abundancia en el tiempo.



La incertidumbre asociada con el uso de las tasas de captura comerciales como índices de abundancia en la pesquería chilena de bacalao de profundidad ha motivado investigaciones para obtener índices de abundancia independientes de la pesca tales como la implementación de un programa de marcaje (Rubilar et al. 2014) o evaluaciones directas. El desarrollo de estos estudios no está libre de problemas metodológicos y logísticos y consecuentemente es de esperar que transcurrirá un tiempo significativo antes de que se pueda contar con una serie de abundancia confiable que pueda contribuir a las investigaciones del estatus del recurso y de este modo que la estimación de índices de abundancia basados en datos de la actividad pesquera continuará siendo, en el mediano plazo, la principal fuente de información de las tendencias de la abundancia de este recurso.

## 5.2. Conclusiones.

- La abundancia relativa de bacalao de profundidad en el área de pesca artesanal se redujo rápidamente entre los años 1986 y 1998, se ha mantenido relativamente estable entre los años 1999 y 2018.
- La abundancia relativa en el área de pesca industrial muestra una disminución progresiva entre los años 2007 y 2018.
- Los antecedentes actualizados indican que la tendencia negativa de las estimaciones de la captura por unidad de esfuerzo en el área de pesca industrial no sería el resultado de un incremento de la depredación por mamíferos marinos en el tiempo.



## 6. Referencias

- Ashford, J. R., Rubilar, P. S., and Martin, A. R. 1996. Interactions between cetaceans and longline fishery operations around South Georgia. *Mar. Mamm. Sci.* 12, 452–457.
- Campbell, R. A. 2004. CPUE standardization and the construction of indices of stock abundance in a spatially varying fishery using general linear models. *Fisheries Research*. 70: 209-227.
- Céspedes, R., L. Chong, R. San Juan, P. Gálvez, V. Ojeda, G. Moyano, R. Bravo, L. Muñoz, L. Adasme y J. González. 2017. Convenio de Desempeño 2016 Seguimiento de las Pesquerías Demersales y Aguas Profundas Sección VI: Pesquería de Aguas Profundas, 2016. Informe Técnico Final. 149 p. + Anexos.
- Bates, D., M. Maechler, B. Bolker and S. Walker. 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1): 1-48. doi:10.18637/jss.v067.i01.
- Gelman, A. and J. Hill. 2006. *Data analysis using regression and multilevel/hierarchical models*. Cambridge University Press.
- Guinet, C., Tixier, P., Gasco, N., and Duhamel, G. Long-term studies of Crozet Island killer whales are fundamental to understanding the economic and demographic consequences of their depredation behaviour on the Patagonian toothfish fishery. 2015. *ICES Journal of Marine Science*, 72: 1587–1597.
- Hinton, M.G. and M.N. Maunder. 2004. Methods for standardizing CPUE and how to select among them, *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT* 56(1): 169-177.
- Lenth, R. 2018. emmeans: Estimated Marginal Means. R package version 1.1.3. <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>
- McCullagh, P. and John A. Nelder. 1989. *Generalized Linear Models*. Chapman and Hall/CRC.
- Maunder, M.N. and A.E. Punt. 2004. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches, *Fisheries Research* 70(2-3):141-159.
- Maunder, M.N. and A.E. Punt. 2013. A review of integrated analysis in fisheries stock assessment, *Fisheries Research* 142: 61-74.



- Quinn II, T.J. 2003. Ruminations on the development and future of population dynamics models in fisheries *Natural Resource Modeling* 16(4): 341-392.
- R Core Team. 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- 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 INVESTIGACION BACALAO 2009. Informe Primera Etapa. Centro de Estudios Pesqueros S.A. 47 p.
- Rubilar, P., A. Zuleta, C. A. Moreno. 2014. Monitoreo pesquería - dependiente y marcaje del bacalao de profundidad en Chile. Pesca de Investigación Bacalao 2013. Informe final. Centro de Estudios Pesqueros S.A. 67 p.
- Schnute, J. T., N. Boers and R. Haigh. 2019. PBSmapping: Mapping Fisheries Data and Spatial Analysis Tools. R package version 2.72.1. <https://CRAN.R-project.org/package=PBSmapping>
- Söffker M, Trathan P, Clark J, Collins MA, Belchier M, Scott R (2015) The Impact of Predation by Marine Mammals on Patagonian Toothfish Longline Fisheries. *PLoS ONE* 10(3): e0118113. doi:10.1371/journal.pone.0118113
- 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. 2019. Informe 2 Consolidado. Convenio de Desempeño 2018: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2019: Bacalao de profundidad, 2019. Subsecretaría de Economía y EMT - IFOP. 126 p.
- Tilney, R. and M.G. Purves. 1999. The status of integrated fisheries monitoring in South Africa. In: Nolan, C.P. (Ed.). *Proceedings of the International Conference on Integrated Fisheries Monitoring*, Sydney, Australia, 1–5 February 1999. FAO, Rome: 378 pp.
- Tixier, P., P. Burch, G. Richard, and K. Olsson, D. Welsford, MA. Lea, M. A. Hindell, C. Guinet, A. Janc, N. Gasco, G. Duhamel, M. C. Villanueva, L. Suberg, R. Arangio, M. Söffker and J. P. Y. Arnould. 2019. Commercial fishing patterns influence odontocete whale-longline interactions in the Southern Ocean. *Scientific Reports*. 9(1):1904.
- Venables, W. N. and C. M. Dichmont. 2004. GLMs, GAMs and GLMMs: an overview of theory for



applications in fisheries research. 70(2-3):319-337.

Wickham, H. 2016. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York.

Wickham, H., R. Francois, L. Henry and Kirill Müller. 2019. dplyr: A Grammar of Data Manipulation. R package version 0.8.1. <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>.

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.

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

---

Residuales de los datos de composición de edad y longitud de las capturas y de los índices de abundancia relativa.

---

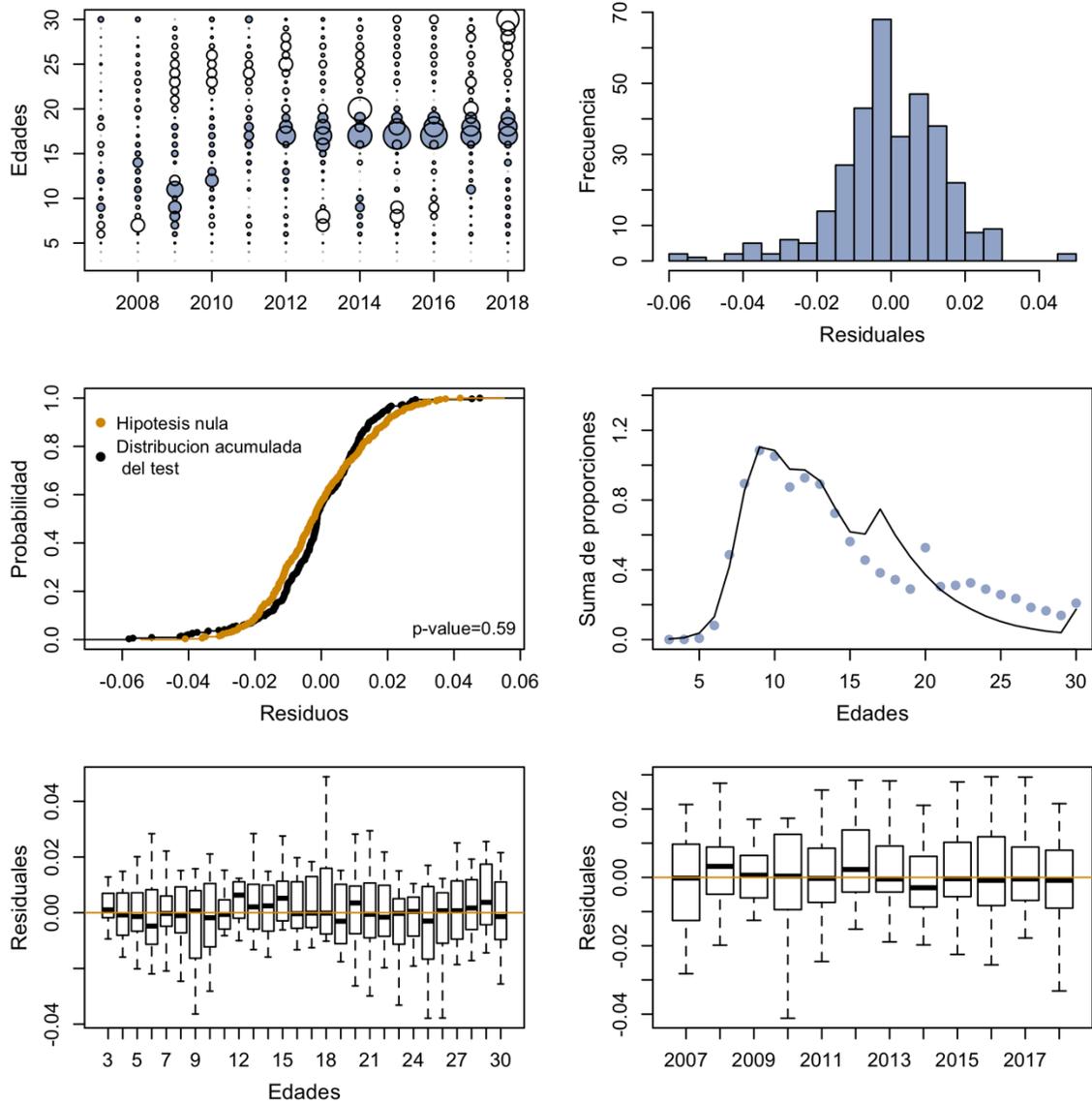
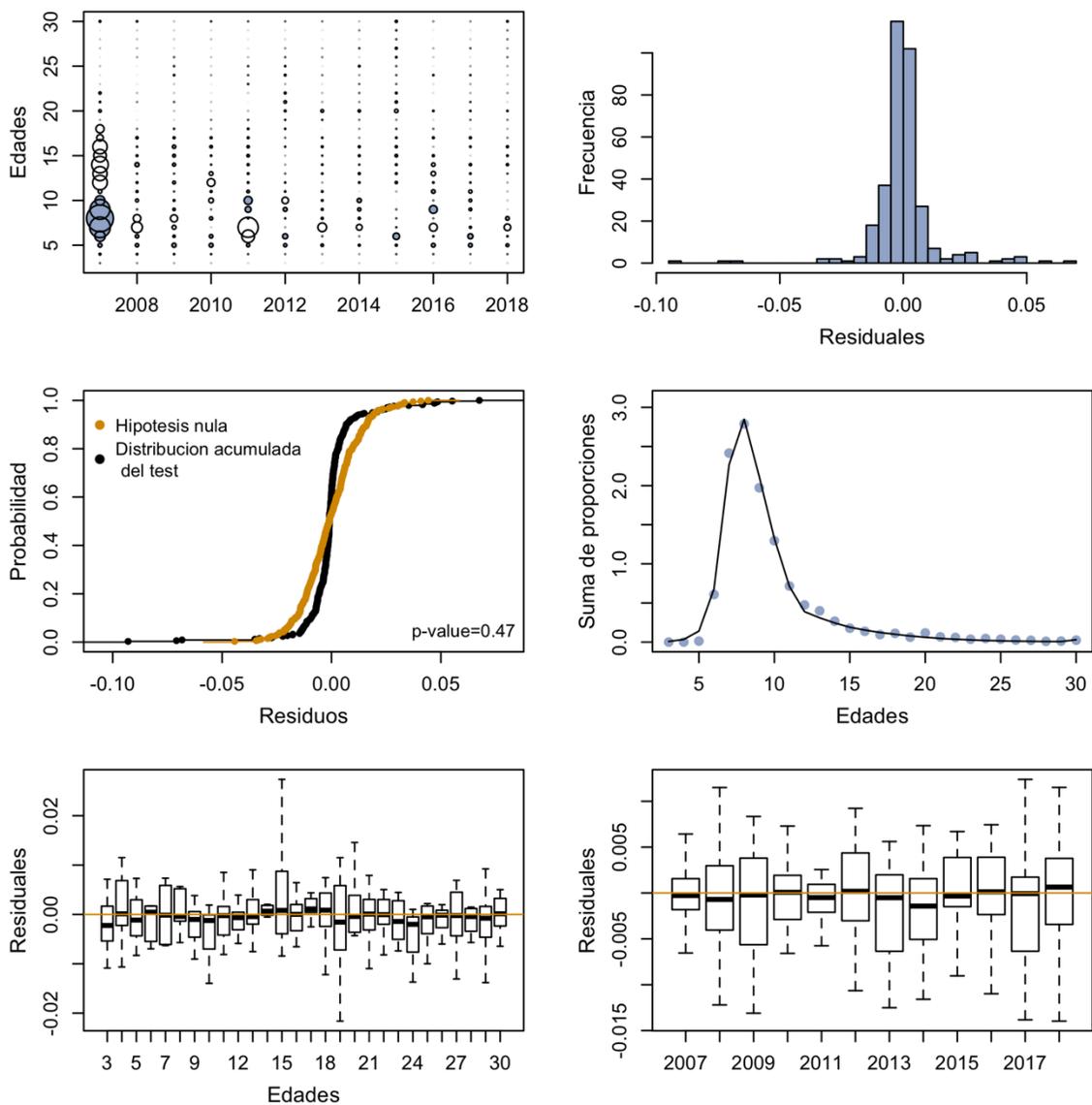
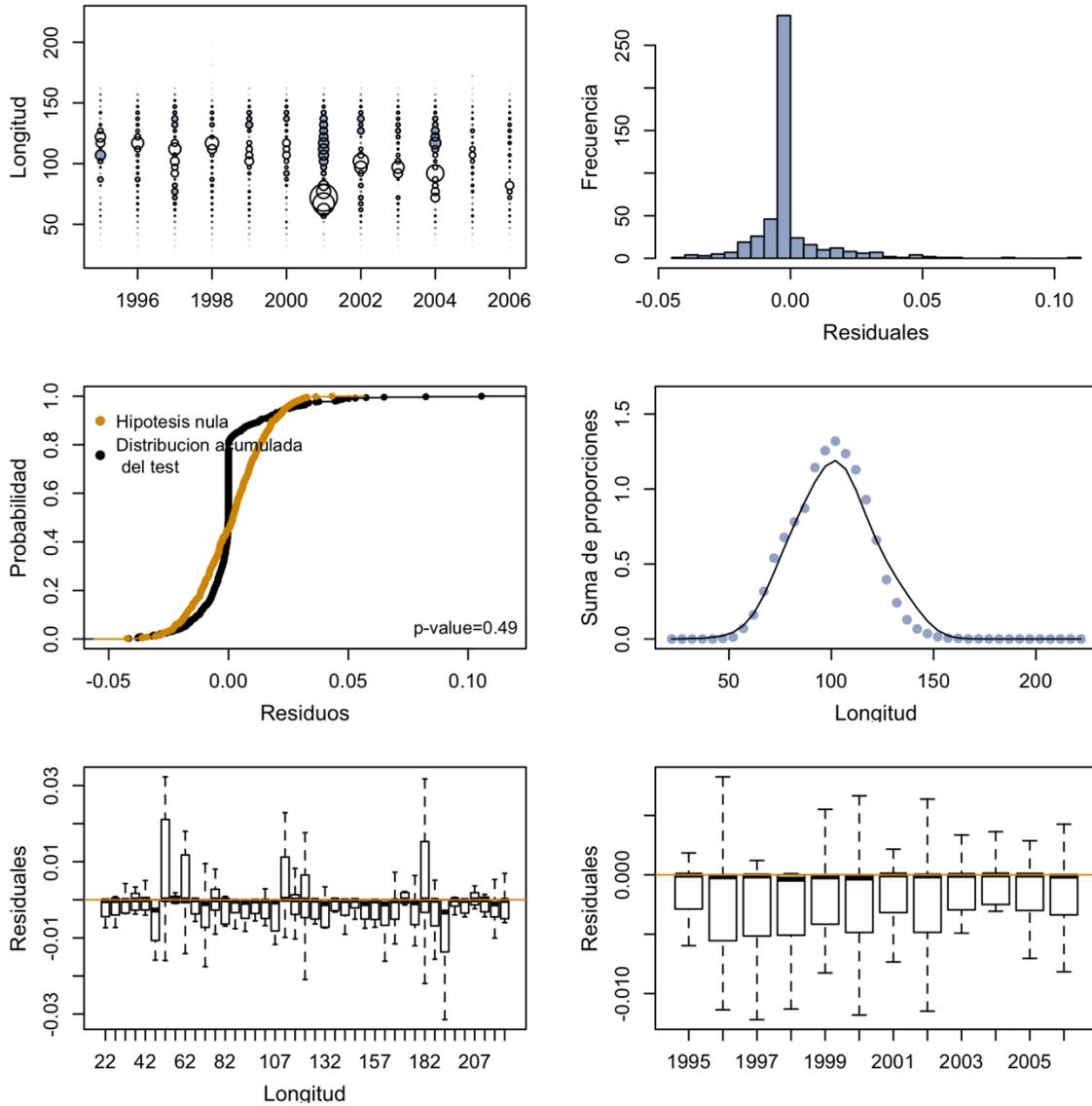


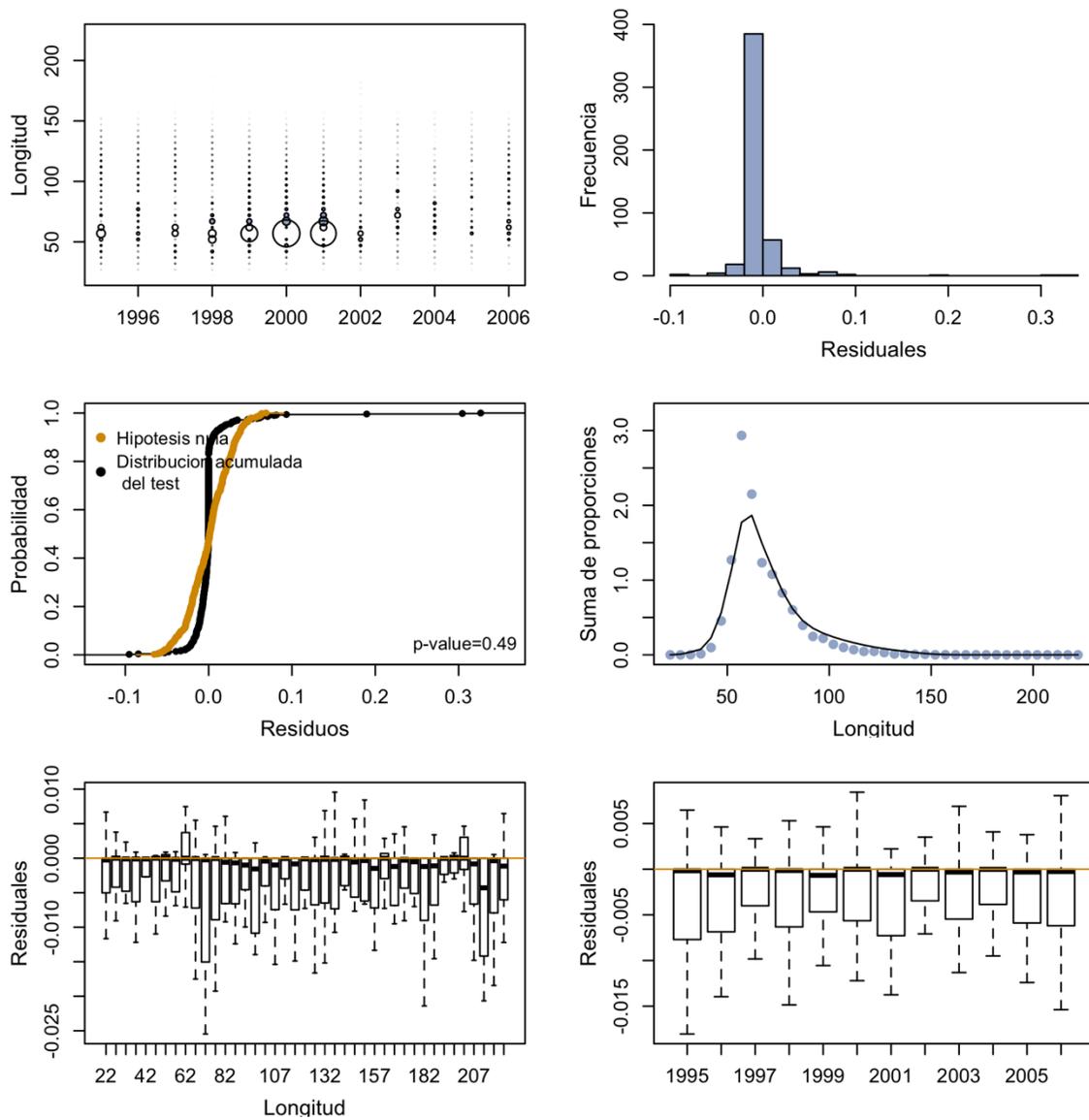
Figura 1. Análisis de residuos de la composición de edades de las capturas industriales. Años 2007 a 2018. Caso 1.



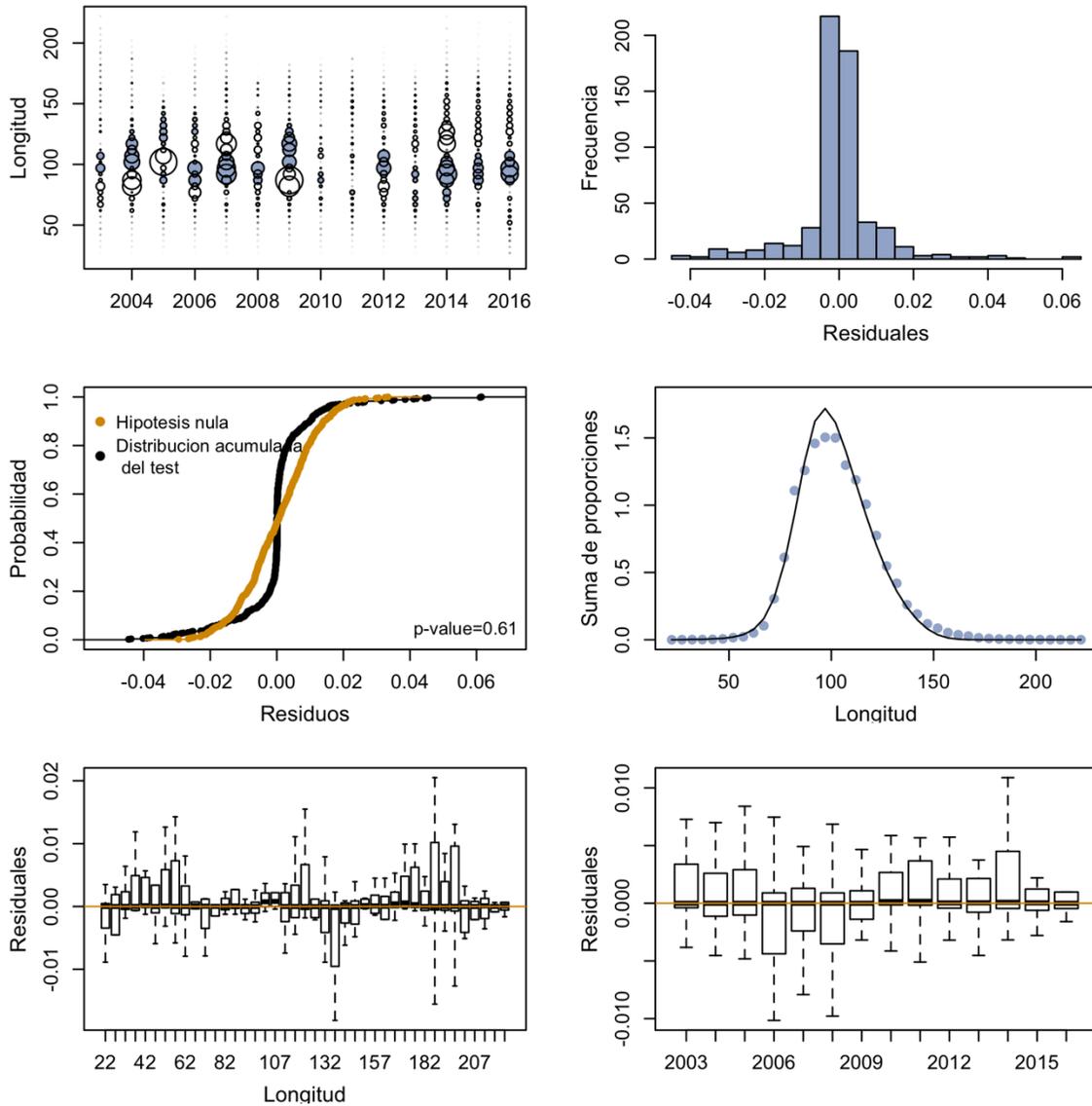
**Figura 2.** Análisis de residuales de la composición de edades de las capturas artesanales. Años 2007 a 2018. Caso 1.



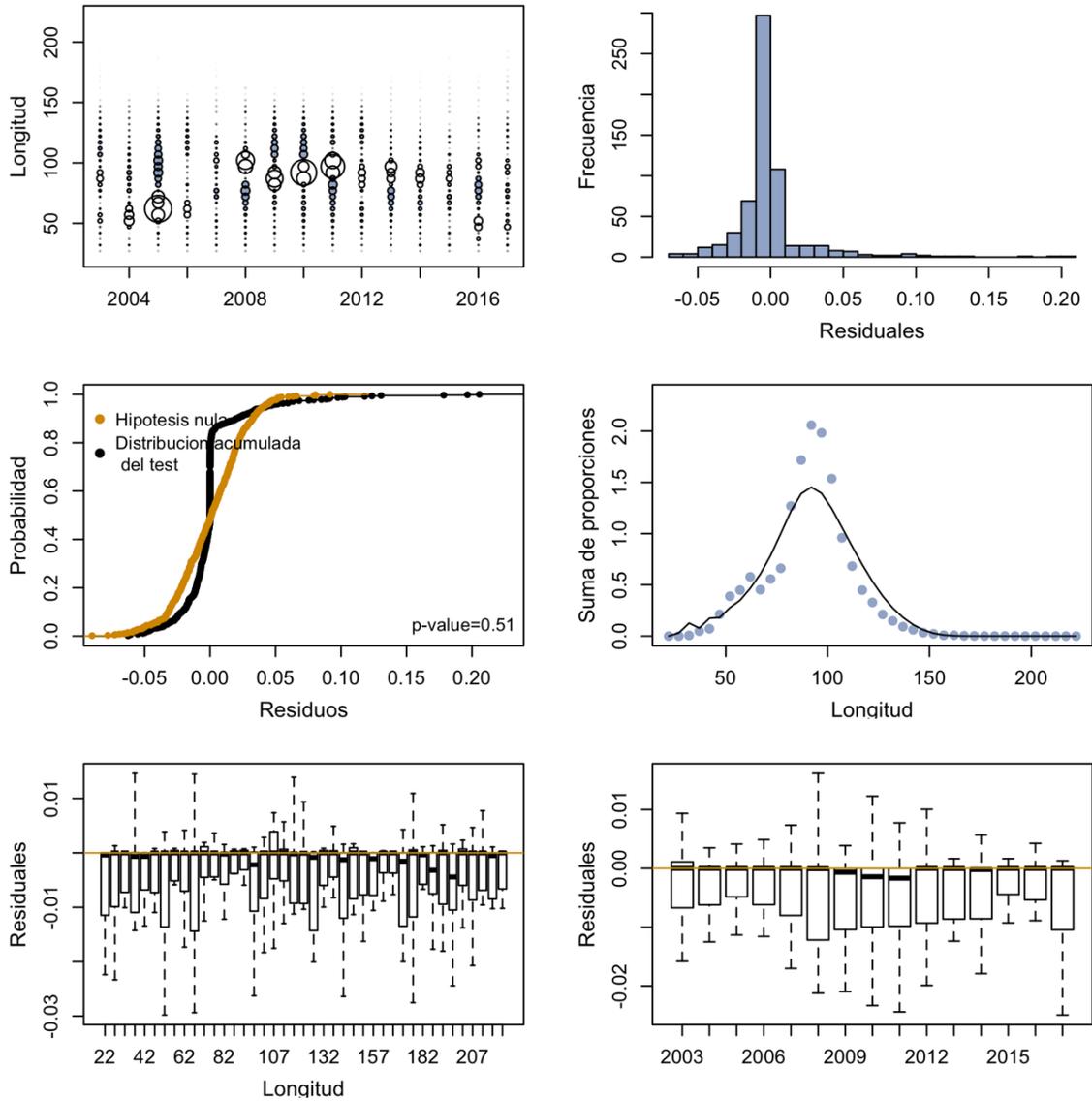
**Figura 3.** Análisis de residuos de la composición de longitudes de las capturas industriales. Años 1995 a 2006. Caso1.



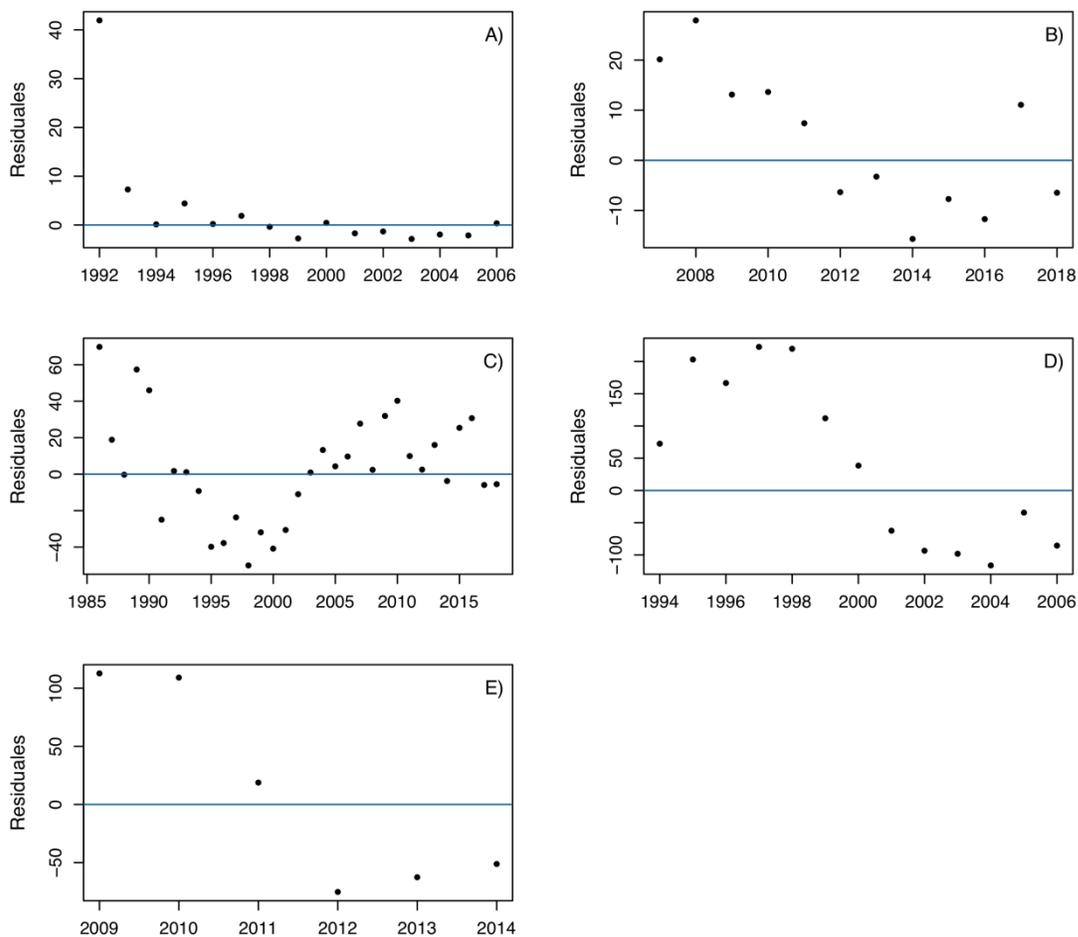
**Figura 4.** Análisis de residuales de la composición de longitudes de las capturas artesanales. Años 1995 a 2006. Caso1.



**Figura 5.** Análisis de residuales de la composición de longitudes de las capturas argentinas de palangre. Años 2003 a 2016. Caso1.



**Figura 6.** Análisis de residuos de la composici3n de longitudes de las capturas argentinas de palangre. Años 2003 a 2017. Caso1.



**Figura 7.** Residuales 3ndices de abundancia relativa. A) palangre industrial; B) Cachalotera chilena; C) espinel artesanal; D) palangre argentino; E) cachalotera argentina. Caso 1.

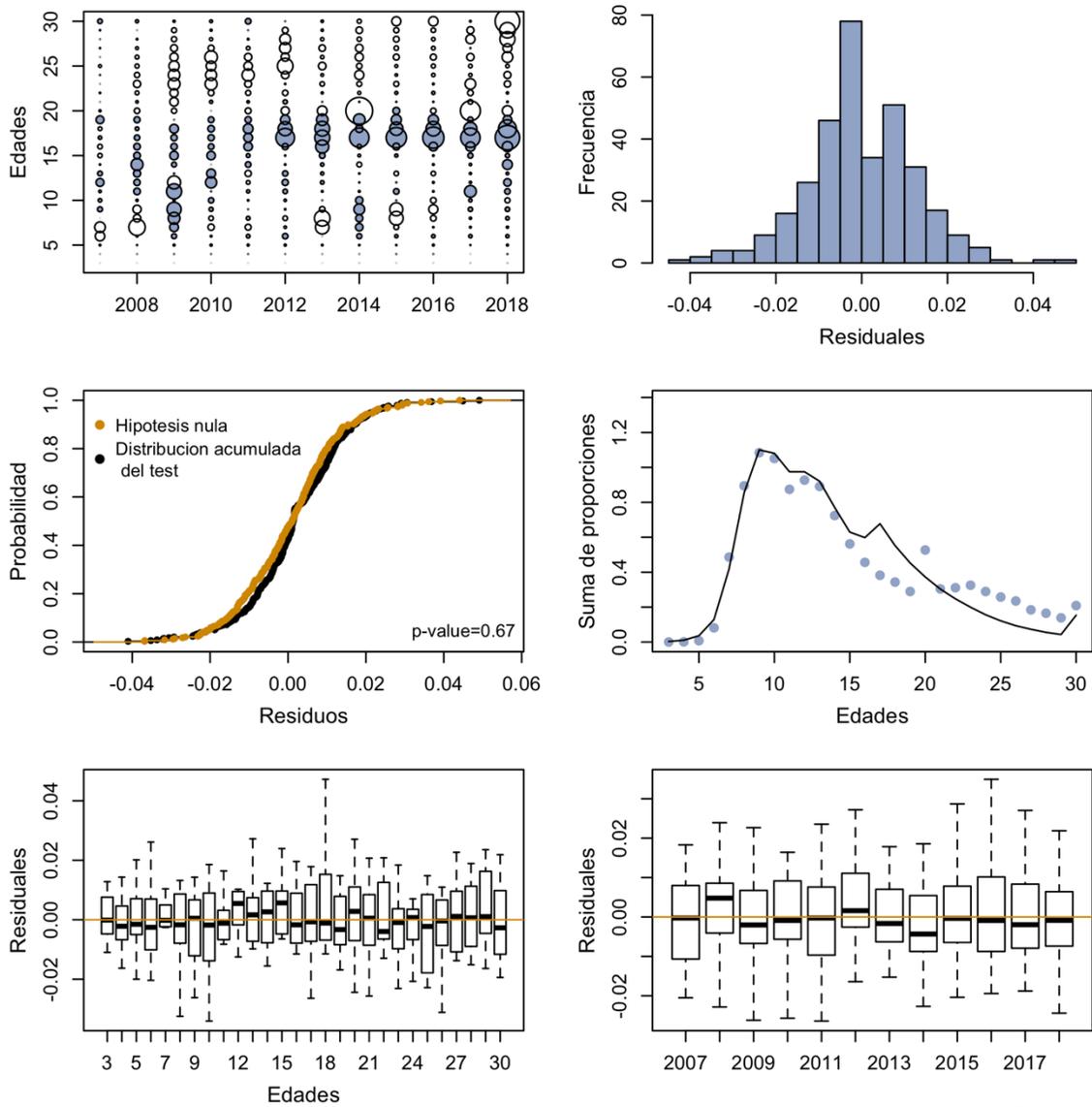
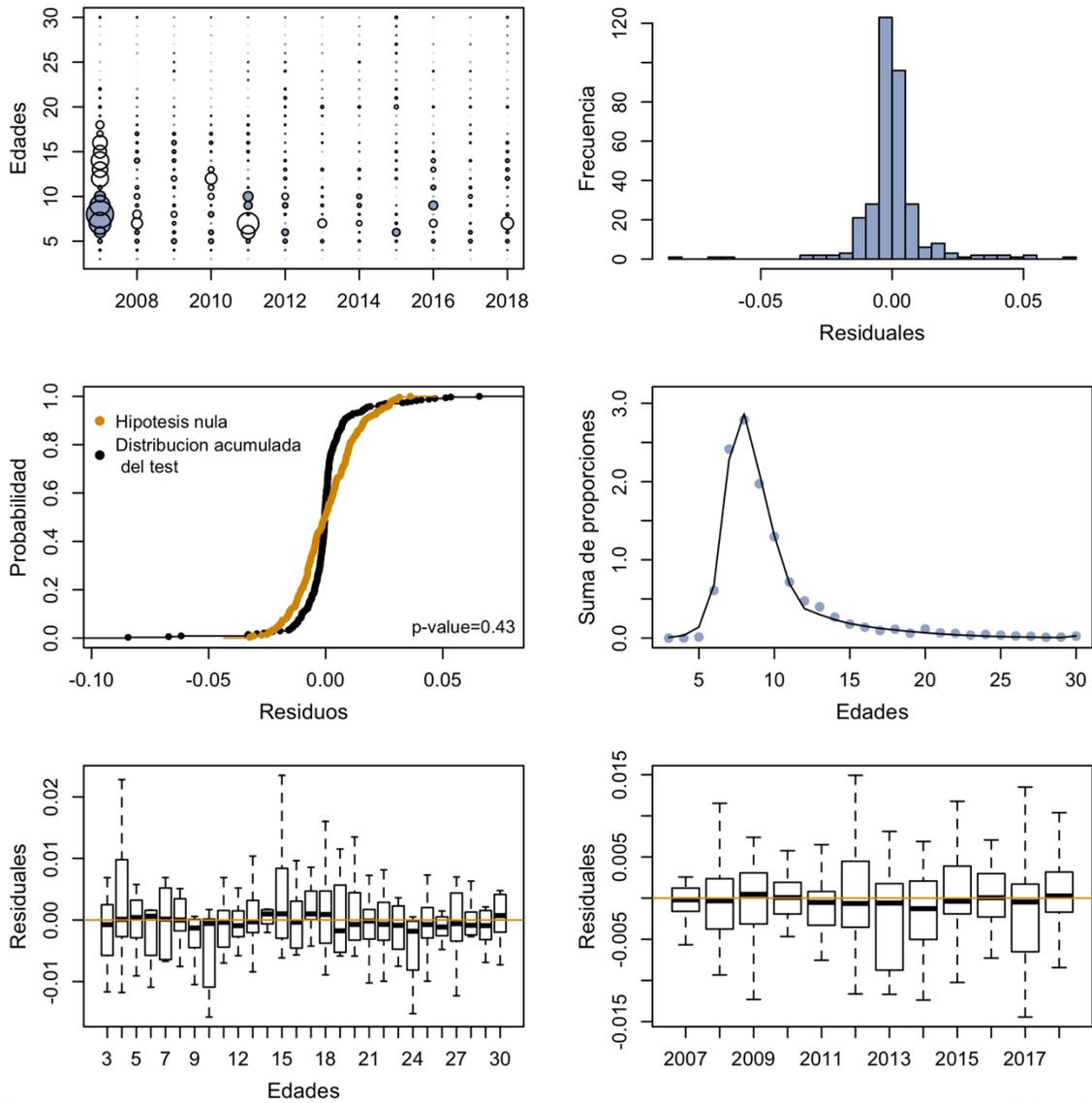
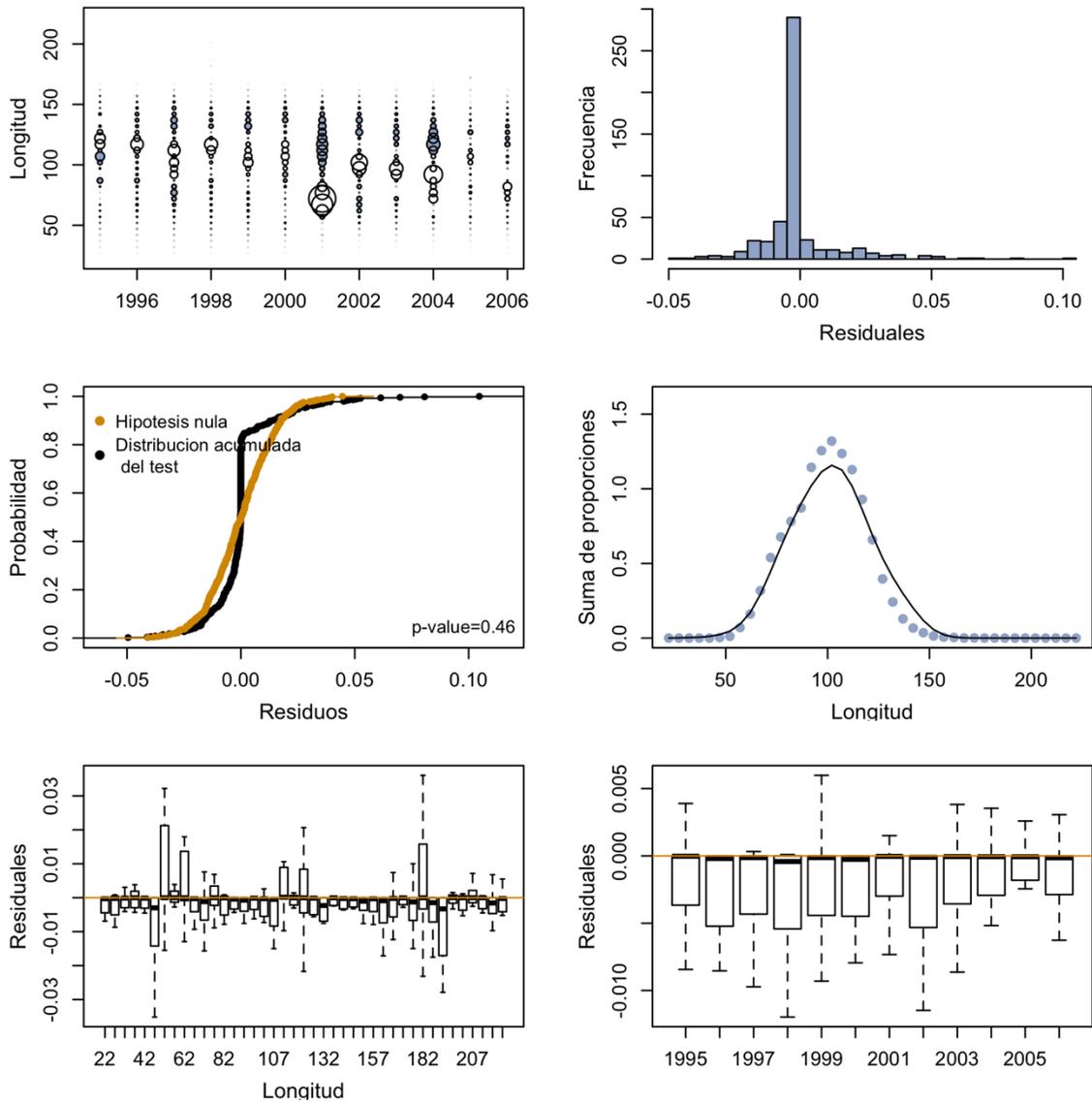


Figura 8. Análisis de residuos de la composición de edades de las capturas industriales. Años 2007 a 2018. Caso 2.



**Figura 9.** Análisis de residuales de la composición de edades de las capturas artesanales. Años 2007 a 2018. Caso 2.



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

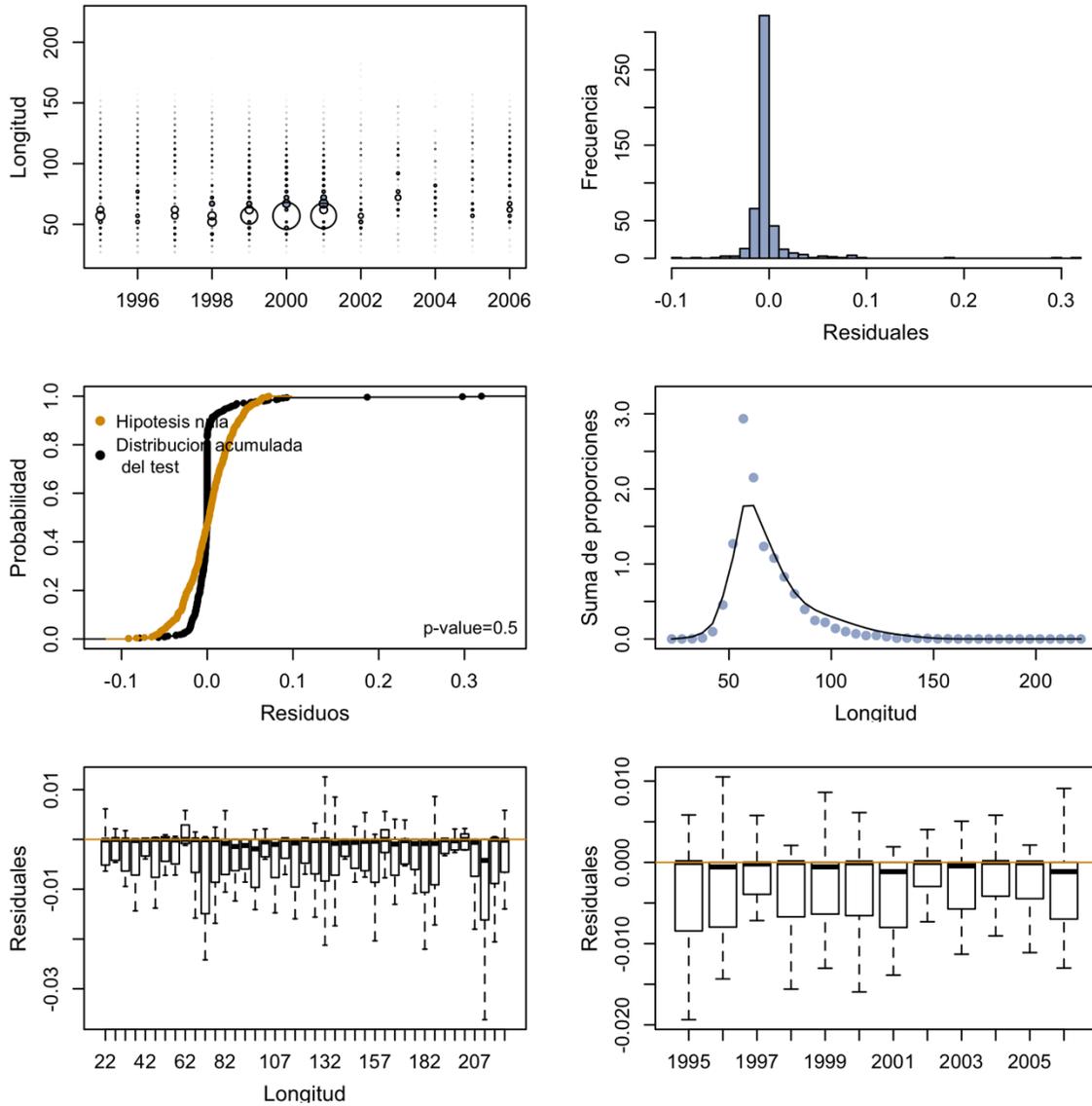
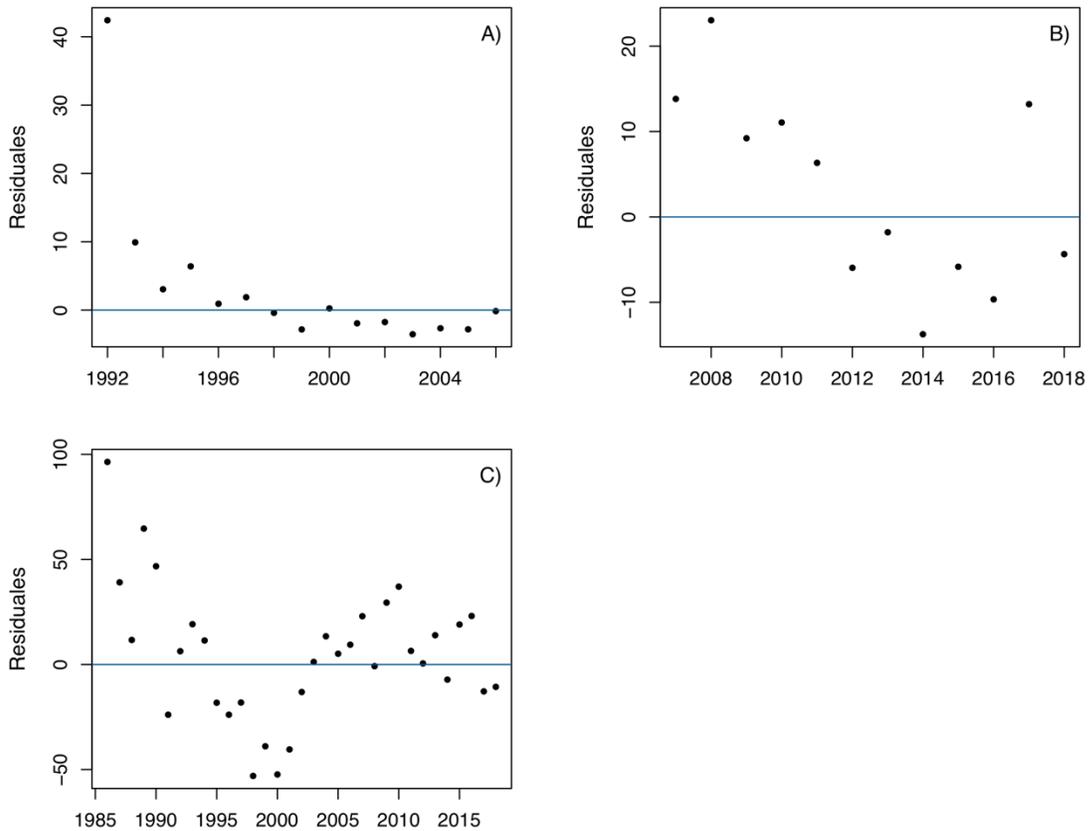


Figura 11. Análisis de residuales de la composición de longitudes de las capturas artesanales. Años 1995 a 2006. Caso 2.



**Figura 12.** Residuales 3ndices de abundancia relativa. A) palangre industrial; B) Cachalotera chilena; C) espinel artesanal. Caso 2.



---

**INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO**

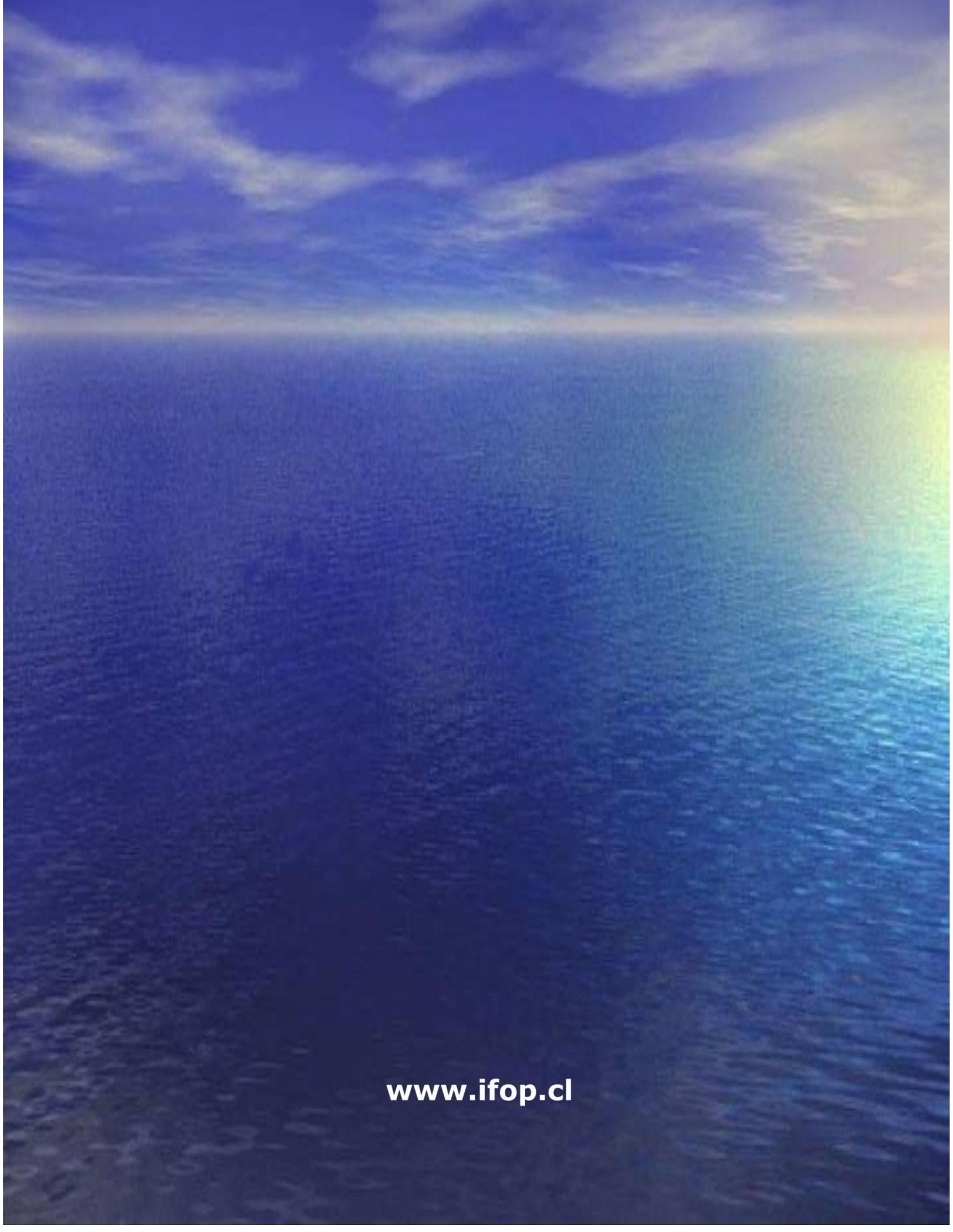
Almte. Manuel Blanco Encalada 839,

Fono 56-32-2151500

Valparaíso, Chile

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

---



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