



INFORME TÉCNICO EXTRAORDINARIO

Convenio de Desempeño 2014:

Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales al año 2015:

Bacalao de profundidad, 2016

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Julio 2015



INFORME TÉCNICO EXTRAORDINARIO

Convenio de Desempeño 2015:

Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales al año 2015:

Bacalao de profundidad, 2016

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Julio 2015

REQUIRENTE

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

Subsecretaria de Economía y
Empresas de Menor Tamaño:
Katia Trusich Ortiz

EJECUTOR

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

Director Ejecutivo
Leonardo Núñez Montaner

Jefe División Investigación Pesquera
Claudio Bernal Larrondo

JEFE DE PROYECTO

Renzo Tascheri Oyaneder

AUTORES

Cristian Canales Ramírez
Ignacio Payá Contreras
Renzo Tascheri Oyaneder



RESUMEN EJECUTIVO

Se realizó un análisis de la información biológica pesquera de bacalao bajo dos enfoques de datos limitados y dos hipótesis de unidad de stock. Los enfoques empleados correspondieron a Modelos de Producción edad estructurado y otro basado solo en las capturas, ambos sin índices de abundancia relativa. El análisis consideró además el cambio de la ojiva de madurez por una que representa de mejor forma la proporción de individuos maduros presentes en la región de Tierra del Fuego, donde se ubican los principales caladeros de la flota industrial. Las hipótesis de unidad de stock fueron S1: único stock al sur del 47°S extendido a la zona donde se desarrolla la pesquería Argentina (sur 54°S) y S2: único stock al norte y sur del 47°S extendido a la principal zona donde se desarrolla la pesquería Argentina (sur 54°S).

El modelo de producción edad estructurado mostró que los datos de composiciones de edades en las capturas sugieren que en el bacalao predominan bajos niveles de productividad y mayor dependencia entre reclutas y desovantes (baja resiliencia). Con esta metodología y para las dos hipótesis de unidad poblacional S1 y S2 la condición de reducción poblacional se estima en un 44%Bo y 48%Bo, respectivamente, situación que es igualmente compartida por el modelo agregado de producción. No obstante esto, en el caso S1 y frente a una baja productividad ($h=0.5$), la mortalidad por pesca actual resulta excesiva y llevaría a la población al 34%Bo, mientras que con un nivel de productividad mediano ($h=0.75$), la mortalidad por pesca del 2013 parece ser adecuada con capturas en torno a las 5 mil toneladas. El mismo análisis realizado sobre S2 revela un mejor estado de explotación poblacional y mejores perspectivas de explotación.

Del análisis realizado queda la idea que de considerar solo los parámetros de historia de vida y la información contenida en las composiciones de edades de las capturas, cuya principal característica es la relativa presencia de individuos longevos, la condición de explotación del recurso bacalao pudiera ser próxima a niveles adecuados de explotación. En este sentido se deduce que los índices de abundancia junto con la ojiva de madurez anteriormente utilizada probablemente han sido los principales forzantes en el diagnóstico que se estableciera para esta población. Las conclusiones de este informe deben ser atendidas con precaución en el entendido que no representan el trabajo de una evaluación completa y solo pretenden entregar una visión complementaria mientras la evaluación de stock alcanza su estándar ideal, siendo uno de los elementos clave la revisión y elaboración de indicadores de abundancia libres de la interacción tecnológica con mamíferos marinos.

Los estimados de abundancia y capturas permisibles fueron hechos para el total del stock, es decir, considerando su distribución en Chile y Argentina. Esto es válido para los dos escenarios de unidad de stock (S1 y S2). La asignación de las cuotas de captura por país no fue analizada, porque corresponde a un tema de manejo que deber ser tratado en el comité de manejo de la pesquería.





ÍNDICE GENERAL

| | Página |
|---|-----------|
| RESUMEN EJECUTIVO | i |
| ÍNDICE GENERAL | iii |
| 1. OBJETIVOS DEL PROYECTO | 1 |
| 2. ÍNDICE GENERAL | 2 |
| 2.1. Limitaciones de la evaluación de stock | 2 |
| 2.2. Clasificación del estándar de la pesquería | 2 |
| 2.3. Sobre la madurez del bacalao | 3 |
| 3. METODOLOGÍA DE TRABAJO | 6 |
| 3.1. Modelo de producción basado en composiciones de edad de las capturas | 6 |
| 3.2. Modelo de producción basado solo en las capturas | 10 |
| 4. RESULTADOS | 11 |
| 4.1. Modelo de producción basado en composiciones de edad de las capturas (ASPM) | 11 |
| 4.2. Modelo de producción basado solo en las capturas en S2 norte y sur 47°S + pesquería Argentina | 23 |
| 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES | 30 |
| 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 32 |
| ANEXO: Ecuaciones de la dinámica poblacional del modelo de producción edad-estructurado ajustado a las composiciones de edades y capturas del bacalao. | |





1. OBJETIVOS DEL PROYETO

Objetivo general

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

Objetivos específicos

1. Implementar procedimientos de evaluación de stock basados en protocolos científicos para la determinación del estatus de los recursos seleccionados con arreglo al nivel de conocimiento, información e incertidumbre correspondiente, conforme a los estándares actuales en ciencia pesquera.
2. Establecer el estatus actualizado de estos recursos, sobre la base de sus principales indicadores de estado y flujo, 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.
3. Brindar al Comité Científico Técnico correspondiente la asesoría técnica necesaria, proveyendo los datos, antecedentes e información necesarios para el análisis de las posibilidades de explotación y la determinación de los niveles de Captura Biológicamente Aceptable (CBA) para cada uno de los recursos pesqueros considerados en este proyecto, para la siguiente temporada extractiva anual (año 2016), con su análisis de incertidumbre y riesgo asociado de mediano y largo plazo, conforme a lo dispuesto por la Ley General de Pesca y Acuicultura y en el Plan de Manejo o de Recuperación respectivo, según corresponda.
4. Informar el avance del Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría Científica (PMCCAC) que permita registrar la historia de las mejoras realizadas en la evaluación de stock, incluyendo el desarrollo de las recomendaciones realizadas tanto en el proceso de calificación técnica como en las revisiones por pares, cuando corresponda.



2. ANTECEDENTES

2.1. Limitaciones de la evaluación de stock

Luego de la revisión experta (Polacheck, 2015) de la evaluación de stock del Bacalao de profundidad realizada el 2014 (Tascheri *et al.* 2014), se concluyó que está debía ser corregida antes de poder ser utilizada en el manejo. El revisor cuestionó, entre otras cosas, la validez de los datos de edad de la flota Argentina y de los índices de abundancia, destacándose entre otros aspectos que la CPUE tiene severas interacciones con mamíferos marinos que parece haberse incrementado en los años más recientes, de manera que la señal y escala de este índice de abundancia podría encontrarse sub-estimado.

Por otra parte, existen composiciones de edades de las capturas Chilenas que están fraccionadas en dos períodos, antes y después del 2007, relacionados al cambio de metodología de lectura de edades, siendo las primeras las más cuestionadas basadas en lectura de escamas que reflejan la ausencia de ejemplares más longevos, los que son registrados desde el 2007 a través de lectura de otolitos. No obstante esto, de la serie de lectura de escamas se puede rescatar al menos el similar desempeño en la representación en las capturas de ejemplares menores a los 13 años de edad. Además de esto, se suma la ojiva de madurez usada en evaluaciones pasadas (Quiroz 2014, Tascheri *et al.* 2015) que parece representativa del proceso reproductivo observado en las poblaciones de bacalao de profundidad del círculo polar antártico e informadas en la CCMLAR, donde se ha indicado que este recurso presenta una edad de primera madurez más tardía (Ziegler *et al.*, 2014; Day *et al.*, 2014) respecto de las estimadas en menores latitudes.

2.2. Clasificación del estándar de la pesquería

Dependiendo de la cantidad y calidad de la data y del nivel de entendimiento de la dinámica poblacional y la pesquería, el análisis de las pesquerías se puede ordenar por niveles o “tiers”. En el caso de las pesquerías chilenas, estos niveles fueron definidos en el taller internacional sobre puntos biológicos de referencia (Payá *et al.* 2014) y se pueden resumir como.

- Nivel (“Tier”) 1- Stocks respecto de los cuales existe un modelo de evaluación estructurado a la talla o a la edad (por ejemplo, modelos estadísticos de captura a la edad) que entregan estimaciones de abundancia actuales utilizables.
- Nivel (“Tier”) 2- Poblaciones respecto de las cuales existe un modelo de dinámica de la biomasa (también conocido como un modelo producción-stock o producción-excedente) o un enfoque empírico basado en datos de captura o abundancia relativa. También se pueden utilizar otros datos relevantes.



- Nivel (“Tier”) 3- Stocks respecto de los cuales existen datos insuficientes para permitir la aplicación de un modelo dinámico de la población. Los enfoques empíricos están principalmente basados en datos de captura (sin datos sobre abundancia relativa), se deben utilizar datos relacionados con los parámetros de la historia de vida y/o de cruceros.

Los antecedentes respecto de las principales fuentes de incertidumbre en la evaluación de stock del bacalao identificadas durante la revisión de expertos (Polacheck, 2015), sugieren que mientras el modelo y ciertas fuentes de información no sean mejorados a plenitud, los datos disponibles debiesen ser tratados a partir de un enfoque basado en datos limitados donde el principal peso del análisis recaerá en parámetros de la historia de vida de este recurso. Al respecto y en ausencia de índices de abundancia, se proponen modelos de producción edad-estructurados o agregados basados principalmente en la historia de las capturas y en forma particular, en la información contenida en las composiciones de edades de la pesquería.

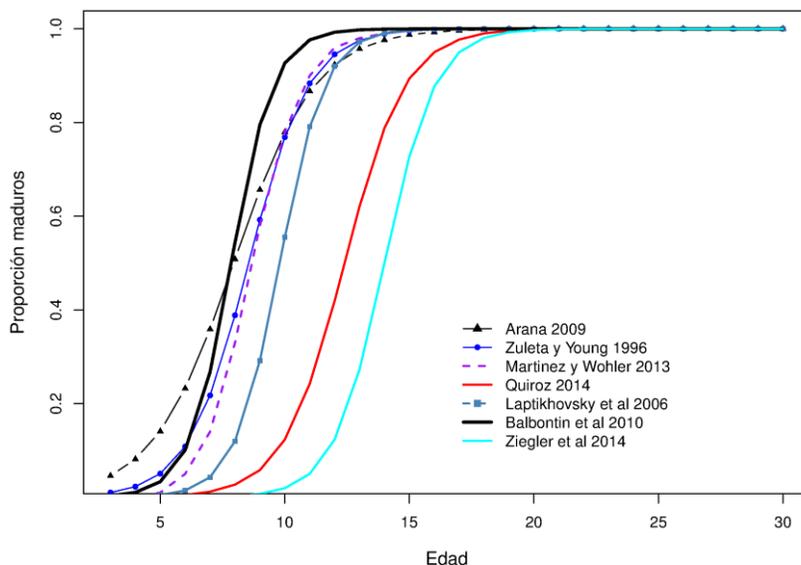
2.3. Sobre la madurez del bacalao

En este trabajo se considera una ojiva de madurez diferente a la empleada en Quiroz (2014) y Tascheri (2015) y corresponde a las estimadas por Balbontín et al. (2011). El cambio obedece a una de las recomendaciones realizadas durante la revisión experta (Polacheck, 2015), que se traduce en una reducción notable de la edad de primera madurez. Esta reducción ocasiona dos consecuencias inmediatas: una mayor valor de biomasa desovante debido al aumento en el número de grupos de edades consideradas “maduras”, y al incremento del valor de mortalidad por pesca $F_{45\%BDPRO}$ sustituto de la mortalidad en el Rendimiento Máximo Sostenible.

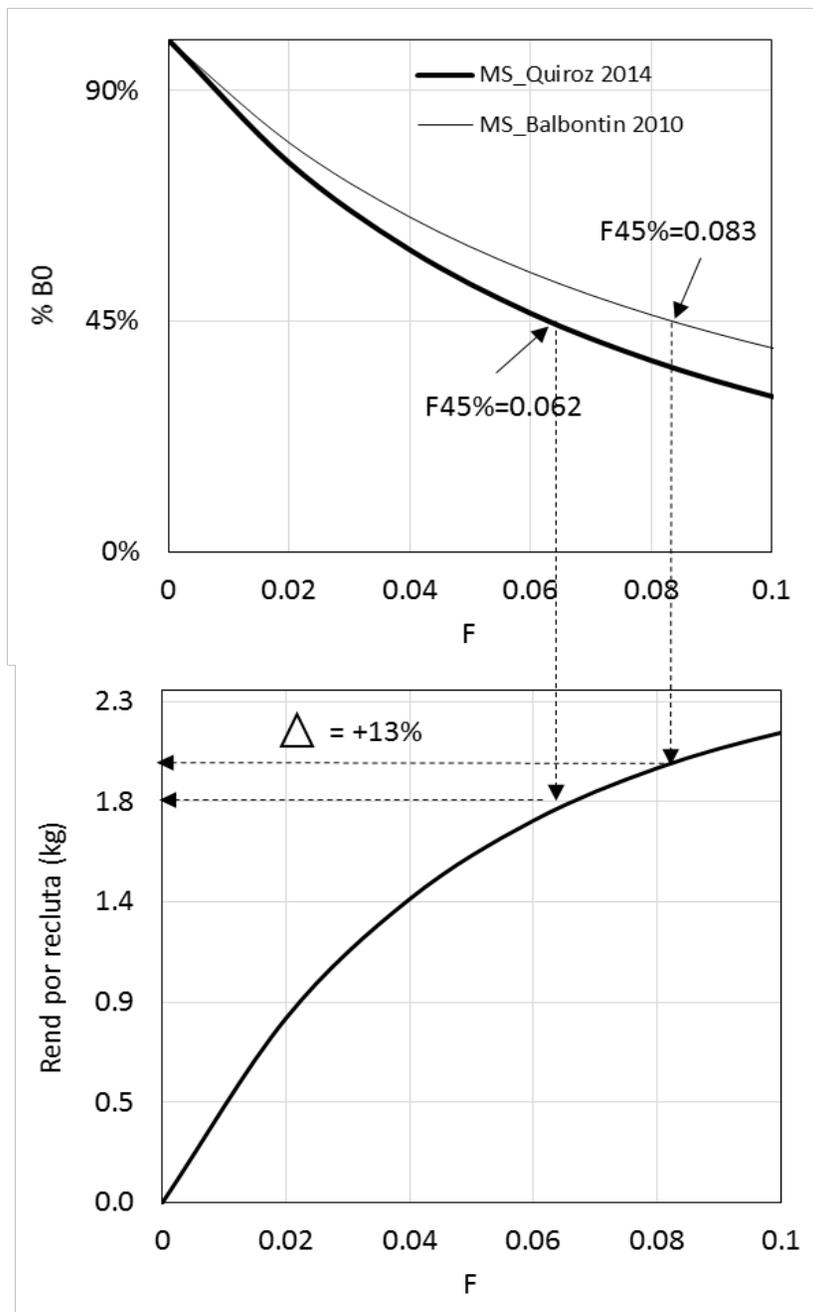
Las últimas evaluaciones de stock de bacalao de profundidad explotado en Chile han hecho uso de una ojiva caracterizada por una edad media de madurez sexual de 12,4 años (Quiroz 2014, Tascheri et al. 2015; Ilustración 1). Esta curva aparece claramente desplazada hacia un mayor edad con respecto a otras estimaciones reportadas para la misma región (Zuleta y Young 1996, Arana 2009, Balbontín et al. 2011 transformada a edades usando los parámetros de crecimiento estimados por Young et al 1992) o para regiones vecinas (Prenski y Almeida 2000, Martínez y Wöhler 2013) e incluso en el las Islas Malvinas (Laptikhovsky *et al.*, 2006, esta última transformada a edades usando los parámetros de crecimiento estimados por Cassia 2006), todas las cuales exhiben una edad media de madurez sexual contenida en el intervalo 7,8 a 9,8 años. El uso de una curva de madurez sexual con una edad media de 12,4 años es más consistente con algunas de las estimaciones consideradas para las evaluaciones de stock de las islas sub-antárticas como Heard y MacDonald (Ziegler *et al.*, 2014) (**Ilustración1**), aunque no tan desplazada hacia edades más viejas como la considerada en la última evaluación de la isla Macquarie, la que corresponde a uno de los valores más extremos (Day *et al.*, 2014).

En este contexto, la ojiva reportada por Balbont3n *et al.* (2011) aparece como una opci3n m3s adecuada si se considera 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, en 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 la especie (58 a 225 cm de longitud total) y que su estimaci3n es m3s consistente con otras reportadas para la misma regi3n y las regiones vecinas. Si se usa la ojiva informada por Balbont3n *et al.* (2011) como referente, el impacto inmediato en la estimaci3n del F_{RMS} es el incremento en la mortalidad en un 33% lo que se traduce en un aumento del 13% en la captura de equilibrio de largo plazo (**Ilustraci3n 2**).

De esta forma, a solicitud de Subsecretar3a de Pesca (D.P. ORD N° 1137) y de manera complementaria al trabajo de evaluaci3n realizado mientras se implementan la mayor parte de las mejoras realizadas en la revisi3n experta independiente, el presente documento analiza el estado de explotaci3n del bacalao para una nueva ojiva de madurez y diferentes hip3tesis poblacionales, explorando alternativas basadas en una variante de m3todos para datos limitados del Tier 1 donde no se dispone de 3ndices de abundancia y el Tier 3 en el cual s3lo se dispone de series de capturas.



Ilustraci3n 1. Diferentes ojivas de madurez sexual estimadas en longitud y que est3n disponibles a la evaluaci3n de stock. Convertidas a madurez en edades (cuando los par3metros estaban informados para una ajuste en longitudes), usando la ecuaci3n de crecimiento de Von Bertalanffy.



Ilustraci3n 2. Reducci3n de la biomasa desovante por recluta virginal, estimaci3n de la mortalidad por pesca proxy del RMS ($F_{45\%_{BDPR0}}$) y rendimiento por recluta de bacalao para dos ojvas de madurez.



3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Se presentan dos metodologías de análisis basadas en datos limitados y cuyo común denominador es la ausencia de índices de abundancia relativa o CPUE. Asimismo, los datos son analizados sobre la base de dos supuestos de unidad poblacional:

S1: el bacalao explotado al sur del 47°S incluyendo la pesquería Argentina (sur 54°S) es una unidad de stock cerrada independiente de la región al norte del 47°S.

S2: el bacalao explotado al norte y sur del 47°S incluyendo la pesquería Argentina (sur 54°S) es una unidad de stock cerrada.

3.1. Modelo de producción basado en composiciones de edad de las capturas

El método corresponde a un modelo de producción edad estructurado ASPM (Age Structured Production Model) similar al empleado por Restrepo & Legault (1998), Both & Quinn (2006) entre otros, en el cual la población es proyectada desde una condición de equilibrio virginal hasta el año 2013 descontando capturas y considerando un único patrón de explotación a ser estimado, el cual representa en términos promedios el efecto selectivo sobre la composición de edades de la población principalmente en el segmento de individuos incompletamente reclutados. El modelo intenta responder a la pregunta ¿Cuál debería ser la composición de edades en la captura para un determinado nivel de agotamiento, si los parámetros de historia de vida son ciertos?

El modelo fue implementado en ADMB y descansa principalmente sobre los parámetros de historia de vida y en el nivel de información que proveen las composiciones de edades de las capturas, descartando la posibilidad de migraciones de adultos a través de un modelo de selectividad logística. Los reclutamientos son tomados de la relación S/R de Beverton & Holt determinista sensibilizado a tres escenarios de elasticidad en la productividad o steepness (h), representando el tipo de relación entre reclutamientos y biomasa parental en la siguiente forma:

- Si $h=0.50$: La dependencia entre reclutamientos y parentales es importante
- Si $h=0.75$: La dependencia entre reclutamientos y parentales es moderada
- Si $h=0.95$: La dependencia entre reclutamientos y parentales es baja

Los datos en los dos casos de supuestos de unidad poblacional consideran la información de edades de las flotas chilenas industrial y artesanal, y a falta de composiciones de edades de la flota argentina, el supuesto es que la información de composiciones de edades del palangre industrial de Chile es similar al menos en el segmento incompletamente reclutado a la pesquería, al registrado por la flota



arrastrea Argentina. Las composiciones de edades de las capturas para los dos escenarios y las capturas totales se entregan en la **Figura 1** y **Tablas 1** y **2**. Por su parte, los parámetros del modelo estructurado se resumen en la **Tabla 3**. Cabe destacar que en el escenario S2 la moda de las composiciones de edades de las capturas (7-8 años) es menor respecto a S1 (10-11 años) producto de la influencia que tiene la flota artesanal que opera la norte del 47°S. También es importante destacar que se supuso que los pesos a la edad se mantienen constantes a través de los años, es decir, la productividad de los peces no se afecta por la pesca ni por variaciones del crecimiento natural. Tanto los pesos a la edad en la captura como en la población se supusieron igual a los pesos estimados por el modelo de crecimiento de Rubilar *et al.* (1999).

Tabla 1.

Composiciones de edades de las capturas industriales **sur 47°S**. Las frecuencias fueron escaladas a 100 y el color representa las variaciones en la edad modal.

| Edad | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 8 | 0 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 1 | 2 | 4 | 4 | 3 | 16 | 1 | 3 | 6 | 4 | 3 | 3 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 7 | 1 | 4 | 6 | 6 | 4 | 14 | 3 | 4 | 11 | 6 | 5 | 5 | 6 | 1 | 4 | 5 | 5 | 8 |
| 8 | 2 | 5 | 10 | 9 | 3 | 11 | 4 | 7 | 11 | 8 | 7 | 6 | 8 | 4 | 7 | 6 | 10 | 14 |
| 9 | 4 | 8 | 12 | 10 | 4 | 9 | 6 | 9 | 11 | 11 | 14 | 8 | 10 | 5 | 8 | 7 | 8 | 12 |
| 10 | 9 | 11 | 14 | 13 | 8 | 7 | 7 | 15 | 10 | 11 | 13 | 10 | 10 | 9 | 8 | 9 | 7 | 7 |
| 11 | 11 | 14 | 14 | 13 | 9 | 9 | 10 | 11 | 9 | 10 | 13 | 10 | 9 | 7 | 9 | 8 | 7 | 5 |
| 12 | 17 | 13 | 12 | 16 | 11 | 6 | 13 | 12 | 9 | 11 | 13 | 10 | 9 | 14 | 8 | 10 | 6 | 6 |
| 13 | 18 | 11 | 10 | 11 | 13 | 6 | 14 | 10 | 6 | 9 | 8 | 9 | 10 | 10 | 8 | 10 | 6 | 5 |
| 14 | 14 | 11 | 6 | 6 | 12 | 6 | 11 | 7 | 6 | 10 | 7 | 8 | 6 | 8 | 8 | 6 | 6 | 5 |
| 15 | 10 | 7 | 4 | 4 | 9 | 2 | 9 | 6 | 5 | 5 | 5 | 6 | 5 | 5 | 5 | 5 | 6 | 4 |
| 16 | 4 | 4 | 2 | 2 | 7 | 2 | 8 | 4 | 4 | 5 | 3 | 6 | 3 | 4 | 5 | 4 | 4 | 2 |
| 17 | 4 | 4 | 1 | 1 | 6 | 0 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| 18 | 2 | 2 | 1 | 0 | 3 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 5 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| 19 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 20 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| 21 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 23 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 4 | 2 |
| 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 2 |
| 28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 30+ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |



Tabla 2.

Composiciones de edades de las capturas industriales y artesanales del bacalao norte y sur del 47°S. Las frecuencias fueron escaladas a 100 y el color representa las variaciones en la edad modal.

| Edad | 1991 | 1992 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | 3 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 6 | 10 | 8 | 9 | 1 | 5 | 6 | 5 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 3 | 1 | 20 | 6 | 6 | 9 | 16 | 12 | 20 | 3 | 9 | 9 | 10 | 9 | 3 | 1 | 1 | 2 | 5 | 2 | 2 | 2 |
| 7 | 4 | 2 | 29 | 11 | 8 | 10 | 13 | 11 | 21 | 6 | 12 | 13 | 12 | 11 | 5 | 10 | 5 | 7 | 15 | 11 | 12 | 12 |
| 8 | 8 | 5 | 24 | 12 | 9 | 11 | 10 | 7 | 14 | 10 | 12 | 16 | 12 | 12 | 6 | 13 | 11 | 9 | 11 | 15 | 18 | 18 |
| 9 | 11 | 7 | 12 | 12 | 10 | 10 | 7 | 6 | 8 | 11 | 10 | 13 | 12 | 14 | 8 | 13 | 10 | 10 | 8 | 10 | 13 | 13 |
| 10 | 15 | 11 | 6 | 10 | 11 | 11 | 8 | 7 | 5 | 9 | 12 | 10 | 10 | 12 | 10 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 7 | 7 |
| 11 | 18 | 12 | 2 | 8 | 12 | 11 | 8 | 6 | 6 | 10 | 8 | 8 | 7 | 10 | 10 | 9 | 7 | 9 | 6 | 6 | 5 | 5 |
| 12 | 16 | 15 | 2 | 10 | 10 | 9 | 9 | 7 | 4 | 10 | 7 | 6 | 8 | 9 | 10 | 7 | 11 | 8 | 7 | 5 | 5 | 5 |
| 13 | 11 | 14 | 1 | 10 | 9 | 7 | 6 | 8 | 4 | 11 | 6 | 4 | 6 | 6 | 9 | 8 | 8 | 7 | 8 | 5 | 5 | 5 |
| 14 | 6 | 13 | 1 | 7 | 8 | 5 | 4 | 7 | 4 | 8 | 4 | 4 | 6 | 5 | 9 | 4 | 6 | 6 | 4 | 5 | 4 | 4 |
| 15 | 3 | 9 | 0 | 5 | 5 | 3 | 2 | 5 | 1 | 6 | 4 | 3 | 3 | 3 | 6 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 3 | 3 |
| 16 | 2 | 5 | 0 | 2 | 3 | 2 | 1 | 4 | 1 | 5 | 3 | 2 | 3 | 2 | 6 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| 17 | 1 | 2 | 0 | 2 | 3 | 1 | 1 | 3 | 0 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| 18 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 19 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 20 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 |
| 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 30+ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |

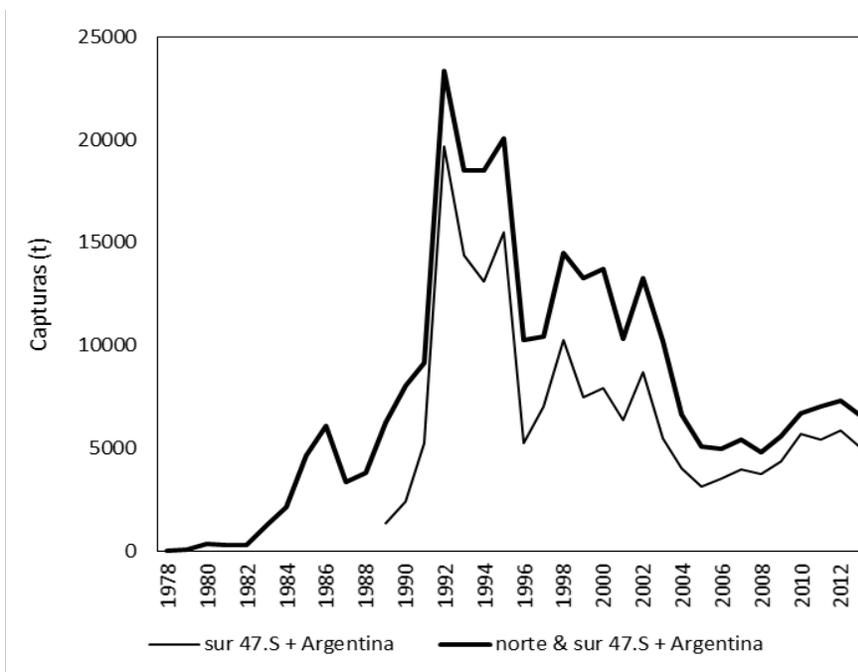


Figura 1. Capturas de bacalao para dos escenarios de unidad de stock

Tabla 3.

Parámetros del modelo de producción edad-estructurado ajustado a las composiciones de edades y capturas del bacalao.

| Parámetro | Valor |
|--|--|
| Rango etario (años) | 3-30+ |
| Madurez [5%; 50%; 95%] (años) (Balbontín, 2011) | 5.5; 7.4; 11.9 |
| M | 0.15 (fijo) |
| Instante del desove (1 de agosto) | 0.583 |
| Selectividad (doble normal) | $\mu \sim U[0; +\infty]$; $\sigma_1 \sim N(2.0; 1.0)$; $\sigma_2 = 200$ (fijo) |
| Mortalidad por pesca | $F \sim U[0; 5]$ |
| Pendiente S/R (h) | Fijos (0.5; 0.75; 0.95) |
| Reclutamiento virginal (R_0) | $R_0 \sim U[0; +\infty]$ |
| Crecimiento en peso (Rubilar <i>et al</i> 1999) | $W_{\infty} = 137.3$; $k = 0.048$; $t_0 = -0.664$ $b = 3.320$ |
| Tamaño de muestra efectivo estimador log multinomial | $n=100$ |



3.2. Modelo de producción basado sólo en las capturas

El método se basa en un enfoque orientado a la distribución posteriori que utiliza sólo datos de captura, el cual se mejoró de un método similar desarrollado por Zhou *et al.* (2013). La idea básica es reconstruir trayectorias posibles de cambio de stock desde el comienzo de la pesquería, dados los posibles rangos de capacidad de carga y tasa de crecimiento de la población, estado del stock supuesto (proporción de agotamiento), y datos históricos de captura.

Se utiliza un modelo de producción excedentaria de Graham-Schefer, con un amplio rango de parámetros iniciales. La capacidad de carga K se estableció de la captura máxima C_{max} a 100 veces C_{max} . Se consideró una distribución uniforme de valores de la tasa de crecimiento r , que abarcó desde $0.5r$ a $1.5r$, el valor de r se obtuvo desde la relación $r = 1.6M$ (Zhou *et al.* 2012) considerándose para el efecto dos casos, uno con $M=0.15$ y otro con $M=0.10$.

El modelo consideró la hipótesis de unidad de stock S_2 basado en la serie de captura total que incluye las capturas de las flotas chilenas y argentinas desde el año 1978. Se supuso un límite superior de agotamiento actual de la biomasa ($D = B_{2013}/K$) y luego se determinaron las trayectorias de biomasa mediante sólo dos variables: la biomasa inicial al comienzo de la pesquería K , y la tasa de crecimiento de la población r . La combinación de estos dos parámetros se obtuvo al minimizar la diferencia entre la biomasa simulada y la biomasa actual supuesta $B_{2013} = DK$.

4. RESULTADOS

4.1. Modelo de producción basado en composiciones de edad de las capturas (ASPM)

Dependiendo del escenario de unidad de stock, el modelo fue iniciado en condiciones de equilibrio virginal en 1989 (S1) o 1979 (S2) generando reclutamientos teóricos conforme sus parámetros biológicos en consistencia con el rango de edades observado en la historia de las capturas. Para este fin solo se ajustan las composiciones de edad de las capturas vía patrón de explotación.

El ajuste del modelo a la composición de edades se presenta en el anexo y se resume en las **Figuras 2 y 3**, el que en términos generales reproduce la distribución de edades de las capturas, lo que supone que el patrón de explotación estimado representa el efecto selectivo de la pesca sobre los grupos de edades. Al respecto, la edad al 100% de explotación (μ) es distinto ente hipótesis de stock conforme la información empleada, y se estima en torno a los 12.9 años y 8.7 años en los escenarios S1 y S2 respectivamente. Estos resultados se traducen en que dependiendo de la hipótesis de unidad de stock, cambia el escape de biomasa desovante frente a la pesca, es decir, la explotación a la edad se ubica a la izquierda o derecha de la ojiva de madurez cuyo referente es la edad al 50% y al 95% de madurez supuestas conocidas en 7.4 años y 11.9 años, respectivamente (**Tabla 3, Figura 4**).

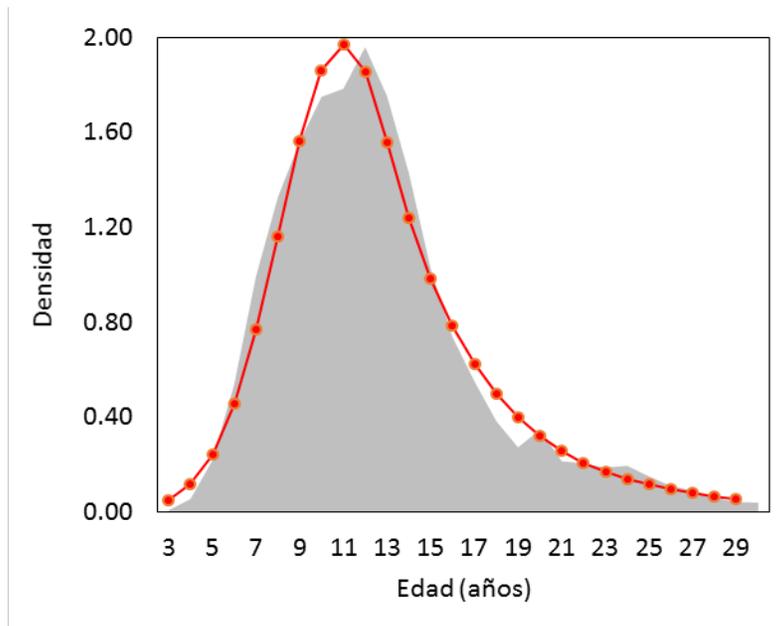


Figura 2. Distribución marginal ajustada por el modelo (líneas) de producción edad-estructurado a las composiciones de edad de la captura de bacalao (sombra) **S1: zona sur 47°S y pesquería Argentina.**

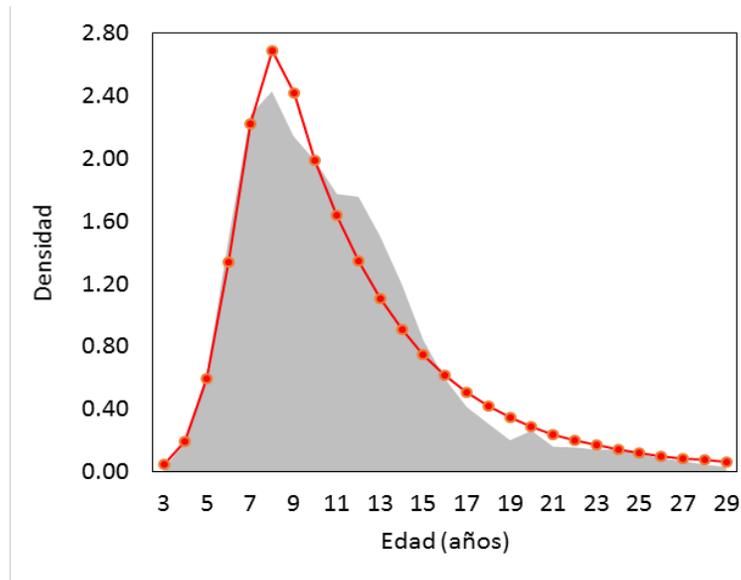


Figura 3. Distribuci3n marginal ajustada por el modelo (lneas) de producci3n edad-estructurado a las composiciones de edad de la captura de bacalao (sombra) **S2: norte y sur 47°S + pesquería Argentina.**

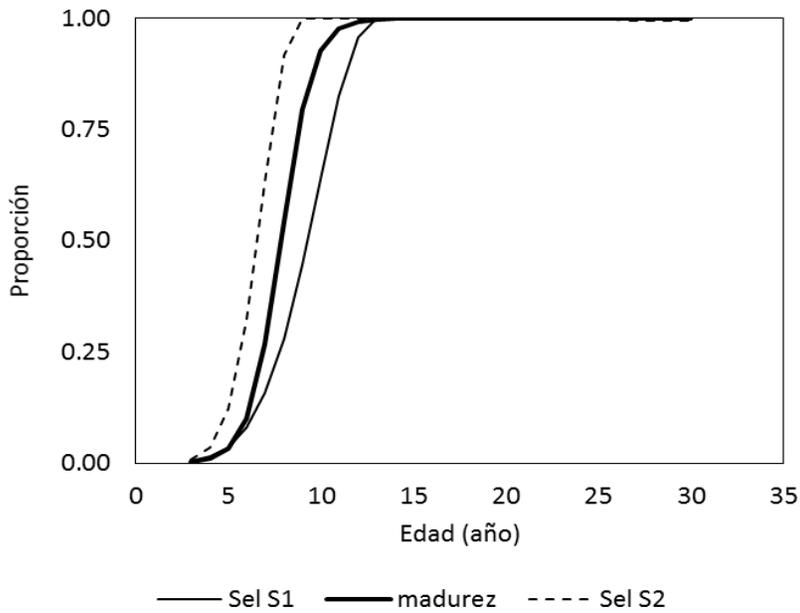


Figura 4. Selectividad y madurez del bacalao



El análisis de sensibilidad de cada hipótesis estructural a niveles de productividad (h) se resume en las **Tablas 5 y 6**. Como es esperable, un valor de h más alto produce niveles poblacionales mayores, producto de la inelasticidad del reclutamiento respecto de la biomasa parental, siendo estas diferencias mayores a nivel de B_0 en el escenario S2 (13%) respecto de S1 (6%). Entre escenarios de unidad de stock e independiente del valor de productividad, el valor de la biomasa virginal B_0 en S2 es un 88% superior al estimado en S1 (163 mil t promedio), lo cual en parte se explica por la magnitud de las capturas acumuladas (capturas 61% mayor en S2) y por la información contenida en las composiciones de edades de las capturas.

Tabla 5

Moda a posteriori e intervalos de credibilidad (95%) de las variables/parámetros del modelo poblacional del bacalao **S1: zona sur 47°S y la pesquería Argentina**.

$h=0.50$

| | moda | e.s | Li | Ls |
|-----------|---------|--------|---------|---------|
| mu | 12.87 | 0.36 | 12.16 | 13.59 |
| sigma1 | 3.08 | 0.15 | 2.78 | 3.38 |
| Ro | 2381 | 134 | 2112 | 2649 |
| Bo | 159,020 | 8,967 | 141,087 | 176,953 |
| B/Bo 2013 | 0.4460 | 0.0361 | 0.3738 | 0.5181 |

$h=0.75$

| | moda | e.s | Li | Ls |
|-----------|---------|--------|---------|---------|
| mu | 12.90 | 0.36 | 12.18 | 13.62 |
| sigma1 | 3.07 | 0.15 | 2.77 | 3.36 |
| Ro | 2464 | 151 | 2163 | 2765 |
| Bo | 164,620 | 10,053 | 144,514 | 184,726 |
| B/Bo 2013 | 0.5223 | 0.0326 | 0.4571 | 0.5874 |

$h=0.95$

| | moda | e.s | Li | Ls |
|-----------|---------|--------|---------|---------|
| mu | 12.90 | 0.36 | 12.18 | 13.63 |
| sigma1 | 3.06 | 0.15 | 2.77 | 3.35 |
| Ro | 2513 | 160 | 2193 | 2833 |
| Bo | 167,890 | 10,690 | 146,510 | 189,270 |
| B/Bo 2013 | 0.5587 | 0.0304 | 0.4980 | 0.6194 |

De igual forma, el nivel de reducción poblacional entre ambas hipótesis de stock y para los tres niveles de productividad muestra que en promedio, en S1 la condición de la población es un poco más baja respecto de S2. En efecto, en S1 el rango de % B_0 para los valores extremos de productividad ($h=0.5$ y 0.95) se ubica entre 45% y 56%, mientras que en S2 esta medida se estima entre un 49% y 63%



(**Tablas 5 y 6**), no obstante que en este escenario la selectividad result3 ser un poco m3s “agresiva” dada su ubicaci3n a la izquierda de la curva de madurez.

Un cuadro comparativo de las tendencias de biomasa para las dos hip3tesis de estructura poblacional muestra que, independiente de la escala y escenario de productividad, se habr3a registrado un sutil aumento de la poblaci3n a partir del 2005 como consecuencia de una relativa mayor sobrevivencia contenida en la informaci3n de edades de las capturas (**Figuras 5 y 6**). En todos los casos analizados, la regi3n de credibilidad al 95% de la biomasa y mortalidad por pesca estuvo acotada en torno al 20% de su valor central (+/- 2 σ) (**Figuras 7, 8, 9 y 10**).

Tabla 6

Moda a posteriori e intervalos de credibilidad (95%) de las variables/par3metros del modelo poblacional del bacalao **S2: norte y sur 47°S + pesquer3a Argentina.**

h=0.50

| | moda | e.s | Li | Ls |
|-----------|---------|--------|---------|---------|
| mu | 8.77 | 0.22 | 8.33 | 9.21 |
| sigma1 | 1.84 | 0.11 | 1.63 | 2.05 |
| Ro | 4313 | 291 | 3731 | 4896 |
| Bo | 288,140 | 19,466 | 249,208 | 327,072 |
| B/Bo 2013 | 0.4897 | 0.0405 | 0.4086 | 0.5708 |

h=0.75

| | moda | e.s | Li | Ls |
|-----------|---------|--------|---------|---------|
| mu | 8.75 | 0.22 | 8.31 | 9.19 |
| sigma1 | 1.83 | 0.11 | 1.62 | 2.04 |
| Ro | 4701 | 362 | 3978 | 5424 |
| Bo | 313,990 | 24,157 | 265,676 | 362,304 |
| B/Bo 2013 | 0.5880 | 0.0358 | 0.5164 | 0.6596 |

h=0.95

| | moda | e.s | Li | Ls |
|-----------|---------|--------|---------|---------|
| mu | 8.73 | 0.22 | 8.29 | 9.18 |
| sigma1 | 1.82 | 0.11 | 1.61 | 2.03 |
| Ro | 4901 | 396 | 4110 | 5692 |
| Bo | 327,370 | 26,433 | 274,504 | 380,236 |
| B/Bo 2013 | 0.6290 | 0.0329 | 0.5633 | 0.6948 |

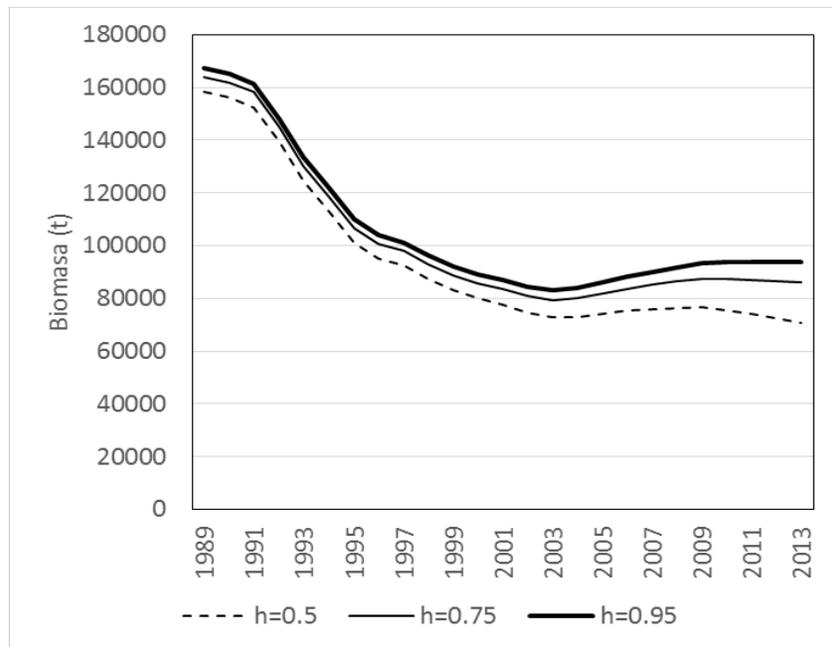


Figura 5. Biomasa desovante de bacalao 1989-2013 S1: zona sur 47°S y pesquería argentina para tres niveles de productividad.

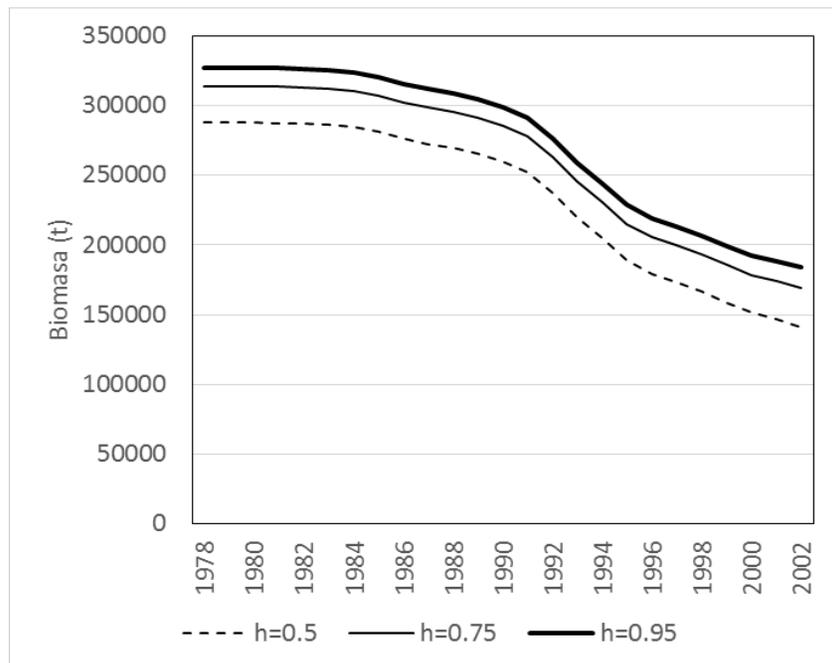


Figura 6. Biomasa desovante de bacalao 1989-2013 S2: norte y sur 47°S + pesquería Argentina.

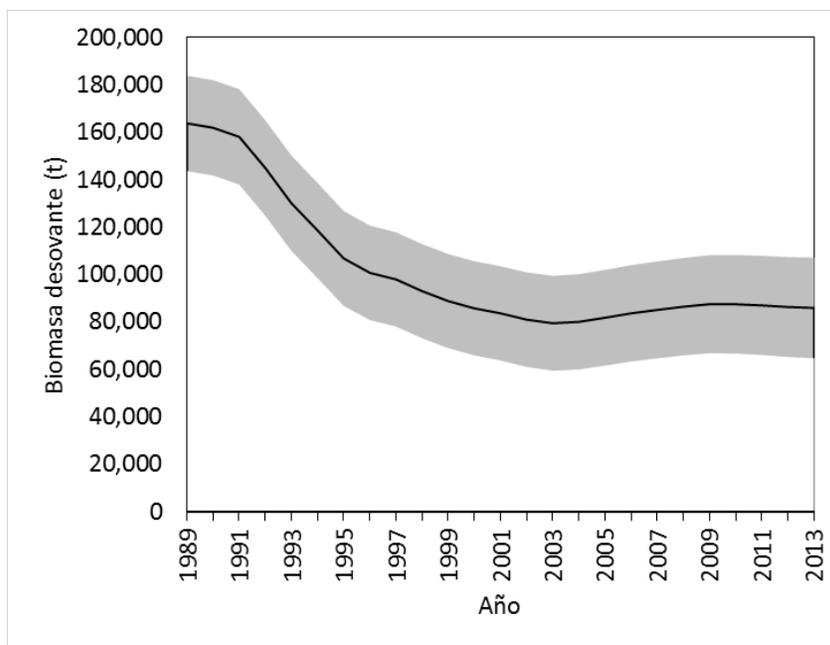


Figura 7. Biomasa desovante bacalao S1: zona sur 47°S y la pesquería Argentina e intervalos al 95% de credibilidad (h=0.75).

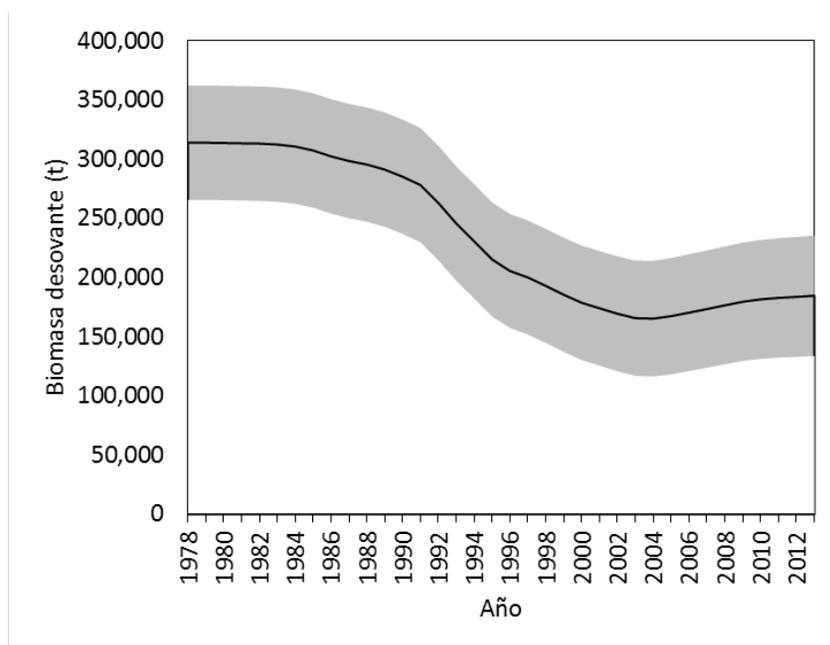


Figura 8. Biomasa desovante bacalao S2: norte y sur 47°S + pesquería Argentina e intervalos al 95% de credibilidad (h=0.75).

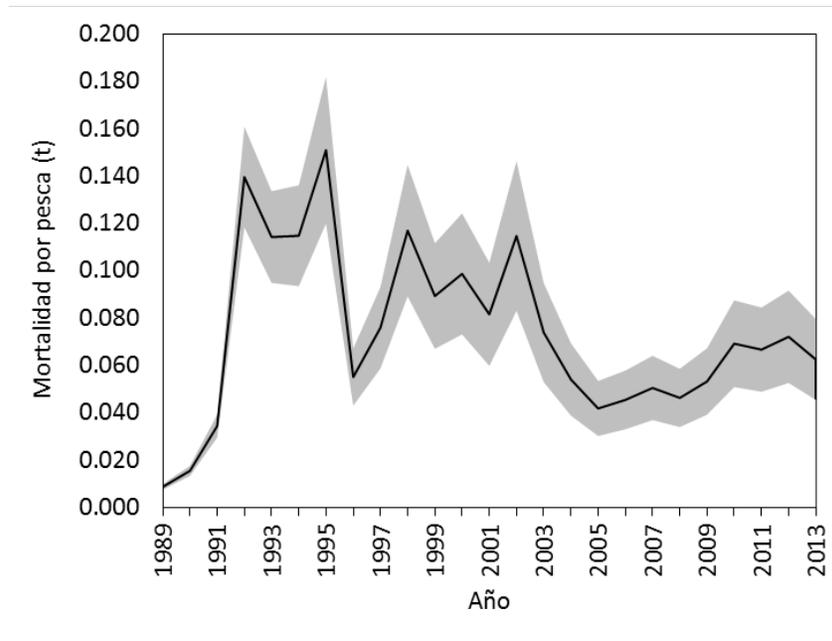


Figura 9. Mortalidad por pesca bacalao S1: zona sur 47°S y la pesquería Argentina e intervalos al 95% de credibilidad (h=0.75).

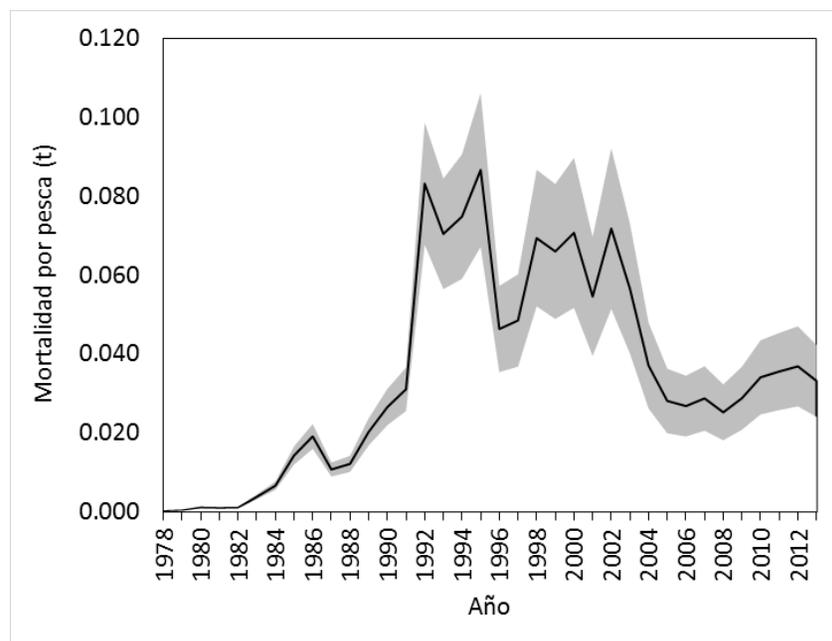


Figura 10. Mortalidad por pesca bacalao S2: norte y sur 47°S + pesquería Argentina e intervalos al 95% de credibilidad (h=0.75).



Por otro lado, en términos formales y sin ser completamente concluyentes por la parcialidad o incompletitud de los datos empleados, un análisis de las variaciones marginales del valor del negativo de la log verosimilitud sugiere que las composiciones de edades de las capturas son informativas respecto al valor de productividad poblacional siendo este más próximo a escenarios de baja productividad, esto dado que independientes de la hipótesis de stock, cuando un valor h es fijado en 0.5 se obtiene el mínimo valor de log-verosimilitud (LL) (**Tabla 7 y 8**). Si fuera este el caso, la reducción poblacional se ubicaría entre un 45% y 49% de la biomasa virginal según escenario de hipótesis de estructura poblacional.

Tabla 7

Biomasa desovante virginal, proporción de la biomasa virginal al 2013 y variación del negativo de la log-verosimilitud (LL) de las composiciones de edades de las capturas de bacalao

S1: zona sur 47°S y la pesquería Argentina.

| h | Bo (t) | %Bo actual | LL-min(LL) |
|-------|---------|------------|------------|
| 0.500 | 159,020 | 0.446 | - |
| 0.750 | 164,620 | 0.522 | 3.01 |
| 0.950 | 167,887 | 0.559 | 4.58 |

Tabla 8

Biomasa desovante virginal, proporción de la biomasa virginal al 2013 y variación del negativo de la log-verosimilitud (LL) de las composiciones de edades de las capturas de bacalao

S2: norte y sur 47°S + pesquería Argentina

| h | Bo (t) | %Bo actual | LL-min(LL) |
|-------|---------|------------|------------|
| 0.500 | 288,140 | 0.490 | - |
| 0.750 | 313,989 | 0.588 | 3.88 |
| 0.950 | 327,373 | 0.629 | 5.44 |

Por otra parte, la proyección de la biomasa desovante bajo condiciones de mortalidad por pesca constante en el largo plazo (50 años) y la reducción esperada de la biomasa virginal, muestra mayor sensibilidad a los niveles de resiliencia (h), destacándose que de mantenerse las condiciones de explotación registradas el 2013 y si $h=0.5$, bajo el escenario S1 la población podría verse reducida al $34\%B_0$ mientras que en el escenario S2 las expectativas mejorarían llegando al $45\%B_0$. Para cualquier valor de h mayor a 0.5 las expectativas mejoran (**Tabla 9 y 10**).

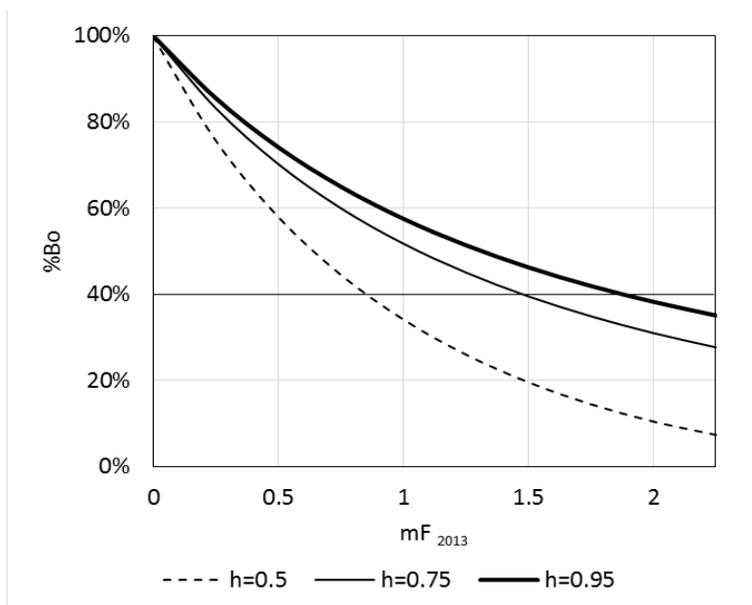


Figura 11. Proporción de la biomasa desovante virginal de bacalao. **S1: sur 47°S y la pesquería Argentina** para diferentes multiplicadores de la mortalidad por pesca del año 2013 y tres niveles de productividad.

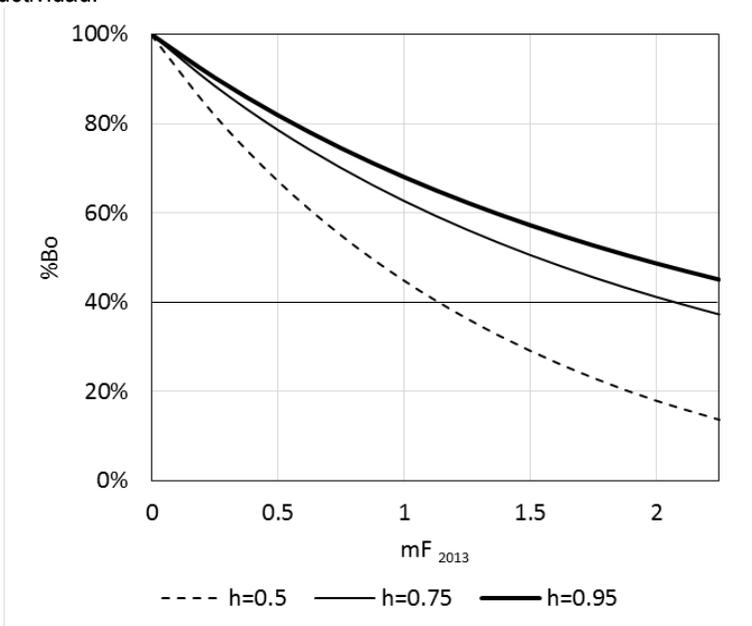


Figura 12. Proporción de la biomasa desovante virginal de bacalao. **S2: norte y sur 47°S + pesquería Argentina** para diferentes multiplicadores de la mortalidad por pesca del año 2013 y tres niveles de productividad.



El mismo análisis de proyección muestra las estimaciones de capturas de corto y largo plazo para diferentes multiplicadores de la mortalidad por pesca del 2013, en función a las dos hipótesis de estructura poblacional y dos valores de $h=0.5$ y 0.75 . Se descarta del análisis el caso donde $h=0.9$ por su baja verosimilitud.

Para S1 (Chile sur 47°S y Argentina) (**Tabla 9**) y en el escenario de menor productividad, bajo el mismo nivel de mortalidad por pesca 2013 se generaría en el largo plazo la sobre-explotación (cuando $B < 40\%B_0$) con una biomasa reducida al $34\%B_0$, de manera que si el objetivo es cautelar el $40\%B_0$ el esfuerzo de pesca debería ser reducido al 65% de su valor, con lo que la captura en el corto plazo no debiera exceder 3.2 mil toneladas y en el largo plazo la pesquería debiera estabilizarse en 2.5 mil toneladas. En ambos casos se estima un riesgo del 50% de reducir la población bajo el objetivo (mediana). De igual forma, para un nivel de relativa mayor productividad ($h=0.75$), las condiciones actuales de explotación llevarían a la población al $52\%B_0$ lo que permitiría el incremento del esfuerzo de pesca de un 50% con lo que la captura de corto plazo podría ser incrementada a 7.5 mil toneladas y la pesquería en el futuro podría quedar estabilizada en 5.6 mil toneladas (**Tabla 9**). Un escenario intermedio de productividad y la proyección de la mortalidad por pesca actual en el largo plazo generaría el escape próximo al objetivo del 44% de la biomasa virginal y una captura de corto plazo de 5 mil toneladas.

En el caso S2 (Chile + Argentina) y para el valor más bajo de productividad, el esfuerzo podría ser incrementado en un 13% para lograr el $40\%B_0$ en el largo plazo, lo que se traduciría en una captura de 7.4 mil y 6.1 mil toneladas en el corto y largo plazo, respectivamente, mientras que con $h=0.75$ el esfuerzo podría ser aumentado al doble y generar un pesquería de largo plazo de 9.5 mil toneladas (**Tabla 10**). Cabe destacar que este es el escenario/caso más optimista de los analizados, pero menos verosímil respecto de los niveles de productividad.



Tabla 9.

Principales variables de desempeño de la proyección de la población de bacalao **S1 zona sur 47°S y la pesquería Argentina** para diferentes multiplicadores de la mortalidad por pesca (mF) del 2013. Las últimas dos columnas representan el riesgo que la biomasa de largo plazo se ubique bajo el objetivo o límite.

h=0.50

| mF | %Bo | e.s | captura CP | captura LP | p(B/Bo<x%) | |
|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | | | 20% | 40% |
| 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0 | 0 | 0.000 | 0.000 |
| 0.25 | 0.76 | 0.03 | 1,272 | 2,172 | 0.000 | 0.000 |
| 0.50 | 0.58 | 0.04 | 2,523 | 3,299 | 0.000 | 0.000 |
| 0.75 | 0.45 | 0.05 | 3,753 | 3,769 | 0.000 | 0.171 |
| 1.00 | 0.34 | 0.05 | 4,962 | 3,822 | 0.002 | 0.881 |
| 1.25 | 0.26 | 0.05 | 6,151 | 3,608 | 0.106 | 0.998 |
| 1.50 | 0.20 | 0.05 | 7,319 | 3,229 | 0.536 | 1.000 |
| 1.75 | 0.14 | 0.04 | 8,468 | 2,762 | 0.906 | 1.000 |
| 2.00 | 0.10 | 0.04 | 9,598 | 2,262 | 0.995 | 1.000 |
| 2.25 | 0.07 | 0.03 | 10,709 | 1,776 | 1.000 | 1.000 |

h=0.75

| mF | %Bo | e.s | captura CP | captura LP | p(B/Bo<x%) | |
|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | | | 20% | 40% |
| 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0 | 0 | 0.000 | 0.000 |
| 0.25 | 0.83 | 0.02 | 1,286 | 2,049 | 0.000 | 0.000 |
| 0.50 | 0.70 | 0.03 | 2,553 | 3,436 | 0.000 | 0.000 |
| 0.75 | 0.60 | 0.03 | 3,803 | 4,372 | 0.000 | 0.000 |
| 1.00 | 0.52 | 0.04 | 5,036 | 4,993 | 0.000 | 0.001 |
| 1.25 | 0.45 | 0.04 | 6,251 | 5,393 | 0.000 | 0.081 |
| 1.50 | 0.40 | 0.04 | 7,449 | 5,635 | 0.000 | 0.547 |
| 1.75 | 0.35 | 0.04 | 8,631 | 5,761 | 0.000 | 0.924 |
| 2.00 | 0.31 | 0.03 | 9,796 | 5,804 | 0.001 | 0.996 |
| 2.25 | 0.28 | 0.03 | 10,945 | 5,784 | 0.008 | 1.000 |



Tabla 10.

Principales variables de desempeño de la proyección de la población de bacalao **S2: norte y sur 47°S + pesquería Argentina** para diferentes multiplicadores de la mortalidad por pesca (mF) del 2013. Las últimas dos columnas representan el riesgo que la biomasa de largo plazo se ubique bajo el objetivo o límite.

h=0.50

| mF | %Bo | e.s | captura CP | captura LP | p(B/Bo<x%) | |
|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | | | 20% | 40% |
| 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0 | 0 | 0.000 | 0.000 |
| 0.25 | 0.82 | 0.02 | 1,673 | 2,719 | 0.000 | 0.000 |
| 0.50 | 0.67 | 0.04 | 3,329 | 4,495 | 0.000 | 0.000 |
| 0.75 | 0.55 | 0.05 | 4,968 | 5,563 | 0.000 | 0.001 |
| 1.00 | 0.45 | 0.05 | 6,590 | 6,095 | 0.000 | 0.181 |
| 1.25 | 0.36 | 0.06 | 8,196 | 6,221 | 0.002 | 0.736 |
| 1.50 | 0.29 | 0.06 | 9,785 | 6,038 | 0.054 | 0.970 |
| 1.75 | 0.23 | 0.06 | 11,358 | 5,626 | 0.289 | 0.999 |
| 2.00 | 0.18 | 0.05 | 12,915 | 5,051 | 0.641 | 1.000 |
| 2.25 | 0.14 | 0.05 | 14,455 | 4,373 | 0.891 | 1.000 |

h=0.75

| mF | %Bo | e.s | captura CP | captura LP | p(B/Bo<x%) | |
|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | | | 20% | 40% |
| 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0 | 0 | 0.000 | 0.000 |
| 0.25 | 0.89 | 0.01 | 1,684 | 2,444 | 0.000 | 0.000 |
| 0.50 | 0.79 | 0.02 | 3,354 | 4,366 | 0.000 | 0.000 |
| 0.75 | 0.70 | 0.03 | 5,011 | 5,872 | 0.000 | 0.000 |
| 1.00 | 0.63 | 0.04 | 6,656 | 7,043 | 0.000 | 0.000 |
| 1.25 | 0.56 | 0.04 | 8,287 | 7,943 | 0.000 | 0.000 |
| 1.50 | 0.51 | 0.04 | 9,906 | 8,624 | 0.000 | 0.006 |
| 1.75 | 0.46 | 0.04 | 11,512 | 9,124 | 0.000 | 0.096 |
| 2.00 | 0.41 | 0.04 | 13,105 | 9,476 | 0.000 | 0.390 |
| 2.25 | 0.37 | 0.04 | 14,686 | 9,707 | 0.000 | 0.732 |



4.2. Modelo de producción basado solo en las capturas en S2 norte y sur 47°S + pesquería Argentina.

Las trayectorias de las biomazas posibles muestran una disminución hasta el 2005 y luego una recuperación (**Figuras 13 y 14**). Las distribuciones de los parámetros posibles del modelo de producción se presentan en la **Tabla 11**. Los valores de RMS fluctúan entre 5700 y 10320 t, con un valor mediano de 8390 t. La mediana de la reducción del stock inicial fue 0,60, con una biomasa actual de 107 mil t. Las medianas de los puntos biológicos de referencia muestran un F_{RMS} igual a 0.11 y una B_{RMS} de 60 mil t (**Tabla 12**).

La captura biológicamente aceptable (CBA), calculada como $B_{2013} * F_{RMS}$, se presenta en la **Figura 15**. Los valores de CBA para diferentes niveles de riesgo (probabilidad acumulada) se presenta en la **Tabla 13**. Las CBA al percentil del 10% y 50% fueron 1345 t y 4922 t, respectivamente.

Análisis de sensibilidad al nivel M

La disminución de la mortalidad natural desde 0.15 a 0.10 generó un cambio de tendencia en las biomazas posibles de los años más recientes, mostrando una recuperación mucho más leve (**Figuras 16 y 17**). Esto generó una disminución de la media del RMS desde 8390 a 7070 t y del nivel reducción actual desde 0.60 a 0.51 (**Tabla 13**). La mediana del F_{RMS} disminuye desde 0.11 a 0.07 (**Tabla 15**). Sin embargo, el valor de K aumentó desde 152 mil t a 187 mil t (**Tabla 14**), lo cual determina que las CBA para el 2013 sean ligeramente menores (**Figura 18 y Tablas 13 y 16**), con una reducción de la CBA al 50% desde 4922 a 4190 t.

El principal cambio que se produjo cuando se disminuyó M de 0.15 a 0.1 fue en la incertidumbre del nivel actual de reducción (agotamiento), que ahora permite tener valores mayores de cero cuando se supone niveles de reducción máximo de 0.35. En relación a los parámetros del modelo de producción (K y r) y el RMS mantuvo su estabilidad a través de los supuestos de reducción máxima. No obstante sus valores absolutos de r y RMS son menores que cuando se utilizó M=0.15.

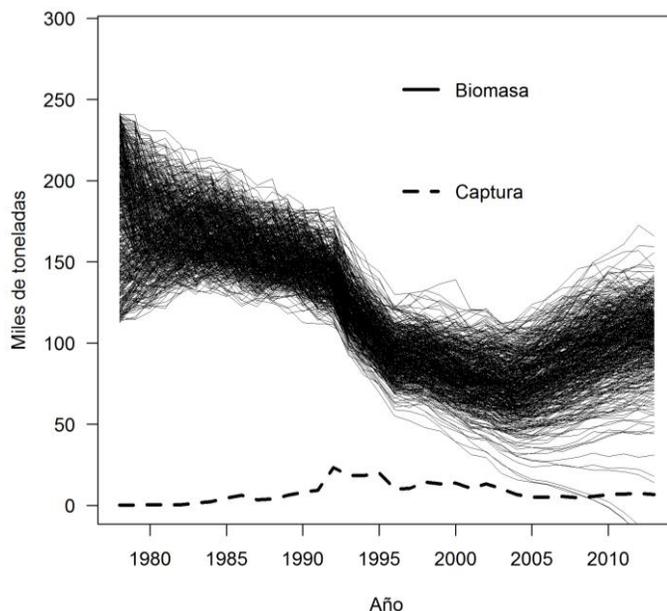


Figura 13. M3todo con s3lo capturas y $M=0.15$. Trayectoria de la captura y de las biomazas posibles.

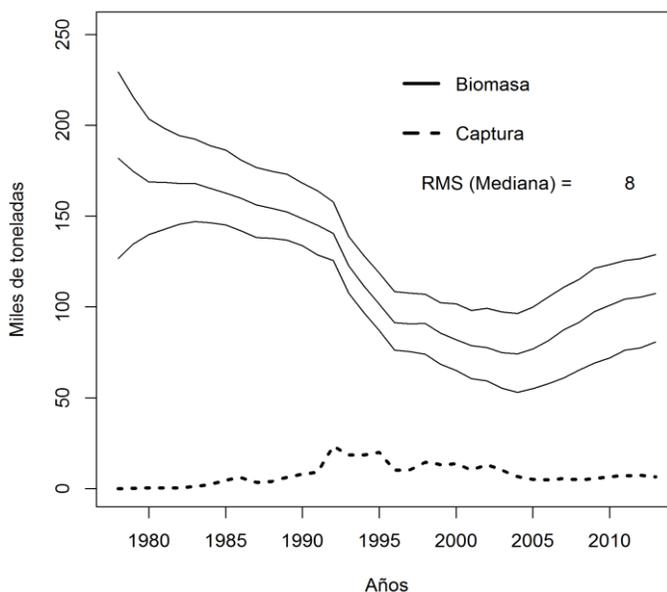


Figura 14. M3todo s3lo con capturas y $M=0.15$. Trayectoria de la captura y de las biomazas posibles. Se muestran los percentiles del 10%, 50% y 90% de las biomazas. Se indica la mediana del rendimiento m3ximo sostenido (RMS) en miles de toneladas.



Tabla. 11.
Estimados del modelo con solo captura y $M=0.15$.

| Percentil | k | r | RMS | B2013 | Reducción |
|-----------|-----|------|-------|--------|-----------|
| 0% | 113 | 0.12 | 5.70 | - | - |
| 25% | 132 | 0.16 | 7.46 | 95.42 | 0.54 |
| 50% | 152 | 0.22 | 8.39 | 107.41 | 0.60 |
| 75% | 179 | 0.28 | 9.30 | 117.80 | 0.66 |
| 100% | 242 | 0.36 | 10.32 | 165.87 | 0.93 |

Tabla. 12.
Estimados del modelo con solo captura y $M=0.15$.

| Percentil | BRMS | BLIM | FRMS |
|-----------|-------|------|------|
| 0% | 56.3 | 28.2 | 0.06 |
| 25% | 66.2 | 33.1 | 0.08 |
| 50% | 76.1 | 38.0 | 0.11 |
| 75% | 89.4 | 44.7 | 0.14 |
| 100% | 120.8 | 60.4 | 0.18 |

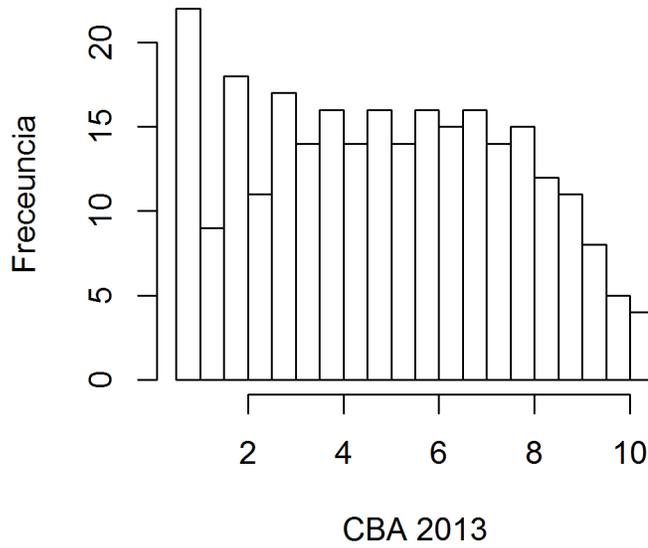


Figura 15. Distribuci3n de la CBA (miles de t) para el 2013. M3todo con solo capturas y $M=0.15$.

Tabla 13.

CBA ($B_{2013} * F_{RMS}$) para el 2013. M3todo con solo capturas y $M=0.15$.

| Percentil | CBA 2013 (t) |
|------------|--------------|
| 0% | 570 |
| 10% | 1345 |
| 20% | 2223 |
| 30% | 3106 |
| 40% | 3995 |
| 50% | 4922 |
| 60% | 5779 |
| 70% | 6680 |
| 80% | 7554 |
| 90% | 8511 |
| 100% | 10323 |

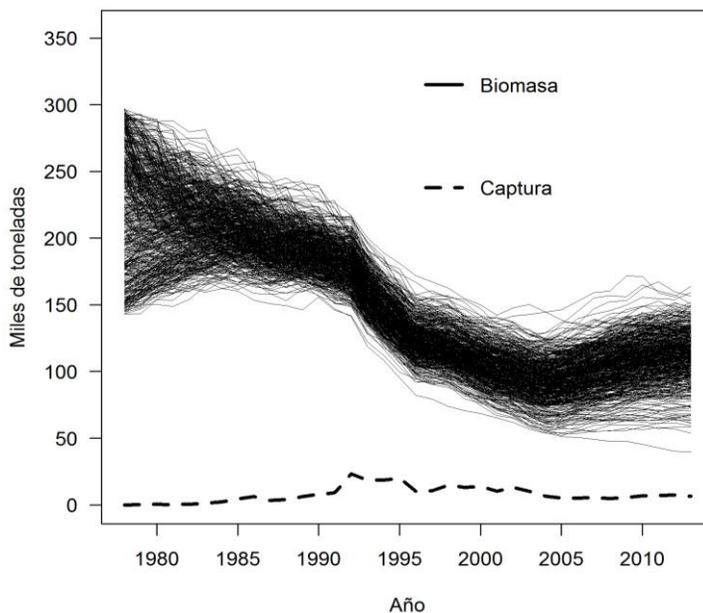


Figura 16. M3todo con s3lo capturas y $M=0.10$. Trayectoria de la captura y de las biomazas posibles.

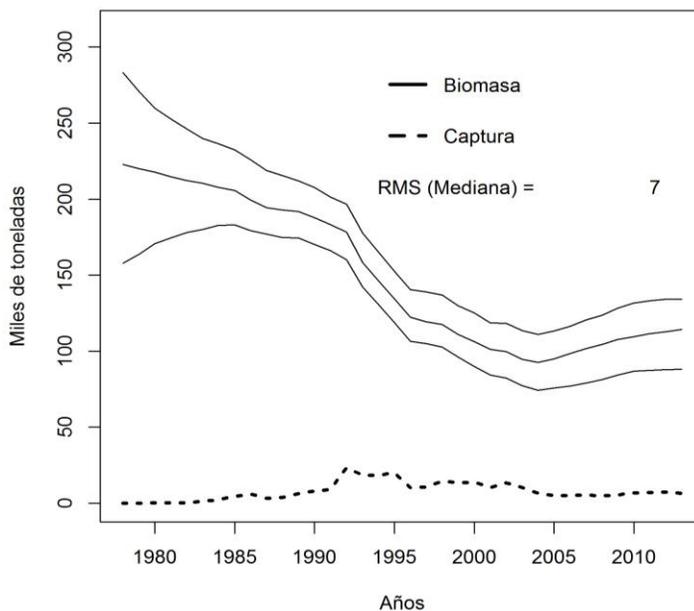


Figura 17. M3todo con s3lo capturas y $M=0.10$. Trayectoria de la captura y de las biomazas posibles. Se muestran los percentiles del 10%, 50% y 90% de las biomazas. Se indica la mediana del rendimiento m3ximo sostenido (RMS) en miles de toneladas.



Tabla. 14.

Estimados del modelo con solo captura y $M=0,10$, por percentiles.

| Percentil | k | r | RMS | B_{2013} | Reducción |
|-----------|-----|------|------|------------|-----------|
| 0% | 142 | 0.08 | 4.43 | 39.62 | 0.18 |
| 25% | 167 | 0.11 | 6.15 | 101.88 | 0.45 |
| 50% | 187 | 0.15 | 7.07 | 114.37 | 0.51 |
| 75% | 215 | 0.19 | 7.92 | 125.08 | 0.55 |
| 100% | 298 | 0.24 | 9.06 | 163.79 | 0.73 |

Tabla 15.

Método con solo capturas, con $M=0,10$. Puntos biológicos de referencia.

| Percentil | B_{RMS} | B_{LIM} | F_{RMS} |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0% | 70.97 | 35.48 | 0.04 |
| 25% | 83.44 | 41.72 | 0.06 |
| 50% | 93.68 | 46.84 | 0.07 |
| 75% | 107.63 | 53.82 | 0.09 |
| 100% | 148.82 | 74.41 | 0.12 |

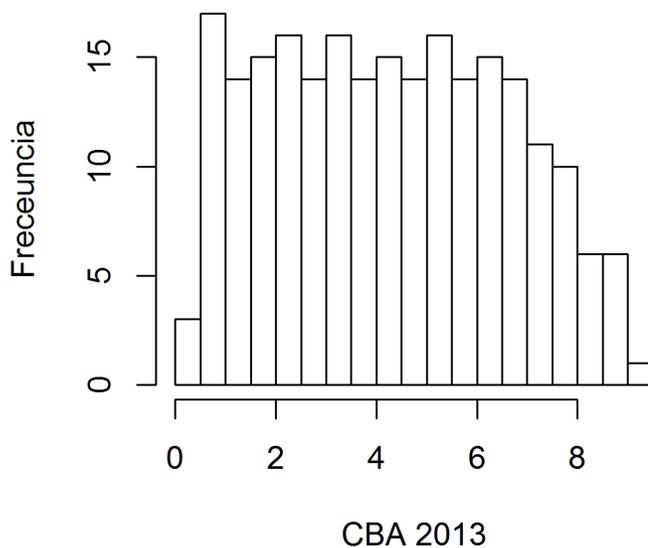


Figura 18. Distribución de la CBA (miles t) para el 2013. Método con solo capturas y $M=0,10$.



Tabla 16. CBA ($B_{2013} * F_{RMS}$) para el 2013. Método con solo capturas y $M=0,10$.

| Percentil | CBA 2013 (t) |
|-----------|--------------|
| 0% | 443 |
| 10% | 1146 |
| 20% | 1924 |
| 30% | 2646 |
| 40% | 3372 |
| 50% | 4190 |
| 60% | 5013 |
| 70% | 5783 |
| 80% | 6575 |
| 90% | 7467 |
| 100% | 9061 |



5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los análisis mostraron que la información contenida en las composiciones de edades de las capturas, principalmente las disponibles del período más reciente y basadas en lecturas de edades sobre otolitos, provee cierto nivel de conocimiento sobre parámetros fundamentales como es la edad de completo reclutamiento, la mortalidad por pesca y el nivel de productividad del reclutamiento respecto del stock parental.

El análisis basado en el modelo de producción edad-estructurado ASPM con datos limitados entregó como resultado, que escenarios de baja productividad parecen ser más verosímiles respecto de las composiciones de edades de las capturas. Bajo el escenario de un stock al sur del 47° y extendido a la pesquería Argentina, aún para el nivel de más baja productividad, los resultados sugieren que el recurso se encontraba el año 2013 levemente por sobre el criterio de sobre explotación 40%B₀. Un valor de productividad intermedia entre $h=0.5$ y $h=0.75$ y sus proyecciones de la mortalidad en el largo plazo proporciona la idea que el recurso se podría ubicar en torno al 40% de B₀ con capturas de corto plazo similares a las del año 2013, es decir en torno a 5 mil toneladas. El mismo análisis realizado a la hipótesis de unidad de stock de toda la pesquería Chilena (artesanal e industrial) más la Argentina al sur del 54°S (S2) generó mayores niveles poblacionales y mejores condiciones de la población, escenario en el cual y para el más bajo nivel de productividad ($h=0.5$), un incremento moderado del esfuerzo del 13% permitiría alcanzar el objetivo de conservación en el largo plazo y una captura de corto plazo de 7.4 mil toneladas (11% superior al desembarque informado).

Alternativamente, modelos de producción agregados y que consideraron solo las series de capturas entregaron niveles de agotamiento al 2013 entre el 60% (si $M=0.15$) y 51% (si $M=0.10$) de la biomasa virginal, junto a niveles de capturas de corto plazo entre 4.9 mil y 4.2 mil toneladas, respectivamente. Cabe señalar que en este caso el $F_{rms}=F_{50\%B_0}$, por lo que para ser consistentes con el objetivo 40% B₀ se podría pensar en que la mortalidad entonces debería ser incluso mayor, sin embargo esto no es recomendable ya que este método sólo usa capturas y es muy incierto en estimar la condición actual del recurso. Este método aunque incierto sugiere igualmente que la condición de explotación es próxima a la objetivo y que el valor esperado de las capturas basadas en criterios del RMS son próximas a las registradas recientemente en la pesquería.

Del análisis realizado surge la idea que si se consideraran solo los parámetros de historia de vida y la información contenida en las composiciones de edades de las capturas, cuya principal característica es la relativa presencia de individuos longevos, la condición de explotación del recurso bacalao pudiera ser próxima a niveles adecuados de explotación, siendo los índices de abundancia junto con la ojiva de madurez anteriormente utilizada los principales forzantes en el diagnóstico que se estableciera para esta población. Las conclusiones de este trabajo deben ser consideradas con precaución en el entendido que no representan el de una evaluación completa y solo pretenden entregar una visión complementaria mientras la evaluación de stock alcanza su estándar ideal, siendo uno de los



elementos clave la revisión y elaboración de indicadores de abundancia libres de la interacción tecnológica con mamíferos marinos.

Los estimados de abundancia y capturas permisibles fueron hechos para el total del stock, es decir, considerando su distribución en Chile y Argentina. Esto es válido para los dos escenarios de unidad de stock (S1 y S2). La asignación de las cuotas de captura por país no fue analizada, porque corresponde a un tema de manejo que debe ser tratado en el comité de manejo de la pesquería.

Finalmente y debido a que la evaluación de stock se actualiza cada año, el próximo año será posible rectificar el valor de cuota de captura aplicado, una vez que se cuenten con una evaluación de stock mejorada que incorpore las recomendaciones del revisor internacional.



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arana, P. 2009. Reproductive aspects of the Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) off southern Chile. *Latin Am. J. Aqua. Res.* 37, 381–394.
- Balbontin, 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.
- Booth, A.J. & T.J. Quinn II. 2006. Maximum likelihood and Bayesian approaches to stock assessment when data are questionable. *Fish. Res.*, 80: 169-181.
- 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.
- 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.
- 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.
- Payá I., C. Canales, D. Bucarey, M. Canales, F. Contreras, E. Leal, F. Espíndola, R. Tascheri, M.J. Zúñiga, W. Clark, M. Dorn, M. Dunn, C. Fernandez, M. Haddon, N. Klaer, M. Sissenwine y S. Zhou. 2014. Revisión de los puntos biológicos de referencia (Rendimiento Máximo Sostenible) en las pesquerías nacionales. Subsecretaría de Economía y EMT Instituto de Fomento Pesquero. 51 pp. + 8 Anexos.
- 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.
- 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.
- Restrepo V. & C. Legault. 1998. A Stochastic Implementation of an Age-Structured Production Model (ASPM). *Fishery Stock Assessment Models*. Alaska Sea Grant College Program • AK-SG-98-01, 1998. University of Miami, Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, Miami, Florida: 435-450.
- Schaefer, M. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. *Bull. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm.*, 1(2): 27-56.
- Tascheri, R, C. Canales, R. Céspedes y L. Chong. 2014. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales al año 2015. Bacalao de profundidad, 2015. Informe de estatus y cuota. 140 pp + 10 Anexos.
- 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.
- 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.
- Zhou, S., Pascoe, S., Dowling, N., Haddon, M., Klaer, N., Larcombe, J., Smith, A.D.M., Thebaud, O., and Vieira, S., Wayte, S. (2013). Quantitatively defining biological and economic reference points in data poor fisheries. Final Report on FRDC Project 2010/044. Canberra, Australia.
- Zhou, S., S. Yin, J.T. Thorson, A.D.M. Smith y M. Fuller. 2012. Linking fishing mortality reference points to life history traits: an empirical study. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 69: 1292–1301.



Ziegler P., D. Dirk Welsford, Bill de la Mare and Paul Burch, 2014. An Integrated Stock Assessment for the Heard Island and the McDonald Islands Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) fishery (Division 58.5.2). WG-FSA-14/34, Australian Antarctic Division of Environment, 203 Channel Highway, Kingston, Tasmania 7050, Australia: 53 p.



ANEXO

Ecuaciones de la din3mica poblacional del modelo de producci3n edad-estructurado ajustado a las composiciones de edades y capturas del bacalao

| Objetivos, supuestos y prior | Ecuaci3n |
|---|--|
| <u>Sobrevivencia</u> <i>a</i> Es la edad y <i>t</i> es el a3o (1989-2013). La edad comprende los grupos [3.... 30+]. A=30+ | $N_{a,t} = N_{a-1,t-1} S_{a-1,t-1}$ $N_{A+,t} = N_{A-1,t-1} S_{A-1,t-1} + N_{A,t-1} S_{A,t-1}$ $S_{a,t} = \exp(-Z_{a,t})$ |
| <u>Mortalidad total</u> F_t mortalidad por pesca anual, M la mortalidad natural anual y Ψ la selectividad | $Z_{a,t} = M + F_t \psi_a$ |
| <u>Selectividad</u> Donde μ es la edad al 100% de retenci3n y σ el par3metro de dispersi3n | $\psi_{a,t} = \begin{cases} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_1^2}(a-\mu)^2\right] & a < A50 \\ \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_2^2}(a-\mu)^2\right] & a \geq A50 \end{cases}$ |
| <u>Poblaci3n inicial</u> (equilibrio y virginal) | $N_{a=1,t=1} = R_0$ $N_{a,t=1} = N_{a-1,t=1} e^{-Z_{a,t=1}}$ $N_{A,t=1} = N_{a=30,t=1} / (1 - e^{-Z_{a=30,t=1}})$ |
| <u>Reclutamiento anual</u> BD: biomasa desovante, R_0 reclutamiento virginal y BDo biomasa desovante virginal estimada a partir de R_0 . | $N_{a=3,t} = \frac{\alpha BD_{t-3}}{\beta + BD_{t-3}}$ $\alpha = \frac{4hR_0}{5h-1}; \beta = \frac{(1-h)BD_0}{5h-1}$ |
| <u>Capturas estimadas en edad y a3o</u> | $\hat{C}_{a,t} = \frac{F_{a,t}}{Z_{a,t}} N_{a,t} (1 - S_{a,t})$ |
| <u>Desembarques en peso</u> w_t es el peso te3rico a la edad supuesto invariante entre a3os | $\hat{Y}_t = \sum_a C_{a,t} w_a$ |
| <u>Biomasa desovante</u> O_a Corresponde a la ojiva de madurez sexual a la edad. El desove se supone anual y ocurre a $\Delta=0.583$ del a3o | $BD_t = \sum_l N_{a,t} w_a O_a e^{-\Delta t Z_{a,t}}$ |
| <u>Proporci3n de edad en la captura</u> | Capturas: $\hat{p}_{a,t} = \frac{\hat{C}_{a,t}}{\sum_a \hat{C}_{a,t}}$ |

**Modelo de los errores y funci3n objetivo**

| Funci3n/fuente | -log-verosimilitud |
|--|---|
| <u>Capturas totales</u> $\sigma_t = 0.01$ | $-l(I) = \frac{1}{2\sigma_t^2} \sum_t \left(\frac{\log \hat{C}_t}{\log C_t} \right)^2$ |
| <u>Proporci3n de la captura por rango de edad</u> n=100 es el tama1o de muestra efectivo estimado a posteriori. | $-l(p) = n p_{a,t} \ln \hat{p}_{a,t}$ |
| <u>Funci3n objetivo</u> M1ximo a posteriori: Corresponde al negativo de las sumas de log-verosimilitud marginales m1s el logaritmo de las priors (π). | $\sum l(x) + \sum \pi(\theta)$ |

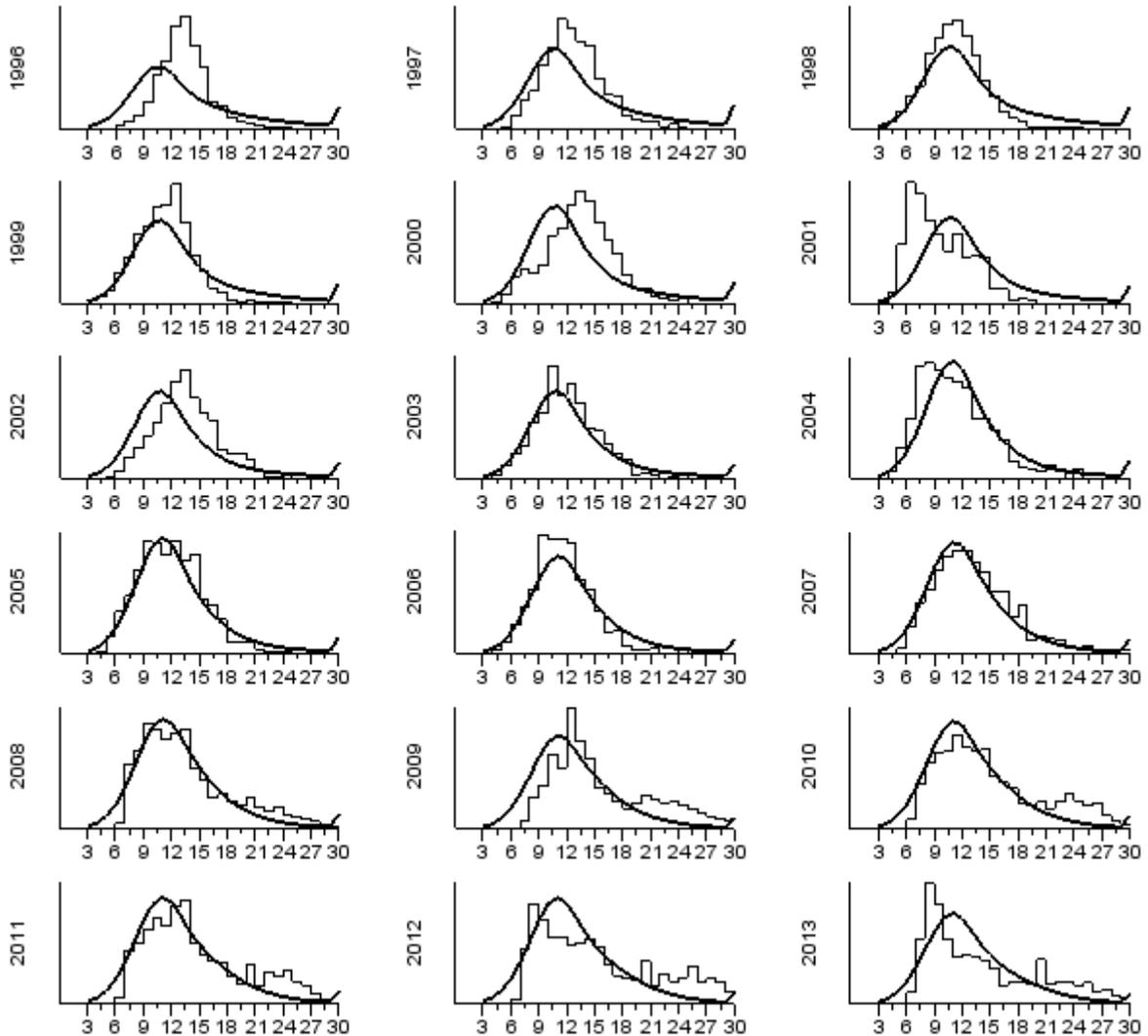


Figura A1. Ajuste general del modelo ASPM a las composiciones de edades de las capturas de bacalao bajo el supuesto de unidad de stock **S1: sur 47°S y la pesquería Argentina**

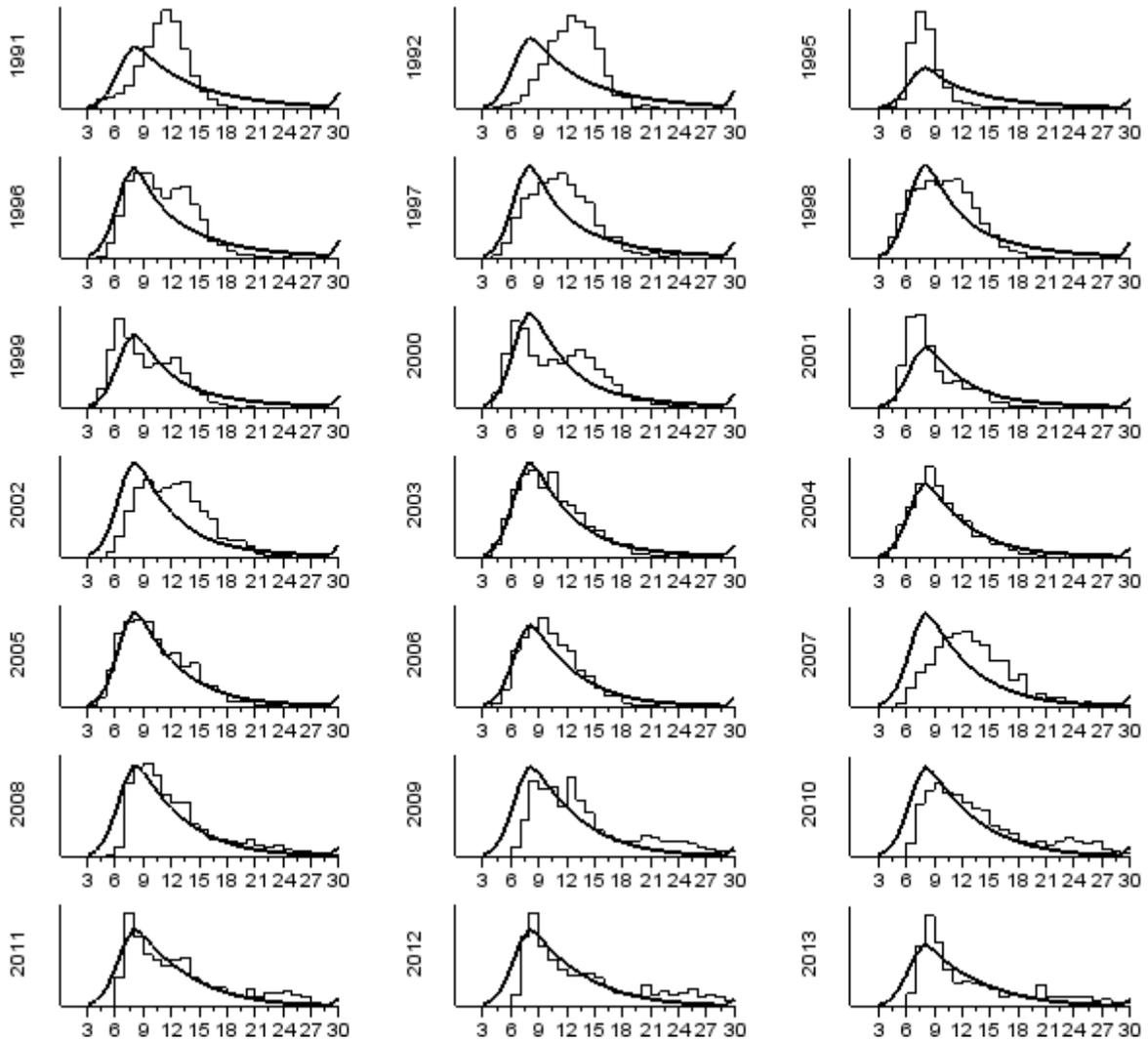
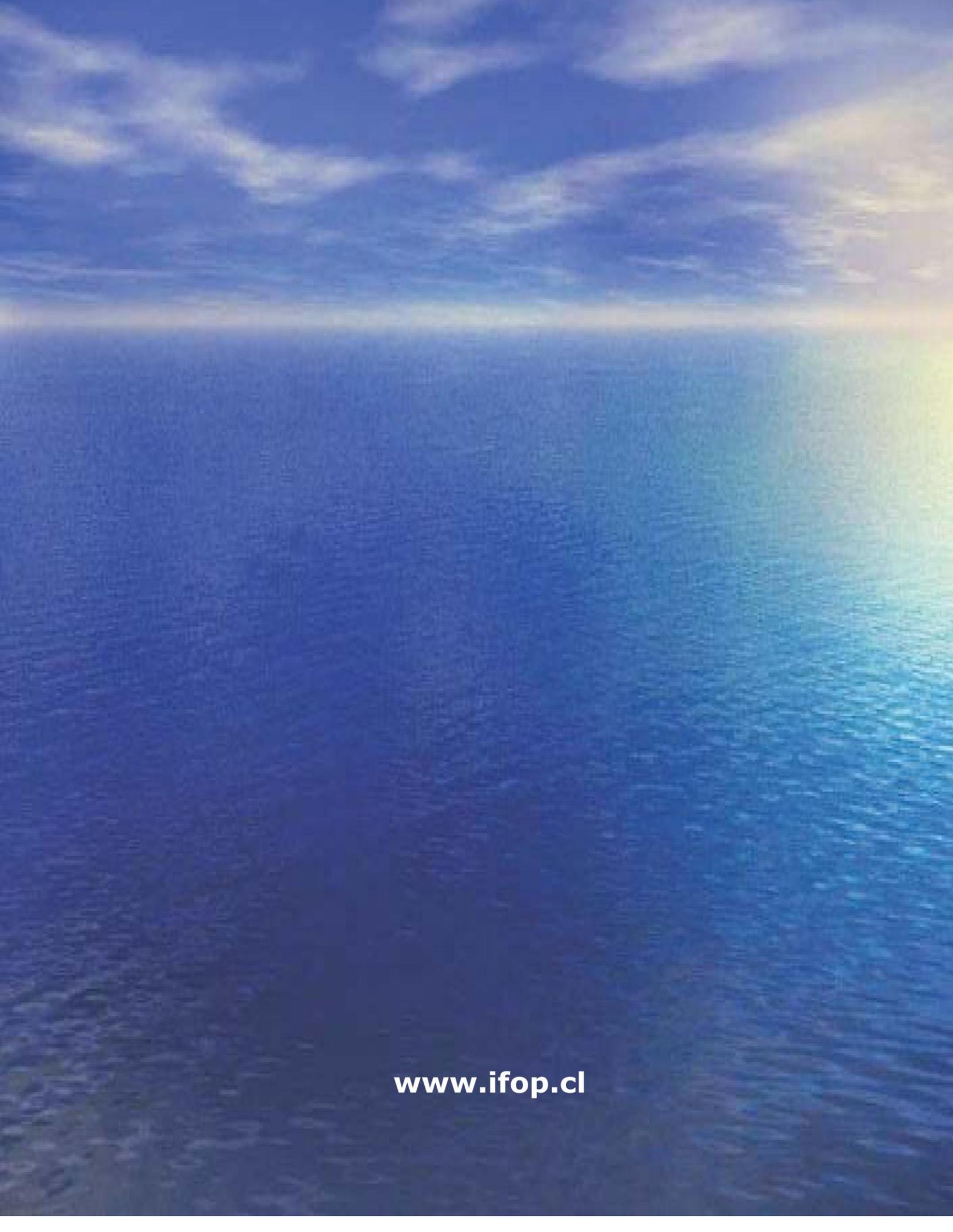


Figura A2. Ajuste general del modelo ASPM a las composiciones de edades de las capturas de bacalao bajo el supuesto de unidad de stock **S2: norte y sur 47°S + pesquería Argentina.**



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

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



www.ifop.cl