

Informe Técnico de Asesoría Científica

2024

Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2025: BACALAO DE PROFUNDIDAD.

Subsecretaría de Economía y EMT
Septiembre 2024



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO - CHILE



Informe Técnico de Asesoría Científica

Convenio de Desempeño 2024

Estatus y posibilidades de explotación
biológicamente sustentables de los principales
recursos pesqueros nacionales, año 2025:
BACALAO DE PROFUNDIDAD

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Septiembre 2024

Requirente

**Subsecretaría de Economía y
Empresas de Menor Tamaño**

**Subsecretaría de Economía y
Empresas de Menor Tamaño**

Javiera Constanza Petersen Muga

Ejecutor

Instituto de Fomento Pesquero, IFOP

Director Ejecutivo

Gonzalo Pereira Puchy

Jefe División Investigación Pesquera

Carlos Montenegro Silva

Jefe División Investigación Pesquera

Carlos Montenegro Silva

Jefe de Proyecto

Francisco Contreras Mejías

Autor

Francisco Contreras M.

Selim Musleh V.

Heide Heredia-Azuaje

Colaboradores

Patricio Galvez

RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe contiene los análisis que dan a conocer el estado de explotación del recurso bacalao de profundidad *Dissostichus eleginoides* en el área de pesquería nacional, es decir, desde el límite norte de la zona económica exclusiva hasta el paralelo 47° L.S., así como también en el área al sur de esta latitud denominada área lícitada. En este documento se describen y analizan los componentes en forma secuencial identificados como; modelo conceptual, recopilación y análisis de la información disponible para este recurso y su pesquería, implementación metodológica de la evaluación de stock y, por último, una asesoría de manejo basado en los esquemas expresados por la Ley General de Pesca y Acuicultura para pesquerías chilenas.

Este trabajo fue estructurado y realizado dada la solicitud formal emitida por el mandante, que durante el año en curso y en el CCT-RDZAP considero que la asesoría debía contener el enfoque nacional para la toma de decisión relacionada con el procedimiento vigente para el año 2024-2025. De igual forma y teniendo en cuenta las solicitudes de análisis emanadas desde la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (Ord. N° 083), realizadas durante el año 2023 y 2024, Se incluyen aproximaciones espaciales particulares para la zona norte del paralelo 47°L.S. y al sur de esta denominada área lícitada.

La unidad de stock, referida a la población establecida en APA y AL, es considerada como una población funcional sobre el cual se realiza la evaluación de stock. Este supuesto tiene como base aspectos relacionados con la ciencia disponible, así como también de ordenamiento para el manejo.

En relación con las estructuras de edades en esta zona, se aprecia una estructura industrial fortalecida, caracterizada por una acumulación de edades sobre los 28 años, desde el 2014. Para los últimos dos años de información, en tanto, se aprecia que la principal estructura de la población corresponde a individuos de la edad 30. La tendencia de la abundancia relativa estimadas empleando los datos de captura y esfuerzo tomados en la flota industrial que operó con cachalotera entre los años 2007 y 2023, mostraron una progresiva reducción en la abundancia relativa en el área lícitada entre los años 2007 y 2014, la que se aprecia más estable durante los últimos tres años, con una tasa de captura estándar promedio para los años 2021 a 2023 de 0,056 kg/(barandillo x horas de reposo) contrastando con el valor de 0,08 kg/(barandillo x horas de reposo) estimado para el año 2007. Por otro lado, la señal estimada para la flota artesanal presenta una mayor cantidad de datos, que hacen posible estimar un índice entre los años 1983 y 2023. Este índice se caracteriza por presentar un periodo de reducción de la abundancia entre 1986 y el 2008, posteriormente la señal presenta una recuperación a niveles por sobre 100 kilogramos por día fuera de puerto. En relación a los últimos dos años de la serie, estos presentarían una reducción del nivel estimado para el año 2021, aunque estos niveles se encuentran por sobre el valor promedio histórico de la serie (112,4 kg/dfpto).

De modo similar a lo observado en evaluaciones previas empleando el mismo modelo, entre los años 2000 y 2013 el reclutamiento exhibe un período de fuertes desvíos negativos, coincidiendo con un período de reducción en la biomasa desovante en donde, dependiendo del caso, esta se redujo enaproximadamente un 65% a 70%. Sin embargo, de acuerdo con los resultados obtenidos, en los

últimos siete años la biomasa desovante ha tendido a mantenerse relativamente estable, estimándose para el año 2023 un valor de 71 mil toneladas en el caso de la evaluación nacional (APA + AL).

En relación a los resultados obtenidos para la población a evaluada a nivel nacional (APA+AL), esta estaría en una condición de **plena explotación**, con una reducción de la biomasa desovante con respecto a la fracción virginal del 39,4%. En términos del estatus se puede comentar que la biomasa del recurso se encuentra sobre el punto biológico de referencia límite de $0,5 \times \text{BRMS}$ y en torno al objetivo relacionado con el BRMS.

Por otro lado, para la evaluación de la población en la zona APA se utilizan diversas fuentes de información, entre ellos, parámetros de historia de vida, un índice de abundancia y desembarques oficiales del recurso en esta área. La Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE), definida como kilogramos por días fuera de puerto, se utilizó para identificar una señal de abundancia relativa de este recurso, aunque se reconoce que puede tener limitaciones, ya sea por suficiencia de datos, así como también por las variables utilizadas. De cualquier forma, se estandarizó la CPUE entre los años 1986 y 2023. En relación a las variables poblacionales de interés estimadas por el modelo, la biomasa relativa del de bacalao del APA, presenta una disminución de aproximadamente 1,5 veces desde su estado inicial hasta el presente. En base a lo modelado, para el año 2023 la biomasa del bacalao de profundidad se encontraría por sobre la biomasa del máximo rendimiento sostenible. En cuanto a la mortalidad por pesca, se estima que para el 2023 el F en 0,04, que se encontraría por debajo del F del rendimiento máximo sostenible, estimado en $F = 0.11$. La biomasa estimada para el año 2023 se encuentra en las 56 mil toneladas, por sobre las 33 mil toneladas estimadas para la biomasa del rendimiento máximo sostenible. El stock evaluado de bacalao de profundidad presenta una trayectoria concordante con el inicio de una pesquería, la que llega a niveles altos de explotación hacia los años 2000 y que cae posterior a eso hasta el presente. La historia del bacalao de profundidad en este diagrama atraviesa inicialmente desde el área de subexplotación (cuadrante verde) para luego encontrarse sobreexplotado y sobrepescado (cuadrante rojo), desde el cual, debido a una disminución en su mortalidad por pesca, retorna a la zona de **sub explotación** en los últimos años.

Para el enfoque del área lícitada (AL), los nuevos datos considerados en esta actualización comprendieron las capturas registradas por las flotas industrial y artesanal en el año 2023, las composiciones de edad de estas capturas y estimaciones de los índices de abundancia relativa que consideraron los datos actualizados de esta pesquería. Se consideró para esto sólo la información y datos correspondientes al área lícitada (AL) y asume que el bacalao de profundidad explotado en esta área constituye una población cerrada con relación a los individuos desovantes y al reclutamiento y consecuentemente, su evaluación es independiente de las capturas registradas en el Atlántico o en el área de pesca artesanal al norte de los 47° LS. En relación con el índice de abundancia En este sentido los rendimientos nominales a nivel anual muestran una tendencia, para el último periodo comprendido entre los años 2007 al 2022, con una reducción en el periodo 2007-2015, y una posterior recuperación a niveles cercanos a los observados el año 2010. En el mismo sentido, se puede mencionar que la CPUE estandarizada muestra una tendencia similar, presentando decaimiento desde el año 2007 al 2014, y una estabilización de la abundancia hasta el año 2018 (aunque con variaciones), y entre los años 2021 y 2023 se aprecia una recuperación del stock en la zona AL.



Estos indicadores estarían informando de una condición de menor preocupación que al analizar la zona bajo una escala nacional, ya que las estructuras, rendimientos de pesca y el índice de abundancia estarían convergiendo en un estado más optimista del recurso. En este sentido, y para el área denominada área lícitada (AL) la biomasa desovante muestra un decaimiento continuo desde el año 1991, donde se registra el nivel máximo de esta variable de estado, correspondiente a 103 mil toneladas. En la actualidad se estima que la biomasa desovante alcanzaría las 42 mil toneladas, que corresponden a un agotamiento de la condición virginal del 51% (BD2023/BD0). De este modo, de acuerdo con la evaluación en la zona AL, el estado de situación de la pesquería de bacalao de profundidad es de una **pesquería sub explotada**.

ÍNDICE GENERAL

1.	OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	6
1.1	Objetivo General.....	6
1.2	Objetivos Específicos.....	6
2.	ANTECEDENTES.....	7
2.1	Descripción del recurso	8
2.2	Desarrollo de la pesquería en la plataforma chilena.....	12
3.	METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	17
3.1	Objetivo específico N°1	17
3.1.1	Descripción general del modelo de evaluación de la población en el área nacional y lícitada: AMAK, Assessment Model for Alaska (AFSC, 2015).....	26
3.1.2	Datos disponibles para la estimación de parámetros.....	27
3.1.3	Composiciones de longitud/edades	28
3.1.4	Bitácoras de pesca y registros oficiales de captura	30
3.1.5	Capturas	31
3.1.6	Evaluación del estatus basado en la biomasa desovante.....	34
3.1.7	Evaluación estatus usando el marco biológico de referencia.....	35
3.1.8	Categorización del stock.....	37
3.1.9	Análisis de Captura Biológicamente Aceptable.....	39
3.2	Objetivo específico N°2	40
3.2.1	Diagnóstico del modelo de evaluación.....	45
3.3	Objetivo específico N°3	46
4.	RESULTADOS	47
4.1	Objetivo específico N°1 Enfoque Nacional (Zonas APA+AL)	47
4.1.1	Resultados evaluación de stock (Variables poblacionales: Enfoque Nacional)	47
4.1.2	Estimaciones de parámetros	56
4.1.3	Resumen de la evaluación de stock	62
4.1.4	Puntos biológicos de referencia.....	62
4.1.5	Evaluación del estatus basado en la biomasa desovante.....	63
4.1.6	Marco biológico de referencia	65
4.1.7	Estado de situación de la pesquería de bacalao de profundidad.....	66
4.1.8	Captura Biológicamente Aceptable.....	66
4.2	Objetivo específico N°2	67
4.2.1	Caso área nacional (APA+AL).....	67
4.3	Objetivo específico N° 3	72
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	74
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75



ANEXOS

- Anexo 1.** Modelo de evaluación de stock AL (Descripción matemática).
- Anexo 2.** Información de parámetros demográficos no estimados en el modelo de evaluación.
- Anexo 3.** Estimación de índices de abundancia relativa.
- Anexo 4.** Evaluación Bacalao de profundidad zona APA.
- Anexo 5.** Evaluación Área licitada.
- Anexo 6.** Glosario de Términos.
- Anexo 7.** Ordinario N°0893.
- Anexo 8.** Ordinario N°00239



1. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.1 Objetivo General

Implementar, en el marco del establecimiento de cuotas globales y anuales de captura, el procedimiento de manejo vigente para la pesquería en cuesti3n, determinando el estatus, en atenci3n a los datos e informaci3n establecida, y aplicando la regla de control de captura que corresponda seg3n el plan de manejo o la que se determine en ausencia de este.

1.2 Objetivos Específicos

- I. Implementar el procedimiento de manejo vigente, determinando el estatus del recurso y la captura biológicamente aceptable (CBA).
- II. Evaluar bajo incertidumbre la probabilidad de alcanzar los objetivos de manejo en plazos definidos bajo el procedimiento de manejo vigente.
- III. Asesorar a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, al Comité Científico Técnico y a los Comités de Manejo en las materias técnicas y de oportunidad que esta Subsecretaría requiera.

2. ANTECEDENTES

Con el objetivo de atender la misión y sus objetivos estratégicos, la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura encarga anualmente al Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) el proyecto denominado “*Estatus y Posibilidades de Explotación Biológicamente Sustentables de los Principales Recursos Pesqueros Nacionales*” el que constituye el sustento técnico fundamental para establecer los rangos de explotación biológicamente recomendables para los principales recursos pesqueros nacionales, cuyos niveles de biomasa son regulados mediante cuotas de captura.

Este proyecto debe integrar el conocimiento científico disponible a la fecha de ejecución que ha sido generado por diversos estudios, proyectos y programas de investigación realizados sobre el recurso bacalao de profundidad y su pesquería, así como también, toda la información técnica proveniente del programa de seguimiento de la pesquería y monitoreo del recurso, así como otros antecedentes que permitan actualizar anualmente el estatus de conservación de este recurso pesquero.

Con este propósito, otros organismos colaboradores de la Administración Pesquera como el Fondo de Investigación Pesquera financian investigaciones científicas y técnicas vinculadas a este recurso y su ambiente que anualmente identifica y encarga para ejecución la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

La Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA; Título VII, Párrafo 1, Artículo 92) establece que el Instituto de Fomento Pesquero sea el ejecutor de este tipo de proyectos, mediante la asignación directa de fondos sectoriales, en cuanto este Instituto se constituye como un organismo asesor relevante en la función de proveer insumos fundamentales para el buen cumplimiento de la función reguladora de la administración pesquera del estado.

Ese cuerpo legal establece que estos proyectos deben considerar la evaluación de stock mediante modelamientos, con el objeto de determinar el estado de situación y posibilidades de explotación biológicamente sustentable o captura total permisible. Tanto los antecedentes provenientes de este proyecto, así como de otras investigaciones y estudios sectoriales provistos por las distintas entidades de investigación y asesoría son canalizados hacia los Comités Científico-Técnicos correspondientes.

De acuerdo con lo anterior, los antecedentes producidos por este proyecto son canalizados hacia el Comité Científico de Recursos Demersales de Aguas Profundas (CCT-RDAP), el que puede emplear este conocimiento para asesorar a las distintas instancias consultivas del proceso decisional anual de esta pesquería y recomendar los niveles de captura apropiados, cumpliendo así con el mandato establecido por la LGPA.

2.1 Descripci3n del recurso

El bacalao de profundidad *Dissostichus eleginoides* (**Figura 1**) es un pez demersal perteneciente a la familia *Nototheniidae* conocido internacionalmente como Patagonian toothfish, Chilean sea bass o merluza negra que habita aguas profundas (50-3.8500 m; Collins et al. 2010).

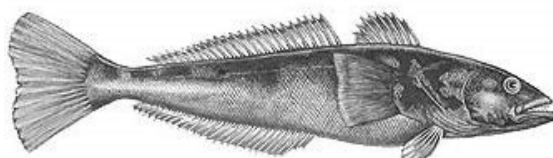


Figura 1. Bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides* Smitt, 1898). Ilustraci3n: Bruce Mahalski.

D. eleginoides tiene una amplia que comprende aguas de los Océanos Pacífico, Atlántico y Austral. Presenta una distribuci3n circumpolar-subAntártica encontrándose en la plataforma continental del sur de la Patagonia y Chile, alrededor de islas subantárticas (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 distribuci3n 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 distribuci3n se extiende desde el Oeste de Shag Rocks hasta Georgia del Sur y la regi3n 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 tambi3n en la regi3n 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 4 a 5 meses. En la plataforma Patagónica, la Isla de los Estados es la principal área de reclutamiento, sin embargo, los reclutas tambi3n pueden observarse en pequeños números a trav3s 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 (Collins et al. 2010, Laptikhovsky y 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) exhibiendo un patrón de estratificación por tamaño con la profundidad comúnmente observado en peces de aguas profundas (Collins et al., 2010).

Sobre su estructura poblacional, el estudio genético de Canales-Aguirre et al. (2018) sugiere la existencia de una sola gran población distribuida desde el norte del Perú hasta el extremo austral de Chile y desde allí hasta las costas de Argentina, incluyendo las Islas Malvinas. Esto es consistente con otros estudios de morfometría de otolitos, genéticos y de movimientos migratorios. Adicionalmente, estos estudios han permitido diferenciar esta población de la ubicada al sur del Frente Polar Antártico (Islas Sándwich del Sur e Islas Georgia), con los cuales el flujo genético se encuentra restringido (Arkhipkin et al., 2021, Lee et al., 2018).

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 que presenta normalmente dos a tres grupos de ovocitos de diferente tamaño i.e. un grupo en el estadio de crecimiento primario y dos grupos de ovocitos vitelogénicos (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, entre julio y octubre, con su máximo en septiembre y la evidencia actual sugiere que este proceso sólo tiene lugar en la región austral de Chile (Young et al., 1999, Arana 2009, Balbontín et al. 2011). Esta región de desove conecta con el

área de puesta en la Plataforma Patagónica 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). En esta última zona, el mayor evento reproductivo ocurre entre julio y agosto y un evento reproductivo inicial de menor magnitud entre abril y mayo (Agnew et al. 1999, Bamford et al. 2024, 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 en 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).

D. eleginoides tiene una longevidad de 35 a 53 años (Kalish y Timmiss 1998, Horn 2002, Oyarzún et al. 2003b) y la edad de su primera madurez sexual varía entre machos y hembras, siendo entre 6 y 10 años para los machos, y entre 10 y 13 para las hembras (Agnew et al 1999, Everson y Murray 1999, y Kock et al. 1985). En Chile, la talla mediana de madurez sexual de hembras estimada es de 113 cm LT (intervalo de confianza: 107–120 cm LT), mientras que para machos de 87 cm LT (intervalo de confianza: 78–94 cm LT, Oyarzun et al. 2003). En el Atlántico, la talla media de madurez es similar, 95–110 cm para las hembras 70–80 cm en los machos (Moreno, 1998, Péron et al., 2016, Soeffker et al., 2022). Siendo más pequeños en las Kerguelen, en el océano Índico donde alcanzan la madurez a una talla promedio de 63 cm and 85 cm TL los machos y las hembras, respectivamente (Lord et al., 2006). Estas longitudes son equivalentes a edades sobre 7 y 12 años para machos y hembras, respectivamente (Horn 2002). Es importante señalar que las pesquerías podrían jugar un papel preponderante en reducción de la talla de primera madurez (Abreu et al., 2024 Brigden et al. (2017). La dieta de los peces adultos es de tipo generalista, la cual presenta variaciones estacionales en función de la abundancia de las presas, con predominancia de peces óseos (Oyarzún et al. 2003b, Collins et al. 2010, López et al. 2014). Con el incremento en el 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 *ofídidos* (*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 de los individuos y la 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 inmersiones en 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. Los cachalotes 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). Tixier et al. (2019) usaron isótopos estables para obtener evidencia de que el bacalao de profundidad también constituye un ítem presa importante en la dieta natural de las orcas (*Orcinus orca*) en las islas Crozet (i.e. no fue incorporado en la dieta como consecuencia del desarrollo de la pesca de palangre).

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. 2019). 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 Desarrollo de la pesquería en la plataforma chilena.

El primer reporte de capturas de este recurso en Chile data del año 1888 frente al Archipiélago de los Chonos (De Witt, 1962). En 1955, prospecciones pesqueras realizadas en la costa de Valparaíso capturaron bacalao junto con congrio dorado. Posteriormente, investigaciones pesqueras realizadas principalmente en la Región de Valparaíso en la década de los 60s y 70s analizaron el desempeño del arrastre y del espinel de fondo en la pesca de bacalao, probando diferentes diseños, numeración de anzuelos y tiempos de reposo. En la Región del Biobío, se estudió incluso 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 presentaba focos de abundancia en donde se localizaban los caladeros (Salas et al. 1987).

La pesquería comercial 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 en respuesta a 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 financiaban la operación de embarcaciones artesanales para abastecerse de materia prima. El sector artesanal fue también beneficiado con créditos CORFO/BID lo que les permitió adquirir o adecuar embarcaciones y renovar sus equipos de pesca (Salas et al. 1987, Schurman 1996).

De esta manera, la pesquería de bacalao de profundidad 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. En el mismo sentido es necesario comentar que desde el año 2006, y hasta el año 2023, las remociones totales de recurso se mantienen por debajo de las 5 mil toneladas (**Figura 2**).

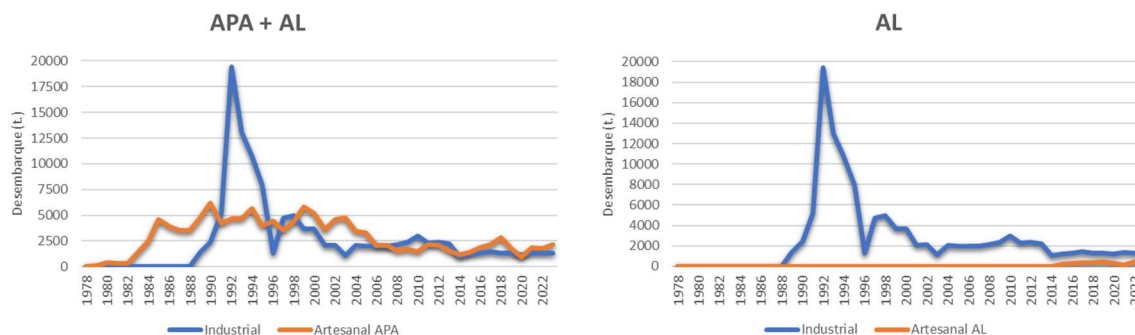


Figura 2. Desembarques anuales de bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) integrado a través de un enfoque nacional: área de pesca artesanal (APA) y el área licitada (AL) y en el área licitada exclusivamente (AL).

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 (Young et al. (1997). Estos autores también describen un desplazamiento del esfuerzo de pesca hacia la zona sur del país, en particular al puerto de Valdivia, que hacia el final de este período experimentó una importante inmigración de embarcaciones desde otros puertos. El estudio de Young et al. (1997) también describe una significativa reducción de los rendimientos de pesca durante este periodo.

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 los rendimientos de pesca.

Al inicio de los años 90s los stocks de merluza del sur y congrio dorado explotados en la pesquería demersal austral, que se había desarrollado entre la segunda mitad de los años 70s y primera mitad de los 80s, se encontraban severamente reducidos (Aguayo et al., 1991). En consecuencia, los barcos arrastreros fábrica comenzaron a orientar un mayor esfuerzo de pesca hacia la merluza de cola y los buques arrastreros hieleros intensificaron sus operaciones de pesca sobre la merluza común.

En contraste, la pesca con espinel con barcos hieleros y buques fábrica, que se había desarrollado en la zona sur austral desde el año 1986, se encontró sin un recurso alternativo que les permitiera continuar operando. Para proveer una solución, la Subsecretaría de Pesca de Chile impulsó 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).

El bacalao de profundidad emergió entonces 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 las Regiones de Aysén y Magallanes, 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), reservada exclusivamente para la pesca artesanal (área de pesca artesanal, APA) y la zona sur (47° S - 57° S; Área licitada AL), que corresponde al área de pesca industrial (**Figura 2**).

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

Por otro lado, debemos mencionar que la pesquería chilena de bacalao de profundidad ha sido el debido afrontar variadas innovaciones en los aparejos de pesca para hacer más eficiente la actividad pesquera en este recurso. En este sentido podemos mencionar algunos ejemplos de esto, como los experimentos realizados con espinel de fondo en la Región de Valparaíso; realizados durante los años 80s (Salas et al. 1987) y posteriormente, el desarrollo de la cachalotera (Moreno et al. 2006, 2008).

El principal método de pesca usado para capturar adultos de bacalao de profundidad ha sido 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 (cachaloterías). 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).

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. 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.

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. 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. 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, lo que sin embargo aún se logra eliminar completamente la merma (o daño) producida por mamíferos.

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

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.1 Objetivo específico N°1

“Implementar el procedimiento de manejo vigente, determinando el estatus del recurso y la captura biológicamente aceptable (CBA)”.

La Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA) establece que el objetivo del manejo es llevar a las pesquerías hacia niveles que provean el Rendimiento Máximo Sostenible (RMS) y el IFOP es la entidad requerida por la Subsecretaría de Pesca para proveer asesoría respecto de los niveles de Captura Biológicamente Aceptable (CBA) que permitan alcanzar este nivel.

La evaluación de stock de bacalao de profundidad está basada en datos de la captura histórica, su composición de tamaños y edades e índices de abundancia relativa dependientes de la pesca. Estos índices presentan una varianza considerable y consecuentemente, la evaluación del estado de situación (estatus) del stock está sujeta a un nivel importante de incertidumbre. Más aún, la estructuración en el espacio de la población de bacalao de profundidad explotado en el territorio marítimo chileno y las tasas de movimiento de los individuos a través de su ciclo de vida son desconocidos. Lo anterior requiere abordar la evaluación a través de hipótesis (modelos conceptuales) que ofrecen una interpretación razonable de los datos e información biológica y pesquera disponible.

La revisión de la LGPA del año 2013 introdujo la obligatoriedad de establecer un plan de manejo en las pesquerías que tienen su acceso cerrado. Esto involucra establecer los objetivos, metas y plazos para llevar la pesquería al RMS y las estrategias para alcanzar los objetivos y metas planteadas.

La pesquería de bacalao de profundidad aún posee un plan de manejo y consecuentemente, los objetivos, metas y plazos para llevar la pesquería al RMS y las estrategias para alcanzar estos objetivos y metas aún no han sido formalizados, y solo se han elaborado los antecedentes para la elaboración del plan de manejo de las pesquerías de bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) (SSPA, 2015). Por otro lado, es necesario mencionar que recientemente el comité de manejo fue dividido en dos, existiendo ahora un comité de manejo para el área de pesca artesanal (APA) establecida al norte de la latitud 47° S y otro comité de manejo para el área sujeta a licitación (AL), establecida al sur de esta latitud con representación mayoritaria del sector industrial.

El procedimiento o estrategia de manejo (PM) involucra: i) los diseños de recopilación de datos, ii) métodos de análisis y iii) las subsecuentes acciones de manejo para lograr los objetivos de la administración pesquera (Punt et al. 2014). En este sentido los datos e información pesquera y biológica son recopilados por el IFOP a través de sus programas de observadores científicos y de muestreo en puerto. Sin embargo, información relevante también es tomada desde otros proyectos del programa de investigación pesquera nacional y de la información científica y técnica que se encuentra publicada. El método de análisis de la información y datos disponibles de bacalao de profundidad es un modelo integrado de evaluación de stock (Maunder y Punt 2013).

En ausencia de los correspondientes planes de manejo que expliciten reglas de decisión para el APA y el área licitada (AL), el análisis de la CBA se realiza proyectando el stock bajo diferentes estrategias de explotación de mortalidad por pesca constante. Estas proyecciones están sujetas a incertidumbre, debido a la variabilidad en el reclutamiento y a la incerteza de la relación stock-reclutas. Sin embargo, como se indicó anteriormente la información incompleta respecto de la población, determina que la evaluación deba enfrentarse a través de casos de estudio, soportados en hipótesis alternativas respecto del tamaño, distribución y procesos demográficos de la población. Posteriormente esta información es comunicada al CCT-RDAP en la forma de un análisis de riesgo quien la emplea para establecer el rango de CBA de acuerdo con lo establecido en la LGPA.

En ausencia de un PM formal para las pesquerías de bacalao de profundidad, el Comité Científico Técnico Recursos Demersales Aguas Profundas (CCT-RDAP) en su sesión del 1° de agosto del año 2022, acordó conducir el análisis del estatus y las posibilidades de explotación de este recurso en el contexto de los siguientes dos casos alternativos de evaluación:

- i) Usando un modelo que integra toda la información disponible tanto del área de pesca artesanal como del área licitada (APA + AL). Este caso, que se ha implementado hasta la evaluación del año 2022 y durante el año 2024, se condiciona considerando que el bacalao de profundidad que estaría 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 realizadas en el Atlántico.
- ii) Usando un modelo que considera solo la información disponible para el área licitada (AL). En este caso se condiciona considerando que el bacalao de profundidad estaría distribuido en el área licitada corresponde a una población cerrada con relación a los individuos desovantes y al reclutamiento, y de este modo que ésta es independiente de las capturas realizadas en el área de pesca artesanal y en el Atlántico.
- iii) Un modelo que analice mediante un enfoque de datos pobres la condición del recurso al norte de la latitud 47°S, con la finalidad de analizar de la condición del recurso bajo un enfoque menos exigente en información, que permita conocer e integrar las particularidades de la flota artesanal.

En la mencionada sesión del CCT-RDAP, se decidió discontinuar la actualización del Caso 1 de evaluación, implementado entre 2014 y 2021. Esta decisión se tomó debido al cese del aporte de datos de la pesca en el Atlántico (ZEE Argentina) y a la falta de un acuerdo formal entre Chile y Argentina para la gestión conjunta de este recurso. En este contexto, la continuidad del caso de estudio resultaba incompatible con el esquema administrativo vigente. Cabe destacar que, en la revisión por pares realizada en 2014 (Polacheck 2015), se recomendó incluir en la evaluación de stock un caso en el que se asumiera que el bacalao de profundidad distribuido entre las plataformas Pacífica y Patagónica correspondía a un único stock (el Caso 1, vigente hasta la evaluación de 2021, que ahora ha sido discontinuado); un caso que considerara solo las capturas industriales (denominado área licitada o AL); y otro que incluyera tanto las capturas industriales como las artesanales chilenas (denominado APA + AL, correspondiente al Caso 2, implementado en la evaluación de 2021).

Posteriormente (2023), y mediante el ORD. N° 0893, el Subsecretario de Pesca y Acuicultura, solicita al director del Instituto de Fomento Pesquero, se realice una evaluación de datos pobres para analizar el caso de la pesquería de bacalao de profundidad en el área artesanal (APA) de forma adicional al enfoque nacional y al del área licitada. Esto según lo discutido en el trabajo del CCT y los requerimientos de la SSPA relacionados con solicitar análisis pesqueros y poblacionales independientes entre zonas de pesca de pesca.

Finalmente, mediante ORD N° 239/2024 se solicita para la revisión del estatus y nivel de CBA 2024, se realice bajo un enfoque nacional con el modelo estructurado realizado en la plataforma de modelación AMAK, la cual no considera los datos de pesca del Atlántico y no contempla la evaluación data pobre del área artesanal y del área licitada como herramientas cuantitativas para la toma de decisiones del presente año (**Tabla 1**).

Tabla 1.
Evolución de la metodología del análisis del estatus y las posibilidades de explotación del bacalao de profundidad.

Ítem	2012	2013	2014	2015 - 2021	2022	2023
Unidad poblacional	Área licitada y ZEE chilena.	Área licitada	Tres escenarios: Área licitada; ZEE chilena; ZEE chilena y argentina.	Dos escenarios: ZEE chilena; ZEE chilena y argentina	Área licitada y ZEE chilena.	Septiembre APA/AL Abril Nacional
Modelo conceptual explícito	No	No	Si	Si	Si	Si
Rango de edades	3 a 24+	3 a la 24+	3 a 30+	3 a 30+	3 a 30+	3 a 30+
Período de la evaluación	1989-2011	1989-2012	1978-2013	1978-2020	1978-2021	1978-2022
M	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Efecto de la cachalotera	No	No	Si	Si	Si	Si
Distinción datos de escamas y otolitos	No	No	Si	Si	Si	Si
Número de pesquerías	1 y 2 dependiendo del caso.	1	2 y 4 dependiendo del caso.	2 y 4 dependiendo del caso.	1 y 2 dependiendo del caso.	1 y 2 dependiendo del caso.
Selectividad	2 bloques; Domo.	1 bloques; Domo.	2 bloques en todas las pesquerías; todas logísticas	No paramétrica y variable en el tiempo y a través de las edades.	No paramétrica y variable en el tiempo y a través de las edades.	No paramétrica y variable en el tiempo y a través de las edades.
Relación stock-recluta	Beverton y Holt	No.	No.	Beverton y Holt	Beverton y Holt	Beverton y Holt
Steepness	0.6	1	1	0.6	0.6	0.6
Sigma R	0,5	0,8	0,6	0,75	0,75	0,75
Edad media de madurez sexual	12.4 años	12.4 años	12.4 años	8 años	8 años	8 años
Condición inicial	Equilibrio estocástico (cv=0.8)	Equilibrio estocástico (cv=0.8)	Equilibrio	Equilibrio	Equilibrio	Equilibrio
Índices CPUE	Chile: Industrial.	Chile: Industrial.	Chile: Industrial palangre Industrial Cachalotera Artesanal	Chile: Industrial palangre Industrial Cachalotera Artesanal	Chile: Industrial palangre Industrial Cachalotera Artesanal	Chile: Industrial palangre Industrial Cachalotera Artesanal
Capturabilidad	fija	fija	Variable en bloques	Variable en bloques		
Análisis depredación mamíferos	No.	No.	Si.	No.	No.	No.
Sensibilidades para fundamentar caso base	No	No	Si	Si	Si	Si
Uso comp long.	No	No	No	Si (91,95 - 2006)	Si (91,95 - 2006)	Si (91,95 - 2006)
Ec. de crecimiento	No aplica	No aplica	No aplica	Oyarzun et al.2003	Ojeda 2022	Ojeda 2022
Plataforma de trabajo	ADMB-11.0	ADMB-11.0	ADMB -11.1	AMAK	AMAK	SPiCT(APA)/AMAK (AL+APA)

El estudio de evaluación del estatus de bacalao de profundidad se sustenta en la aplicación del método científico y en el uso de la mejor información y conocimiento disponible del recurso y la pesquería a la fecha de ejecución, consecuente con la aplicación del enfoque precautorio en las pesquerías establecido por la FAO (1997) y el enfoque ecosistémico (FAO, 2003). Con ese propósito, se aplicaron procedimientos de trabajo científico (i. e., transparentes, auditables y reproducibles) e inclusivos (talleres y reuniones de trabajo grupales), con el fin de asegurar el cumplimiento del Proceso de Asesoría Científica y que la Administración cuente con ella, en el Proceso Decisional de Manejo de las principales pesquerías nacionales. Con el objetivo de asesorar al Comité Científico Técnico de Recursos Demersales Aguas Profundas (CCTRDAP), el estudio contempla la determinación del estatus actualizado del bacalao en el área nacional (APA+AL) de acuerdo con lo solicitado por el CCT. De forma complementaria se entregará una evaluación del estatus en el área de pesquería artesanal (APA) independiente del área licitada, acompañados de un análisis de las posibilidades de explotación biológicamente sustentables bajo el enfoque de procedimiento de manejo.

Para efectos de la presente investigación, y de acuerdo con lo planteado en los Términos Técnicos de Referencia (TTR) provistos por el mandante, se entenderá por Procedimiento de Manejo (PM) a la secuencia de actividades técnicas conducentes a entregar asesoría científica directa y oportuna para el proceso de toma de decisión. Según ello el PM considerará los siguientes elementos:

- i) los datos, información e indicadores de la pesquería que son empleados en la evaluación,
- ii) la evaluación propiamente tal (modelo basada o no) y
- iii) la regla de control de captura.

La regla de control de captura corresponderá a un algoritmo a través del cual se elige la mortalidad o tasa de explotación que debe implementarse para la estimación de la Captura Biológicamente Aceptable (CBA). Esta regla también contemplará el algoritmo de proyección de estimación de abundancia al año de implementación de la CBA de acuerdo con la posibilidad de estimación de PBR de acuerdo con el modelo de evaluación propuesto. En la implementación del PM de las pesquerías nacionales, es necesario, por tanto, clasificar a las pesquerías dentro de un sistema de niveles o “tiers” que permiten identificar la información disponible de las especies y su pesquería, los cuales se han convertido en una herramienta de uso común en la asesoría orientada al manejo pesquero en la actualidad.

Revisión de antecedentes y datos

Para la revisión de antecedentes de este recurso, las tareas realizadas abarcaron, desde la actualización y consolidación del conocimiento y de los antecedentes disponibles referidos a aspectos de la biología, dinámica y ecología de la especie con foco en el área nacional. Además, se recabaron y compilaron todos los datos e información disponible en el país y en la comunidad científica internacional. La información y los análisis propenderán a aplicar un enfoque temporal y geográficamente explícito, cuando sea posible y pertinente. Las escalas y niveles de agregación espacial y temporal deberán ser definidos en el contexto del mismo estudio, de acuerdo con el modelo conceptual la información disponible, las recomendaciones de expertos y los lineamientos definidos por los Comités Científico Técnicos y la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura al efecto.

Categorización del stock

Los Términos Técnicos de Referencia (TTR) de este proyecto, señalan que los procedimientos de evaluación de stock deben ser implementados con relación al nivel de conocimiento, información e incertidumbre del recurso, considerando los estándares actuales de la ciencia pesquera. En consecuencia, se consideró el enfoque de categorización de los stocks chilenos propuesto por el panel de expertos en el Taller Internacional de “Revisión de los Puntos Biológicos de Referencia (PBR) de las Principales Pesquerías Nacionales” (Payá *et al.*, 2014). El sistema de clasificación (tiers) planteó dos criterios: a) tipo de datos, y b) el método de evaluación de stock. Este sistema se encuentra alineado con el sistema de categorización planteado por Canales *et al.* (2011). Los tres tipos de Tiers propuestos para las pesquerías chilenas, son:

Tier 1: stock para los cuales existe un modelo de evaluación de stock edad o talla estructurada (e.j. análisis estadístico de captura a la edad) y que suministra estimaciones de la abundancia presente. Dentro de este Tier, se distinguen dos situaciones comúnmente:

Tier 1a. El punto de referencia máximo rendimiento sostenido (RMS) (FRMS y BRMS) y el punto de referencia BLIM pueden ser estimados con confiabilidad (u otro especificado) desde los parámetros estimados dentro de los modelos de evaluación.

Tier 1b. Proxies para los puntos de referencia en 1a son escogidos. La selección de estos proxies debería tomar en cuenta la incertidumbre del modelo de evaluación y el grado de resiliencia (o la falta de ella) de la especie.

Tier 2: stock para los cuales existe un modelo de biomasa dinámica (también conocidos como modelo de producción) o una aproximación empírica basada en datos de captura o abundancia relativa. Otros datos relevantes a modo de priors pueden también ser usados.

Tier 3: stock para los cuales no hay datos suficientes que permitan la aplicación de un modelo dinámico. Aproximaciones empíricas basadas inicialmente en datos de captura (sin datos de abundancia relativa), parámetros de historia de vida, y/o evaluaciones directas han sido usadas. Cabe señalar que actualmente los modelos y métodos que utilizan estructuras de tallas y parámetros de historia de vida, no fueron considerados en la revisión de PBR que realizó Payá *et al* (2014) y que hoy por hoy han sido también catalogados en este segmento (*Tier 3* y/o *Data Poor*) (Hordyk *et al.*, 2014; Rudd & Thorson, 2017; Canales *et al.*, 2020), por lo cual es necesario consignarlos en este tier para los efectos para este trabajo de investigación y asesoría.

Es pertinente destacar que el sistema de niveles descrito anteriormente es relativamente distinto al sistema de Datos Ricos, Datos Moderados y Datos Pobres utilizados por el US National Marine Fisheries Service (Restrepo *et al.*, 1998). El sistema de niveles descrito por (Payá *et al.*, 2014) hace hincapié en el tipo de análisis que son viables y no en la cantidad o la calidad de los datos. Lo anterior significa que, aunque no se disponga de puntos de referencia RMS a partir de una relación stock-recluta confiable, si es posible utilizar un valor de BRMS proxy (basado en la literatura y la experiencia) para estimar los PBR objetivos de esta pesquería.

Independientemente del nivel del estándar, se deberá además identificar y recomendar a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, la realización de estudios, cruceros, investigaciones, monitoreo y otras acciones conducentes a mejorar el estado de conocimiento del recurso bacalao de profundidad y la pesquería, con el fin de disminuir las brechas de conocimiento e información conducentes a reducir los niveles de incertidumbre. En este mismo proceso serán estimadas las bandas de incertidumbre para las variables de estado relevantes que definen el diagrama de fases sobre el estatus de los recursos que se explica a continuación.

Para determinar el diagnóstico y estatus de los principales recursos pesqueros nacionales en el contexto de la nueva Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA) se proponen puntos biológicos de referencia (PBR) y un marco biológico a emplear, el cual debe ser coherente con este tipo de recursos y modelos utilizados. La actual legislación establece que las pesquerías deberán alcanzar o estar en torno al Rendimiento Máximo Sostenido (RMS) así como los niveles límite que definen el agotamiento o colapso del recurso. El RMS se produce cuando el stock desovante se reduce sin impactar el reclutamiento promedio y para ello es necesario estimar los PBR. En resumen, este objetivo tiene por misión la clasificación de datos y modelos de evaluación posibles para bacalao de profundidad, y utilizar el sistema de “Tier” para determinar PBRs, que fueron definidos por (Payá, 2014).

Para determinar el estatus del recurso bacalao bajo un enfoque nacional y con ello, una propuesta de asesoría para el manejo, se estableció un nivel de requerimientos técnicos que propone los estándares

de an3lisis y evaluaci3n conforme a los niveles de conocimiento, informaci3n y calidad de los datos disponibles para esos fines, como se detalla m3s adelante. En este sentido se detalla un modelo conceptual, el 3rea de estudio y por 3ltimo, una descripci3n de los modelos estad3sticos para estimar variables poblacionales, aproximaciones del estatus y recomendaciones de manejo.

Distribuci3n del recurso y 3rea de estudio

El bacalao de profundidad tiene un amplio rango de distribuci3n geogr3fica en el hemisferio sur (**Figura 3**), principalmente asociado con las aguas fr3as ant3rticas y aquellas del Oce3no del Sur (Miller 1993). Por esto se considera que presenta una biogeograf3a circumpolar muy amplia y extendida de manera general al Pac3fico Sur Oriental (Arana et al. 1994, Murillo et al. 2008, Collins et al. 2010) y Occidental (Miller 1993) y al Atl3ntico Suroeste (Miller 1993). Sin embargo, se estima que esta especie puede tener un espectro de distribuci3n mucho m3s amplio que el conocido en la actualidad (Oyarz3n & Campos 1987, Dewitt et al. 1990).

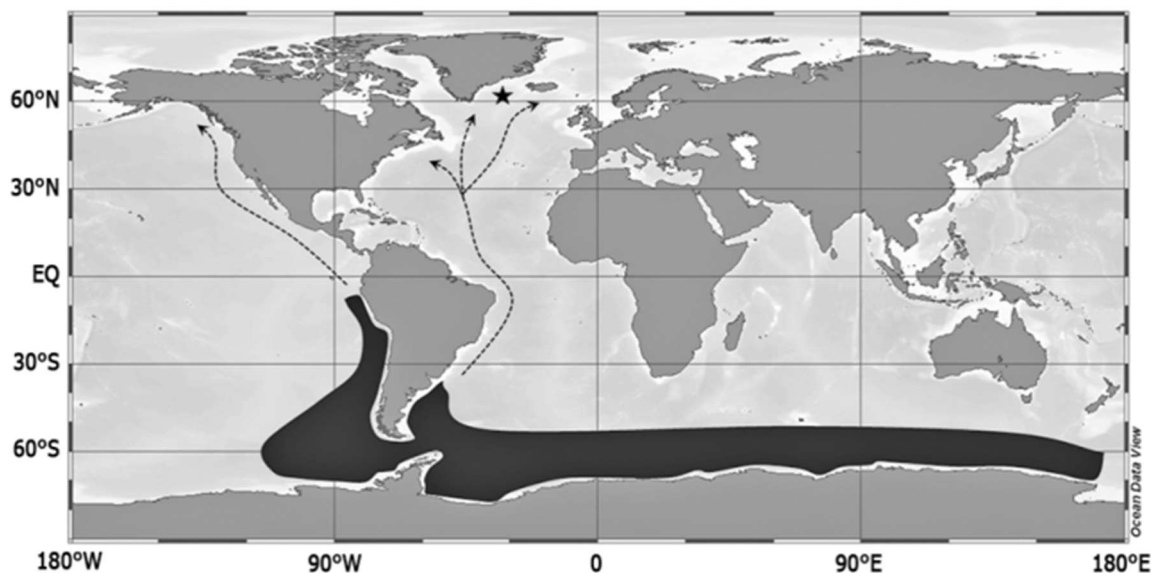


Figura 3. Distribuci3n generalizada del Bacalao de Profundidad (*Dissostichus eleginoides*), posibles rutas de migraci3n y extensi3n m3xima de distribuci3n (indicado con un s3mbolo de estrella) para esta especie seg3n Moller et al., 2003 (Aramayo, 2016)

Modelo propuesto para la evaluación de stock.

3.1.1 Descripción general del modelo de evaluación de la población en el área nacional y lícitada: AMAK, Assessment Model for Alaska (AFSC, 2015)

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 integrado (estructurado por edades) que proyecta la población hacia adelante a partir de una condición inicial, resolviendo los parámetros mediante 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 selectividad logística o usando coeficientes que son penalizados para lograr que la curvatura de la selectividad por edades pueda adoptar diferentes formas (i.e., logístico, domo). Además, es posible permitir que los parámetros que definen la selectividad varíen a través del tiempo a través de una caminata aleatoria.

La composición de edades/longitudes de la captura es modelada usando distribuciones multinomiales, requiriendo ésta de una medida del tamaño efectivo de muestra para cada año con información de edad/longitud. La incertidumbre de los parámetros estimados puede ser aproximada usando Markov chain Monte Carlo (MCMC) o a través de método delta (Magnusson et al. 2013). 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 I** 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 en el área lícitada, junto con las ecuaciones de verosimilitud.

3.1.2 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 - 2023.
 - Composiciones de edad 2007 – 2023 (otolitos).
 - Pesos medios a la edad 1995 – 2023.
 - Capturas 1978 – 2023.
 - Bitácoras de pesca FIP 96-32 1968 – 1997.
 - Registros de pesca artesanal (IFOP) 1998 – 2023.
- **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 – 2023.
 - Composiciones de edad 2007 – 2023 (otolitos).
 - Pesos medios a la edad 2007 – 2023.
 - Bitácoras de pesca industrial (AOBAC*) 2007 –2013.
 - Bitácoras de pesca industrial 2014 – 2023.
 - Capturas 2007 - 2023.

La interrupción de la colaboración técnica entre los equipos técnicos encargados de la evaluación de stock de bacalao de profundidad de INIDEP e IFOP, y la ausencia de un acuerdo entre los estados de Argentina y Chile para un manejo conjunto de este recurso, motivó la discontinuación del caso de evaluación que incluía los datos de la actividad pesquera desarrollada en el Atlántico. Este acuerdo fue tomado en la sesión del 1° de agosto de 2022 del Comité Científico de Recursos Demersales de Aguas Profundas de aguas profundas (CCT-RDAP).

3.1.3 Composiciones de longitud/edades

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. 2019, San Juan et al. 2020) y luego son expandidas al desembarque para ser usadas en el modelo de evaluaci3n de stock y en el estudio de la composici3n de edad de las capturas (**Figura 4**). Los datos de composici3n de longitud de las capturas industriales y artesanales de los ańos 1991 a 2006 son empleados en el modelo de evaluaci3n de stock en sustituci3n de los datos de composici3n de edades obtenidos a través de la lectura de edades en escamas (Tascheri, 2021).

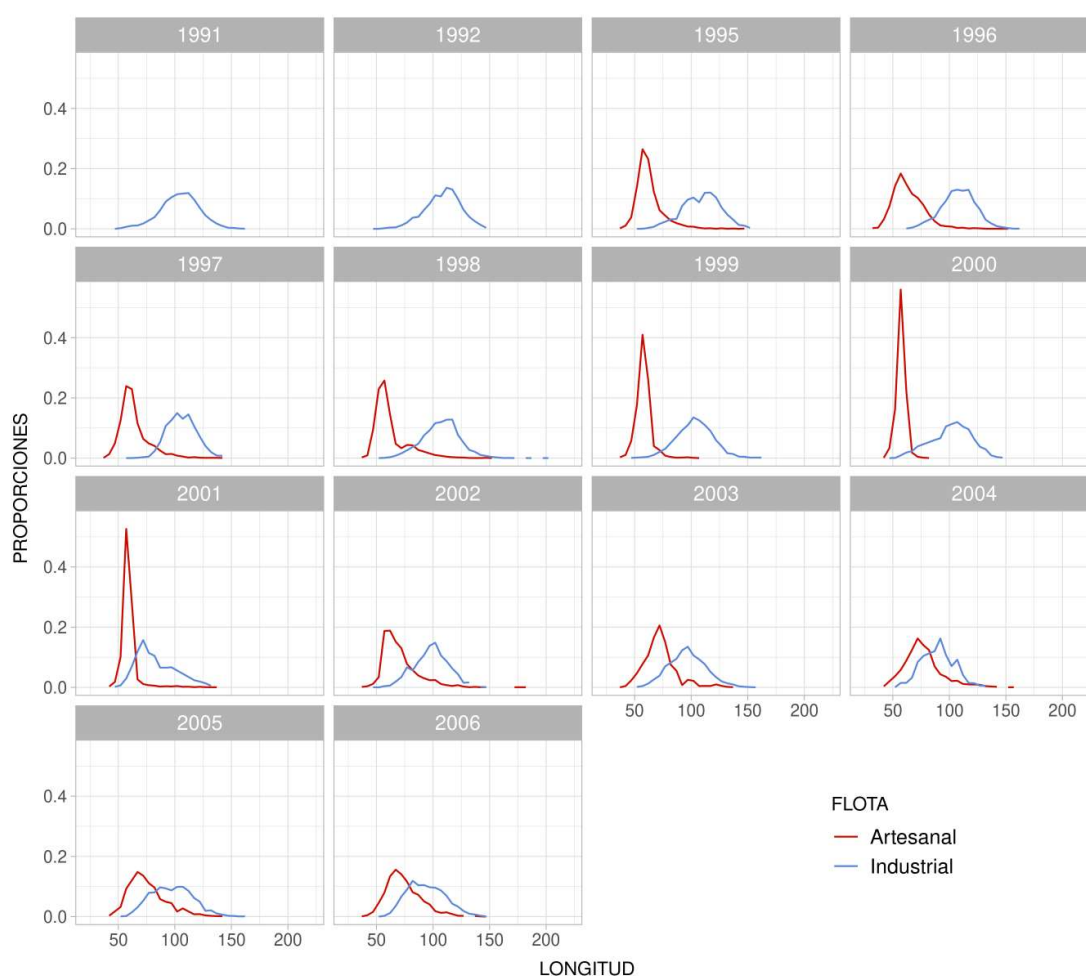


Figura 4. Composici3n de tamańo de las capturas de industriales y artesanales ańos 1991 a 2006 (fuente: IFOP).

Para evitar la subestimación de las cohortes más viejas en los años previos a 2007 (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 de edades de las capturas de las pesquerías artesanal e industrial, que se basan en la lectura de otolitos, se encuentran disponibles para los años 2007 a 2023 (**Figura 5**). En el procedimiento de estimación de las matrices de captura a la edad también se producen matrices de pesos medios por grupo de edad.

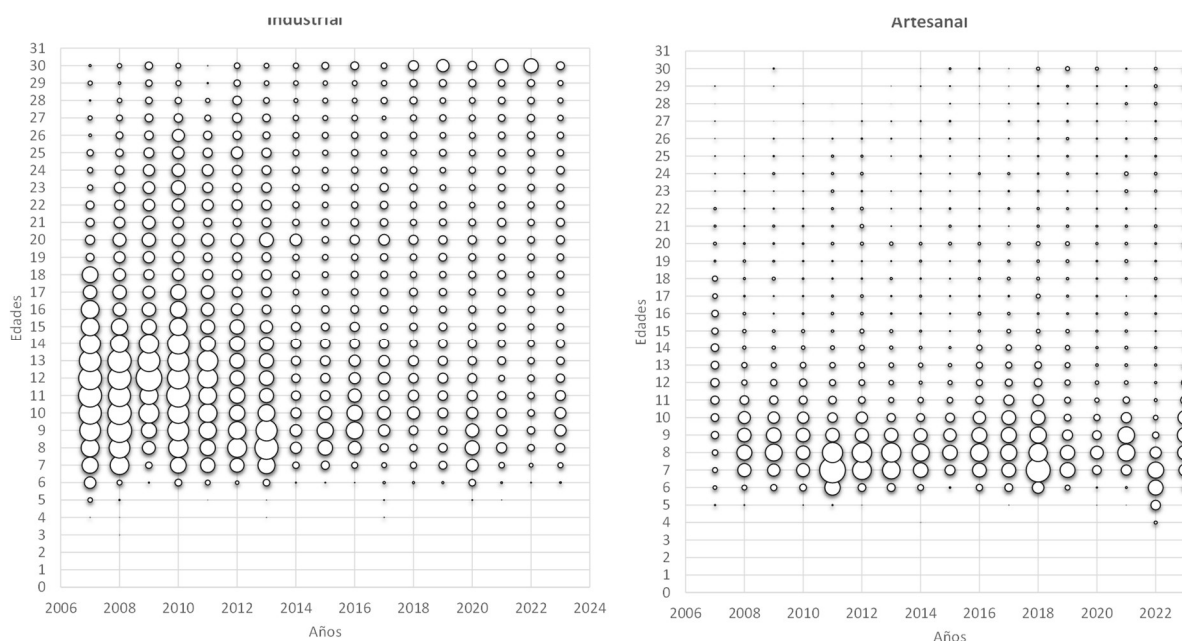


Figura 5. Series de composición de edades de las capturas artesanales e industriales de bacalao de profundidad y que son estimadas a partir de la lectura de la edad en otolitos.

3.1.4 Bitácoras de pesca y registros oficiales de captura

Bitácoras de pesca industrial recopiladas por IFOP

La base de datos de bitácoras de pesca industrial mantenida por el IFOP contiene información de la operación de pesca a la escala del lance y se extiende entre los años 1998 y 2023. 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. 2019) y de bitácoras recopiladas indirectamente a través del Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA). Esta base de datos es mantenida por el IFOP en un banco centralizado de datos usando el sistema Oracle.

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 obtuvieron de 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. 2019, San Juan et al. 2020). 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 2023 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 consolidaron 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 AOBAC¹ 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.

¹ <https://www.aobac.cl/>

Índices estandarizados de abundancia relativa

Los datos de captura y esfuerzo disponibles se han utilizado en la estimación de tres índices de abundancia relativa, los que corresponden a la pesca con palangre industrial (1992 – 2006; Tascheri et al. 2015), la pesca industrial con cachalotera (ver **ANEXO III**) y la pesca artesanal.

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 las modificaciones más recientes hechas a este último.

3.1.5 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 altos niveles 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 los artesanales. Hasta el año 2012, la flota artesanal no estaba sujeta a la obligación de usar un sistema de posicionamiento satelital y 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 del 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, entre estas 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 se describen a continuación:

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 revisaron cada año los datos de captura por barco y puerto de operación recopilados por el instituto, para 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 *Polyprion 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. Algunos de los registros de desembarque artesanales de las Regiones XI y XII fueron trasladados al desembarque industrial.
4. 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 1991² y 1999 y de este modo los desembarques de bacalao de profundidad no incluirían distorsiones por esta causa a partir del año 2000. Entre 2002 y 2014, el IFOP también insertó revisiones a los desembarques oficiales en los proyectos de seguimiento y evaluación de stock, pero a diferencia de la revisión de 1989 a 2001, estas ediciones no se documentaron. En particular, las capturas industriales de los años 2005 a 2010 y las capturas artesanales de los años 2003 a 2012 y del año 2014 incluidas en la evaluación de stock. Dado los antecedentes antes comentados, parece evidente la necesidad de revisar las capturas históricas utilizadas en esta evaluación para distinguir series de captura alternativas y probables y estudiar su impacto en los resultados de la evaluación. Una iniciativa de este tipo ya fue materializada por el Comité científico Técnico de los Recursos Demersales de la Zona Centro Sur (CCT-RDZCS) la que podría servir de guía para una actividad similar en el CCT-RDAP en el contexto de esta pesquería.

Descartes

El Artículo 7B de la Ley 20.625 LGPA indica que los descartes deben ser considerados en el proceso de establecimiento de la cuota global anual de captura. Consecuentemente, tanto en la determinación del estatus como en los cálculos de la CBA se han tomado en consideración los descartes industriales según fueron informados para los años 2015 a 2023 por el Programa de Investigación del Descarte y Captura de Pesca Incidental (PIDCPI; Bernal et al. 2020, 2021, 2022 y 2023).

Es importante notar que el proyecto de estatus no considera las estimaciones de captura retenida y total producidas por el PIDCPI sino el factor de descarte estimado por este proyecto (**Tabla 2**). Este factor es luego aplicado a la captura oficial para producir una captura corregida por descartes. Este factor se encuentra disponible para la captura industrial y de este modo, los datos de captura usados en el modelo de evaluación no incluyen correcciones por descarte de las capturas artesanales. Se presume, sin embargo, que los descartes artesanales no son significativos (CCT-RDAP. Acta Sesión 02/2021).

² 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 2.

Captura retenida (registro oficial) y porcentaje y factor de descarte estimados por el PIDCPI. La columna Retenida + Descarte corresponde a la aplicación del factor sobre el registro oficial.

Año	Captura retenida	Descarte %	Factor	Retenida + Descarte
2015	1117	7.88	1.085	1212
2016	1302	1.77	1.012	1325
2017	1302	12.2	1.139	1483
2018	1270	4.10	1.043	1325
2019	1270	2.69	1.028	1305
2020	1202	2.00	1.020	1226
2021	1536	4.50	1.050	1609
2022	1510	2.00	1.020	1540
2023	1397	1.13	1.010	1411

3.1.6 Evaluación del estatus basado en la biomasa desovante

Los cambios en el potencial reproductivo de la población de bacalao se midieron 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 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).

3.1.7 Evaluación estatus usando el 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 RMS y además 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 a través del tiempo con relación al nivel de explotación 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: 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.

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} : $F_{RMS} = F_{45\%SPR}$

Sustituto de B_{RMS} : $B_{RMS} = \bar{R}_g SPR_0 0,45$

BLIM se define: $B_{LIM} = 0.5B_{RMS}$

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

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 Revisi3n de los Puntos Biol3gicos de Referencia (Rendimiento M3ximo Sostenible) en las Pesquerías Nacionales (Payá et al. 2014) se propuso el siguiente diagrama, en donde los límites de la zona de plena explotaci3n has sido definidos como $0,95PBR_{RMS}$ y $1,05PBR_{RMS}$. Esta figura es solicitada formalmente, con la configuraci3n presente en la **Figura 6**, de acuerdo con los términos técnicos de referencia, así como también mediante ORD: N°1068 de la SSPA.

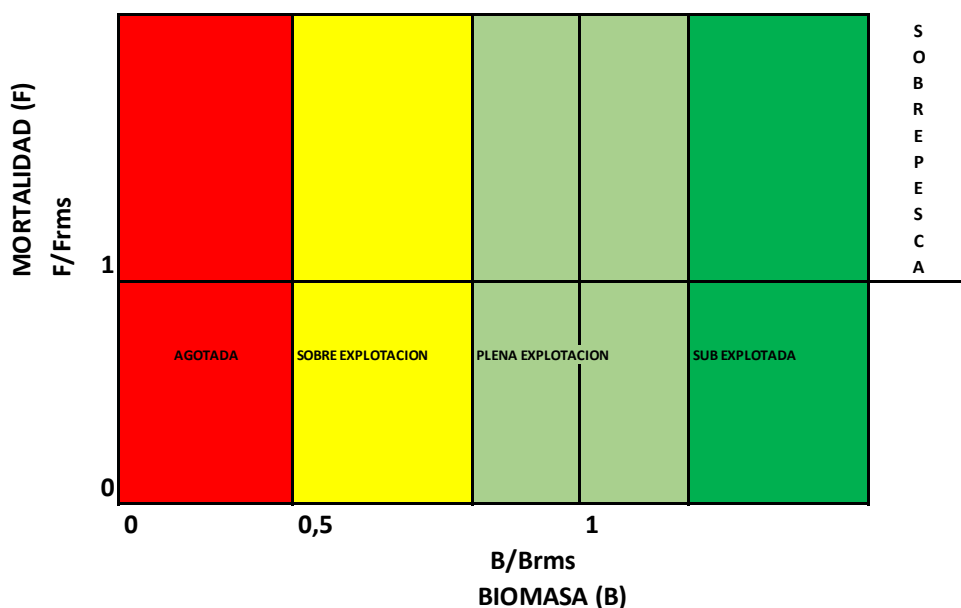


Figura 6. Marco biológico de referencia. El área de plena explotaci3n se representa entre $0.95B_{RMS}$ y $1.05B_{RMS}$.

3.1.8 Categorización del stock

En virtud de precisar la propuesta metodológica que tiene relación a la clasificación de datos y modelos de evaluación posibles para bacalao de profundidad, se procede a utilizar el sistema de “Tier” para determinar PBRs, y el modelo utilizado definidos en función del siguiente esquema de clasificación de pesquerías detallado en la **Figura 7**.

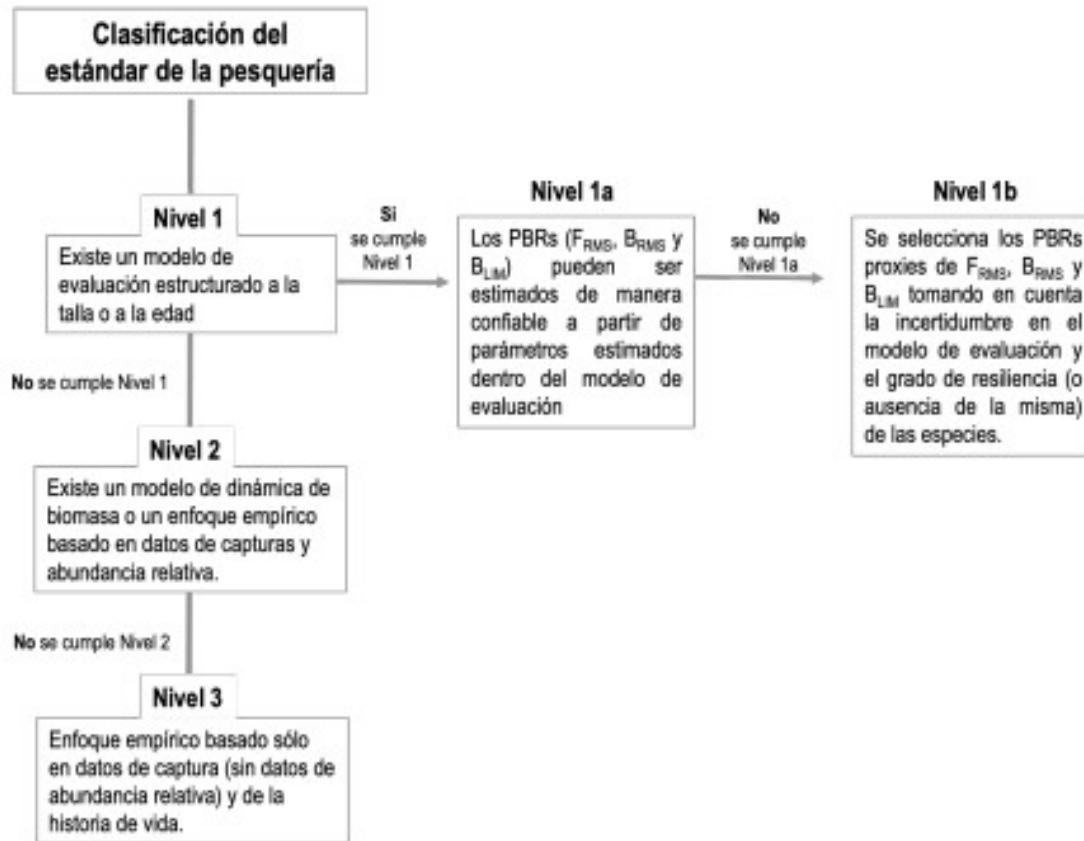


Figura 7. Sistema de niveles para la determinación de los PBRs de acuerdo con la cantidad, tipo y la calidad de la información disponible y, métodos de evaluación de stock empleados en cada pesquería (Payá *et al.*, 2014).

En el año 2015, el CCT-RDAP adoptó formalmente la BRMS como PBR objetivo y BLIM como 0,5 BRMS (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).

3.1.9 Análisis de Captura Biológicamente Aceptable.

Para estimar la CBA, la población fue proyectada al año 2025 utilizando la selectividad y el número de individuos por grupo de edad estimados para el año 2024, asumiendo como capturas las cuotas de pesca fijadas para este año, obteniendo esta información del archivo de consumo de cuotas del mismo año 2024 proporcionado por SERNAPESCA con fecha 2/9/24 (<https://www.sernapesca.cl/informacion-utilidad/consumo-de-cuotas/>).

Las estrategias de explotación evaluadas correspondieron 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 solicitadas en el seno del CCT-RDAP durante el año 2024. De conformidad con el marco legal vigente, en la determinación de la CBA se tomaron en consideración los descartes según fueron informados por el Programa de Investigación del Descarte y Captura de Pesca Incidental (Bernal et al. 2022).

3.2 Objetivo específico N°2

“Evaluar bajo incertidumbre la probabilidad de alcanzar los objetivos de manejo en plazos definidos bajo el procedimiento de manejo vigente”.

Análisis de riesgo asociado a la recomendación de CBA

Se realiza un análisis de riesgo frente a la toma de decisiones respecto a la Captura Biológicamente Aceptable (CBA). Siguiendo a FAO (1995), se define el riesgo como “la probabilidad de que suceda algo indeseable”. En este caso, el suceso indeseable es rebasar los puntos de referencia objetivo especificados en este documento, es decir, el FRMS. A diferencia del enfoque de “evaluación óptima”, que usa estimaciones puntuales, en el análisis de riesgos la incertidumbre en las cantidades de interés para el manejo es representada como una distribución de probabilidades en torno a la recomendación, en este caso, de las CBA (Captura Biológicamente Aceptable).

Se considera el establecimiento de un percentil entre un 10% - 50% de probabilidad de sobrepasar el objetivo de manejo propuesto por este análisis (FRMS). El percentil corresponde a una distribución de probabilidad acumulada y representa la probabilidad de estar en el RMS. Se determina el rango de CBA seleccionado el percentil de probabilidad y escenario de condiciones de F proyectado (RMS, Status Quo, reducción porcentual, rampa, etc.) con foco en la mortalidad por pesca al RMS. Este percentil de probabilidad es equivalente a un nivel que se calcula a partir de la captura estimada para cada percentil de probabilidad y la captura al FRMS, de este modo, se tiene un nivel de referencia de cuanto se está resguardando, considerando la condición del recurso, lo cual queda expresado de la siguiente manera;

$$f(\text{probabilidad}) = \frac{\text{Captura } (i)}{\text{Captura } (F_{PBR})} * 100, i = \text{Percentil de Captura (10\%; 50\%)}$$

Donde la Captura (i) es la captura estimada para cada percentil de probabilidad (10% - 50 %) y Captura al Frms que corresponde a la media (50% probabilidad) (**Figura 8**).

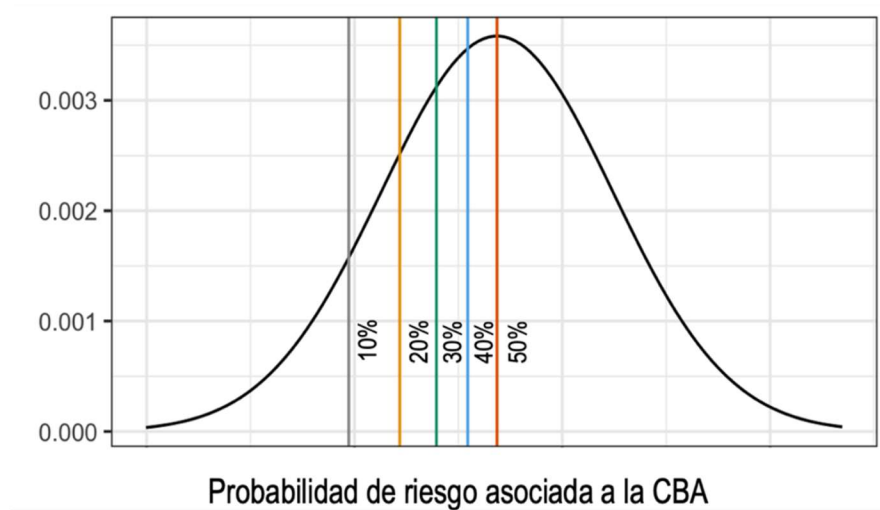


Figura 8. Representaci3n de percentiles de riesgo asociados a la recomendaci3n de CBA en funci3n de la distribuci3n de probabilidades (media y desviaci3n estandar). Las lneas de colores son los quintiles del 10% al 50%.

Análisis de sensibilidad, desempeño e incertidumbre de los modelos de evaluaci3n de stock.

Para disponer de mäs certidumbre en el análisis y posterior asesoría se plantean tres escenarios de modelaci3n para la evaluaci3n de stock del bacalao bajo el enfoque nacional. Esta propuesta de escenarios considera elementos plausibles, donde aún existen cuestionamientos sobre la hipótesis utilizada en el modelo base. En estos términos y durante la tercera sesi3n del CCT-RDAP, donde se trataron temas relacionados al procedimiento de manejo actual del recurso y de los escenarios alternativos a presentar en el marco de asesoría para la toma de decisi3n se consider3 poder evaluar mediante un análisis de sensibilidad para el estudio que considera la informaci3n y datos a escala del área lícitada (AL). Estos sub-casos se pueden clasificar en modificaciones en la mortalidad natural considerada (M), en el steepness (h) y de la madurez sexual utilizadas para la realizaci3n del ajuste. En este sentido, la Tabla 3 presenta un detalle de los casos a evaluar.

Tabla 3.

Escenarios de modelaci3n propuestos para el bacalao de profundidad bajo el enfoque nacional.

Caso	Steepness	M	madurez	Escenario
S0	0.6	0.15		
S1	0.5	0.15		h
S2	0.7	0.15	Balbontin	
S3	Libre	0.15	et al., 2011	
S4	0.6	0.1		M
S5	0.6	0.2		
S6	0.6	0.15	Oyarz3n et al., 2003a	Madurez

Como resultado de este conjunto de an3lisis, se presentarn resultados comparativos en funci3n de las variables de inter3s, estado de la poblaci3n en 3ltimo a3o de an3lisis (2023), y su relaci3n con la condici3n virginal del aporte en la verosimilitud total de los distintos componentes incluidos en la funci3n de ajuste del modelo.

par3metros m3s importantes como biomasa estimada y PBRs. Cabe se3alar, que el **S0** se constituye como el **escenario base** para efectos de eventuales recomendaciones de manejo.

Por otro lado, toda evaluaci3n de stock est3 sujeta a supuestos representados en procesos o par3metros que a menudo son conocidos. La incertidumbre estructural se basa en analizar c3mo podr3an cambiar las variables poblacionales y la percepci3n respecto de la poblaci3n frente a variaciones en par3metros considerados relevantes. En relaci3n con este objetivo, se detallan las fuentes de incertidumbre relevantes asociadas a errores de observaci3n, de modelo, de proceso, de estimaci3n y de implementaci3n en relaci3n con estas pesquer3as, las que pueden variar dependiendo del contexto espec3fico. A continuaci3n, se presentan detalles asociados a algunas fuentes de incertidumbre comunes asociadas a los an3lisis y pesquer3as objetivo:

Error de observaci3n: Errores de medici3n o muestreo en la recopilaci3n de datos de la pesquer3a. Tambi3n la posibilidad de tener sesgos o errores sistem3ticos en los m3todos de observaci3n de los datos.

Errores de modelo: Se refiere a simplificaciones o suposiciones excesivas en la formulaci3n del modelo ya sea de producci3n de excedentes o global o uno basado en tallas. Sin embargo, ac3 se asumen ciertos supuestos por las limitaciones de los datos recopilados (error de observaci3n). Se puede incurrir en este error por falta de inclusi3n de factores relevantes en los modelo estad3sticos e incluso conceptuales (Saltelli et al., 2008).

Errores de proceso: Este tipo de error es uno de los más complejo de asumir y evaluar, dado que son errores inherentes a la variabilidad natural en los procesos biológicos o ambientales (Walters & Martell, 2004). Generalmente se asocia a cambios imprevistos en las condiciones o factores que afectan a las pesquerías y sus dinámicas. También se puede considerar que este error se magnifica cuando no hay una completa comprensión de los mecanismos subyacentes que rigen el proceso sobre el cual los peces se desarrollan (Jorgensen & Fath, 2011).

Errores de estimación: Este se consigna como un error de muestreo al inferir características de una población a partir de una muestra que puede no ser representativa de los patrones buscados, y sea por una falta de representatividad o sesgos en la selección de la muestra en los programas de monitoreo pesquero.

Errores de implementación: Este error se refiere a las desviaciones entre la implementación planificada y la implementación real. En específico, es cuando la cuota extraída o la recomendación de manejo pesquero no tiene consistencia con la realidad de la pesquería y su fiscalización o seguimiento (Reed, 2008). En este caso no es posible evaluar este error, dado que no existe un procedimiento de manejo formal que haga operativo las recomendaciones propuestas.

Como este es un análisis exploratorio de datos y de las variables poblacionales y estatus de la pesquería, es posible evaluar el error de modelo a través de un análisis retrospectivo para bacalao de profundidad. El análisis retrospectivo es un diagnóstico para evaluar la fuente de incertidumbre de que implica correr el modelo eliminando años de datos sucesivos consecutivamente para estimar el sesgo del modelo (Cadurin & Vaughn 1997; Cadigan & Farrell 2005). Se realizará un análisis retrospectivo para probar la consistencia del modelo base antes señalado. Este análisis permitirá evaluar la robustez frente a nuevas piezas de información lo que también permitirá validar el escenario “caso alternativo”. Este análisis consiste en una validación cruzada de naturaleza sistemática en la que es removido secuencialmente el último año de información y se evalúa su impacto en las tendencias poblacionales. Este análisis permite determinar si hubo un patrón consistente de sobreestimación o subestimación en años sucesivos de la biomasa desovante y mortalidad por pesca utilizados en la determinación del estatus.

Estadístico Rho: El estadístico rho de Mohn (1999) se ha utilizado comúnmente para medir el patrón retrospectivo. Corresponde a la suma de la diferencia relativa entre los valores de la serie de tiempo reducida estimada por el modelo y los mismos valores estimados de la serie de tiempo completa.

$$\rho = \sum_{y=1}^{npeels} \frac{X_{Y-y,tip} - X_{Y-y,ref}}{X_{Y-y,ref}}$$

Donde X corresponde a alguna variable de la evaluación de stock, tales como BD o F, “y” corresponde a los años, npeels es el número de años que son disminuidos de manera sucesiva, “Y” es el último año de la serie de tiempo completa, “tip” es la estimación terminal de la serie de tiempo reducida, y “ref” es la serie de tiempo completa. Este cálculo será cero cuando la serie de tiempo reducida se encuentre exactamente con la serie de tiempo completa, o cuando las diferencias entre la serie disminuida y la serie completa están en equilibrio tanto positivo como negativo. El rho de Mohn será grande, ya sea positivo o negativo, cuando hay un patrón consistente de cambio en la serie de tiempo reducida respecto a la serie completa. Estos resultados serán presentados en la sesión del CCT-RDZAP así como también formarán parte de la versión final del presente estudio.

Para evaluar este objetivo bajo el enfoque de pesquería nacional y en la zona AL, se realizarán proyecciones de la población en un horizonte de mediano plazo (5 años) y largo plazo (50 años), este último periodo corresponde con un período generacional (Horn 2002), el cual es un período apropiado para juzgar la probabilidad de alcanzar los objetivos de manejo bajo las estrategias de mortalidad por pesca constante aplicadas para los cálculos de CBA. El reclutamiento proyectado utilizó 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 selectividad correspondió a aquella estimada para el año 2023.

En cada situación el desempeño de cada una de las estrategias fue estudiado en términos de la reducción de la biomasa desovante en el año 50 de la proyección respecto de la biomasa presente en el año 2023 (B_{2074}/B_{2023}), la reducción de la biomasa desovante en el año 50 respecto de la biomasa objetivo ($B_{2074}/BRMS$), el riesgo de que la biomasa en el año 50 fuese inferior a la biomasa objetivo ($P(B_{2074} \leq B_{RMS})$) y el riesgo de que al final del período proyectado la pesquería se encuentre en un estado de agotamiento ($P(B_{2074} \leq [0,5B]_{RMS})$). En cada situación y bajo cada una de las estrategias de explotación analizadas, se contabilizó el tiempo en años que le toma a la población alcanzar la región de plena explotación. La evaluación se realizó también con una proyección en el corto plazo de 5 años respecto de la biomasa actual.

3.2.1 Diagn3stico del modelo de evaluaci3n

Los modelos de evaluaci3n de stock estructurados por edades pueden exhibir gran complejidad y diversidad de tama1o en t3rminos del n3mero de par3metros 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 motivaci3n para la realizaci3n de talleres t3cnicos orientados solo a este aspecto de la evaluaci3n de stock (Punt y Kinzey 2009, Harley y Maunder 2003).

Entre las conclusiones de estos talleres se encuentran la necesidad de efectuar regularmente un an3lisis de las cantidades estimadas versus las observadas, gr3ficos de residuales, examinar las distribuciones marginales de los ajustes de los datos de composici3n (edades/longitudes) y estudiar regularmente los an3lisis de sensibilidad e incertidumbre de los modelos e hip3tesis alternativas relevantes que modifican la configuraci3n del modelo base. Estos an3lisis ser3n reportados en mayor detalle en la versi3n final del estudio.

Bondad de ajuste

Para juzgar si los 3ndices han sido ajustados satisfactoriamente, adem3s del examen gr3fico del ajuste, se emplean dos indicadores:

La desviaci3n est3ndar 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 ra3z del cuadrado medio del error (RCME):

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

Donde, n es el n3mero de observaciones en la serie e y es un 3ndice de los a1os.

3.3 **Objetivo específico N°3**

“Asesorar a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, al Comité Científico Técnico y a los Comités de Manejo en las materias técnicas y de oportunidad que esta Subsecretaría requiera”.

En función de las instancias de preparación y elaboración de los análisis e informe de evaluación de stock de bacalao solicitados por el mandante y por el CCT-RDAP, se describen los hitos que se realizaron para tal objetivo. En este sentido se consideraron los siguientes hitos;

- a. Reuniones técnicas entre el equipo de trabajo, sectorialistas que fundamentaron los análisis.
- b. Presentaciones en CCT-RDPA con presentación de esquema de trabajo y análisis realizados.
- c. Solicitud formal mediante oficios emanados por el mandante.

A su vez, se presenta un esquema de trabajo proyectado eventual en la medida que este análisis siga siendo necesario para los propósitos de administración y manejo de esta pesquería.

4. RESULTADOS

AL+APA: Modelo que incluyó datos registrados a escala nacional (flotas industrial y artesanal).

4.1 Objetivo específico N°1 Enfoque Nacional (Zonas APA+AL)

“Implementar el procedimiento de manejo vigente, determinando el estatus del recurso y la captura biológicamente aceptable (CBA)”

4.1.1 Resultados evaluación de stock (Variables poblacionales: Enfoque Nacional)

El ajuste de las composiciones de edad de las capturas industriales parece particularmente bueno entre los años 2007 y 2016, posteriormente las observaciones hacen más complejo el ajuste. En este sentido se aprecia que el modelo subestima los grupos de edad 20 y mayores en los años 2008-2016 y los grupos de edad 25 y mayores entre los años 2019 y 2022 (**Figura 9**). Entre los años 2012 y 2023, el modelo también sobrestima las edades 15 a 20. En años recientes se ha observado una importante acumulación de individuos en el grupo plus (30+), que el modelo puede reproducir solo en los años 2014, 2015, 2016, 2018, 2020 y 2023 (**Figura 9**).

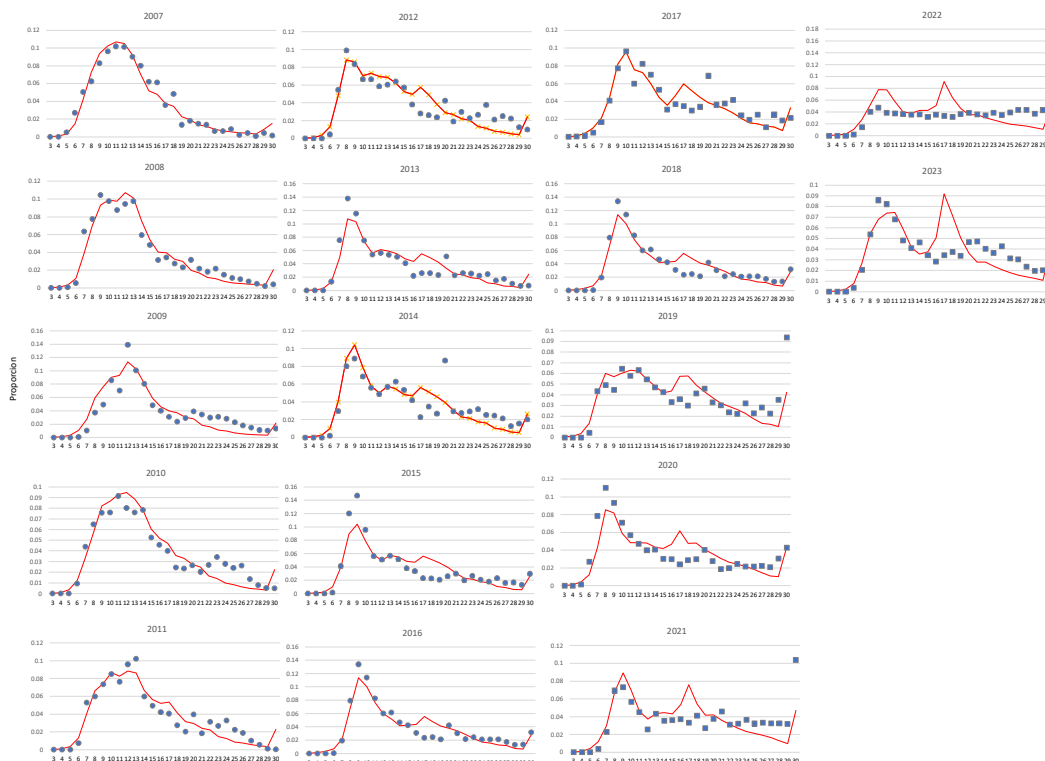


Figura 9. Ajuste del modelo a los datos de composición de edades de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota industrial entre los años 2007 y 2023. Evaluación a escala nacional.

El ajuste del modelo a los datos de edad media de las capturas extraídas por la flota industrial es moderado, con una tendencia a la subestimación de la edad media en los años 2018-2023, con excepción del año 2020, pero dentro de los rangos de edad media observados (**Figura 10**). En términos generales por lo tanto el modelo es capaz de reproducir la tendencia y al menos la variabilidad de las observaciones de las estructuras de la flota industrial.

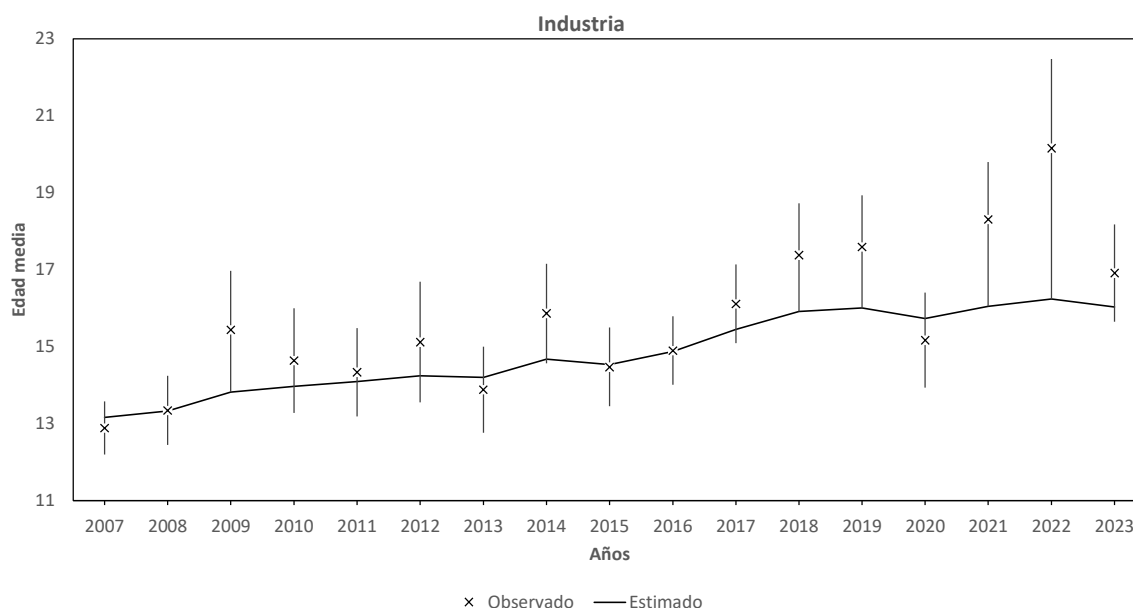


Figura 10. Ajuste del modelo a la edad media de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota industrial entre los años 2007 y 2023. Evaluación a escala nacional.

Cuando se considera el ajuste global del modelo nacional a la estructura de edad de las capturas extraídas de la flota industrial entre los años 2007 y 2023, se observa que el modelo intenta reproducir la proporción de edades medias de las capturas, pero a partir de la edad 15 el modelo pierde precisión con una tendencia a sobrestimar la proporción de capturas entre las edades 15 y 19, particularmente la edad 17 y a subestimar los individuos más grandes (**Figura 11**).

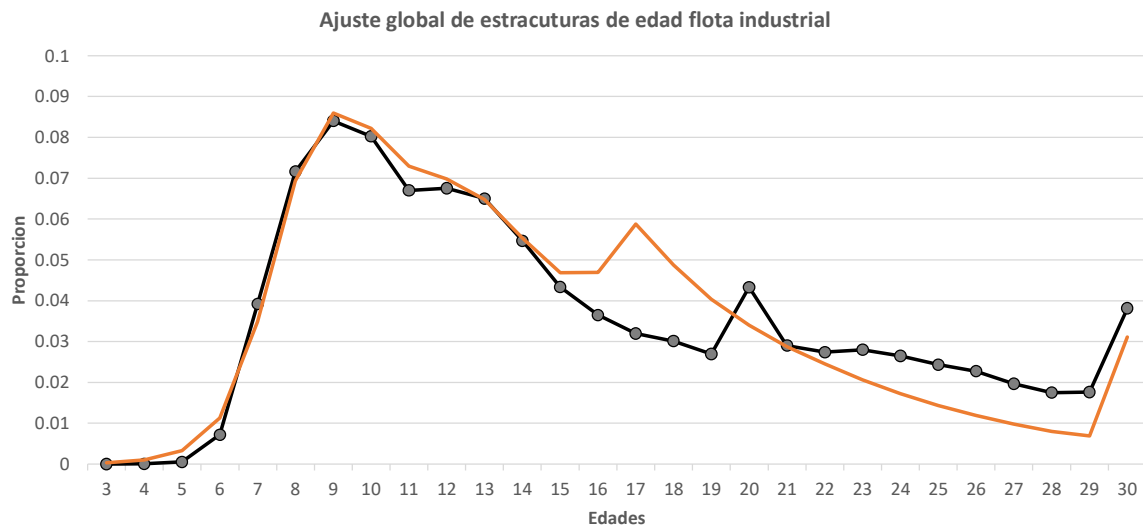


Figura 11. Ajuste global del modelo a la estructura de edad de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota industrial entre los años 2007 y 2023. Evaluación a escala nacional.

La **Figura 12** presenta el ajuste del modelo nacional a las observaciones de edad de la flota artesanal, destacando que, con excepción del año 2007, el modelo tiene un importante ajuste de las composiciones de edad en la captura. Adicionalmente, se puede comentar que, debido a un problema de ajuste en el año 2007, se obtuvo una subestimación de la edad modal y sobreestimación de los grupos de edad 4 al 19. En los años 2008-09, 2011 y 2018, sin embargo, el modelo subestimó marginalmente los grupos de edad modales. Para el año 2022 el modelo pierde precisión y subestima las edades 5, 6 y 7. Esta imprecisión en el ajuste de la modelo continua en 2023, con una tendencia a la sobrestimación de las edades 5, 6 y 7, y subestimación de la edad modal y el grupo de edad 20.

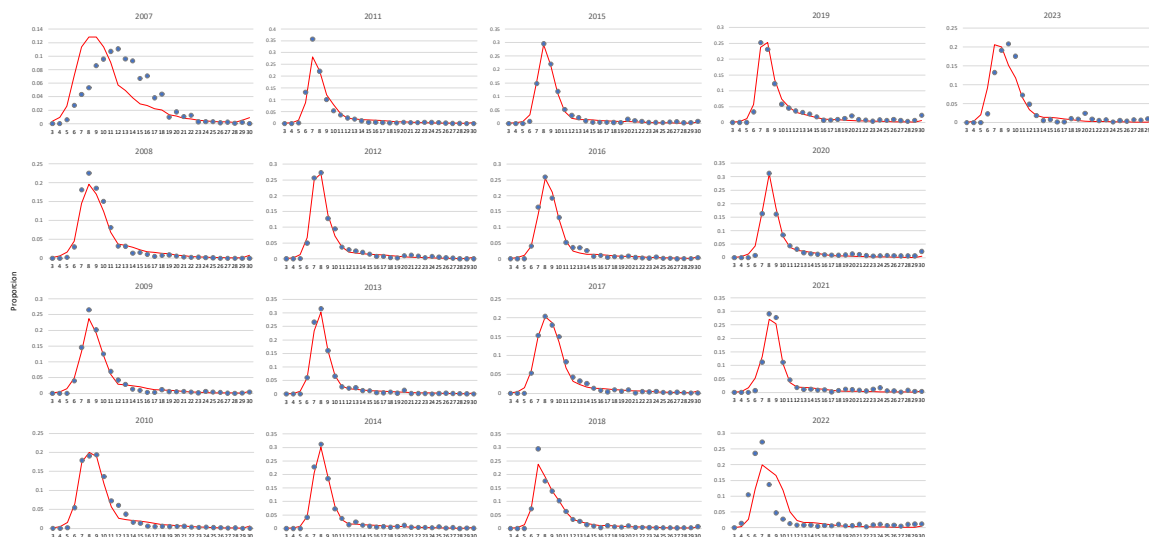


Figura 12. Ajuste del modelo a los datos de composición de edades de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota artesanal entre los años 2007 y 2023. Evaluación a escala nacional (APA + AL). En puntos observaciones y en línea roja estimación del modelo.

En la **Figura 13** se muestra el ajuste del modelo a los datos de composición de edades medias de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota artesanal entre los años 2007 y 2023. En los años 2014, 2017 y 2022, el modelo realiza una adecuada estimación de la edad media de las capturas, estimándolas entre los 9 y 10 años. En los años 2007, 2019-2021 y 2023 aunque el modelo tiende a subestimar la edad media de las capturas, esta se encuentra dentro del rango de variabilidad de las edades medias observadas en las capturas de la flota artesanal.

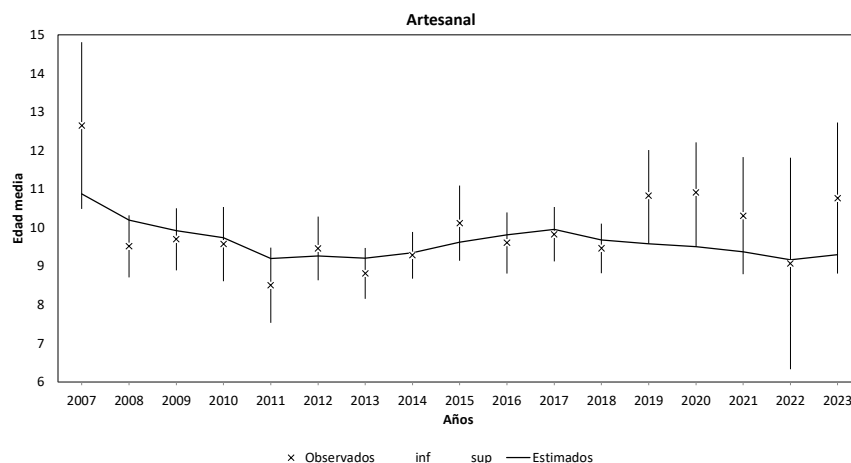


Figura 13. Ajuste del modelo a los datos de composición de edades medias de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota artesanal entre los años 2007 y 2023. Evaluación a escala nacional. En puntos observaciones y en línea roja estimación del modelo.

En términos globales, el modelo presenta un ajuste importante a la estructura de edades extraídas de la flota artesanal, particularmente a la edad modal y los grupos de edades superiores a la edad 21 (Figura 14).

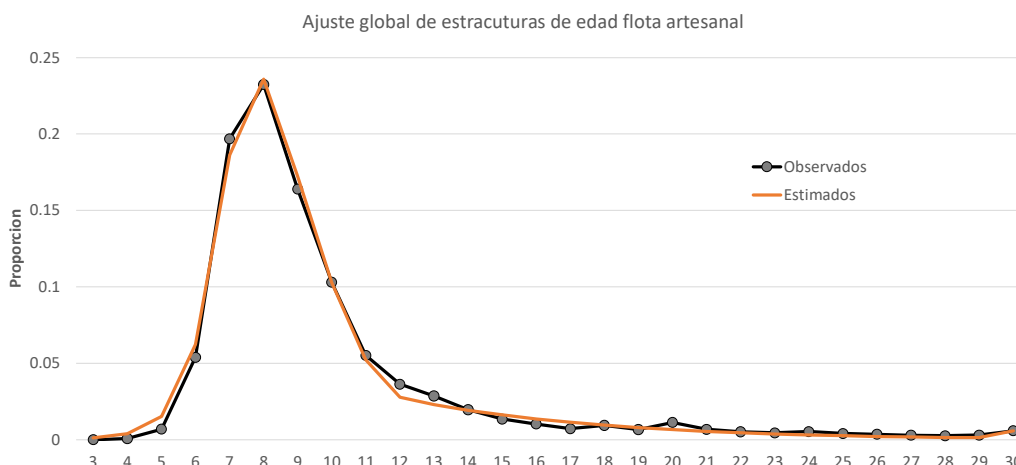


Figura 14. Ajuste global del modelo a la estructura de edad de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota artesanal entre los años 2007 y 2023. Evaluación a escala nacional. En puntos observaciones y en línea roja estimación del modelo.

El ajuste de las composiciones de longitud de la captura industrial presentó algunos inconvenientes, donde se aprecia que el modelo subestimó las frecuencias de las clases de longitud total (LT) superiores a 50 cm e inferiores a 100 cm del año 2001 y sobrestimó las frecuencias de las longitudes 100 cm a 150 cm LT del mismo año. El modelo también subestimó las frecuencias modales de los años 1991, 1999-2000 y 2002-2006 (Figura 15).

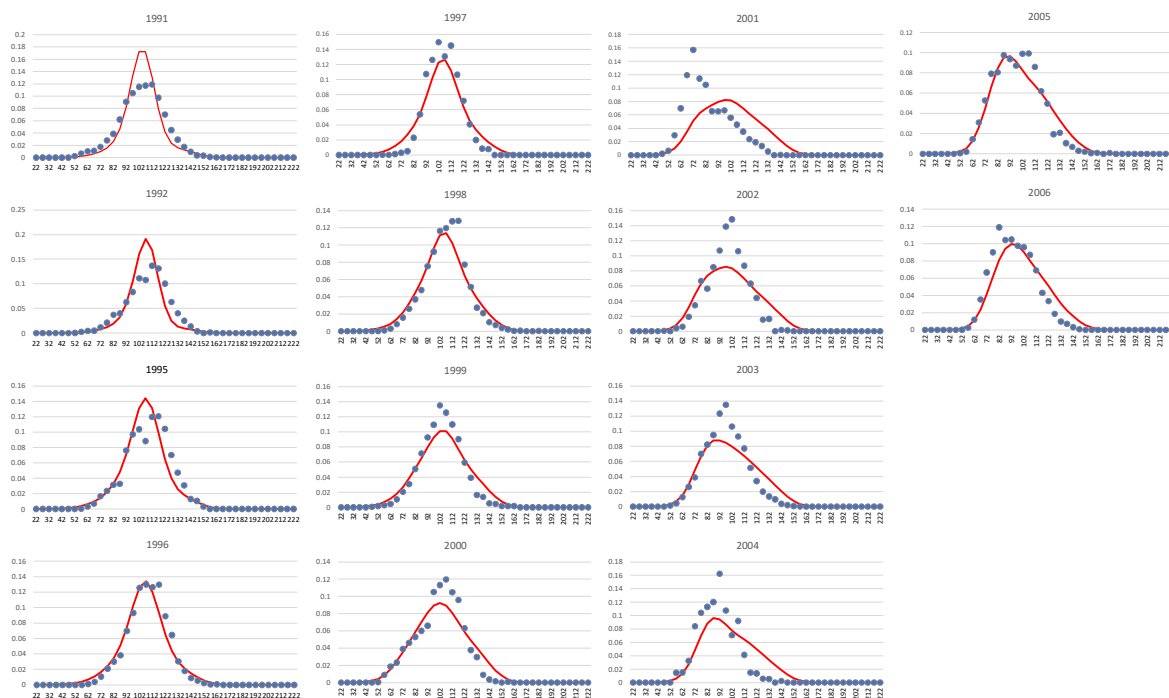


Figura 15. Ajuste del modelo a los datos de composición de longitudes de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota industrial en los años 1995 a 2006. Evaluación a escala nacional (APA + AL).

Los ajustes del modelo a las composiciones de longitud de la captura artesanal de los años 1996, 2002 y 2004 a 2006 fueron relativamente buenos. Sin embargo, el modelo experimentó dificultades para ajustar las frecuencias modales de los años como se aprecia en la mayoría de los años utilizados para el ajuste (**Figura 16**).

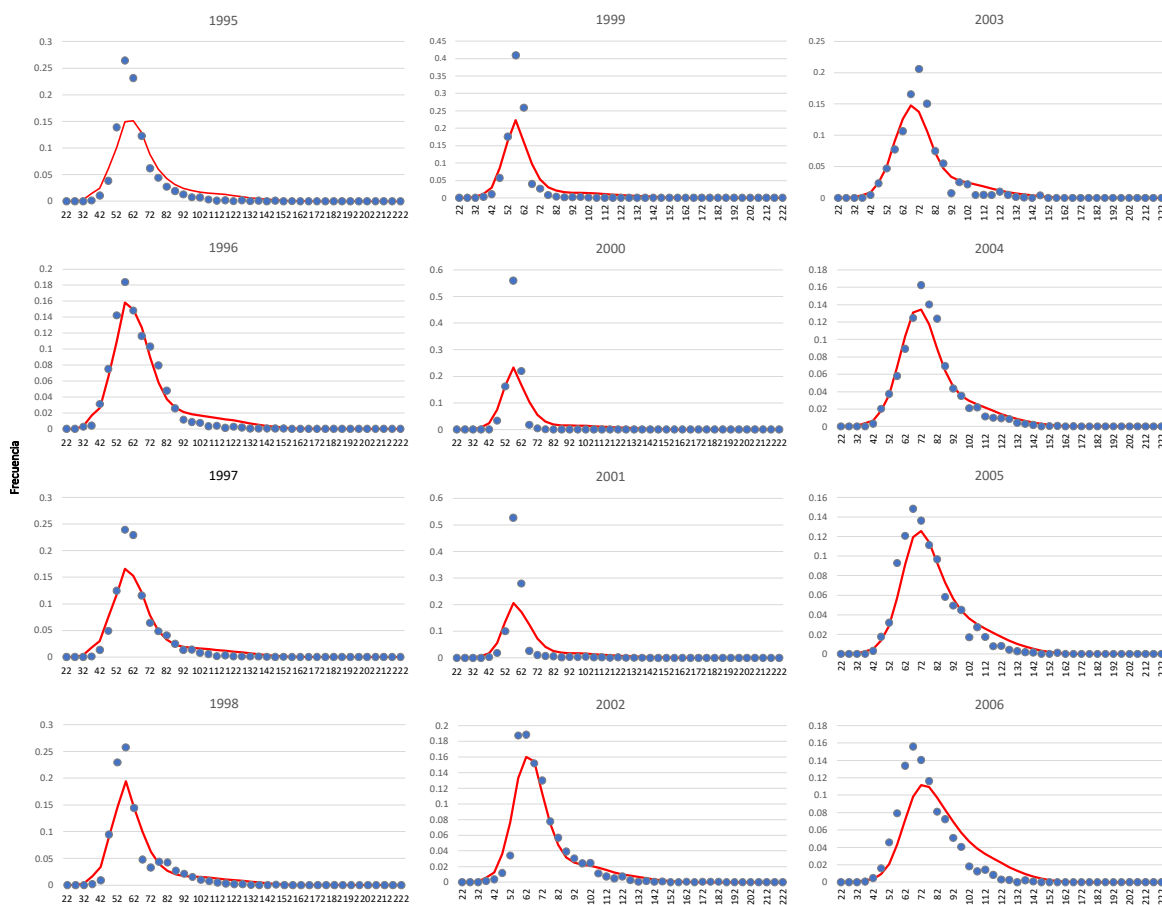


Figura 16. Ajuste del modelo a los datos de composición de longitudes de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota artesanal chilena entre los años 1995 y 2006. Evaluación a escala nacional (APA + AL).

Los ajustes a los índices de captura por unidad de esfuerzo (CPUE) sugieren una tendencia decreciente de la abundancia relativa del recurso durante el periodo 1992-2006 (**Figura 17**). El índice de abundancia relativa se caracteriza por presentar, en ambas series, periodos de decaimiento poblacional. Así se aprecia que el modelo estima que entre los años 1992-1999, la población presentó un decaimiento, y luego una estabilización entre los años 2000-2006. En la siguiente serie en tanto, se aprecia valores en un nivel de magnitud distinta, que de igual forma el modelo reproduce la tendencia de un decaimiento entre los años 2007-2019, y posterior estabilización de la abundancia entre los años 2020 y 2022. Los índices sugieren además una relativa estabilidad de la abundancia en los últimos 5 a 10 años. Otras características notables del ajuste del modelo a estos índices son: la clara diferencia en la tasas de captura obtenidas con el palangre español vs la cachalotera (**Figura 17** datos flota industrial) lo que justifica la decisión de separar estas series en el modelo; las dificultades que experimenta el modelo para ajustar los altos valores de CPUE observados en estas series, en particular los observados en los índices industriales; los valores de CPUE estimados entre los años

2021 y 2023, en la flota industrial como en la artesanal, sugieren una estabilidad en la abundancia del recurso en estos años (Figura 17).

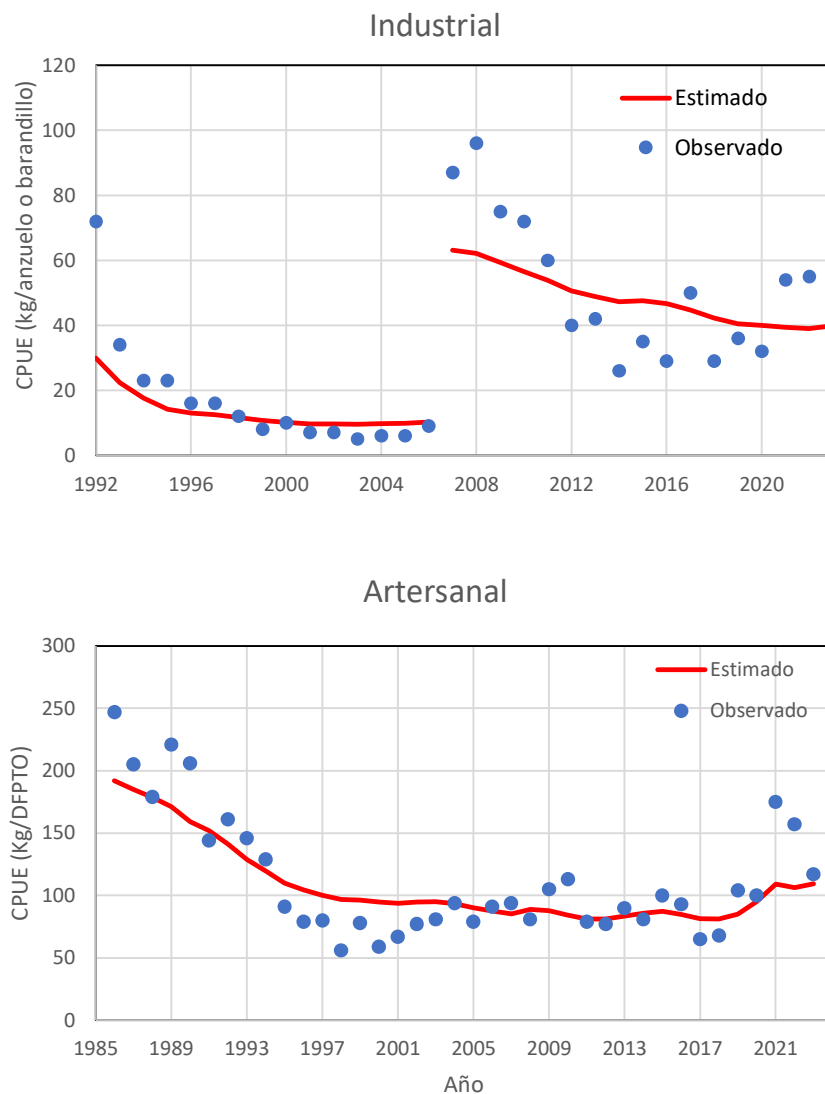


Figura 17. Ajuste del modelo a los índices de abundancia relativa. arriba: ajuste de los índices estimados con datos de la pesca de palangre (1992-2006) y cachalotera (2007-2023). abajo: ajuste del índice estimado con datos de la pesca artesanal (1986-2023). Evaluación a escala nacional (APA + AL).

El ajuste de las capturas coincidió con el bajo coeficiente de variación asumido para este componente de los datos, por lo que, en la **Figura 18**, se observa la relación y confianza en esta pieza de información.

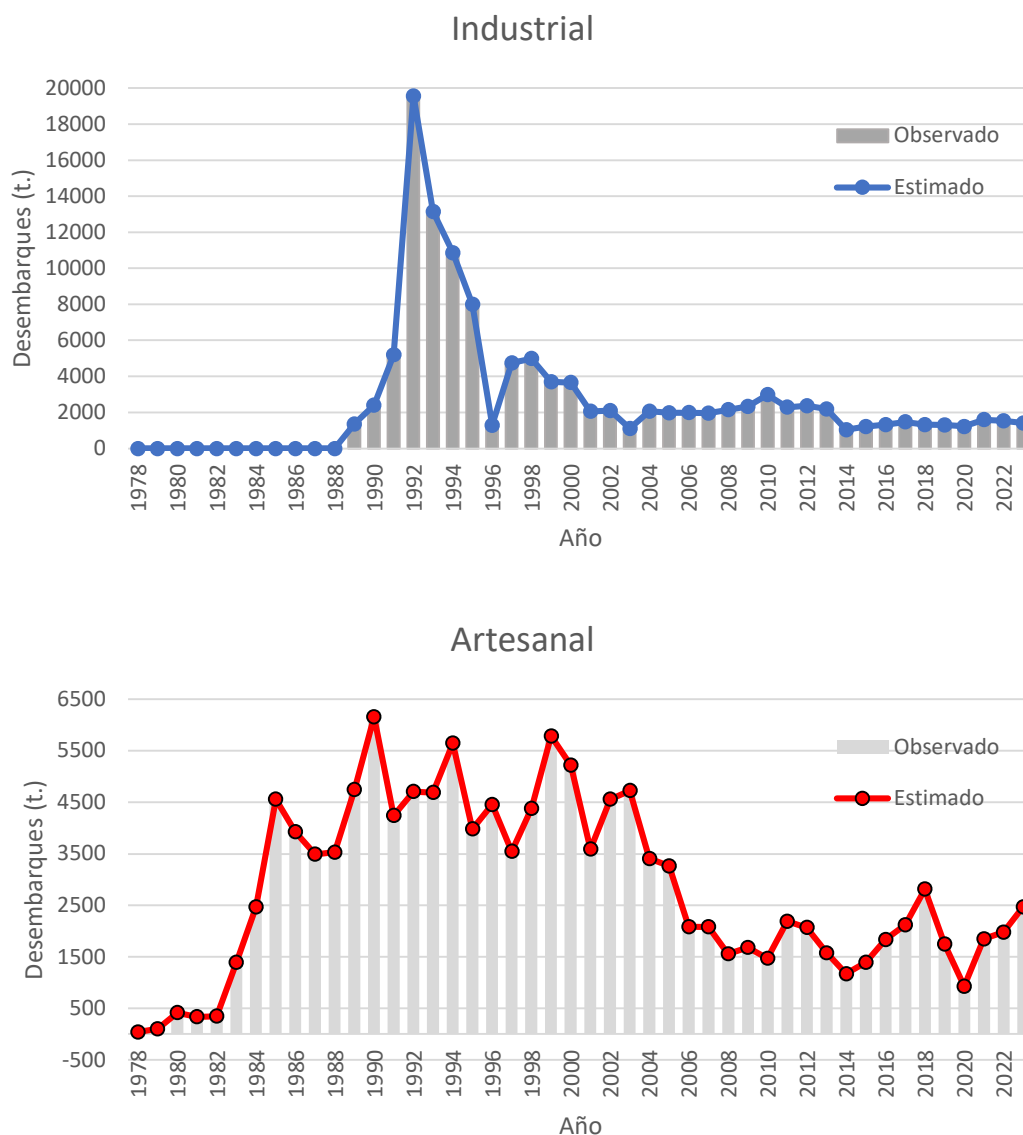


Figura 18. Ajuste del modelo a las capturas industriales (1989-2023) y artesanales (1978-2023). Modelo escala nacional (APA + AL).

4.1.2 Estimaciones de parámetros

Capturabilidad

En el desarrollo de la pesca industrial chilena la flota ha empleado dos tipos de palangre: el sistema espa3ol y la cachalotera (o sistema trotline), este 3ltimo normalmente incluyendo redes de exclusi3n de cetáceos (cachaloterías). La cachalotera fue introducida gradualmente entre los a3os 2006 y 2007, convirtiéndose en el 3nico aparejo de pesca utilizado por esta flota a partir del a3o 2008.

La diferente estructura de estos aparejos, en combinaci3n con las diferentes áreas de operaci3n, resulta en diferencias en la eficiencia de pesca y para incluir este efecto en el modelo de evaluaci3n se estiman parámetros de capturabilidad diferentes para cada flota/aparejo (**Tabla 4**). El proceso de estandarizaci3n de los datos de captura y esfuerzo de la flota industrial y artesanal para obtener índices de abundancia relativa se describe en el **Anexo 3**.

Tabla 4. Capturabilidad estimada por flota para los índices de abundancia relativa incluidos en los escenarios base de los casos de evaluaci3n: evaluaci3n nacional.

Aparejo/flota	Capturabilidad (q)	Desv.Est (q)
Palangre Industrial	0.000100	0.17838
Cachalotera	0.000604	-
Espinel artesanal	0.000763	0.11578

Selectividades

AMAK permite la estimaci3n de coeficientes por edades que permiten que la selectividad pueda tomar m3ltiples formas. Estos coeficientes pueden, además, variar en el tiempo a través de una caminata aleatoria. Esto permite capturar las variaciones en el tiempo de los patrones selectivos de los distintos métodos de pesca que no se podrían apreciar utilizando formas paramétricas tradicionales para modelar la selectividad. La complejidad en los patrones selectivos se puede apreciar en las selectividades de la flota industrial estimadas en el caso evaluaci3n (**Figuras 19**). El patr3n hist3rico de la selectividad ha sido consistente entre las diferentes implementaciones de la evaluaci3n usando este modelo. La **Figura 19** además presenta que las flotas están mermando distintas fracciones de la poblaci3n, mientras la industria se caracteriza por presentar patrones de explotaci3n de individuos más longevos, la flota artesanal concentra su interés en capturar en edades entre los 6 y 9 a3os.

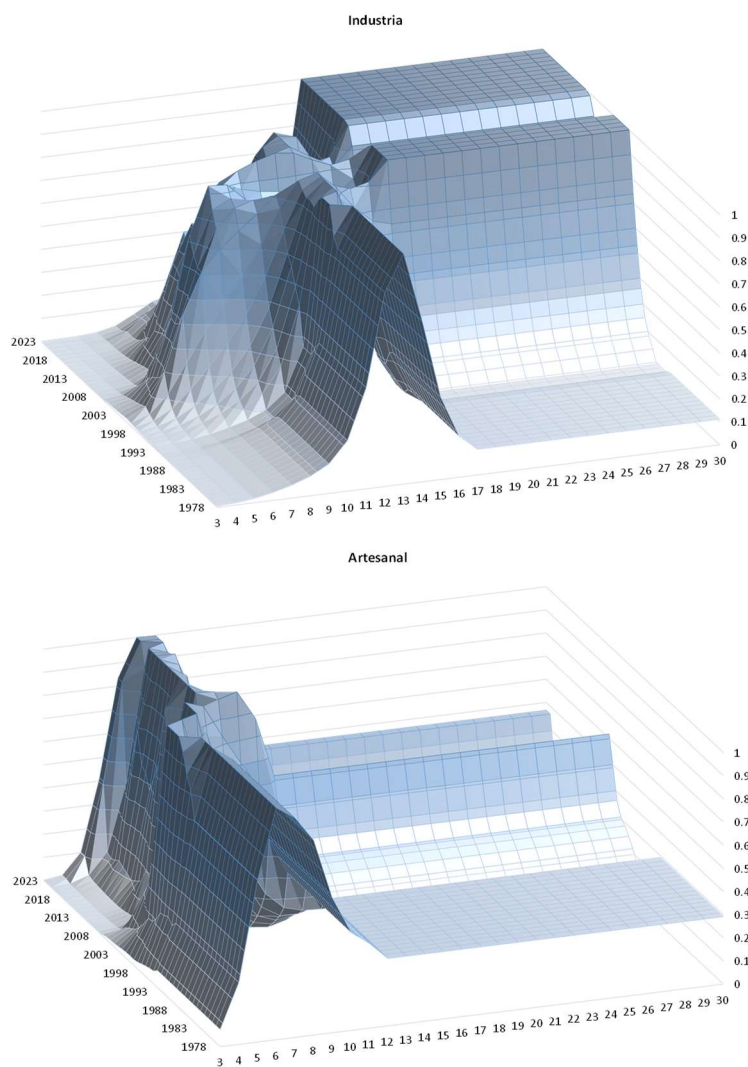


Figura 19. Selectividades estimadas para las flotas industrial y artesanal. Modelo nacional (APA + AL).

Mortalidades

Entre 1978 y 1990 el desarrollo de la demanda en el mercado norteamericano y los incentivos para incrementar la capacidad de pesca artesanal a fin de fomentar la actividad econ3mica sustentada en la pesca de este recurso, motivaron un r3pido incremento del esfuerzo y la mortalidad por pesca en el 3rea de pesca artesanal (**Figuras 20**). Cabe destacar que tanto la flota industrial como artesanal han registrados niveles de mortalidad por pesca inferiores al nivel conocido de mortalidad natural ($M=0.15 \text{ a}\tilde{n}o^{-1}$).

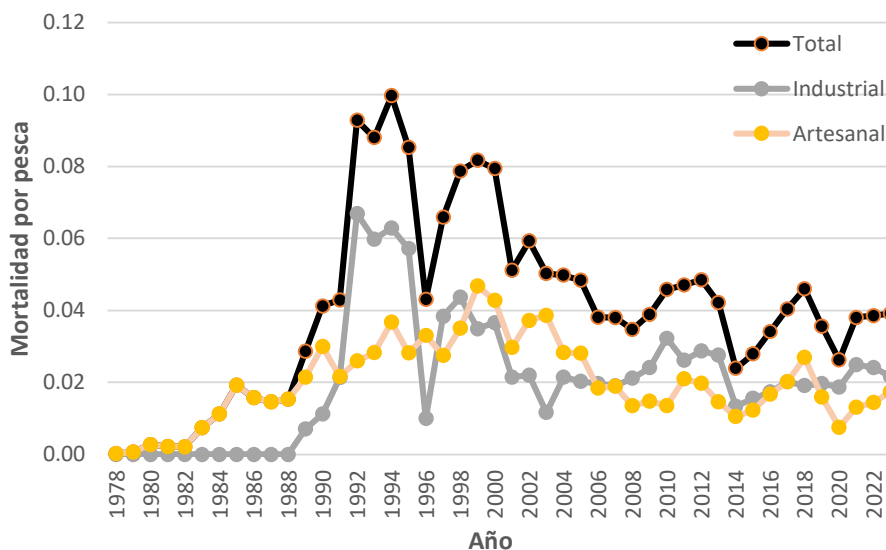


Figura 20. Mortalidades por pesca de las edades completamente reclutadas a la pesquería de bacalao de profundidad. Total: mortalidad total; Industrial: pesquería industrial; Artesanal: pesquería artesanal. Modelo nacional (APA + AL).

Reclutamientos

Los reclutamientos estimados en la zona APA+AL, son presentados en la **Figura 21**. en esta figura se aprecia que los reclutamientos se han presentado variables en la serie de estimaciones, evaluando tres periodos con incrementos por sobre una media de 3.5 mil individuos (10^6), los cuales corresponden a los años 1997, 2015 y 2020. En relación con los desvíos del reclutamiento estimado se aprecian tres periodos diferenciados por sus tendencias, entre los años 1995 y 2000 los desvíos fueron positivos, entre el año 2001 y 2013 negativos, que se corresponde con caídas en el reclutamiento por debajo de la media, con una mayor magnitud en 2005 y 2012, y finalmente entre los años 2015 y 2020 registran valores positivos nuevamente. En 2021 los reclutamientos tienden a caer bajo la media, pero con menor magnitud, revirtiéndose en 2023. En la relación stock recluta (SR), se observa que el reclutamiento estimado en 1981, no presenta relación con los reclutamientos medios estimados por el modelo. Este alto valor de reclutas, se estaría estimando para poder explicar las estructuras de longitud observadas en el año 1991, y no tendrían efecto en las variables de interés, al no modificar la relación SR (que se ajusta al resto de observaciones).

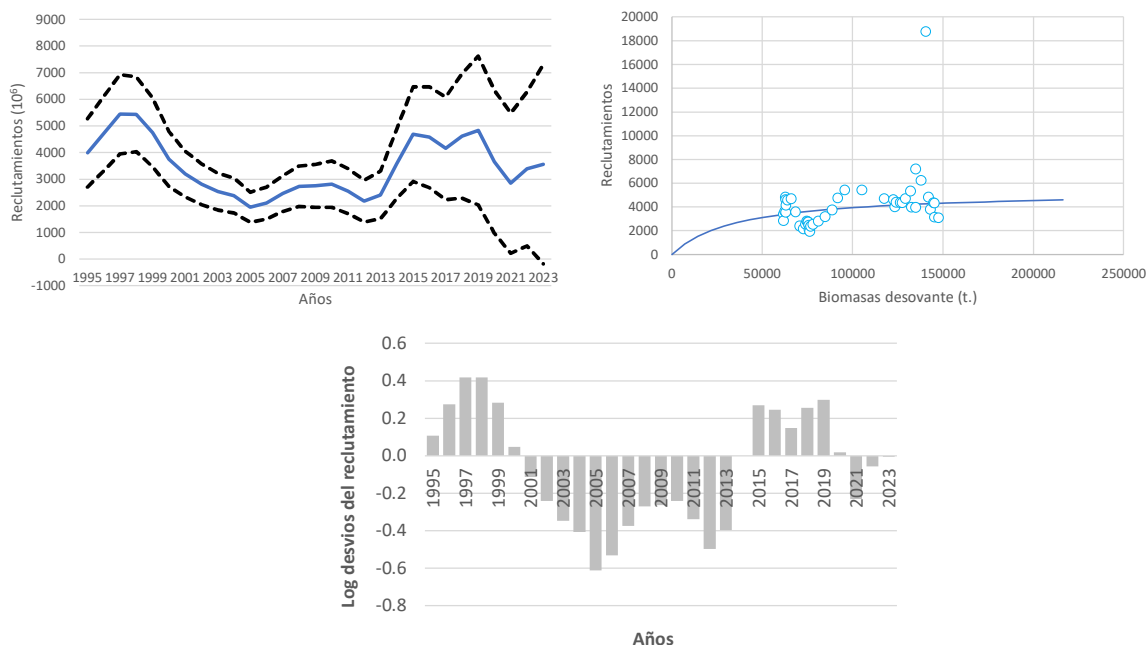


Figura 21. Reclutamientos de bacalao de profundidad estimados entre los años 1995 y 2023; curva stock reclutas y reclutamientos estimados en cada año; desvíos log normales y reclutamiento estimado con banda de confianza de 95%. Modelo área nacional (APA+AL).

Biomásas

Biomasa total: peso de la población de 3 años o mayores (3+) presente a inicios de cada año.

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

La biomasa total y desovante es presentada en la **Figura 22**. La biomasa total estimada para la evaluación nacional presento un rango entre los 102 y 232 mil t. Esta variable de estado presenta un periodo con incrementos desde el año 1981 alcanzando un nivel máximo el año 1989. Posteriormente esta biomasa presentaría un decaimiento constante hasta registrar el mínimo de la serie el año 2013, donde luego la fracción total de la población explotada presenta una recuperación sostenida a niveles calculados para el año 2023 de 132 mil t. La biomasa desovante muestra un rango entre los 61 mil y 145 mil t. La **Tabla 5**, presenta un resumen de la información de las principales variables estimadas en el análisis global, presentando un detalle de reclutamientos, mortalidades por pesca y la tasa de explotación anual.

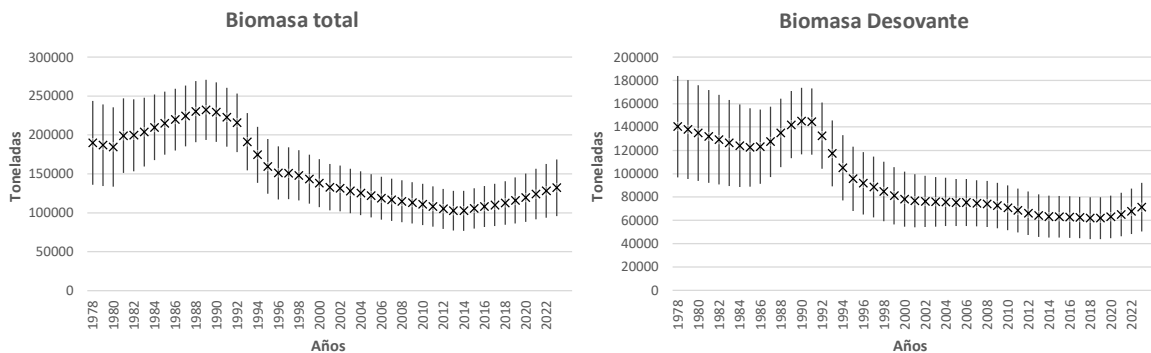


Figura 22. Series de biomasa total (edades 3+; panel izquierdo) y biomasa desovante (panel derecho) de bacalao de profundidad con las respectivas bandas de confianza de 95%. área nacional (APA+AL). Años 1978 a 2023.

Tabla 5.

Biomasa total 3+, biomasa desovante, reclutamientos, mortalidad por pesca y tasas de explotación de bacalao de profundidad, estimadas para los años 1997 a 2023. Modelo nacional (AL+ APA).

Años	BT	BD	R	F	Tasa Explotación
1997	150763	88653	5439	0.07	0.093
1998	148060	84765	5436	0.08	0.110
1999	143427	80998	4753	0.08	0.117
2000	138052	78111	3754	0.08	0.114
2001	132858	76769	3194	0.05	0.074
2002	131231	76218	2811	0.06	0.088
2003	128048	75945	2529	0.05	0.077
2004	125304	75813	2385	0.05	0.073
2005	121836	75322	1942	0.05	0.070
2006	118743	75230	2103	0.04	0.054
2007	116628	74588	2462	0.04	0.054
2008	114815	73994	2731	0.03	0.050
2009	112958	72743	2748	0.04	0.055
2010	110790	70733	2814	0.05	0.063
2011	108019	68432	2551	0.05	0.066
2012	104999	66017	2175	0.05	0.067
2013	102636	63953	2408	0.04	0.059
2014	102556	63097	3582	0.02	0.035
2015	105583	62994	4688	0.03	0.041
2016	108047	62774	4571	0.03	0.050
2017	109965	62390	4153	0.04	0.058
2018	112671	61794	4620	0.05	0.067
2019	115794	61783	4826	0.04	0.050
2020	119487	63004	3647	0.03	0.034
2021	124146	65052	2843	0.04	0.053
2022	128306	67779	3386	0.04	0.052
2023	132190	71207	3563	0.039	0.055

4.1.3 Resumen de la evaluación de stock

Se actualizó la evaluación de stock de bacalao de profundidad al año 2023. Entre los nuevos datos considerados se incluyen las composiciones de edad de las capturas industriales, estimaciones del índice de abundancia relativa basados en datos de la pesquería y las capturas extraídas por estas flotas en el año 2023. Se considera que la “población” de bacalao explotada en el área de evaluación es un stock prácticamente cerrado con respecto a los desovantes y el reclutamiento y por lo tanto puede ser evaluado sin considerar las capturas registradas en el Atlántico. De modo similar a lo observado en la última evaluación tanto para el modelo nacional (APA+AL), el reclutamiento exhibió un período de fuertes desvíos negativos coincidiendo con un período de reducción en la biomasa desovante. Para la zona nacional se aprecia que desde el año 2020 la biomasa desovante registra una recuperación que ha permitido alcanzar el año 2023 las 71 mil t.

4.1.4 Puntos biológicos de referencia

Los puntos biológicos de referencia sustitutos del RMS estimados en cada caso de evaluación de stock se entregan en la **Tabla 6**.

Tabla 6.

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

	Valor
BD_{RMS}	72154
F_{RMS}	0.068

4.1.5 Evaluación del estatus basado en la biomasa desovante.

El IRS estimado para el área nacional presentó una tendencia a la reducción del stock desde el año 1978 hasta el año 2014, y desde este año se observa una estabilización del agotamiento poblacional en torno a un 34% de la condición virginal de la biomasa desovante. Posteriormente, y entre los años 2020 y 2023 este agotamiento comienza a incrementarse hasta alcanzar el año 2023 un 39% de la condición virginal (**Figura 23**). En relación a la biomasa desovante estimada a nivel virginal, esta se calculó en 180 mil toneladas con una desviación estándar de 30 mil t. Para el caso de la biomasa que genera el MRS ($BD0*40\%$), esta presentó una mediana de 72 mil t. y una desviación estándar de 12 mil t. Finalmente la biomasa desovante calculada para el año 2023 presentó una mediana igual a las 71 mil t. y una desviación estándar de 10 mil t. Estas estimaciones de la biomasa desovante para el año 2023 y la biomasa desovante virginal son presentadas en la **Figura 24**, donde se calcula la densidad que presentaría la estimación de estas variables de interés para el manejo en la zona APA+AL.

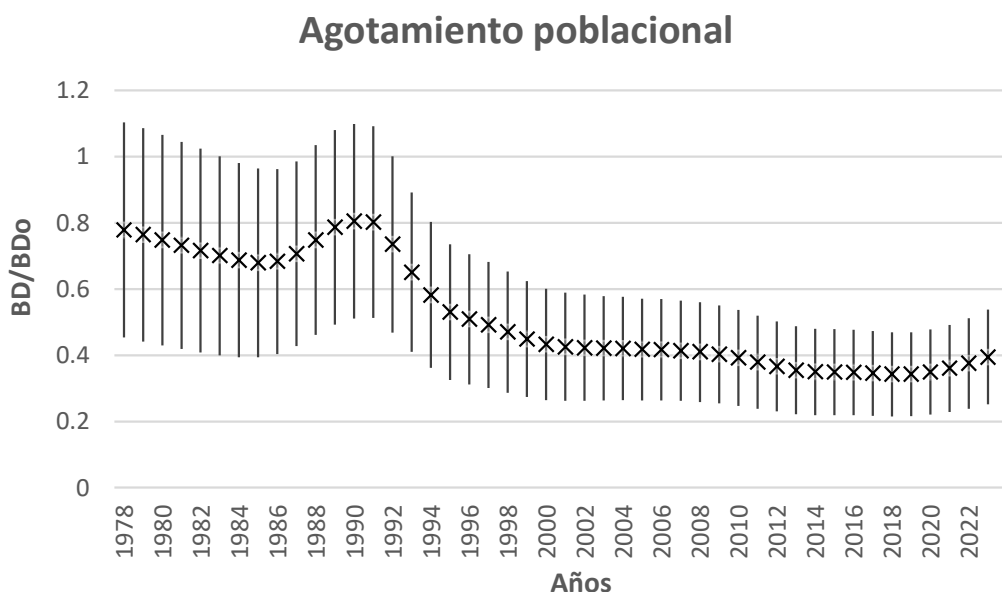


Figura 23. Índice de reducción del stock desovante (IRS) de bacalao de profundidad en el área AP+ AL.

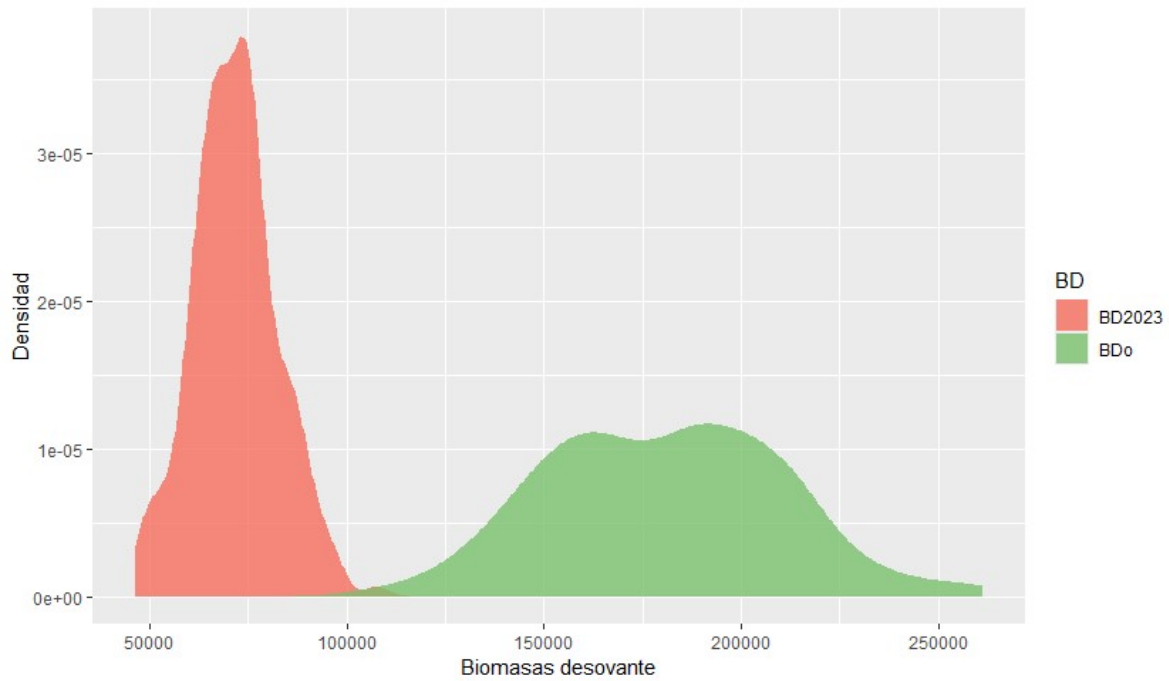


Figura 24. Distribuciones de probabilidades de la biomasa desovante estimada para en el a3o 2023 (BD2023), la biomasa desovante vinculada con el MRS (BDmrs) y la biomasa desovante virginal (BD0), para la zona nacional (APA+AL).

4.1.6 Marco biológico de referencia

Entre 1978 y 1990 se observó en el área de pesca artesanal un notable incremento en el esfuerzo de pesca sobre el recurso bacalao de profundidad como una respuesta al desarrollo de demanda en el mercado norteamericano y a los incentivos para incrementar la capacidad de pesca artesanal y la actividad comercial del sector soportada en este recurso. A esto se sumaría luego el desarrollo de la actividad pesquera industrial en el área licitada como resultado de los buenos resultados obtenidos en las pescas exploratorias autorizadas por la subsecretaría de Pesca en los años 1990 y 1991. Esto se traduciría en un rápido crecimiento del desembarque y mortalidad por pesca (**Figura 25**). Este desarrollo inicial de la actividad sobre bacalao de profundidad se puede observar claramente en los diagramas de fase construidos tanto con las estimaciones obtenidas desde las evaluaciones que emplearon los datos del área de pesca artesanal en conjunto con los datos del área licitada (APA + AL). De acuerdo con esto, entre 1978 y 1991 se observa que el recurso se mantuvo en el área de sub-explotación en el área nacional, encontrándose en una condición de sobrepesca entre 1992 y 2000, produciendo una disminución de la biomasa, situando el recurso en un estatus de sobre explotación entre 2005 y 2011. En la estimación de 2023 el bacalao de profundidad en el área nacional se presentaría en la zona de plena explotación.

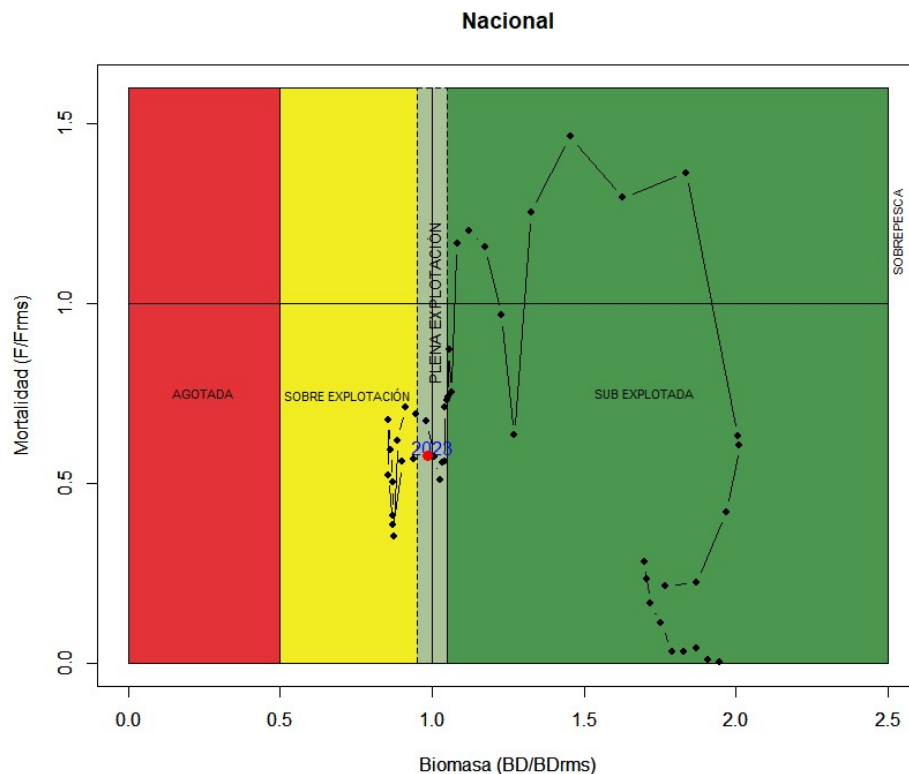


Figura 25. MBR mostrando la trayectoria del stock de bacalao de profundidad entre los años 1978 y 2023 para el modelo que incluye sólo el área nacional (APA+AL).

4.1.7 Estado de situaci3n de la pesquería de bacalao de profundidad

En relaci3n a los resultados obtenidos se estima que **la poblaci3n a nivel nacional (APA+AL), estaría en una condici3n de plena explotaci3n**, con una reducci3n de la biomasa desovante con respecto a la fracci3n virginal del 39,5%. En términos del estatus se puede comentar que la biomasa del recurso por sobre el punto biol3gico de referencia límite de 0,5*BRMS y muy cercano del objetivo relacionado con el BRMS.

4.1.8 Captura Biol3gicamente Aceptable

La poblaci3n fue proyectada al ańo 2023 bajo cinco estrategias de explotaci3n correspondientes a una mortalidad por pesca constante e igual a F_{RMS} y a mortalidades por pesca constantes de 75%, 50%, 25% del valor de F_{RMS} , y sin pesca, las cuales son presentadas en la **Tabla 7**. Adicionalmente, el CCT solicit3 la evaluaci3n bajo cuatro estrategias de explotaci3n adicionales: mortalidad por pesca constante de 90%, 80%, 70% y 60% del valor de F_{RMS} .

En cada caso estudiado se asumi3 que las capturas realizadas en el ańo 2023 corresponderán a las cuotas establecidas para cada pesquería. Las cuotas de captura de bacalao de profundidad asignadas a la Unidad de Pesquería al Sur del paralelo 47° L.S. fueron publicadas en el Decreto Exento N° 50 de la Subsecretaría de Pesca del 17 de noviembre del ańo 2023. En el caso de evaluaci3n que corresponde al área lícitada la captura del ańo 2023 fue asumida como la cuota de captura asignada al Sur del paralelo 47° L.S al 57°LS. la que fue separada en captura industrial y artesanal de acuerdo al archivo control cuota reportados por Sernapesca en al ańo 2023 (informaci3n preliminar al 30 de agosto). El Artículo 7B de la Ley 20.625 de la LGPA, señala que los descartes deben ser considerados en el proceso de establecimiento de la cuota global anual de captura. Consecuentemente, en la determinaci3n de la CBA se tomaron en consideraci3n los descartes de la flota industrial multiplicando la captura retenida por los factores de descarte informados por el Programa de Investigaci3n del Descarte y Captura de Pesca Incidental. Dichos factores se encuentran disponibles para los ańos 2015 a 2023 (**Tabla 2**; Bernal et al. 2020 -2023).

Tabla 7.

Capturas Biol3gicamente Aceptables (CBA) de bacalao de profundidad estimadas para el ańo 2025.

	Fmrs	0.9	0.8	0.75F	0.7	0.6	0.5F	0.25F	0F
Nacional	6846	6184	5516	5181	4844	4167	3485	1758	0

4.2 Objetivo específico N°2

“Evaluar bajo incertidumbre la probabilidad de alcanzar los objetivos de manejo en plazos definidos bajo el procedimiento de manejo vigente”.

4.2.1 Caso área nacional (APA+AL).

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 2023 del modelo base de bacalao en esta zona. Las capturas del año 2023 se asumieron serían igual a la magnitud de las cuotas de captura establecidas para ese año. 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} . De igual forma, se informa la probabilidad de que la biomasa desovante estimada para el año 2023 este por debajo del nivel objetivo y limite en mediano plazo (año 2028).

Los descartes del recurso fueron incluidos en el análisis incrementando la captura observada según el valor del factor de descarte por año estimado para la flota industrial. Las estimaciones del descarte fueron proporcionadas por el Programa de Investigación del Descarte y Captura de Pesca Incidental (**Tabla 2**; Bernal *et al.* 2020 - 2023). Para el área nacional se aprecia que con una estrategia de mortalidad contante e igual a F_{RMS} la biomasa desovante alcanzaría en el año 2031 valores cercanos a los calculados en año 2023 en torno a las 71 mil t., y posteriormente en el horizonte de proyección la biomasa se estabilizaría en niveles levemente superiores a las 60 mil t. Con esta estrategia, la probabilidad de reducir la biomasa por debajo de la presente y de que la biomasa se encuentre por debajo del objetivo al final del periodo proyectado es de 0.34. Por el contrario, la probabilidad de llevar a la población a una situación de agotamiento con esta estrategia es mínima, y se estima en valores en torno a una probabilidad $P(B_{2073} < 0.5 \cdot BRMS) = 0$ (**Figura 26**). En relación con los otros escenarios de mortalidad por pesca considerados se aprecia que todos permiten superar el nivel del $BRMS$, inclusive en el corto plazo. Establecer una política de explotación que resguarde levemente los niveles de remoción del recurso (por ejemplo $0.75F_{rms}$) permiten incrementar la población en torno a las 80 mil toneladas (**Tabla 8**; **Figura 27**).

Tabla 8.

Análisis de cinco estrategias de explotación de mortalidad por pesca constante. F_{RMS} es la mortalidad por pesca del rendimiento máximo sostenible, caso nacional (APA+AL).

Indicador / Probabilidad	Fmrs	0.9	0.8	0.75F	0.7	0.6	0.5F	0.25F	0F
P(BD2023<Brms)	0.54								
P(BD2023<0.5*Brms)	0.05								
BD2028	76970	78741	80560	81487	82427	84346	86316	92879	98496
B2028/B2023	1.081	1.106	1.131	1.144	1.158	1.185	1.212	1.304	1.383
B2028/BRMS	1.067	1.091	1.117	1.129	1.142	1.169	1.196	1.287	1.365
P(B2028<B2023)	0.307	0.260	0.218	0.199	0.181	0.148	0.121	0.061	0.034
P(B2028<BRMS)	0.337	0.287	0.242	0.221	0.202	0.166	0.136	0.070	0.039
P(B2028<0.5*BRMS)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BD2073	62134	68277	75118	78835	82771	91375	101098	131837	176236
B2073/B2023	0.873	0.959	1.055	1.107	1.162	1.283	1.420	1.851	2.475
B2073/BRMS	0.861	0.946	1.041	1.093	1.147	1.266	1.401	1.827	2.442
P(B2073<B2023)	0.714	0.567	0.418	0.350	0.287	0.184	0.111	0.024	0.004
P(B2073<BRMS)	0.734	0.588	0.438	0.367	0.303	0.196	0.119	0.026	0.004
P(B2073<0.5*BRMS)	0.052	0.032	0.020	0.015	0.012	0.007	0.004	0.001	0.000

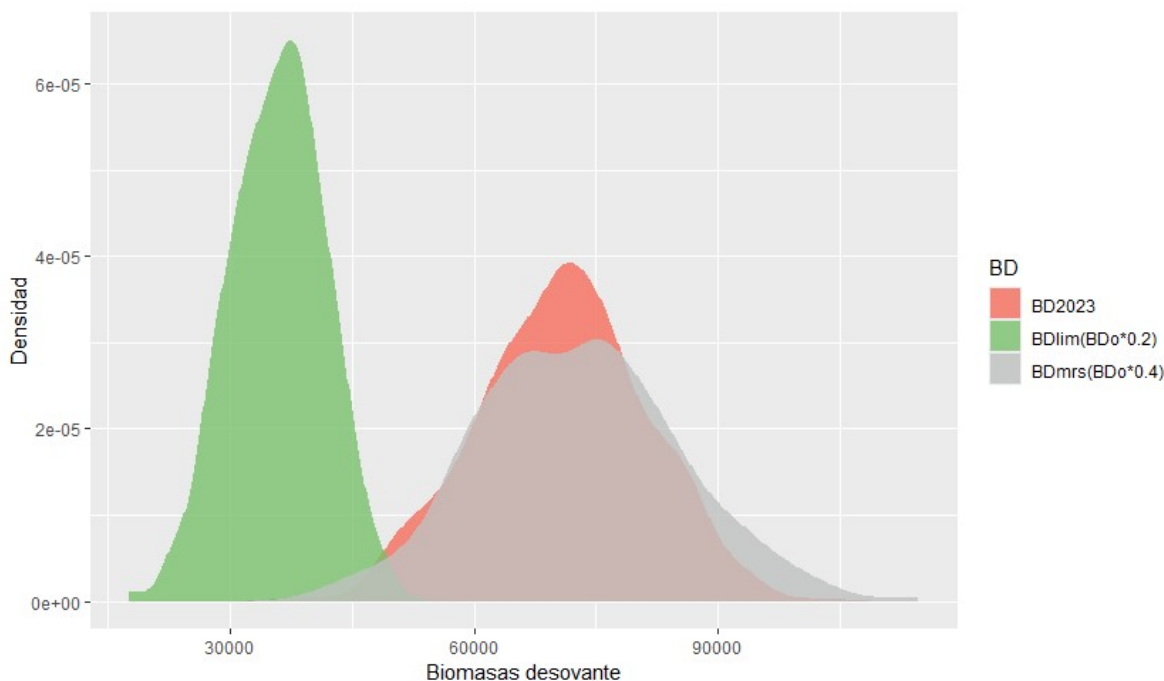


Figura 26. Distribuciones de probabilidades de la biomasa desovante estimada para en el año 2023 (BD2023) En el área enfoque nacional, la biomasa desovante que vinculada con el MRS objetivo (40%BD_o) y limite (20%BD_o).

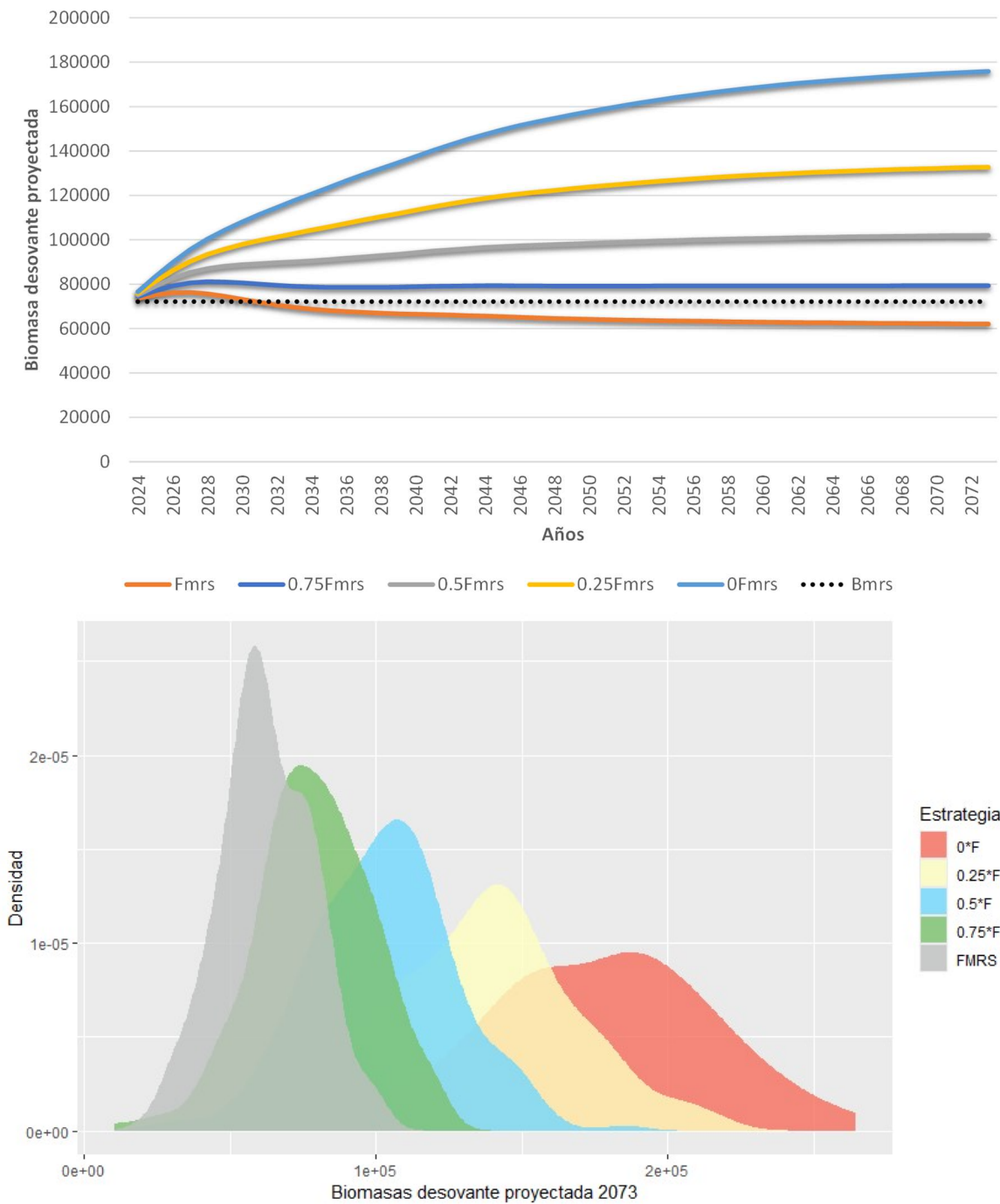


Figura 27. Panel superior: biomasa desovante de bacalao de profundidad, caso Área nacional (APA+AL), proyectada en un horizonte de 50 años bajo cinco estrategias de mortalidad por pesca constante. Línea segmentada negra señala la biomasa objetivo (B_{RMS}) Panel inferior: distribución de probabilidades de la biomasa desovante en el último año de la proyección.

Análisis de sensibilidad

La incertidumbre se estudió a través del análisis de sensibilidad de los modelos implementados en cada caso. Los sub-casos de evaluación para el estudio que consideró la información y datos a escala nacional se resumen en la **Tabla 9**. Estos sub-casos se pueden clasificar en modificaciones en la mortalidad natural considerada (M), en el steepness (h) y en la madurez sexual utilizadas para la realización del ajuste. En relación con el desempeño estadístico se aprecia que no existen diferencias importantes al modificar el steepness lo que se ve reflejado en el aporte total de la verosimilitud, con la excepción del caso S1 que considera un h de 0.5. Lo anterior contrasta con las diferencias que se producen al modificar las condiciones de la mortalidad natural, los cuales, si generan cambios en el ajuste, en comparación con el modelo base (S0). Lo anterior se puede ser reflejado de igual forma en la estimación de la biomasa desovante y el agotamiento poblacional, donde los escenarios S4 y S5 presentan niveles que difieren del resto de aproximaciones consideradas en el análisis de sensibilidad. En relación al cambio en la ojiva de madurez se aprecia que tiene un efecto en la estimación de la condición virginal de la biomasa desovante, pero existiría convergencia con la condición estimada por el modelo base (S09) para el año 2023 (**Figura 28**).

Tabla 9.

Componentes de verosimilitud de 6 escenarios de incertidumbre de modelo explorados para el caso de evaluación: Modelo nacional (APA + AL).

Caso	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Steepness	0.6	0.5	0.7	libre (h=0.41)	0.6	0.6	0.6
M	0.15	0.15	0.15	0.15	0.1	0.2	0.15
Madurez	Balbontin et al., 2011						Oyarzún et al., 2003a
BD0	180385	205168	170319	231079	255061	264059	136348
BD2023	71207	75588	71888	70201	42002	191922	49812
BD2023/BD0	0.39	0.37	0.42	0.30	0.16	0.73	0.37
Fmrs (F45%)	0.068	0.066	0.068	0.068	0.044	0.099	0.057
Bmrs (BDo*40%)	72154	82067	68128	92432	102024	105624	54539
Capturas	0.168	0.130	0.164	0.175	0.393	0.020	0.160
Edades	166.845	169.590	166.753	166.510	155.597	184.040	166.713
Longitudes	65.057	65.527	65.080	65.042	73.283	65.212	66.006
Selectividad	80.640	85.558	80.748	80.365	79.154	85.181	80.754
Indíces	79.016	77.990	78.846	79.791	79.709	74.633	78.080
Reclutas	-9.412	-7.719	-9.052	-10.033	-8.979	-10.525	-9.549
Penalización F	0.008	0.009	0.008	0.008	0.007	0.010	0.009
post_priors_indq	25.246	26.866	25.296	25.244	20.182	35.837	25.450
post_priors	0.572	4.848	0.566	0.577	4.831	0.129	0.442
residual	0.025	0.046	0.013	0.112	0.113	0.001	0.027
total	408.165	422.843	408.423	407.792	404.289	434.537	408.091
gmax	0.004	0.003	0.006	0.015	0.008	0.010	0.008

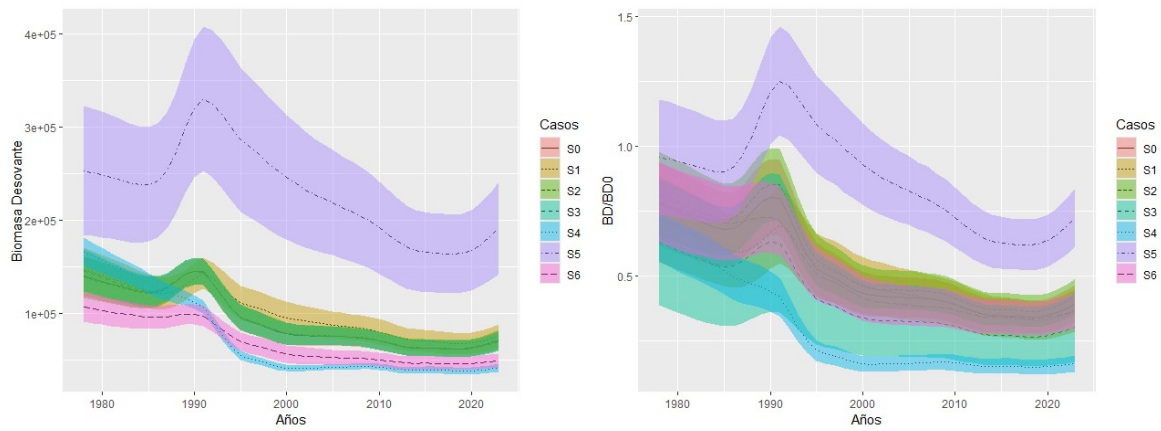


Figura 28. Trayectorias de la biomasa desovante y del índice de reducci3n del stock (BD/BDo), del bacalao de profundidad explotado en el área nacional entre los años 1978 y 2023 según los 5 casos alternativos a la situaci3n base (S0). Modelo área licitada (AL).

4.3 Objetivo específico N° 3

“Asesorar a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, al Comité Científico Técnico y a los Comités de Manejo en las materias técnicas y de oportunidad que esta Subsecretaría requiera”.

Desde el año 2022, y a través de diversas formulaciones y solicitudes de la contraparte (SubPesca) así como también de las inquietudes expresadas en las sesiones del CCT-RDAP, se comenzó a ejecutar un trabajo para realizar el primer ejercicio de evaluación de stock de forma independiente para el bacalao de profundidad en el área de exclusividad para la pesca artesanal. Esta solicitud fue formalizada mediante el Oficio Ord. N° 083 presentado el 18 de Julio 2023, en Oficina de Partes de IFOP **ANEXO IV**). Para ello, se realizaron presentaciones de propuesta de trabajo y planificación en la sesión 02/2022. Luego de la presentación de la propuesta, se comenzó un trabajo de recopilación de antecedentes disponibles, así como también la propuesta de modelación estadística de acuerdo con la información y dinámica poblacional. Estos antecedentes, es decir, datos y modelos fueron presentados en la sesión 03/2023 (julio - agosto 2023). En relación al presente año la SSPA, solicita formalmente la evaluación bajo el enfoque nacional, la cual es presentada en el mes de abril, y que genera una revisión del PM hacia un análisis que considere ya no las condiciones particulares del recurso si no que se solicita evaluar de manera global el estado del recurso. Lo anterior se condice con el PM utilizado en años anteriores para poder determinar el estado del recurso y la recomendación de CBA respectiva.

A continuación, la **Tabla 10** presenta una programación simple basada en las necesidades de asesoría y manejo durante el año en curso, como también en relación con la propuesta realizada por el Departamento de Evaluación de Recursos del IFOP, la que es complementada con la asesoría prestada al CCT-RDAP (ver **Figura 29**).

Tabla 10.
Hitos y fechas planificadas para el trabajo de evaluación de stock en bacalao de profundidad en APA entre los años 2024 y 2025.

Hito	Fecha
1. Presentación propuesta metodológica evaluación de stock	Mayo 2024
2. Presentación sesión Datos y Modelos	Julio – Agosto 2024
3. Informe Técnico de asesoría científica	Septiembre 2024
4. Presentación asesoría estatus y CBA CCT-RDAP	Octubre 2024
5. Documento Técnico Asesoría a la Gestión Técnica	Abril 2025



Figura 29. Escala de tiempo con los principales hitos de asesoría al CCT-RDAP.

5. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

Transcurridos varios a1os desde la 1ltima revisi3n de pares (Polacheck 2015), la base de conocimiento que sostiene el manejo de esta pesquer1a no presenta cambios sustantivos y de esta manera, las fuentes de incertidumbre identificadas con relaci3n a esta evaluaci3n permanecen. En particular, la informaci3n incompleta respecto de la estructuraci3n espacial de la poblaci3n determina que la evaluaci3n deba enfrentarse a trav1s de casos de estudio, soportados en hip3tesis alternativas respecto del tama1o, distribuci3n y procesos demogr1ficos de la poblaci3n. De acuerdo con las opiniones vertidas por el revisor en su informe: "la actual informaci3n disponible es insuficiente para determinar la estructura de la poblaci3n o incluso el modelo m1s probable. Dado las grandes y diferentes consecuencias que modelos conceptuales alternativos pueden potencialmente tener para el manejo y el estatus del recurso, es cr1tico que se considere un rango de modelos alternativos que represente el rango de alternativas posibles. Basar las decisiones de manejo en un solo modelo conceptual no puede ser considerado precautorio" (Polacheck 2015, pag. 11).



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abe, T. and Iwami, T. 1989. Notes on fishes from the stomachs of whales taken in the Antarctic II. On *Dissostichus* and *Cerati*us, 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.
- Abreu, J., Hollyman, P.R., Xavier, J.C., Bamford, C.G., Phillips, R.A., Collins, M.A. 2024. Trends in population structure of Patagonian toothfish over 25 years of fishery exploitation at South Georgia. Fisheries Research. Volume 279. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2024.107122>.
- AFSC (Alaska Fisheries Science Center). 2015. Assessment Model for Alaska description of GUI and instructions, 50 p.
- 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.
- 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.
- Akselrud, A., A. Punt, and L. Cronin-Fine. 2017 Exploring model structure uncertainty using a general stock assessment framework: The case of Pacific cod in the Eastern Bering Sea. Fisheries Research. 193: 104-120
- Aramayo, V. 2016. A brief synthesis on the marine resource Patagonian toothfish *Dissostichus eleginoides* in Peru. Revista de Biología Marina y Oceanografía, 51(2), 229–239. <https://doi.org/10.4067/s0718-19572016000200002>
- 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. I., Brickle, P., Lee, B., Shaw, P. W., & McKeown, N. J. 2022. Taxonomic re-appraisal for toothfish (*Dissostichus*: Notothenioidea) across the Antarctic Polar Front using genomic and morphological studies. Journal of Fish Biology, 100(5), 1158–1170. <https://doi.org/10.1111/jfb.15013>



- 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.
- 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.
- Bamford, C.C.G., P.R. Hollyman, J. Abreu, C. Darby, M.A. Collins. 2024. Spatial, temporal, and demographic variability in patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) spawning from twenty-five years of fishery data at South Georgia. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. Volume 203. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2023.104199>.
- 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.
- Bernal C., Escobar V., Román C., San Martín M., Vargas C., y López J., 2020. Estimaciones de descarte para evaluación de stock, año 2019. Documento técnico. Programa de investigación y monitoreo del descarte y de la captura de pesca incidental en pesquerías demersales y de aguas profundas, 2020-2021. Instituto de Fomento Pesquero.
- Bernal C., Escobar V., Román C., San Martín M., Vargas C., y López J., 2021. Estimaciones de descarte para evaluación de stock, año 2020. Documento técnico. Programa de investigación y monitoreo del descarte y de la captura de pesca incidental en pesquerías demersales y de aguas profundas, 2020-2021. Instituto de Fomento Pesquero.
- Bernal C., Escobar V., Román C., San Martín M., Vargas C., Azocar, J. y López J., 2022. Estimación de Descarte para evaluación de stock, año 2021. Programa de investigación y monitoreo del descarte y la captura de pesca incidental en pesquerías demersales, 2022-2023. Documento técnico. Programa de investigación y monitoreo del descarte y de la captura de pesca incidental en pesquerías demersales y de aguas profundas, 2021-2022. Instituto de Fomento Pesquero.
- 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 lifestyle. *Environ Biol Fish.* 101:1343–1356.
- 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.



- 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.
- Canales-Aguirre, C., S. Ferrada-Fuentes, R. Galleguillos, F. X. Oyarzun and C. E. Hernández. 2018. Population genetic structure of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) in the Southeast Pacific and Southwest Atlantic Ocean. PeerJ 6:e4173; DOI 10.7717/peerj.4173.



- Céspedes, R., Chong, L., Gálvez, P., San Juan, R., Ojeda, V., Moyano, G., Muñoz, L., y Bravo, R. 2020. Convenio de desempeño 2019. Seguimiento de las Pesquerías Demersales y Aguas Profundas. Sección VI: Recursos de Aguas Profundas, 2019. Ejecutor IFOP – Requiriente: Subsecretaría de Economía y EMT.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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. and Shotton, R. 1997. "Risk" in fisheries management: a review. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 54: 1699–1715.
- Francis, R. I. C. C. 2011. Data weighting in statistical fisheries stock assessment models. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 68: 1124–1138.
- Gálvez, P., Flores, A., Céspedes, R., Ojeda, V., Bravo, R., ... Muñoz, L. 2022. Convenio: Asesoría integral para la toma de decisiones en pesca y acuicultura, 2021. Actividad 2: Peces demersales: Pesquerías de recursos demersales y aguas profundas, 2021. Sección VI: recursos de aguas profundas. Informe final SUBPESCA, Valparaíso, Chile, IFOP.
- Gálvez, P., Flores, A., Céspedes, R., Ojeda, V., Bravo, R., ... Vidal, L. 2021. Asesoría integral para la toma de decisiones en pesca y acuicultura, 2020. Actividad 1: Seguimiento general de Pesquerías de peces y crustáceos: Pesquerías demersales y aguas profundas, 2020. Sección VI: Recursos de aguas profundas, 2020. Informe final SUBPESCA, Valparaíso, Chile, IFOP.
- Galleguillos, R., Ferrada, S., Hernandez, C., Calanes, C., Aedo, G., San Martin, M., & Astete, S. (2008). informe final proyecto del fondo de investigación pesquera. "Unidades poblacionales del bacalao de profundidad" N° 2006-41. In FIPA.



- Goetz, S., Laporta, M., Mart3nez 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.
- H. Wickham. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York, 2016.
- Haddon M (2021). _MQMF: Modelling and Quantitative Methods in Fisheries_. R package version 0.1.3, <<https://github.com/haddonm/MQMF>>.
- 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.
- ICES. 2012. Report on the Classification of Stock Assessment Methods developed by SISAM. ICES CM 2012/ACOM/SCICOM:01. 15 p.
- MPARPE. (2021). INFORME “Estado de la pesquer3a del bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*), con proyecciones de captura para el 2022.” In Informe OFICIO N° 1068-2021-IMARPE/PCD Callao (Vol. 3, Issue 1). <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>
- 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.
- 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.
- Linton, B. C. and J. R. Bence. 2008. Evaluating methods for estimating process and observation error variances in statistical catch-at-age analysis. *Fisheries Research* 94:26–35.
- L3pez, S., R. Mel3ndez y B. Molina. 2014. An3lisis estomacal principales 3tems alimentarios del bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) en aguas del sur austral de Chile (2013). Informe de Avance (bajo Subcontrato con IFOP), Universidad Andr3s Bello, Laboratorio de Biolog3a 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.
- L3decke, Patil, Ben-Shachar, Wiernik, & Makowski. 2022. easystats: Framework for Easy Statistical Modeling, Visualization, and Reporting. CRAN. Available from <https://easystats.github.io/easystats/>
- Magnusson, A., A. E. Punt and R. Hilborn. 2013. Measuring uncertainty in fisheries stock assessment: the delta method, bootstrap, and MCMC. *Fish and Fisheries*. 14:325–342.
- Mangel, M., J. Brodziak and G. DiNardo. 2010. Reproductive ecology and scientific inference of steepness: a fundamental metric of population dynamics and strategic fisheries management. *Fish and Fisheries*. 11, 89–104.
- McCullagh, P. and Nelder, J.A. 1989. *Generalized Linear Models*. 2nd Edition, Chapman and Hall, London. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4899-3242-6>



- Marie Laure Delignette-Muller, Christophe Dutang 2015. *fitdistrplus: An R Package for Fitting Distributions*. Journal of Statistical Software, 64(4), 1-34. DOI 10.18637/jss.v064.i04.
- Maunder, M. N. and A. E. Punt. 2004. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. 70:141–159.
- Maunder, M. and A. Punt. 2013. A review of integrated analysis in fisheries stock assessment. Fisheries Research. 142: 61-74.
- 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.
- Mildenberger T.K., A. Kokkalis, C.W. Berg. 2021. Guidelines for the stochastic production model in continuous time (SPICT). 07 September, 2021.
- 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.
- 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.
- 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.
- Payá. 2023. Segundo Informe Técnico Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2023: Jibia, 1 (2023).
- Payne, A., D. Agnew & A. Brandão. 2005. Preliminary assessment of the Falklands Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) population: Use of recruitment indices and the estimation of unreported catches. Fisheries Research: 344-358.
- Pedersen, M. W., & Berg, C. W. (2017). A stochastic surplus production model in continuous time. Fish and Fisheries, 18(2), 226–243. <https://doi.org/10.1111/faf.12174>.
- Pilling, G., M. Purves, T. Daw, D. Agnew & J. Xavier. 2001. The stomach contents o Patagonian toothfish around South Georgia (South Atlantic). Journal of Fish Biology, 59: 1370- 1384
- Polacheck, T., Klaer, N. L., Millar, C., & Preece, A. L. (1999). An initial evaluation of management strategies for the southern bluefin tuna fishery. 811–826.
- 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.
- Prager, M. H. (2002). Comparison of logistic and generalized surplus-production models applied to swordfish, *Xiphias gladius*, in the north Atlantic Ocean. 58, 41–57.
- Punt, A., E., D. Butterworth, C. de Moor, J. De Oliveira, and M. Haddon. 2014. Management Strategy Evaluation: Best Practices. Fish and Fisheries. 17 (2): 303-34.



- 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, Q. 2014. Informe consolidado Convenio II: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales 2014. Proyecto 2.7: Investigación del estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables en bacalao de profundidad, año 2014: Bacalao de profundidad, 2014. Instituto de Fomento Pesquero – Subsecretaría de Economía y EMT. 71p + Anexos.
- R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- 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.
- 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.
- 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.
- San Juan, R., Céspedes, R., Gálvez, P., Ojeda, V., Moyano, G., Cong, L., Muñoz, L., y Bravo, R. (2021). Convenio de desempeño 2020. Programa de Seguimiento de las principales Nacionales, año 2020. Pesquerías Demersales y Aguas Profundas. Sección VI: Recursos de Aguas Profundas, 2020. Ejecutor IFOP – Requirente: Subsecretaría de Economía y EMT.
- Scott, F., E. Jardim, C. P. Millar and S. Cerviño. 2016. An Applied Framework for Incorporating Multiple Sources of Uncertainty in Fisheries Stock Assessments. Plos One. Public Library of Science (PLoS), e0154922.



- Schurman, R. A. 1996. Snails, southern hake and sustainability: Neoliberalism and natural resource exports in Chile. *World Development*. 24(11): 1695-1709.
- 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 and McVeagh M. 2000. Allozyme and microsatellite DNA markers of toothfish population structure in the Southern Ocean. *Journal of Fish Biology* 57:72–83.
- SSPA. 2015. Antecedentes para la elaboración del Plan de Manejo de las pesquerías de Bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*). Documento Técnico DAP-DDP. Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Valparaíso, Chile. 56 pp
- Stewart, I. J., A. C. Hicks, I. G. Taylor, J. T. Thorson, C. Wetzel and S. Kupschus. 2013. A comparison of stock assessment uncertainty estimates using maximum likelihood and Bayesian methods implemented with the same model framework. *Fisheries Research* 142:37– 46.
- 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. 2018. Informe 3 Consolidado. Convenio de Desempeño 2017: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2018: Bacalao de profundidad, 2018. Subsecretaría de Economía y EMT - IFOP. 115 p.
- Tascheri, R. 2020. Documento Técnico Consolidado. Convenio de Desempeño 2019: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2020: Bacalao de profundidad, 2020. Subsecretaría de Economía y EMT - IFOP. 111 p.
- Tascheri, R. 2022. Segundo Informe Técnico. Convenio de Desempeño 2021: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2022: Bacalao de profundidad. Subsecretaría de Economía y EMT - IFOP. 102 p.



- Techeira C., Cortes C., Mardones M., Roldán A., Araya A., Palta E. (2019). Programa de seguimiento de Pesquerías Bentónicas Bajo Régimen de Plan de Manejo, Año 2018. Informe Final. Convenio ASIPA Instituto de Fomento Pesquero – Ministerio de Economía y Empresas de Menor Tamaño. 319 pp.+Anexos.
- Techeira C., Cortes C., Roldán A., Mardones M., Araya A., Palta E. (2020). Programa de seguimiento de Pesquerías Bentónicas Bajo Régimen de Plan de Manejo, Año 2019. Informe Final. Convenio ASIPA Instituto de Fomento Pesquero – Ministerio de Economía y Empresas de Menor Tamaño.
- Techeira C., M. Mardones, N. Barahona, P. Romero. 2018. Programa de seguimiento de Planes de Manejo bentónico, 2017. Informe Final. Instituto de Fomento Pesquero. 372 p.
- Tixier, P., J. Giménez, R. R. Reisinger, P. Méndez-Fernandez, J. P. Y. Arnould, Y- Cherel and C. Guinet. 2019. Importance of toothfish in the diet of generalist subantarctic killer whales: implications for fisheries interactions. *Mar Ecol Prog Ser.* 613: 197–210.
- 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.
- Thorson, J. T., Minto, C., Minto-Vera, C. V., Kleisner, K. M., Longo, C., & Jacobson, L. (2013). A new role for effort dynamics in the theory of harvested populations and data-poor stock assessment. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 70(12), 1829–1844. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2013-0280>.
- 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
- 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.
- Wickham, H. 2016. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.



- Wiff, R., A. Flores, S. Neira and B. Caneco. 2018. Estimating steepness of the stock-recruitment relationship in Chilean fish stocks using meta-analysis. 200: 61–67.
- Yin, Y. and D. B. Sampson. 2004. Bias and Precision of Estimates from an Age-Structured Stock Assessment Program in Relation to Stock and Data Characteristics, North American Journal of Fisheries Management, 24(3):865-879.
- Young, Z., R. Gili y L. Cid. 1995. Prospección de bacalao de profundidad entre las latitudes 43°S y 57°S. Informe Técnico. IFOP – SUBPESCA, 46 p.
- Young, Z., H. Robotham & R. Gili. 1996. Evaluación de la pesquería y del stock de bacalao de profundidad al sur del paralelo 47° L.S. Informe Final FIP–IFOP 94-10, 44 p + Anexo.
- 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.
- Zuleta A., P. Rubilar, C. Moreno, C. Barrales & F. Goyeneche. 2015. Programa Plurianual de Marcaje y Recaptura de Bacalao de Profundidad a Escala Nacional, I Etapa 2014. Informe Fondo De Investigación Pesquera 2014-03. CEPES - SUBPESCA. Abril 2015. 74 páginas + anexos.
- Zuleta, A., Rubilar, P., Goyeneche, F., Barrales, C., & Henríquez, J. (2006). Programa plurianual de Marcaje y Recaptura de Bacalao de Profundidad a Escala Nacional, I Etapa 2014. Informe Final Proyecto Fip No 2014-93.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., & Elphick, C. S. (2010). A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution*, 1(1), 3–14. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210x.2009.00001.x>.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., & Elphick, C. S. 2010. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution*, 1(1), 3–14. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210x.2009.00001.x>

A N E X O S

A N E X O 1

Modelo de evaluación de stock
(Descripción matemática).

Tabla 1.
S3mbolos y definiciones usadas en las ecuaciones del modelo.

Definici3n general	S3mbolo	Uso en el modelo de captura a la edad
3ndice anual: $i = \{1978 \dots, 2023\}$	i	
3ndice de edades: $j = \{3, 4, \dots, 30^+\}$	j	
3ndice 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 argentino.
Coef. de variaci3n de la longitud a la edad	cv	
Peso medio a la edad j	W_j	
Edad m3xima luego de la cual la selectividad es constante	$Maxe$	Parametrizaci3n de la selectividad
Tasa mortalidad natural	M	0,15 constante a trav3s de los a3os y edades
Proporci3n maduros a la edad j	p_j	Definici3n de la biomasa desovante
Tama3o de muestra de las proporciones de edad j en el a3o i .	T_j	Escala el supuesto multinomial acerca de los estimados de las proporciones a la edad.
Par3metros relaci3n stock recluta	R_0	Reclutamiento virginal de equilibrio.
	h	Steepness de la relaci3n SR. Fijo en 0, 6.
	σ_R^2	Varianza del reclutamiento
Funci3n logar3tmica de verosimilitud negativa.	V	

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

Definiciones generales	Símbolo	Descripción
1) Índice de abundancia f por año i	Y_i^f	$\hat{Y}_i^f = q_i^f \sum_{j=3}^{30+S_j^f W_{i,j} e^{Z_{i,j} \frac{6}{12} N_{i,j}}} \square$
2) Captura anual en peso	C_i ; Pacífico años 2007 a 2023	$C_i = \sum_j W_{i,j} N_{i,j} \frac{F_{i,j}}{Z_{i,j}} (1 - e^{-Z_{i,j}})$
3) Captura en número por clase de longitud.	$C_{i,l}$; Pacífico 1991 a 2006	$\hat{C}_{i,l} = \Gamma_{l,j} \hat{C}_{i,j}$ $\tau_{l,j} = \int_j^{j+1} e^{\frac{1}{2\sigma_j^2}(l-L_j)^2} dl$ $L_j = L_\infty(1 - e^{-k}) + e^{-k} L_{j-1}$ $\sigma_j = cvL_j$
3) Proporciones a la edad j en el año i	$P_{i,j}, \sum_{j=3}^{30} P_{i,j} = 1$	$P_{ij} = \frac{N_{i,j} S_{i,j}^f}{\sum_{k=3}^{31+N_{i,k} S_{i,k}^f} \square}$
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	$j=3$	$N_{1978,1} = e^{\mu_R + \epsilon_{1978}}$
	$3 < j < 29$	$N_{1978,j} = e^{\mu_R + \epsilon_{1978-j}} \prod_{j=3}^j e^{-M}$
	$j=30+$	$N_{1978,31} = N_{1978,30} (1 - e^{-M})^{-1}$
5) Años subsecuentes ($i > 1978$)	$j=3$	$N_{i,1} = e^{\mu_R + \epsilon_i}$
	$3 < j < 29$	$N_{i,j} = N_{i-1,j-1} e^{-Z_{i-1,j-1}}$
	$j=30+$	$N_{i,30+N_{i-1,30}} e^{-Z_{i-1,29} + N_{i-1,31}} e^{-Z_{i-1,30}}$
6) Efecto anual, $i=1978, \dots, 2023$	$\epsilon_i, \sum_{i=1978}^{2022} \epsilon_i = 1$	$N_{i,1} = e^{\mu_R + \epsilon_i}$
		$F_{i,j} = e^{\mu_f + \eta_j^f + \phi_i}$
7) Mortalidad por pesca instantánea	μ_i	
Efecto medio de la pesca	μ_i	
Efecto anual de la pesca en el año i	$\phi_i, \sum_{i=1978}^{2022} \phi_i = 0$	
Efecto de la pesca en las edades		
(normalizado). Con variación anual.	$\eta_i^f, \sum_{j=1}^{30+\eta_{ij}=0} \square$	$S_{ij}^f = e^{\eta_j^f}, \text{ if } j \leq \text{Maxe}$ $S_{ij}^f = e^{\eta_{\text{Maxe}}^f}, \text{ if } j > \text{Maxe}$

Tabla 2 (continuaci3n).
Ecuaciones de los modelos AMAK para bacalao de profundidad.

Definiciones generales	S3mbolo	Descripci3n
En a3os en que la selectividad es constante 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	R_i	$R_i = \frac{\alpha B_i}{\beta + B_i}$
Forma Beverton y Holt		$\alpha = \frac{4hR_0}{5h-1} \text{ y } \beta = \frac{B_0(1-h)}{5h-1}$
		$h = 0.6$
		$B_0 = R_0 \varphi$
		$\varphi = \frac{e^{-M} W_{31} P_{31}}{1 - e^{-M}} + \sum_{j=3}^{31} e^{-M(j-1)} W_j P_j$
Par3metros por estimar		
	$\phi_i, R_0, \varepsilon_i, \mu^f, M, \eta_j^f$	

Tabla 3.
Componentes de la funci3n objetivo de los modelos AMAK para bacalao de profundidad.

Componentes de verosimilitud		Descripción/ notas	
11)	Índice de abundancia relativa	$V_1 = \lambda_1 \sum_i \ln \frac{Y_i^f}{\hat{Y}_i^f} \frac{1}{2\sigma_i^2}$	CPUE flotas artesanal, industrial y palangre
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).
13)	Prior regularidad del reclutamiento	$V_3 = \lambda_3 \sum_{i=1978}^{2023} \epsilon_i^2 \frac{1}{2\sigma_R^2}$	Influencia los estimados en ausencia de datos. Si no hay señal del reclutamiento, este converge al reclutamiento medio.
14)	Verosimilitud de la captura.	$V_4 = \lambda_4 \sum_{i=1978}^{2023} \ln \left(\frac{C_i}{\hat{C}_i} \right)^2$	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.	$V_6 = \lambda_6 \sum_{i=1978}^{2023} \phi^2$	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

Información de parámetros demográficos no
estimados en el modelo de evaluación

Parámetros de historia de vida.

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 ha sido explorada para el rango 0,1 a 0,2 (Tascheri et al. 2020), i.e. un rango que contiene todos los valores que se han estimado para este recurso y/o considerado en evaluaciones del stock (**Tabla 1**).

Tabla 1.

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

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

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: $\hat{W}_{L=\alpha L^\beta}$ donde $\hat{W}_L$ es el peso medio del pez de tamaño L y α y β son parámetros del modelo. La forma paramétrica más común usada para el tamaño medio por edad es la ecuación de von Bertalanffy $\hat{L}_a = L_\infty [1 - \exp(-k(a - t_0))]$, donde $\hat{L}_a$ es el tamaño medio a la edad a y L_∞ , 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 informaci3n de edad leída en escamas, con la excepci3n del trabajo de Oyarzún et al. (2003b) quienes realizaron una estimaci3n 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 evaluaci3n de stock.

Tabla 2.

Parámetros de la funci3n de crecimiento de von Bertalanffy de bacalao de profundidad (*Dissostichus eleginoides*) estimadas para diferentes localidades. Adaptado de Collins et al. (2010) y Cubillos y Araya (2007).

Regiones	Sexo	L_{∞}	K	t_0	Autores	Estructura
Plataforma Patag3nica	Hembra	141.4	0.150	-1.100	Ashford et al. (2001)	Otolitos
	Macho	120.7	0.013	-1.550		
Plataforma Patag3nica	Combinados	184.7	0.065	-0.386	Martínez y W3hler (2013)	Escamas
Georgia del Sur	Hembra	177.5	0.082	0.350	Aguayo (1992)	Otolitos
	Macho	170.3	0.086	-0.015		
Georgia del Sur	Combinados	150.0	0.073	-0.079	Belchier (2004)	Otolitos
Georgia del Sur	Combinados	132.0	0.080	-0.300	CCAMLR 2009	Otolitos
Chile sur-austral	Hembra	209.7	0.064	-1.151	Young et al. (1992)	Escamas
	Macho	195.6	0.074	-0.721		
Isla Heard	Hembra	74.40	0.480	-0.460	Ashford et al. (2001)	Otolitos
	Macho	73.90	0.310	-1.710		
Kerguelen	Hembra	103.5	0.110	-4.700	Ashford et al. (2005)	Otolitos
	Macho	95.90	0.120	-4.600		
Macquarie	Hembra	205.3	0.045	-1.540	Kalish y Timmiss (1998)	Otolitos
	Macho	138.4	0.072	-1.370		
Macquarie EEZ	Hembra	158.3	0.085	-0.350	Horn (2002)	Otolitos
	Macho	134.3	0.118	0.080		
Macquarie Island	Combinados	185.5	0.042	-0.781	Constable et al. (2001)	Escamas
Chile Centro-sur	Combinados	177.8	0.109	0.000	Pav3z et al. 1983	Escamas
	Combinados	218.0	0.048	-0.066	Rubilar et al. (1999)	Escamas
	Combinados	152.2	0.085	-0.590	Oyarzún et al. 2003b	Otolitos
Chile sur-austral	Combinados	210.8	0.064	-0.432	Aguayo y Cid (1991)	Escamas
	Combinados	212.6	0.066	-0.477	Young et al. (1992)	Escamas
	Combinados	153.5	0.086	-0.240	Ojeda (3ste informe)	Otolitos
	Combinados	170.8	0.088	0.000	CCAMLR (1995)	Escamas
Georgia del Sur	Combinados	170.9	0.087	0.160	Aguayo (1992)	Escamas
	Combinados	204.0	0.056	-0.545	Zacharov y Frolkina (1976)	Escamas
	Combinados	175.0	0.071	0.005	Shust et al. (1990)	Escamas
	Combinados	207.0	0.075	-0.290	Cassia (1998)	Escamas

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,

idad 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 funcional³. En el mejor de los casos se cuenta con los parámetros de la función que describe la curva u ojiva 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	

³ 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 α y β 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 1**).

Esta curva aparece claramente desplazada hacia una mayor edad con respecto a otras estimaciones reportadas para la misma región (**Figura 1**) 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 1**).

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

En este contexto, parece más adecuado emplear la ojiva informada en Balbontín et al. (2011) (**Figura 1**), 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.

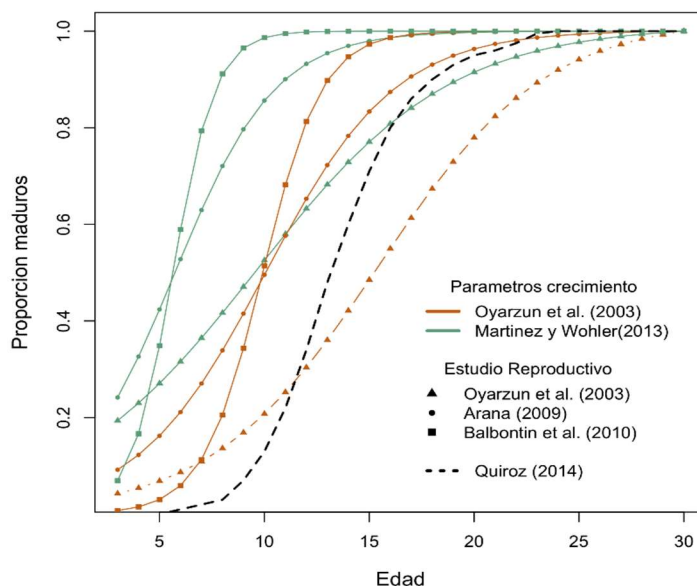


Figura 1. Tres ojivas de madurez sexual por clase de longitud estimadas por diferentes autores con muestras tomadas en aguas chilenas transformadas a madurez por clase de edad usando dos conjuntos de parámetros de crecimiento: uno con muestras tomadas en aguas chilenas y otros en aguas argentinas. La figura ilustra el rango de variaci3n de las estimaciones realizadas para una misma regi3n y la variaci3n introducida cuando se usan diferentes conjuntos de parámetros de crecimiento. A modo de comparaci3n se incluye tambi3n la ojiva de madurez utilizada en las evaluaciones conducidas por IFOP hasta el a3o 2013.

4. Productividad y resiliencia

Para la mayoría de las poblaciones se presume que existe una regulaci3n denso dependiente en alguna etapa del ciclo vital de la especie y un modo de incorporar esta dependencia en el modelo de evaluaci3n de stock es en la relaci3n entre la fracci3n desovante presente en un tiempo t y la cohorte que recluta a la poblaci3n en un tiempo $t + 1$ (Brooks y Powers, 2007). Esta relaci3n stock-reclutas describe la productividad del stock e influye su tama3o, la captura sostenible y los puntos biol3gicos de referencia.

La caracterizaci3n y parametrizaci3n de esta relaci3n es sin embargo difícil e incierta, debido a que frecuentemente los datos disponibles contienen muy poca informaci3n respecto de la forma funcional y/o el valor de los parámetros de esta relaci3n (Hilborn y Walters, 1992, Zhou 2007, Lee et al. 2012).

En general el problema de la incertidumbre de modelo (su forma funcional) no puede ser abordado mediante técnicas cuantitativas y por esta razón la forma más apropiada de la relación stock –reclutas es aún un punto de discusión para muchos stocks (Patterson et al. 2001, Zhou 2007, Williams y Shertzer 2003). Estos últimos autores recomiendan para el manejo, sin embargo, la relación de Beverton y Holt (BH; 1957) porque cuando se usa de esta relación los puntos biológicos de referencia son más conservadores.

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

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

Estas ecuaciones pueden ser usadas para relacionar α y β 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 (Wöhler 2013), la falta de conocimiento acerca de la forma de la relación stock-reclutas (Payá et al. 2014), motivó que en su evaluación de stock la modelación del reclutamiento fuese implementada como desviaciones simples en torno a un nivel medio de reclutamiento (Tascheri y Canales 2016), lo que equivale a especificar $h=1$. He et al. (2006) demostraron que poblaciones con valores bajos de h (e.g. inferiores a 0,4) tienen una probabilidad muy baja de subsistir en una situación con variabilidad en el reclutamiento. De este modo los valores posibles de h se encuentran en el rango 0,4 - 1.

En las evaluaciones de stock de bacalao de profundidad tanto el estatus (Zuleta y Hopf 2010) como las proyecciones son sensibles a diferentes valores de h (Brandão et al. 2002, Brandão y Butterworth 2011), aun cuando la magnitud de su efecto en el estatus histórico puede ser mínima (CCAMLR 2014).

En las evaluaciones de stock de bacalao de profundidad en Chile se ha usado un valor de $h=0,6$ pero en otras áreas en donde se captura este recurso, se han empleado valores de h que van entre 0,35 y 0,9 (considerando tanto los casos base como los análisis de sensibilidad) y en la CCAMLR se ha adoptado un valor igual a 0,75 (CCAMLR 2014). En el Atlántico Sudoccidental el valor de este parámetro ha sido estimado en 0,67 (Martínez y Wöhler 2013; **Tabla 4**).

Tabla 4.

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

Fuente	Área	Rango h		h caso base
Zuleta, A y S. Hopf. (2010)	Chile sur austral	0,7	0,8	0,7
Quiroz (2009-2010), Quiroz y Wiff (2010-2013)	Chile sur austral	-	-	0,6
Quiroz (2014)	Chile sur austral			0,5
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
Wiff et al. (2018)	Chile sur austral			0,67

5. Referencias

- 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.
- Agnew L., Heaps, D., Jones, C., Watson, A., Berkiet, K., and Pearce, J. 1999. Depth distribution and spawning pattern of *Dissostichus eleginoides* at South Georgia. CCAMLR Science. 6: 19-36.
- 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.
- 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.
- 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.
- Belchier, M. 2004. The age structure and growth rate of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) at South Georgia. CCAMLR WG-FSA 04/86.
- 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.
- 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.

- 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
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

- 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.
- 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.
- 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. 1999. Size at sexual maturity of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*). CCAMLR Science, 6: 37-46.
- Francis, R.I.C. C. 2016. Growth in age-structured stock assessment models. Fisheries Research 180:77–86.
- Froese, R. 2004. Keep it simple: three indicators to deal with overfishing. 5:86-91.
- 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.
- 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.

- Lappalainen, A., L. Saks, M. Sustar, O. Heikinheimo, K. Jürgens, E. Kokkonen, M. Kurkilahti, A. Verlin, 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.
- Law, R. and Grey, D., 1989. Evolution of yields from populations with age-specific cropping. *Evol. Ecol.* 3, 343–359.
- Laptikhovsky, V., Arkhipkin, A., and Brickle, P. 2006. Distribution and reproduction of the Patagonian toothfish *Dissostichus eleginoides* Smitt around the Falkland Islands. *J. Fish Biol.* 68, 849–861.
- Lee, Hui-Hua, M. N. Maunder, K. R. Piner and R. D. Methot. 2012. Can steepness of the stock–recruitment relationship be estimated in fishery stock assessment models? *Fisheries Research*. 125–126: 254–261.
- Lee, Brendon, Brewin P. E., Brickle P., and Randhawa H. 2018. Use of otolith shape to inform stock structure in Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) in the south-western Atlantic. *Marine and Freshwater Research* 69, 1238-1247. <https://doi.org/10.1071/MF17327>
- 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. 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.
- 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.
- 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.
- Patterson, K., R. Cook, C. Darby, S. Gavaris, L. Kell, P. Lewy, B. Mesnil, A. Punt, V. Restrepo, D. W. Skagen and G. Stefánsson. 2001. Estimating uncertainty in fish stock assessment and forecasting. *Fish and Fisheries*. (2):125–157.

- Pavéz, P., E. Yañez, N. Salas, W. Tarky, P. Rojas and H. Flores, 1983. Estudio del bacalao de profundidad *Dissostichus amisus* como recurso pesquero en la región de Valparaíso (33°S-72°W); Evaluación biológica, tecnológica y económica. Inf. Final Secret. Reg. de Plan. y Coord. De la región de Valparaíso. Estudios y documentos Universidad Católica de Valparaíso 1/183: 1-160.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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. 2020. Convenio de Desempeño 2019: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2020: Bacalao de profundidad, 2020. Documento Técnico Consolidado. Subsecretaría de Economía y EMT - IFOP. 125 p.
- Vetter, E. F. 1988. Estimation of natural mortality in fish stocks: A re- view. Fishery Bulletin, 86: 25–43.
- 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.
- 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.
- Yáñez E y L Pizarro. 1984. Análisis del rendimiento por recluta del bacalao de profundidad (*Dissostichus amicus*, Gill and Townsend, 1901) en la región de Valparaíso (33°S - 72°W). Investigaciones Marinas, Valparaíso 12: 87-92.
- Young Z., Zuleta A., Robotham H., Aguayo M., and Cid L. 1992. Evaluación del stock de bacalao de profundidad entre las latitudes 47° y 57° S. Informe Técnico IFOP-SUBPESCA, 1-63.
- 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.
- 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.
- 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 S. Hopf. 2010. Gestión y asesoría 2009 a los operadores de bacalao (OBAC). Centro de Estudios Pesqueros S.A.- OBAC. 23 p. + Anexos.

A N E X O 3

Estimación de índices de abundancia relativa

Estimaciones de índices de abundancia relativa de bacalao de profundidad soportadas en datos de las pesquerías industrial y artesanal de Chile.

1. Resumen

El anexo informa los resultados de los análisis de estandarización del esfuerzo de las pesquerías industrial y artesanal de bacalao de profundidad. Estos análisis representan las tendencias de la abundancia relativa en el área licitada y en el área de pesca artesanal, de acuerdo con los datos dependientes de la actividad pesquera comercial desarrollada en cada una de ellas. De acuerdo con lo anterior, en los análisis se utilizaron los datos de captura y esfuerzo de la pesca industrial desarrollada con cachalotera al sur del paralelo 47°S entre los años 2007 y 2023.

Los datos industriales fueron obtenidos desde los registros del monitoreo desarrollado por el Centro de Estudios Pesqueros (CPES) entre los años 2007 a 2013 y de los registros de operaciones de pesca tomados por el IFOP entre los años 2014 y 2023. Los datos de la pesca artesanal fueron obtenidos de los registros de operaciones de pesca recopilados por el 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” entre los años 1986 a 1996 y desde los registros recopilados por el proyecto de seguimiento desarrollado por el IFOP entre los años 1997 y 2022. Los datos de la pesca industrial fueron analizados usando modelos lineales generalizados mixtos (GLMM). La variable respuesta en el caso industrial correspondió a la captura por unidad de esfuerzo medida en $\text{kg}/(\text{barandillo} \times \text{hora de reposo})$. El predictor lineal de los dos modelos de estandarización del esfuerzo industrial incluyó los factores Año, Mes y Zona. Los casos analizados para la pesca industrial, la diferencia entre los modelos estudiados en el análisis de estandarización correspondió a diferentes estructuras de los efectos aleatorios.

La tendencia de la abundancia relativa estimadas empleando los datos de captura y esfuerzo tomados en la flota industrial que operó con cachalotera entre los años 2007 y 2023, mostraron una progresiva reducción en la abundancia relativa en el área licitada entre los años 2007 y 2014, la que se aprecia más estable durante los últimos tres años, con una tasa de captura estándar promedio para los años 2021 a 2023 de $0,056 \text{ kg}/(\text{barandillo} \times \text{horas de reposo})$ contrastando con el valor de $0,08 \text{ kg}/(\text{barandillo} \times \text{horas de reposo})$ estimado para el año 2007.

Por otro lado, la señal estimada para la flota artesanal presenta una mayor cantidad de datos, que hacen posible estimar un índice entre los años 1983 y 2023. Este índice se caracteriza por presentar un periodo de reducción de la abundancia entre 1986 y el 2008, posteriormente la señal presenta una recuperación a niveles por sobre 100 kilogramos por día fuera de puerto. En relación con los últimos dos años de la serie, estos presentarían una reducción del nivel estimado para el año 2021, aunque estos niveles se encuentran por sobre el valor promedio histórico de la serie ($112,4 \text{ kg}/\text{dfpto}$).

2. Introducción

Los modelos de evaluación estructurados por edades son la herramienta más utilizada en la actualidad para lograr una adecuada descripción del estado de los recursos marinos vivos al permitir la estimación de la tasa de explotación, la abundancia poblacional y su situación con relación a puntos biológicos de referencia. De esta manera, la efectividad de la administración pesquera incrementa al contar con medidas adecuadas de la mortalidad por pesca y la abundancia de los stocks (Punt et al. 2013, Maunder y Punt 2013, Neubauer et al. 2018). Además de las capturas (y su estructura por clase de longitudes o edades), para poder estimar los parámetros de estos modelos se requiere de un indicador de las tendencias de la abundancia poblacional (Maunder y Punt 2004).

Para obtener un indicador de la abundancia relativa, es común hacer uso de información de esfuerzo y captura de la actividad pesquera comercial para estandarizar la captura por unidad de esfuerzo (CPUE). Esto se hace frecuentemente en las evaluaciones de bacalao de profundidad porque los adultos se distribuyen en el talud continental entre 700 m y 2.500 m de profundidad, haciendo muy difícil el poder contar con estimaciones confiables y regulares de la abundancia a través del uso de métodos de evaluación directa (Yau et al. 2001).

Esto requiere de un procedimiento de *estandarización* de las tasas de captura comercial que implica el asumir una proporcionalidad entre la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) y la abundancia. Este procedimiento consiste en un análisis estadístico de los datos de captura y esfuerzo que busca estimar los efectos de otros factores que potencialmente pueden influir en esta proporcionalidad, permitiendo así obtener un indicador de la abundancia (Hinton y Maunder, 2003, Maunder y Punt 2004).

En este anexo se informa la estimación de indicadores de la abundancia relativa de bacalao de profundidad la que hace uso de los datos de captura y esfuerzo de la actividad pesquera desarrollada en área de pesca artesanal (al norte del 47° L.S.) y en la Unidad de pesquería (al sur del 47° L.S.) sometida a licitación.

En el año 2014 los datos disponibles de captura y esfuerzo de la flota industrial fueron separados en dos conjuntos. El primer conjunto de datos se extiende entre los años 1989 a 2006 y corresponde a las operaciones de pesca con palangre español. El segundo conjunto corresponde a las operaciones de pesca con cachalotera (Goetz et al. 2010) y se extiende entre los años 2007 y 2023. Esta separación de los datos industriales empleados en la estimación de índices de abundancia se consideró necesaria porque estos aparejos de pesca exhiben diferente eficiencia relativa (Rubilar et al 2014). La estimación de un índice de abundancia relativa usando el conjunto de datos que corresponde a las operaciones de pesca con palangre español fue informada en Tascheri et al. (2014). La estimación de un indicador de abundancia basada en datos de la pesca industrial con cachalotera, informada en este anexo, incluye los datos recopilados por CPES entre los años 2007 y 2013 (Rubilar et al. 2014) y los datos tomados por el IFOP entre los años 2014 y 2023.

En el área artesanal se utilizaron los registros de captura y esfuerzo entre 1986-2021 del proyecto FIP 96-32 “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) y los registros de operaciones de pesca artesanal entre 1998 a 2021 del IFOP.

3. Métodos

3.1. Estandarización del esfuerzo

En los análisis de estandarización de las tasas de captura tanto de la pesca industrial con cachalotera como de la pesca artesanal se han utilizado modelos lineales generalizados (GLM) y mixtos (GLMM; Gelman y Hill 2006, Venables y Dichmont 2004), variando la forma en cómo se estructuran los efectos aleatorios. Estos modelos incluyen como variable respuesta la captura por unidad de esfuerzo medida en kg/(número de barandillos x horas de reposo) y comparten el mismo predictor lineal incluyendo los efectos fijos Año, Mes y Zona.

La diferencia entre los dos modelos se encuentra en la estructura de los efectos aleatorios. El primer modelo incluye la interacción de los factores Barco y Zona como un efecto aleatorio y el segundo incluye el factor Barco y la interacción de los factores Año y Zona como factor aleatorio.

Siguiendo la nomenclatura de codificación del software lme4 (Bates et al. 2015), los modelos de estandarización son los siguientes:

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

$$\log(\text{CPUE}) \sim \text{Año} + \text{Mes} + \text{Zona} + (1|\text{Barco}) + (1|\text{Año:Zona}) \text{ modelo 2}$$

Luego de estabilizar la varianza aplicando logaritmos, se asumió que la captura por unidad de esfuerzo (kg/(nº barandillos calados* h. de reposo)) seguía una distribución normal.

3.2. Software de análisis

La exploración de los datos, análisis estadístico y representación gráfica de los resultados fue realizada con el lenguaje y ambiente para la computación estadística R (R Core Team 2021) usando las librerías dplyr (Wickham et al. 2022), PBSmapping (Schnute et al. 2021), lme4 (Bates et al. 2015), emmeans (Lenth 2020), ggplot2 (Wickham 2016) y ggCaterpillar.

3.3. Estandarización de las tasas de captura industrial de bacalao de profundidad. Años 2007 - 2023.

3.3.1. Datos

Los datos de la captura y esfuerzo industriales empelados en este estudio de las tasas de captura tienen dos 3rdenes: los datos tomados por CPES entre los aros 2007 y 2013 (Rubilar et al 2014) y una combinaci3n de registros tomados por la tripulaci3n de los barcos y datos tomados por observadores cient3ficos, recopilados como parte de las actividades desarrolladas por el proyecto de seguimiento de la pesquer3a conducido por el IFOP. Los datos recopilados por IFOP en la pesquer3a industrial de bacalao correspondieron a un total de 615 registros distribuidos en un total de cuatro barcos para el aro 2023 y de 551 para el aro 2023. Una vez aplicado el procedimiento de validaci3n descrito en Tascheri et al. (2014) 548 registros (88%; **Figura 1**) fueron anexados a la base de datos de captura y esfuerzo de la pesca con cachalotera. Al final de esta etapa del an3lisis, esta base de datos conten3a 9570 registros de pesca con cachalotera.

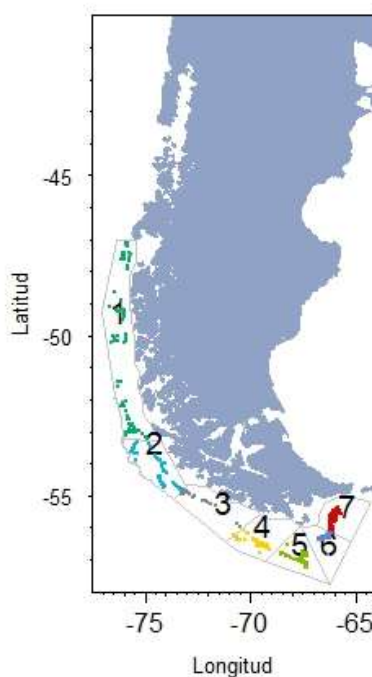


Figura 1. Posici3n de los lances registrados en las bit3coras de pesca industrial de bacalao de profundidad recopiladas durante el aro 2023 y su distribuci3n en los 7 caladeros identificados para esta flota. Fuente: IFOP.

3.4. Estandarización de las tasas de captura artesanal de bacalao de profundidad. Años 1986 a 2023.

3.4.1. Datos

El análisis de las tasas de captura de la flota artesanal utilizó registros de captura y esfuerzo originados en dos proyectos: el proyecto FIP 96-32 “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) cuya base de datos incluye registros de los años 1986 a 1997 y los registros de operaciones de pesca artesanal que cubren los años 1998 a 2021 recopilados por el proyecto de seguimiento de la pesquería conducido por el IFOP.

A fin de poder incluir datos del periodo 1986 a 1997 en el análisis de estandarización, los datos deben conformarse a la estructura de los datos tomados por el proyecto FIP 96-32. Esto es porque los datos disponibles de este proyecto se encuentran procesados incluyendo la captura en kg y el esfuerzo en días fuera de puerto (imposibilitando la exploración de medidas alternativas del esfuerzo). La información de localización de las operaciones de pesca, al igual que la información de las características de las embarcaciones, también se encuentra estratificada en las zonas latitudinales y categorías de potencia de motor que se presentan en las Tablas 1 y 2 (Young et al 1997). De este modo, para poder contar con una serie continua de datos para los años 1986 a 2022, se debió necesariamente adoptar la estructura de los datos del proyecto FIP 96-32, la que fue aplicada a los datos recopilados por el proyecto de seguimiento del IFOP entre los años 1998 y 2023.

Tabla 1.

Zonas latitudinales usadas por Young et al. (1997) en su análisis 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 según su potencia de motor usadas por Young et al. (1997) en su análisis 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

4. Resultados

4.1. Estandarización de las tasas de la captura industrial de bacalao de profundidad registradas entre los años 2007 y 2023.

4.1.1. Descripción de los registros de captura industrial.

La distribución de las operaciones de pesca con cachalotera por año y caladero demuestra algunas características de los datos de la operación industrial durante el periodo 2007 a 2023 (**Tabla 3**). El bajo número de registros en el año 2007, representando solo el 0,2% de los datos, se debe a que una fracción importante (~40%) de la operación en ese año se realizó con palangre español. Los años 2006 y 2007 representaron años de transición del uso de palangre al uso de la cachalotera, siendo las operaciones con palangre mayoritarias en el año 2006 y las con cachalotera predominantes en el año 2007. A partir del año 2008, el 100% de las operaciones de pesca utilizan la cachalotera.

El número de operaciones de pesca se redujo en un 12.1% entre los años 2013 y 2014 y se mantuvo bajo hasta el año 2016. Esta baja en la intensidad de operación refleja la notable reducción en la cuota de captura en el año 2014, la que se mantuvo sin variación en el año 2015. La ley de pesca fue revisada en el año 2013 adoptándose el Rendimiento Máximo Sostenible como objetivo del manejo. El comité científico de bacalao de profundidad fue el primer comité que sesionó luego de esta modificación en la ley y recomendó una drástica reducción de la cuota para ese año. Modificaciones posteriores en el modelo conceptual que soportaba la evaluación de stock, determinaron incrementos en la cuota de captura a partir del año 2017 (**Tabla 3**). La **Tabla 3** también muestra que el 41.8% de las operaciones de pesca de bacalao entre los años 2007 y 2023 se localizaron en las áreas de pesca 6 y 7 que corresponden a los caladeros más australes de la zona AL (**Figura 1**).

Tabla 3.
Distribuci3n anual de los registros de operaciones de pesca industrial con cachalotera por caladero.

Año	Caladero de pesca							Total	%
	1	2	3	4	5	6	7		
2007	0	3	4	14	0	2	0	23	0.2
2008	5	34	44	19	33	25	12	172	1.8
2009	19	71	121	62	33	58	19	383	4.0
2010	34	18	66	51	29	31	31	260	2.7
2011	17	46	76	77	64	101	90	471	4.9
2012	38	33	53	38	64	168	188	582	6.1
2013	141	91	92	96	148	179	642	1389	14.5
2014	12	2	19	39	25	34	164	295	3.1
2015	26	12	30	16	27	52	146	309	3.2
2016	24	4	42	48	63	32	58	271	2.8
2017	86	25	186	128	63	115	256	859	9.0
2018	78	31	176	176	179	151	200	991	10.4
2019	135	46	197	112	162	213	236	1101	11.5
2020	76	55	51	41	146	198	95	662	6.9
2021	157	55	67	93	27	55	182	636	6.6
2022	86	32	152	134	41	80	90	615	6.4
2023	111	138	30	86	84	75	27	551	5.8
Total	1045	696	1406	1230	1188	1569	2436	9570	100
%	10.9	7.3	14.7	12.9	12.4	16.4	25.5	100	

Los registros válidos de operaciones de pesca, disponibles para la estandarización de las tasas de captura, incluyen un total de 9 barcos (**Tabla 4**).

Tabla 4.
Número de lances por barco y año realizados en la pesquería industrial de bacalao de profundidad entre 2007 y 2023.

Año	Barcos									Total	%
	400065	400074	400075	400099	940239	940391	941225	941612	942434		
2007	0	0	0	0	0	23	0	0	0	23	0.2
2008	0	0	0	0	10	162	0	0	0	172	1.8
2009	0	35	47	0	12	202	0	87	0	383	4.0
2010	0	4	0	0	155	75	0	26	0	260	2.7
2011	0	30	45	0	137	136	0	123	0	471	4.9
2012	3	148	143	0	0	186	0	100	2	582	6.1
2013	0	282	224	65	240	215	65	224	74	1389	14.5
2014	0	0	98	106	69	8	0	14	0	295	3.1
2015	0	0	130	0	70	34	0	0	75	309	3.2
2016	0	0	50	0	0	63	0	75	83	271	2.8
2017	62	0	242	0	179	56	246	0	75	860	9.0
2018	0	0	282	0	186	158	319	0	46	991	10.3
2019	0	0	299	0	177	250	70	208	97	1101	11.5
2020	0	0	253	0	0	297	112	0	0	662	6.9
2021	0	0	199	0	157	242	0	0	72	670	7.0
2022	0	0	285	0	0	295	0	0	35	615	6.4
2023	78	0	241	0	155	77	0	0	0	551	5.7
Total	143	499	2538	171	1547	2479	812	857	559	9605	100.0
%	1.5	5.2	26.4	1.8	16.1	25.8	8.5	8.9	5.8	100	

La estandarización fue conducida con los datos de un subconjunto de barcos que operaron por un mínimo de 7 años y ejecutaron un mínimo de 64 lances de pesca por año, obteniendo una captura mediana de al menos 587 kg por lance. El fundamento para realizar este filtro es obtener una mejor representación del esfuerzo dirigido a la captura de bacalao y de este modo mejor información acerca de su abundancia relativa (Punt et al. 2000). La **Figura 2**, muestra las observaciones de las principales variables consideradas en la remoción del recurso. En este sentido se aprecia como las capturas en promedio han presentado una baja sostenida hasta el año 2013, y posterior a este año las capturas lograron superar las mil toneladas. Por otro lado, las horas de reposo presentan una estabilidad en el periodo 2007-2013, acompañado de un periodo de variabilidad entre los años 2014 y 2016; y para la serie 2017 al 2023 las horas de reposo presentan una reducción sostenida en sus niveles. En relación al número de barandillos, estos presentan una importante variabilidad en el periodo 2007 al 2017, y entre los años el número de barandillos presenta un decaimiento sostenido. En relación al rendimiento nominal, analizado en los meses de actividad pesquera se puede resumir en cierta estabilidad, acompañada de un incremento de los rendimientos de pesca hacia fines de año. Donde la flota presenta una mayor actividad de pesca, particularmente desde el mes de mayo.



Figura 2. Principales variables incluidas en el estudio del rendimiento de pesca entre los años 2007-2022, para flota palangrera industrial en AL.

La **Figura 3**, presenta los rendimientos nominales a nivel anual los cuales muestran una tendencia (ver ajuste polinomial), para el último periodo comprendido entre los años 2007 al 2023, con una reducción en el periodo 2007-2015, y una posterior recuperación a niveles cercanos a los observados el año 2010.

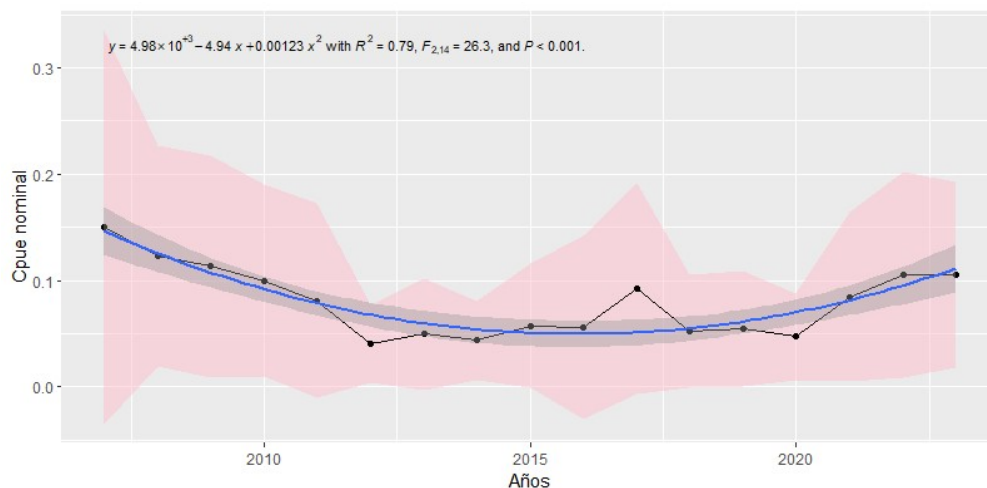


Figura 3. Rendimiento nominal con intervalo de confianza y tendencia polinomial.

4.1. Estandarizaci3n del esfuerzo industrial

La **Tabla 5** presenta los modelos analizados para la estimaci3n de un 3ndice de abundancia de informaci3n proveniente de la flota industrial, de donde se destaca que los modelo con la incorporaci3n de efectos aleatorios tuvieron mejor desempe1o en t3rminos estad3sticos (bajo el criterio de AIC) que lo modelo lineales generalizados. En este sentido se aprecia que la incorporaci3n de efectos aleatorios mejor3 la bondad de ajuste, y particularmente incluir interacciones condujo a un procedimiento que ayudo a escoger los dos mejores para contar con un mayor detalle del procedimiento de an3lisis.

Tabla 5.

Modelos de estandarizaci3n del esfuerzo industrial evaluados median enfoque de de factores fijos (glm) y aleatorios (glmm).

Caso	Modelo	gl	AIC
Glm_a	log(CPUE) ~ A1o	18	22661.65
Glm_b	log(CPUE) ~ A1o+Mes	29	22515.86
Glm_c	log(CPUE) ~ A1o+Mes+Zona	35	22220.64
Glmm_d	log(CPUE)~A1o+Mes+Zona+(1 Barco)	36	21938.62
Glmm_e	log(CPUE)~A1o+Mes+ (1 Barco)+ (1 A1o)	31	22304.84
Glmm_1	log(CPUE)~A1o+Mes+Zona+(1 Zona:Barco)	36	21930.41
GLmm 2	log(CPUE)~A1o+Mes+Zona+(1 Barco)+(1 A1o:Zona)	37	21861.61

$\log(\text{CPUE}) \sim \text{A1o} + \text{Mes} + \text{Zona} + (1|\text{Zona:Barco})$ modelo 1

$\log(\text{CPUE}) \sim \text{A1o} + \text{Mes} + \text{Zona} + (1|\text{Barco}) + (1|\text{A1o:Zona})$ modelo 2

Las desviaciones est3ndar de los efectos aleatorios interacci3n Zona:Barco (modelo 1) e interacci3n A1o:Zona y Barco (modelo 2), fueron estimadas en 0.2397, 0.366 y 0.194, respectivamente. La desviaci3n est3ndar residual fue estimada en 0.962 en el modelo 1 y en 0.921 en el modelo 2. Usando una prueba chi cuadrado y los criterios de informaci3n AIC y BIC, el modelo 2 fue seleccionado como el m3s representativo de la variabilidad de las tasas de captura de bacalao de profundidad registradas entre los a1os 2007 y 2023 (**Tabla 5**).

Tabla 5.

Selecci3n del modelo de estandarizaci3n de las tasas de captura industrial de bacalao.

Modelo	G.L.	AIC	BIC	logVerosim	Devianza	ChiCua d	Chi Df	Pr(>ChiCuad)
1	36	21930	22182	-10929	21858			
2	37	21862	22121	-10894	21788	70.807	1	<0,000

Las tendencias de la abundancia relativa estimadas empleando los dos modelos de estandarizaci3n fueron muy similares. En ambas series la abundancia relativa se redujo en un 50% entre los a1os 2007 y 2014 (0,087 a 0,026 kg/(barandillo x horas de reposo) (**Figura 4**). Las tasas de captura estandar se mantuvieron bajas entre los a1os 2014 y 2020 si se las compara con aquellas de la primera parte de la serie, fluctuando en torno a un promedio de 0,034 kg/(barandillo x horas de reposo). La tasa de captura estandar estimada para el a1o 2023 0,059 kg/(barandillo x horas de reposo) corresponde a un incremento del 2.27 veces el promedio de los a1os 2012 a 2020, lo que es consistente inclusive con los mayores rendimientos observados en todos los caladeros de la Unidad de Pesquería en el periodo 2021-2023 (**Figuras 4**).

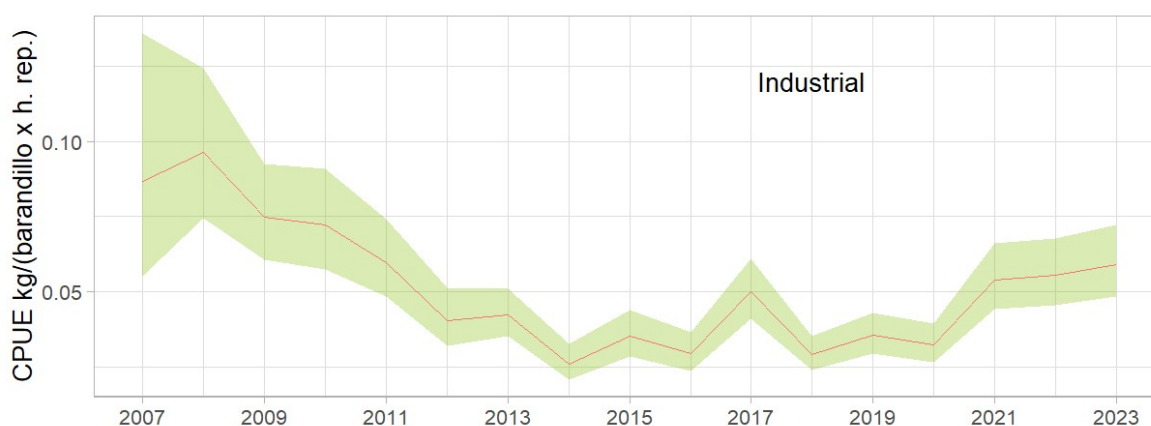


Figura 4. Cambios interanuales en la abundancia relativa de bacalao de profundidad estimados como el efecto fijo a1o de en modelo GLMM de las tasas de captura industrial registradas entre los a1os 2007 y 2023.

4.2. Análisis de estandarización del esfuerzo de la pesca artesanal de bacalao de profundidad desarrollada entre los años 1986 a 2023.

4.2.1. Descripción de los registros de captura artesanal

La información espacial considerada en los modelos está condicionada a las zonas latitudinales definidas por Young et al. (1997). Del resumen de esta información, entregado en la **Tabla 6**, se desprende que entre los años 1986 y 2018 no hay datos disponibles para la zona 1 para poder ser incluidos en el análisis de estandarización. Otro aspecto relevante de los datos, que es evidente del resumen en la **Tabla 6**, es que la mayoría de los datos (85.9%) corresponden al periodo de años entre 1986 y 2003 y el 77.1% corresponde a los datos recopilados por Young et al. (1997). Inmediatamente terminado el proyecto FIP 96-32 en el año 1996, la información operacional tomada en esta flota se redujo en un 52% y entre los años 2003 y 2004 el número de viajes monitoreados se redujo en un 72% (**Tabla 6**). Los datos recopilados entre los años 2004 y 2016 corresponden a sólo un 1.6% de los registros disponibles para el análisis de estandarización. Entre los años 2017 y 2021 el promedio de viajes monitoreados se estima en uno 270 viajes, el cual se incrementó notablemente el año 2023, y los datos tomados durante este periodo representan un 12.5% del total de datos disponibles para el análisis de estandarización (**Tabla 6**).

El 93.4% del total de los registros de captura y esfuerzo de esta flota disponibles para el análisis de estandarización proviene de las zonas 2 al 4 (**Tablas 1 y 6**). Los datos de la zona 4 se reducen notablemente en el año 1997 y esta zona no vuelve a registrar viajes de manera importante hasta el año 2023 (**Tabla 6**). De manera similar, la zona 5 sólo registra un número significativo de viajes entre los años 1998 y 2006 y entre los años 2016 y 2019, registrando 89 viajes en el año 2023.

Tabla 6.

Distribución anual y por zona de los registros de pesca artesanal de bacalao de profundidad.
Los registros de los años 1986 a 1997 corresponden al proyecto FIP 96-32 y los registros de 1998 a 2023 a los datos tomados por el proyecto de seguimiento del IFOP.

Año	Zonas					Total general	%
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5		
1986	-	356	256	50	-	662	3.0
1987	-	629	447	227	-	1303	5.8
1988	-	235	544	569	-	1348	6.0
1989	-	632	430	912	-	1974	8.8
1990	-	685	681	737	-	2103	9.4
1991	-	472	539	598	-	1609	7.2
1992	-	373	530	325	-	1228	5.5
1993	-	605	546	301	-	1452	6.5
1994	-	751	700	635	-	2086	9.3
1995	-	503	645	557	-	1705	7.6
1996	-	208	533	464	-	1205	5.4
1997	-	54	439	87	1	581	2.6
1998	-	41	60	60	19	180	0.8
1999	-	68	364	4	30	466	2.1
2000	-	34	135	9	182	360	1.6
2001	-	22	109	-	56	187	0.8
2002	-	49	253	-	189	491	2.2
2003	-	11	126	-	140	277	1.2
2004	-	-	1	-	74	75	0.3
2005	-	2	8	-	29	39	0.2
2006	-	1	2	-	19	22	0.1
2007	-	-	4	4	6	14	0.1
2008	-	2	2	1	7	12	0.1
2009	-	9	14	-	-	23	0.1
2010	-	2	11	-	-	13	0.1
2011	-	3	6	-	-	9	0.0
2012	-	2	2	-	4	8	0.0
2013	-	9	31	1	-	41	0.2
2014	-	21	10	3	-	34	0.2
2015	-	22	17	7	-	46	0.2
2016	-	-	2	5	10	17	0.1
2017	-	43	23	22	31	119	0.5
2018	-	228	92	26	64	410	1.8
2019	119	45	25	13	30	232	1.0
2020	17	28	13	4	3	65	0.3
2021	65	309	130	9	12	525	2.3
2022	123	59	68	6	16	272	1.2
2023	146	320	566	56	89	1177	5.3
Total general	470	6833	8364	5692	1011	22370	100
%	2.1	30.5	37.4	25.4	4.5	100	

Considerando toda la información recopilada, las categorías de potencia de motor 3 (90 – 130 HP), 5 y 6 (170 -250 HP) (**Tabla 2**), aparecen como las más relevantes en términos del número de operaciones de pesca en registro (64%; **Tabla 7**). En términos de la mayor cantidad de registros se puede comentar que entre los años 1986 y 2003 se concentra el 92.6% de la actividad pesquera. Entre los años 1986 y 1995 las categorías de potencia de motor 3, 5 y 6 son las mejor representadas en la base de datos. Entre estas, las categorías 5 y 6 son particularmente importantes entre estos años, alcanzando un número máximo de embarcaciones en los años 1990 y 1994 (**Tabla 7**).

En el periodo de años de 1986 a 1995, la categoría de potencia de motor 3 alcanza un número máximo de embarcaciones en el año 1987 y el número de unidades en esta categoría se reduce notablemente en años sucesivos. Entre los años 1997 y 2003, las categorías de menor potencia de motor (1 a la 3) reducen notablemente su número de registros (**Tabla 7**) y se puede observar que entre los años 1998 y 2003 el monitoreo de datos de captura y esfuerzo se concentró en embarcaciones con potencia mayor a 130 HP (categorías 4 a la 9) (**Tabla 7**). De manera similar la categoría de embarcación 9 (>300 hp; **Tabla 2**) es importante en la base de datos entre los años 1998 y 2006 y entre los años 2013 y 2023. Esto sugiere que son embarcaciones asociadas a la zona 5, en donde el monitoreo se concentra en estos años (**Tablas 6 y 7**). Esto tiene sentido, ya que el tamaño de las embarcaciones artesanales es mayor en latitudes más altas, lo que es determinado por las condiciones de navegación.

Esta distribución irregular de los datos operacionales de la flota artesanal bien podría estar reflejando cambios de la cobertura del muestreo a través del tiempo y espacio, algo que es importante de tener presente al juzgar la representatividad del índice estimado para el total de estas áreas (**Tablas 6 y 7**). Cambios en el tiempo y espacio en la cobertura del muestreo es tal vez el factor más determinante de la distribución de los datos de esfuerzo en los estratos, temporales, espaciales y de categorías de potencia de motor, más que la entrada y salida de las embarcaciones que desarrollan esta actividad pesquera o cambios geográficos de los centros de mayor operación. Para el año 2023 se aprecia que la categoría de HP que predomina en el número de embarcaciones corresponde a la categoría 9.

Tabla 7.

Distribuci3n anual de los registros de la pesca artesanal de bacalao de profundidad por categor3a de potencia de motor. Los registros de los a3os 1986 a 1997 corresponden al proyecto FIP 96- 32 y los registros de 1998 a 2022 al proyecto de seguimiento del IFOP.

A3o	Categor3a de HP									Total	%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1986	12	82	247	34	187	18	26	7	0	613	3.3
1987	48	76	435	77	489	28	71	11	0	1235	6.7
1988	32	49	323	113	459	111	123	17	0	1227	6.7
1989	27	39	366	244	576	306	125	89	0	1772	9.6
1990	5	44	320	176	680	348	187	110	0	1870	10.2
1991	18	12	208	160	503	292	194	70	0	1457	7.9
1992	2	11	116	105	431	235	117	64	0	1081	5.9
1993	17	1	162	120	411	354	153	44	0	1262	6.9
1994	17	31	219	177	606	426	235	129	0	1840	10.0
1995	18	36	152	155	532	305	194	147	0	1539	8.4
1996	8	25	118	59	342	181	188	130	0	1051	5.7
1997	0	2	57	68	196	79	114	63	0	579	3.1
1998	12	1	3	9	40	16	1	18	11	111	0.6
1999	5	6	12	64	55	62	35	51	38	328	1.8
2000	1	0	2	46	39	50	18	41	48	245	1.3
2001	0	2	6	19	30	19	11	21	40	148	0.8
2002	1	1	19	52	72	33	43	69	127	417	2.3
2003	0	2	7	18	25	20	32	50	102	256	1.4
2004	0	0	0	1	2	6	10	18	31	68	0.4
2005	0	0	0	3	6	4	4	8	11	36	0.2
2006	0	0	1	0	1	0	2	4	12	20	0.1
2007	0	0	0	1	2	1	0	0	6	10	0.1
2008	0	0	0	0	1	0	1	2	6	10	0.1
2009	0	0	2	1	8	5	0	1	5	22	0.1
2010	0	0	2	1	0	2	2	0	6	13	0.1
2011	0	0	2	0	4	1	2	0	0	9	0.0
2012	0	0	0	0	1	1	1	0	4	7	0.0
2013	0	0	2	1	2	2	3	3	20	33	0.2
2014	0	0	4	3	7	0	4	6	10	34	0.2
2015	0	0	4	6	8	5	3	5	15	46	0.3
2016	0	0	0	1	5	2	0	1	5	14	0.1
2017	2	0	3	7	17	11	8	19	38	105	0.6
2018	7	0	5	7	25	13	3	13	32	105	0.6
2019	3	0	5	6	21	3	9	15	14	76	0.4
2020	8	0	2	1	6	1	3	5	8	34	0.2
2021	6	0	6	9	15	3	4	16	22	81	0.4
2022	0	0	36	27	45	16	9	14	132	279	1.5
2023	2	2	26	42	43	40	6	1	190	352	1.9
Total	251	422	2872	1813	5892	2999	1941	1262	933	18385	100
%	1.4	2.3	15.6	9.9	32.0	16.3	10.6	6.9	5.1	100	

4.2.2. Estandarización del esfuerzo artesanal

Uno de los filtros utilizados para seleccionar la unidad de esfuerzo, correspondió a considerar solo lances con un número menor a 30 días fuera de puerto. Lo anterior se sustenta un criterio pesquero y estadístico, que como puede verse en la **Figura 5**, intenta reducir la información fuera de tendencia que puede representar outlier, no deseables en la modelación de la abundancia.

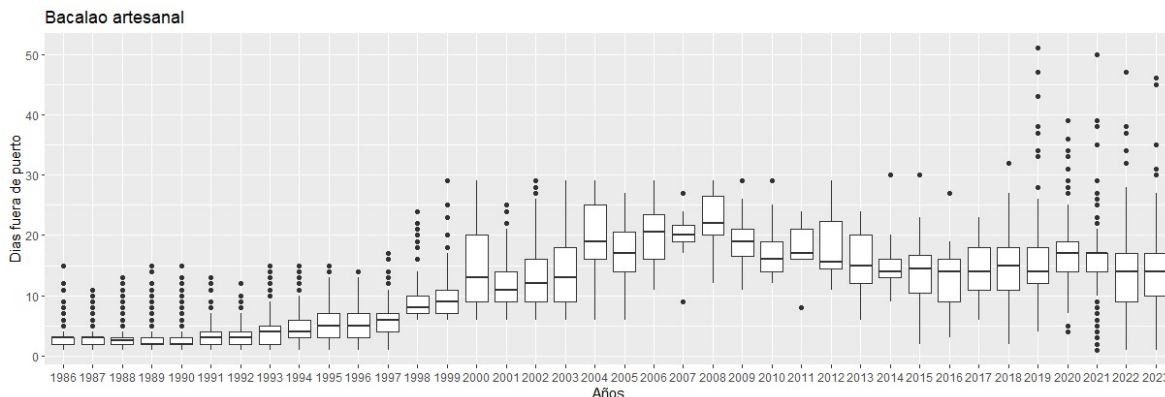


Figura 5. Boxplot de los días fuera de puerto por año.

En la **Figura 5 A** y **B** se representan las tasas de captura nominales calculadas empleando los datos del proyecto FIP 96-32 que cubren los años 1986 a 1997 y los datos recopilados por el proyecto de monitoreo del IFOP que cubren la operación de los años 1998 a 2023, respectivamente. En estas figuras se aprecia que los cambios interanuales en los rendimientos de pesca muestran una marcada reducción en los rendimientos entre los años 1989 y 1997 (**Figura 6 A**). La variación de los rendimientos de pesca entre los años 1998 y 2023 exhibe un leve incremento entre los años 2006 y 2007, pero mantiene una tendencia neutra en general a través de todo este último periodo (**Figura 6 B**). La **Figura 6 C** muestra un notable incremento del esfuerzo de pesca, considerado como la duración de los viajes de pesca (DFP, días fuera de puerto) entre los años 1990 y 2008, coincidiendo con una declinación progresiva en los rendimientos que alcanzan el nivel mínimo el año 2016 (**Figura 6 D**). Posteriormente y entre los años 2017 al 2023 los niveles se mantienen estables bajo los 15 días fuera de puerto.

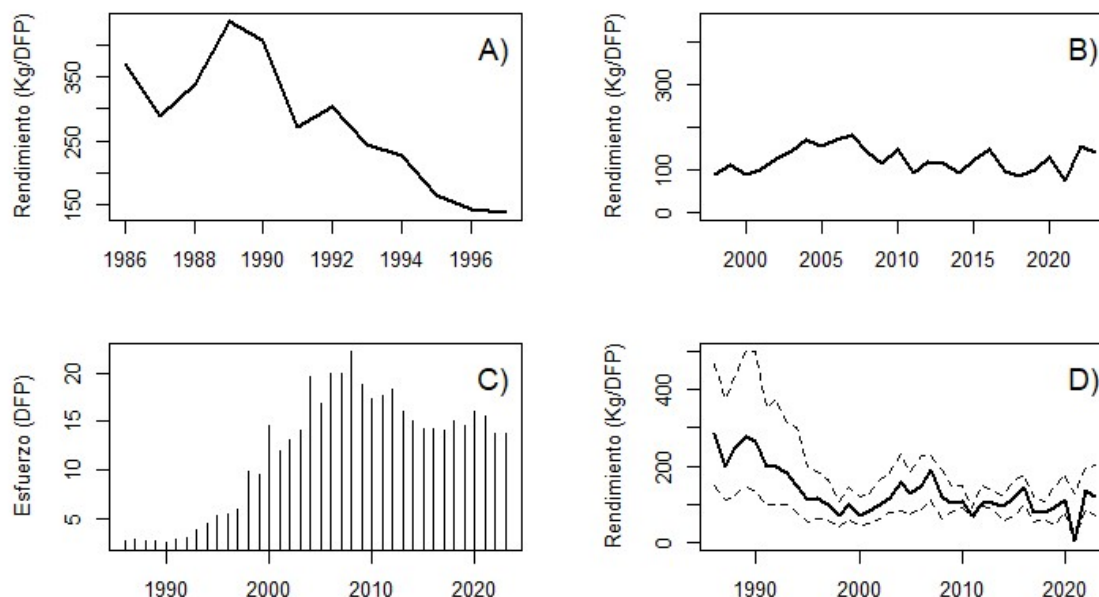


Figura 6. Tasas medias de captura nominal de la flota artesanal (A) entre los años 1986 y 1997; (B) entre los años 1998 y 2022, (C) registros anuales de días fuera de puerto (esfuerzo de pesca) y (D) Cpue nominal entre los años 1986 y 2022 (incluyendo el espacio Inter cuartil). Fuente: FOP.

La **Tabla 8** presenta los modelos analizados para la estimación de un índice de abundancia de información proveniente de la flota artesanal, de donde se destaca al igual que en el caso de la estandarización de la flota industrial, que los modelo con la incorporación de efectos aleatorios tuvieron mejor desempeño en términos estadísticos (bajo el criterio de AIC) que lo modelo lineales generalizados. En este sentido se aprecia que la incorporación de efectos aleatorios mejoro la bondad de ajuste, y particularmente incluir interacciones condujo a un procedimiento que ayudo a escoger los mejores escenarios para contar con un mayor detalle del procedimiento de análisis.

Tabla 8.

Modelos de estandarización del esfuerzo industrial evaluados median enfoque de de factores fijos (glm) y aleatorios (glmm).

Caso	Modelo	gl	AIC
Glm1	$\log(\text{CPUE}) \sim \text{AÑO}$	39	60528
Glm2	$\log(\text{CPUE}) \sim \text{AÑO} + \text{MESR}$	50	60270
Glm3	$\log(\text{CPUE}) \sim \text{AÑO} + \text{MESR} + \text{AREA}$	54	57527
Glm4	$\log(\text{CPUE}) \sim \text{AÑO} + \text{MESR} + \text{AREA} + \text{CATHP}$	63	47496
Glmm1	$\log(\text{CPUE}) \sim \text{AÑO} + \text{AREA} + \text{MESR} + (1 \text{CATHP})$	55	47528
Glmm2	$\log(\text{CPUE}) \sim \text{AÑO} + \text{AREA} + \text{MESR} + (1 \text{CATHP}) + (1 \text{ANO:AREA})$	56	47351
Glmm3	$\log(\text{CPUE}) \sim \text{AÑO} + \text{AREA} + \text{MESR} + (1 \text{CATHP/ANO:AREA})$	56	47184

Usando una prueba Chi Cuadrado y los criterios de informaci3n AIC y BIC, el modelo 3 (glmm3) fue seleccionado como el m1s representativo de la variabilidad de las tasas de captura de bacalao de profundidad registradas por la flota artesanal entre los a1os 1986 y 2023 (**Tabla 9**)

Tabla 9.

Selecci3n del modelo de estandarizaci3n de las tasas de captura artesanal de bacalao.

Modelo	npar	AIC	BIC	logLik	Devianza	Chisq	df	Pr(>Chisq)
Glmm1	55	47528	47958	-23709	47418			
Glmm2	56	47351	47790	-23620	47239	178	1	<2e-16
Glmm3	56	47184	47622	-23535	47072	167	0	

De acuerdo con las series estimadas, la tasa de captura se redujo de 252 kg/dfpto en 1986 a 56 kg/dfpto en 1998, y desde el a1o 2021 al 2022 las tasas se elevan por sobre 150 kg/dfpto. Para el a1o 2023 en tanto, los rendimientos estandarizados se calculan en 117 kg/viaje (glmm3, **Figura 7**).

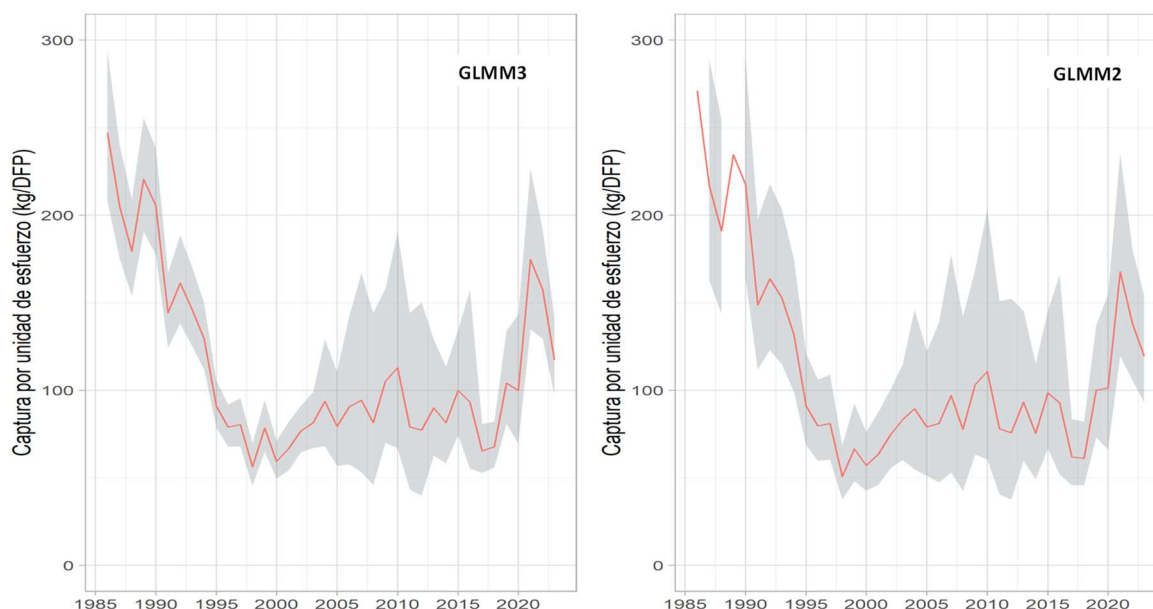


Figura 7. Series de abundancia relativa estimadas usando los datos de la pesca artesanal de bacalao de profundidad y modelos GLMM 1 (panel izquierdo) y GLMM 2 (panel derecho). A1os 1986 al 2022.

La **Figura 8**, presenta los 1ndices de abundancia estimados en los 1ltimos a1os de evaluaci3n, de donde destaca la semejanza entre estimaciones de la CPUE estandarizada para la flota artesanal. De igual forma se incorpora un ajuste polinomial para ilustrar la tendencia del 1ndice que muestra una recuperaci3n del recurso desde el a1o 2008 a la fecha.

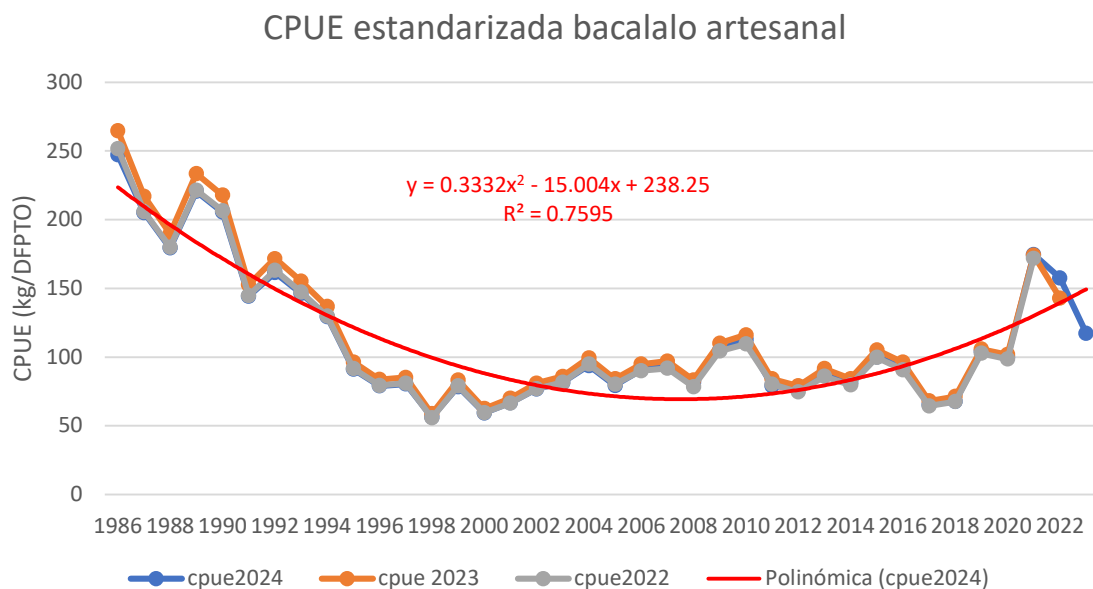


Figura 8. Comparaci3n entre 3ndices de abundancia relativa estimados en los dos 3ltimos a3os de evaluaci3n, se incluye adem3s un ajuste de tendencia polinomial.

5. Referencias

- 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.
- Diggle, P. J., P. J. Heagerty, K-Y Liang, and S. L. Zeger. 2013. *Analysis of longitudinal data*. Oxford University Press, Oxford New York, 14. 400 pp. isbn: 0198524846.
- Gelman, A. and J. Hill. 2006. *Data analysis using regression and multilevel/hierarchical models*. Cambridge University Press.
- Goetz, Sabine, Martín Laporta, Julio Martínez Portela, M. Begoña Santos, Graham J. Pierce. 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.
- 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. V. 2021. emmeans: Estimated Marginal Means. R package version 1.5.4. <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>.
- 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.
- Neubauer P, Thorson JT, Melnychuk MC, Methot R, Blackhart K. 2018. Drivers and rates of stock assessments in the United States. *PLoS ONE* 13(5): e0196483.
- Punt, E. A., T. I. Walker, B. L. Taylor and F. Pribac. 2000. Standardization of catch and effort data in a spatially-structured shark fishery. *Fisheries Research*. 45: 129-145.
- Punt, A. E., TC. Huang and M. N. Maunder. 2013. Review of integrated size-structured models for stock assessment of hard-to-age crustacean and mollusc species. *ICES Journal of Marine Science*. 70(1): 16 –33.
- R Core Team. 2021. *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 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.
- Schnute, J. T., N. Boers and R. Haigh. 2021. PBSmapping: Mapping Fisheries Data and Spatial Analysis Tools. R package version 2.73.0. <https://CRAN.R-project.org/package=PBSmapping>.
- Tascheri, R., 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. Subsecretaría de Economía y EMT. 126 p. + Anexos.
- Tascheri, R. 2021. Segundo Informe Técnico. Convenio de Desempeño 2021: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2021: Bacalao de profundidad. Subsecretaría de Economía y EMT - IFOP. 102 p.
- 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. 2021. dplyr: A Grammar of Data Manipulation. R package version 1.0.7. <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>.
- Yau C., M. A. Collins, P. M. Bagley, I. Everson, C. P. Nolan, I. G. Priede. 2001. Estimating the abundance of Patagonian toothfish *Dissostichus eleginoides* using baited cameras: a preliminary study. 51(2-3):403-412.
- 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.



A N E X O 4

Evaluación
Bacalao de profundidad zona APA.

ANTECEDENTES

El bacalao de profundidad presenta una distribución amplia asociada a la corriente Circumpolar Antártica, con presencia en islas y continentes adyacentes a esta corriente (Collins et al 2010). En América del Sur el bacalao de profundidad se distribuye desde el Norte del Perú hasta El Cabo de Hornos por el Océano Pacífico y en la Patagonia Argentina por el Océano Atlántico. A lo largo de su distribución alrededor del sur de Sudamérica se ha demostrado que su estructura poblacional corresponde a una sola unidad poblacional compartida en aguas chilenas y argentinas (Canales-Aguirre et al 2018). Dentro de Chile, y basado en la información científica actualizada, el bacalao de profundidad presenta una única población que administrativamente está dividida en dos Unidades de Pesquería (UP) divididas al norte y al sur de los 47° S. Esta división administrativa ha propiciado que se realicen análisis científicos y evaluaciones de stock que desconozcan la estructura espacial descrita para este recurso y se consideren como dos poblaciones aisladas reproductivamente en concordancia a la división administrativas de las UP.

La historia de evaluaciones de esta pesquería ha presentado varios cambios en la estructura y modelo conceptual utilizado, modificándose principalmente debido a motivos logísticos o administrativos. La Subsecretaría de Pesca y Acuicultura solicita al IFOP mediante la ORD N° 0893 que realice una evaluación data pobre para la zona artesanal (ubicada al norte de los 47° S). Es por esto que se implementó por segundo año consecutivo, un análisis de datos pobres para conocer el estatus y estimar valores que permitan realizar una explotación sustentable de la porción de la población de bacalao de profundidad que se encuentra al norte de los 47° S, la que es explotada principalmente por una flota artesanal. Para el desarrollo de este análisis se condicionará el modelo de evaluación de stock para que este considere que los individuos de bacalao presentes al norte de los 47° S y dentro de los límites nacionales constituyen una población cerrada con respecto las áreas adyacentes. Este condicionamiento es de carácter funcional al manejo y no está sustentado por información científica.

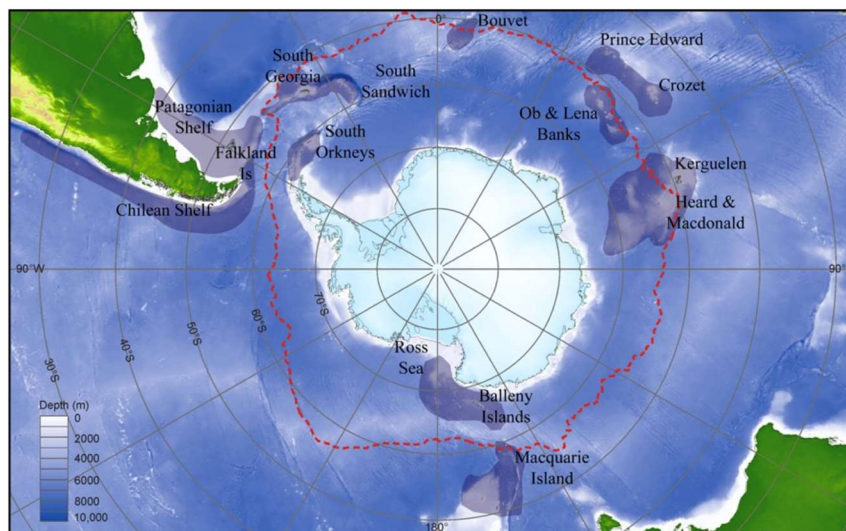


Figura 1: Mapa de distribución de *Dissostichus eleginoides*. Collins et al 2010.

En las últimas décadas se ha observado un aumento en el interés de explotar el recurso bacalao de profundidad por parte de la flota pesquera del artesanal de Chile. Este interés ha motivado a los tomadores de decisiones a avanzar en asunto necesario para considerar en términos de manejo y sustentabilidad. Sin embargo, actualmente no existe un Plan de Manejo definido para esta pesquería, por lo que no existen objetivos, plazos ni algoritmos específicos para la determinación de una regla de captura o algún otro mecanismo de manejo fuera de lo que expresa la LGPA en sus términos generales para las pesquerías chilenas. El stock presente en el APA ha sido administrado y manejado tomando en consideración análisis realizados para este recurso a nivel Nacional como un escenario de modelación que incluye datos de la pesquería operada por la flota artesanal a nivel nacional (Taschieri, 2022). La SSPA describe los elementos que se identifican como necesarios para propender a Plan de Manejo futuro para la pesquería en el APA, como, por ejemplo; veda biológica, artes de pesca cierre de accesos y declaración de Régimen de Plena Explotación (R. Ex N° 57 de 2003). Junto a ello, se describe el mecanismo de asignación de cuotas para el AL y APA por separado. La falta de definición de un marco de referencia biológico específico para bacalao en APA tiene una transcendencia relevante en el actual trabajo desde el punto de vista metodológico, lo que implica que este documento fue elaborado sin la información necesaria para identificar objetivos, plazos y estrategias de manejo particulares, elementos que constituyen el pilar fundamental de todo procedimiento de manejo basado en un rigor científico, de acuerdo con Punt et al. (2013) y Carruthers et al. (2015). Cabe destacar que el procedimiento de manejo del presente año no contempla la utilización del presente análisis para efectos de definición de estatus ni cuota, sino más bien representa un elemento para no discontinuar el análisis realizado durante el año 2023.

Antecedentes de la pesquería

En términos globales, el análisis temporal de los desembarques de bacalao de profundidad indica que las últimas temporadas de pesca los niveles de extracción han tendido al descenso desde el año 2005, en donde el 2020 significó la cifra más baja de la historia de la pesquería artesanal de este recurso en APA (**Figura 2**). Sin embargo, desde el año 2021 el desembarque mostró una recuperación alcanzando valores ligeramente por sobre el promedio de desembarque reportado en la última década.

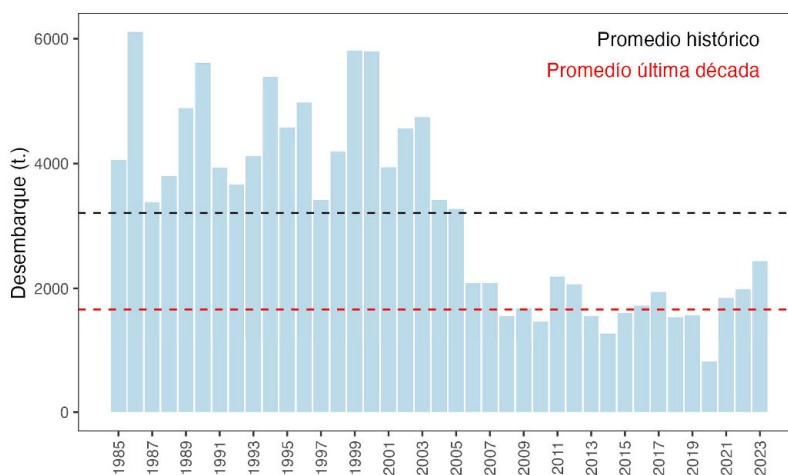


Figura 2. Desembarque (t) artesanal de bacalao de profundidad, por región de desembarque. Periodo 1985-2023. Línea punteada negra corresponde al promedio histórico; Línea punteada roja corresponde al promedio últimos diez años (Fuente: Elaboración propia a partir de datos Sernapesca).

Respecto al artes de pesca en APA, el principal método de pesca usado para capturar bacalao de profundidad corresponde a un espinel de fondo horizontal (**Figura 3**). Al inicio de la pesquería este estaba constituido por una línea madre de 6 a 14 mil metros de longitud, con reinales separados entre 0,7 y 1,8 metros. Utilizaban anzuelos rectos, en un número que fluctuaba entre 3000 y 10000 unidades por lance y la línea se calaba muy próxima al fondo (Young et al., 1987). Hacia el final de la década de los 80 se comienza a experimentar con anzuelos curvos, que han demostrado una mayor eficiencia de captura al reducir el desprendimiento del pescado (Tools, 1984; Salas et al, 1997). Posteriormente comienza a evolucionar el diseño del espinel para llegar a una línea mixta horizontal-vertical. El tamaño de la línea madre se reduce, pero calando entre dos a cuatro líneas diariamente, la línea se levanta del fondo (5 a 10 metros) y en cada reinal en sentido vertical se empatan, entre 2 a 6 anzuelos, Este diseño permite operar en sectores de más difícil acceso con un mayor control del aparejo. Desde mediados de los 90' la utilización de este método es de uso casi generalizado en la pesquería de bacalao de la zona centro-sur del país, El anzuelo curvo podría decirse que también se ha masificado,

no obstante, el mayor costo, que se ve compensado con la mayor eficiencia de este tipo de anzuelo. De todas formas, existen variaciones locales dado la gran diferencia cultural y geográfica, así como también de la propia flota que opera sobre este recurso a lo largo de la costa chilena (Zuleta et al., 2016).

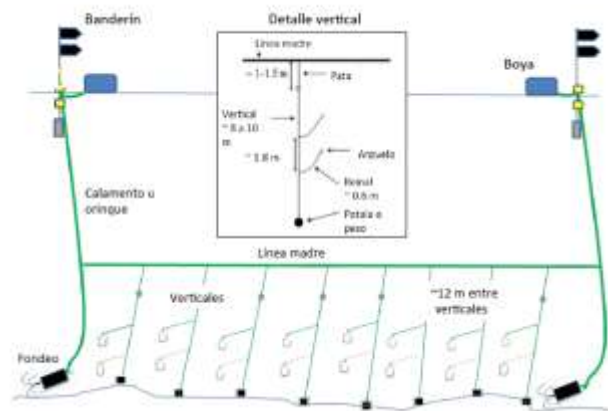


Figura 3. El arte de pesca utilizado por las embarcaciones artesanales corresponde a un espinel horizontal de fondo con líneas verticales, semejante a un trotline, con 1 a 2 reinales, con un anzuelo distribuidos de manera escalonada en el vertical (FIPA 2014-03)

El monitoreo de la pesquería es la principal fuente de datos y proviene de la Base de Datos del Instituto de Fomento Pesquero, la que es poblada por el levantamiento de información que se realiza a partir del convenio Asesoría Integral para la toma de decisiones en pesca y acuicultura (ASIPA), encargado por la Subsecretaría de Pesca a IFOP desde el año 1996 en el llamado Proyecto de Seguimiento de Pesquerías Demersales y Aguas Profundas. Esta información permite obtener indicadores como son: la captura por unidad de esfuerzo (CPUE), las estructuras de tamaños de la pesquería, el peso medio a la talla, entre otros. Complementariamente se dispuso de información recopilada en proyectos financiados por el Fondo de Investigación Pesquera y Acuicultura (FIPA) y antecedentes biológicos recopilados en literatura científica formal. Por otro lado, extrajo la información oficial de remociones (capturas) para cada recurso en la zona de estudio, la cual fue obtenida de los Anuarios Estadísticos de Pesca (SubPesca, 2023). A continuación, se describen las piezas de información disponibles por recurso y una síntesis de ellas.

METODOLOGÍA

Modelo de evaluación data pobre

Los modelos de producción se utilizan para evaluar biomasa y nivel de explotación de poblaciones marinas en situaciones de datos limitados donde la información de la edad y el tamaño no están disponibles o no son confiables (Punt, 2003). Estos modelos se aplican principalmente a acciones donde los únicos datos disponibles son observaciones de capturas comerciales junto con algún índice de biomasa explotable, como capturas comerciales por unidad esfuerzo (CPUE), densidades medias, estimaciones de abundancia a través de cruceros o derivado de una encuesta científica fecha (Polacheck et al. 1993). Aplicaciones comunes de los modelos de producción excedente incluyen grandes peces pelágicos migratorios como el atún, tiburones y peces picudos, pero también crustáceos que son generalmente difícil de envejecer (por ejemplo, Smith & Addison 2003). En la formulación de Schaefer (1954), la producción máxima ocurre cuando el tamaño de la población es la mitad de su capacidad de carga. Esta restricción se evita en forma generalizada. De Pella y Tomlinson (1969), donde la asimetría de la función de producción permite la máxima producción a cualquier biomasa por debajo de la capacidad de carga. Así, una población se explota de manera óptima en términos de biomasa si se cosecha para permanecer en la biomasa nivel que da como resultado la máxima producción definido como el Rendimiento Máximo Sostenible (RMS).

En este informe se presenta una modelo de producción excedente estocástica en tiempo continuo (Stochastic Surplus Production Model in Continuous Time, SpiCT, por sus siglas en inglés) (Pedersen & Berg, 2017), que incorpora dinámica tanto de la biomasa como de la pesca y error de observación tanto de las capturas como de la biomasa índices. El modelo tiene una forma estado-espacio que contienen proceso y observación-modelos de error (Polacheck *et al.*, 1999) (Polacheck *et al.* 1993; Prager, 2002), así como modelos de estado-espacio asumen capturas sin errores (Meyer y Millar 1999; Punt 2003; Ono *et al.*, 2012). El modelo utiliza datos observados sobre desembarques o capturas e índices, ya sean comerciales o de prospecciones y no incluye parámetros de historia de vida. Los modelos de producción como SpiCT generalmente funcionan mejor cuando existe contraste en los datos de esfuerzo, biomasa, tasa de captura (Hilborn & Walters, 1993). SpiCT está formulado como un modelo de estado-espacio e incorpora dinámicas relacionadas tanto con las pesquerías (F) como con la biomasa (B) en la forma de Pella & Tomlinson (1969). Estos dos procesos latentes se relacionan luego con los datos observados (capturas y captura por unidad de esfuerzo: CPUE, ya sea comercial o de prospecciones) mediante ecuaciones de observación, que incluyen términos de error. Se definen las ecuaciones del modelo; Ecuaciones de proceso (random effects):

$$Biomasa: dB_t = rB_t \left(1 - \left[\frac{B_t}{K} \right]^{n-1} \right) dt - F_t B_t dt + \sigma B_t dW_t$$

$$Pesca: d \log(F_t) = f(t, \sigma F)$$

En donde W_t es movimiento browniano (término de ruido).

Ecuaciones de observaci3n:

$$Indice: \log I_t = \log(qB_t) + e_t, e_t \sim N(0, [\alpha \sigma B]^2)$$

$$Captura: \log C_t = \log \left(\int_t^{t+\Delta} F_s B_s ds \right) + e_t,$$

$$e_t \sim N(0, [\beta \sigma F]^2)$$

El modelo representado para la Mortalidad por Pesca mediante $F(t, \sigma F)$ cuando se usa el dato anual, como un random walk (o difusivo). Si existen series de datos sub-anales, el modelo de F incorpora un patr3n estacional que es aplicado. La Tabla 1 muestra los parámetros utilizados y sus definiciones

Tabla 1.

Parámetros y su descripci3n utilizados en el modelo SpiCT para bacalao de profundidad APA.

Parámetro	Definici3n
B_t	Stock de biomasa explotable
F_t	Mortalidad por Pesca
r	Tasa intrínseca de crecimiento poblacional
K	Capacidad de carga o biomasa de equilibrio en condici3n virginal
n	Parámetro que determina la forma de la curva de producci3n
q	Capturabilidad
σ_B	Desviaci3n estándar de B_t
σ_F	Desviaci3n estándar de F_t
α	Raz3n de desviaci3n estándar de I_t para desviaci3n estándar de B_t
β	Raz3n de desviaci3n estándar de C_t para desviaci3n estándar de F_t

Con información limitada a menudo es difícil estimar n , en cuyo caso n se fijan en 2 dando como resultado el modelo de Schaefer. De manera similar, no siempre es posible estimar α y/o β , en cuyo caso se fijan en 1, que es un supuesto común para este tipo de análisis (Thorson *et al.*, 2013). Sin embargo, este valor predeterminado asume el mismo error en la captura y del índice, lo que se desvía de los modelos de error de observación más simples que asumen que no hay error en la captura pero que pueden ser apropiados para poblaciones con datos limitados. SpiCT puede realizar proyecciones a corto plazo de la biomasa, así como de la mortalidad por pesca y las capturas, incluida la incertidumbre. La configuración utilizada de SpiCT estima todos los parámetros, pero las configuraciones más simples fijan los parámetros $n = 2$, α , $\beta = 1$, así como B_0 / K (la relación entre la biomasa inicial y la capacidad de carga).

Los supuestos de modelos importantes compartidos por todos los modelos de producción incluyen:

- No se produce ninguna migración dentro y fuera de la población, ya que los cambios en la biomasa solo se producen a través del crecimiento a través de r y K y mediante la pesca.
- Sin efectos rezagados en la dinámica de la biomasa causados por la variabilidad de la distribución por tamaño, edad y sexo.
- Capacidad de captura constante, es decir ningún cambio en la tecnología de la técnica de pesca que cambia q .
- La selectividad puede seguir cualquier patrón siempre que sea constante en el tiempo.
- No se requiere ningún conocimiento de la mortalidad natural porque está incluida en la tasa de crecimiento intrínseca, r .
- No existe subregistro sistemático de captura y esfuerzo. Un modelo de producción puede o no ser robusto ante el fracaso de este supuesto.

El modelo “SpiCT” ha sido implementado dentro de un paquete R (R-Core Team, 2015) que utiliza dentro de sus estimaciones funciones presentes en el paquete “TMB” Template Model Builder (Kristensen *et al.* 2015) para obtener una estimación de modelo rápida y eficiente. El manual de usuario de SpiCT se puede encontrar en su repositorio github. Para su ejecución, el modelo SpiCT se encuentra codificado en la librería “spict” (Pedersen & Berg, 2017).

Dentro de los diagnósticos más comunes para evaluar el grado de ajuste del modelo a los datos y la coherencia de la estimación de los parámetros en es realizada a través del análisis de los residuos del modelo “SpiCT”, los cuales deben ser independientes y distribuidos normalmente de manera estándar para que las estimaciones del modelo sean consideradas válidas. Las desviaciones de la independencia y la normalidad estándar de los residuos indican que se han violado los supuestos del modelo. Por lo tanto, es importante informar los diagnósticos residuales junto con los resultados del modelo de manera que se puedan realizar interpretaciones correctas. Otra forma evaluar el

desempeño del modelo es evaluar el grado de correlación entre los parámetros estimados en este modelo de producción realizando una matriz de covarianza. La matriz de covarianza puede proporcionar información sobre la calidad del ajuste del modelo y ayudar a identificar áreas (y parámetros) donde se necesitan mejoras en el modelo (Casella & Berger, 2002; Cox *et al.*, 1979). Para cuantificar y estudiar la relación dos variables continuas, en este caso parámetros estimados, es necesario disponer valores que permitan cuantificar dicha relación. En este caso, la matriz de covarianza indica el grado de variación conjunta de los parámetros.

Análisis de sensibilidad, desempeño e incertidumbre de los modelos de evaluación de stock.

Para el presente análisis se implementó un único caso o escenario de estudio para el APA. Sin embargo, se reconoce que toda evaluación de stock está sujeta a supuestos representados en procesos o parámetros que a menudo son conocidos, los que serán discutidos en el presente documento. La incertidumbre estructural se basa en analizar cómo podrían cambiar las variables poblacionales y la percepción respecto de la población frente a variaciones en parámetros considerados relevantes. En relación con este objetivo, se detallan las fuentes de incertidumbre relevantes asociadas a errores de observación, de modelo, de proceso, de estimación y de implementación en relación con estas pesquerías, las que pueden variar dependiendo del contexto específico. A continuación, se presentan detalles asociados a algunas fuentes de incertidumbre comunes asociadas a los análisis y pesquerías objetivo:

Error de observación: Errores de medición o muestreo en la recopilación de datos de la pesquería. También la posibilidad de tener sesgos o errores sistemáticos en los métodos de observación de los datos. Datos asociados al monitoreo de capturas y esfuerzo en el caso de bacalao de profundidad APA.

Errores de modelo: Se refiere a simplificaciones o suposiciones excesivas en la formulación del modelo ya sea de producción de excedentes o global o uno basado en tallas. Sin embargo, acá se asumen ciertos supuestos por las limitaciones de los datos recopilados (error de observación). Se puede incurrir en este error por falta de inclusión de factores relevantes en los modelo estadísticos e incluso conceptuales (Saltelli *et al.*, 2008).

Errores de proceso: Este tipo de error es uno de los más complejo de asumir y evaluar, dado que son errores inherentes a la variabilidad natural en los procesos biológicos o ambientales (Walters & Martell, 2004). Generalmente se asocia a cambios imprevistos en las condiciones o factores que afectan a las pesquerías y sus dinámicas. También se puede considerar que este error se magnifica cuando no hay

una completa compresi3n de los mecanismos subyacentes que rigen el proceso sobre el cual los peces se desarrollan (Jorgensen & Fath, 2011).

Errores de estimaci3n: Ese se consigna como un error de muestreo al inferir caracteristicas de una poblaci3n a partir de una muestra que puede no ser representativa de los patrones buscados, y sea por una falta de representatividad o sesgos en la selecci3n de la muestra en los programas de monitoreo pesquero.

Errores de implementaci3n: Este error se refiere a las desviaciones entre la implementaci3n planificada y la implementaci3n real. En especifiko, es cuando la cuota extraida o la recomendaci3n de manejo pesquero no tiene consistencia con la realidad de la pesqueria y su fiscalizaci3n o seguimiento (Reed, 2008). En este caso no es posible evaluar este error, dado que no existe un procedimiento de manejo formal que haga operativo las recomendaciones propuestas.

Como este es un an3lisis exploratorio de las variables poblacionales y estatus de la pesqueria, es posible evaluar el error de modelo a trav3s de un an3lisis retrospectivo para bacalao de profundidad. El an3lisis retrospectivo es un diagn3stico para evaluar la fuente de incertidumbre de que implica correr el modelo eliminando aros de datos sucesivos consecutivamente para estimar el sesgo del modelo (Cadrin & Vaughn 1997; Cadigan & Farrell 2005). Se realiz3 un an3lisis retrospectivo para probar la consistencia del modelo base antes sealado. Este an3lisis permitir3 evaluar la robustez frente a nuevas piezas de informaci3n y las especificaciones del modelo. Este an3lisis consiste en una validaci3n cruzada de naturaleza sistem3tica en la que es removido secuencialmente el 3ltimo aro de informaci3n y se evalúa su impacto en las tendencias poblacionales. Este an3lisis permite determinar si hubo un patr3n consistente de sobreestimaci3n o subestimaci3n en aros sucesivos de la biomasa desovante y mortalidad por pesca utilizados en la determinaci3n del estatus.

Estadístico Rho: El estadístico rho de Mohn (1999) se ha utilizado com3nmente para medir el patr3n retrospectivo. Corresponde a la suma de la diferencia relativa entre los valores de la serie de tiempo reducida estimada por el modelo y los mismos valores estimados de la serie de tiempo completa.

$$\rho = \sum_{y=1}^{npeels} \frac{X_{Y-y,tip} - X_{Y-y,ref}}{X_{Y-y,ref}}$$

Donde X corresponde a alguna variable de la evaluaci3n de stock, tales como BD o F, “y” corresponde a los a3os, npeels es el n3mero de a3os que son disminuidos de manera sucesiva, “Y” es el 3ltimo a3o de la serie de tiempo completa, “tip” es la estimaci3n terminal de la serie de tiempo reducida, y “ref” es la serie de tiempo completa. Este c3lculo ser3 cero cuando la serie de tiempo reducida se encuentre exactamente con la serie de tiempo completa, o cuando las diferencias entre la serie disminuida y la serie completa est3n en equilibrio tanto positivo como negativo. El rho de Mohn ser3 grande, ya sea positivo o negativo, cuando hay un patr3n consistente de cambio en la serie de tiempo reducida respecto a la serie completa.

Respecto a evaluar la incertidumbre de las estimaciones en los procesos de evaluaci3n, es necesario se3alar que este objetivo se abordar3 en funci3n del m3todo utilizado, es decir, metodolog3as con enfoque de evaluaci3n de stock con datos limitados, lo cual plantea ciertas restricciones anal3ticas. En este sentido, se evalu3 la incertidumbre implementando un set de escenarios de manejo para bacalao APA que fueron evaluados bajo el presente modelo de producci3n. En base al modelo conceptual de la din3mica del stock respectivo que sustent3 el enfoque y modelo de evaluaci3n aplicado, se realizar3 un an3lisis de la productividad del stock y de sus posibilidades futuras de explotaci3n considerando los par3metros e indicadores estimados precedentemente, con su incertidumbre asociada. Los an3lisis estimar3n la incertidumbre asociada a las proyecciones del recurso en un horizonte del a3o pr3ximo (en este caso para el 2023 dado que se utilizaron datos hasta el 2022), considerando el modelo de din3mica del stock utilizado para la estimaci3n de las variables de estado para el per3odo de modelaci3n. Por otro lado, el modelo de producci3n permite calcular la incertidumbre asociada al error de estimaci3n de los diferentes niveles poblacionales respecto a las medidas de manejo propuesta en este an3lisis. Esta metodolog3a ha sido detallada por Pedersen & Berg (2017) y tambi3n en el marco de trabajo que realizan para pesquer3as de datos limitados en el contexto ICES.

Datos de entrada

Los datos utilizados en el modelo de producci3n utilizados en la evaluaci3n realizada sobre la porci3n de bacalao de profundidad en APA fueron los registros oficiales de desembarques (1985-2023) e 3ndice de abundancia de capturas por d3as fuera de puerto (1986-2023) (**Figura 4**). Se incluy3 un solo 3ndice de abundancia en el modelo basado en la bit3cora de pesca de la flota extractiva, en donde se registran los lances de red en una bit3cora que cubre entre las regiones de Arica y Parinacota y parte de la Regi3n de Ays3n. El origen de las observaciones presentes e hist3ricas, as3 como su estandarizaci3n del 3ndice se encuentra detallada en el ANEXO CPUE. Por otro lado, se definieron “priors” para ayudar a la estimaci3n del modelo en variables como tasa de crecimiento intr3nseco y de la fracci3n explotada previo al inicio de la serie de datos. En el caso del conocimiento previo a la

fracci3n explotado, se estableci3 que los niveles de agotamiento fueron moderados a bajos, dado que se tienen datos que representan el inicio de la pesquería.

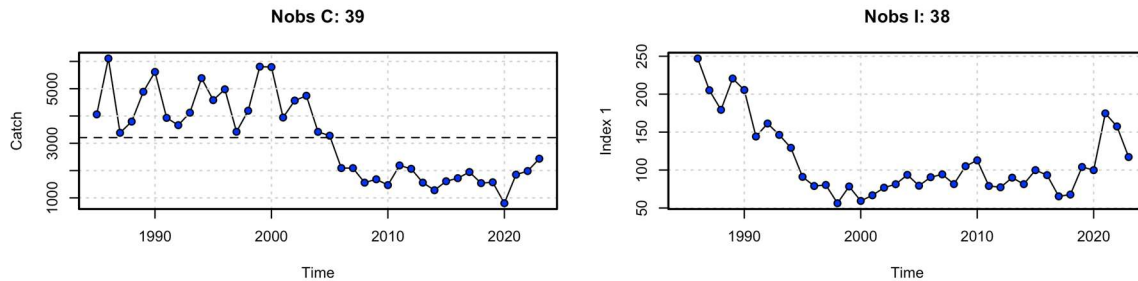


Figura 4. Resumen de datos de entrada al modelo de producci3n (SPiCT) para bacalao APA.

RESULTADOS

Evaluaci3n de stock

De acuerdo con los protocolos de diagn3stico para el an3lisis de evaluaci3n mediante el SPiCT, se presentan los ajustes y correlaciones (**Figura 5**). Por un lado, los residuos de OSA con el valor p de una prueba de sesgo (es decir, que la media de los residuos es diferente de cero) en el encabezado de la trama. El encabezado presenta el valor de probabilidad. Este valor es mayor a 0.05, lo que no hay desv3os significativos de los residuales con respecto una distribuci3n normal est3andar. La autocorrelaci3n emp3rica de los residuos se realiza mediante dos pruebas de autocorrelaci3n. No se encontraron fuertes valores de autocorrelaci3n, observ3ndose valores de $p > 0.05$. Por ultim3 las pruebas de normalidad de los residuos se realizan a trav3s de los *qqplot* con una prueba de Shapiro con el valor $p > 0.05$. De acuerdo con estos resultados, el modelo indica si los supuestos del modelo variaron significativamente y por ende otorgan confiabilidad en los resultados.

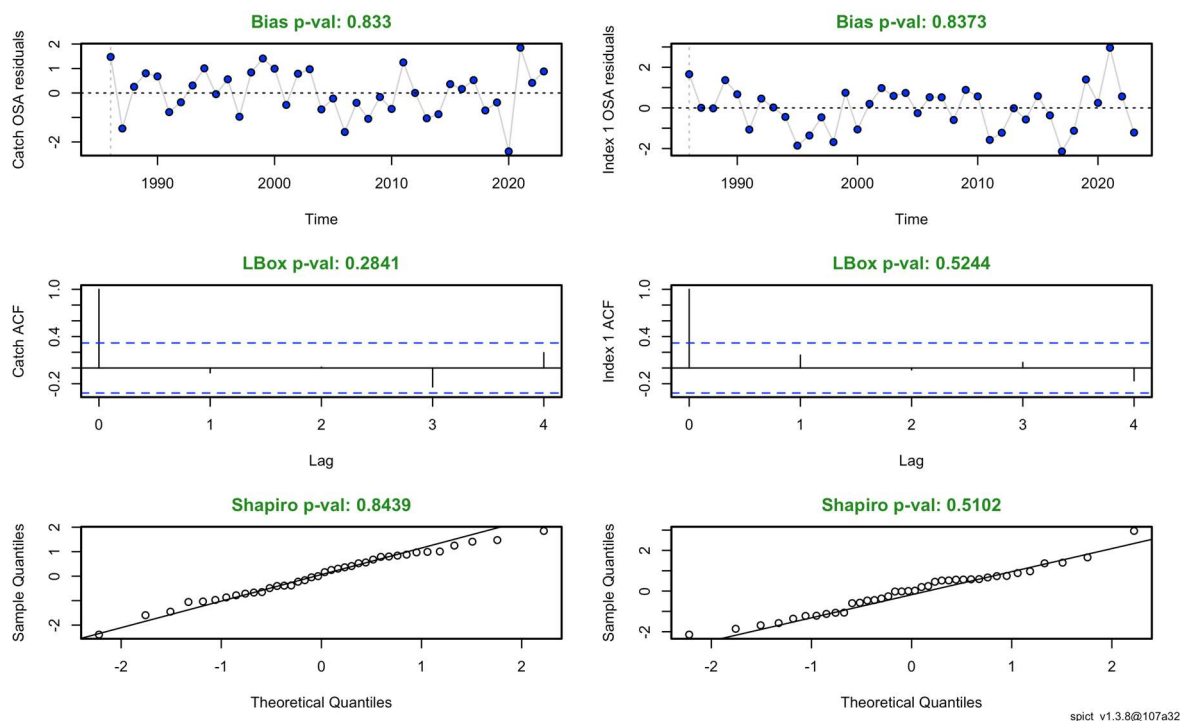


Figura 5 An3lisis de residuales, correlaci3n y qqplot para los datos y modelo SPiCT del bacalao APA.

En relaci3n a las variables poblacionales de inter3s estimadas por el modelo, la biomasa relativa del de bacalao del APA condicionada como una poblaci3n cerrada, presenta una disminuci3n de aproximadamente 1,5 veces desde su estado inicial hasta el presente. En base a lo modelado, para el a3o 2023 la biomasa del bacalao de profundidad se encontrar3a por sobre la biomasa del m3ximo rendimiento sostenible representado en las figuras por la l3nea negra continua (**Figura 6**). En cuanto a la mortalidad por pesca, se estima que para el 2023 el F en 0,04, que se encontrar3a por debajo del F del rendimiento m3ximo sostenible, estimado en $F= 0.11$. La **Tabla 1** resume los estimados de biomasa y mortalidad por pesca estimados por a3o en el modelo base para el bacalao de profundidad APA para cada a3o. La biomasa estimada para el a3o 2023 se encuentra en las 56 mil toneladas, por sobre las 33 mil toneladas estimadas para la biomasa del rendimiento m3ximo sostenible (**Tabla 2**). Existe incertidumbre asociada a la estimaci3n de las variables poblacionales y par3metros en esta serie de gr3ficos que se interpreta por la zona gris de los paneles de biomasa y capturas. Por otro lado, el grafico de B/K demuestra que los niveles son plausibles y sin sesgo dado que se encuentran entre 0 y 1 para la raz3n (**Figura 6**). El detalle de los par3metros estimados por el modelo se encuentra presentes en la **Tabla 2** y las estimaciones de las variables de estado en la **Tabla 3**.

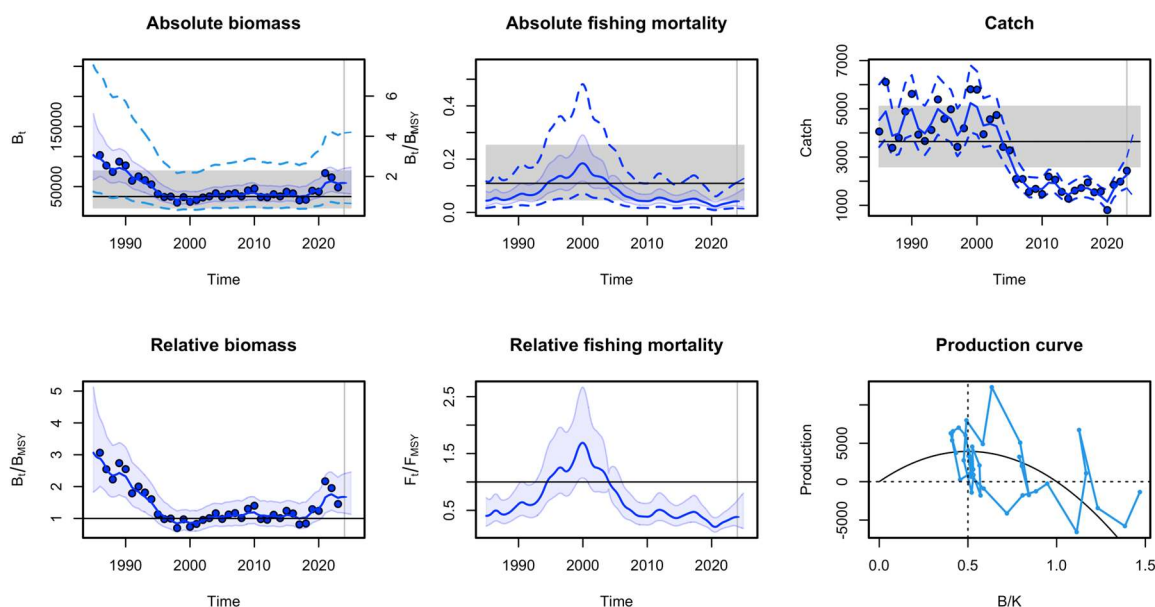


Figura 6. Estimaciones SpiCT estimado en bacalao de profundidad APA. La biomasa del stock relativa al BRMS, absoluta biomasa, captura, biomasa relativa, mortalidad por pesca relativa y curva de producci3n. Las l3neas (azules) indican valores medianos y 3reas sombreadas en indicar intervalos de confianza (IC) del 95. L3neas punteadas horizontales denotan PBR de la pesquer3a.

Tabla 1.



Biomasa y mortalidad por pesca estimadas por año en el modelo para el bacalao de profundidad en APA.

Año	Biomasa	Mortalidad por pesca
1985	100207.96	0.04
1986	95745.16	0.05
1987	86095.72	0.05
1988	79244.93	0.05
1989	80328.06	0.05
1990	76591.96	0.07
1991	66740.86	0.07
1992	61133.65	0.07
1993	55983.41	0.07
1994	49722.38	0.10
1995	41399.72	0.12
1996	35622.38	0.13
1997	31679.39	0.13
1998	28751.11	0.14
1999	29830.58	0.16
2000	29040.19	0.18
2001	29120.78	0.16
2002	31163.91	0.14
2003	33829.12	0.13
2004	35310.26	0.11
2005	35212.05	0.09
2006	35998.08	0.07
2007	36702.02	0.06
2008	36891.00	0.05
2009	39002.13	0.04
2010	39156.78	0.04
2011	36685.31	0.05
2012	36071.23	0.05
2013	35973.02	0.05
2014	35364.09	0.04
2015	36640.90	0.04
2016	36018.56	0.05
2017	33795.05	0.05
2018	35017.82	0.05
2019	40403.04	0.04
2020	44785.88	0.03
2021	54049.77	0.03
2022	57976.94	0.03
2023	55655.97	0.04

Tabla 2.
Parámetros estimados por el modelo SPiCT para bacalao APA.

Parámetro	Estimación	Intervalo inf	Intervalo sup	Descripción
alpha	1.08	0.45	2.59	Ratios del proceso y error de observación
beta	0.64	0.26	1.59	Ratios del proceso y error de observación
r	0.23	0.10	0.51	Tasa intrínseca de crecimiento poblacional
rc	0.23	0.10	0.51	Tasa intrínseca de crecimiento del último año
rold	0.23	0.10	0.51	Tasa intrínseca de crecimiento histórica
K	69683	30205	160756	Capacidad de carga
q	0.00	0.00	0.01	Capturabilidad
sdb	0.13	0.07	0.22	Desviación estándar biomasa
sdf	0.25	0.15	0.42	Desviación estándar mortalidad por pesca
sdi	0.14	0.09	0.22	Desviación estándar índice
sdc	0.16	0.10	0.27	Desviación estándar capturas

Tabla 3.
Estimaciones de las principales variables poblacionales de SpiCT con intervalos de confianza del 95% para la pesquería bacalao de profundidad APA.

Estimación determinista				
Parámetro	Estimado	CI inf	CI sup	Log(est)
Bmsyd	34841.39	15102.66	80378.03	10.46
Fmsyd	0.11	0.05	0.26	-2.18
MSYd	3943.39	2788.35	5576.91	8.28
Estimación estocástica				
Bmsys	33429.10	14735.74	75836.34	10.42
Fmsys	0.11	0.05	0.25	-2.22
MSYs	3641.79	2600.87	5099.32	8.20
Estimación de estados				
B_2023	56000.76	22542.09	139121.30	10.93
F_2023	0.04	0.02	0.11	-3.17
B_2023/Bmsy	1.68	1.17	2.40	0.52
F_2023/Fmsy	0.38	0.22	0.67	-0.96

Se realiz3 el diagn3stico basado en el an3lisis de la matriz de covarianza y se presentaron los valores obtenidos entre los par3metros del modelo. Se observ3 una alta correlaci3n (cov= -0,94) entre los par3metros logq y logK, (**Tabla 4**). Este an3lisis nos permite identificar la conexi3n entre las variables del modelo, las que resultaron no ser de gran preocupaci3n.

Tabla 4. Matriz de covarianza entre par3metros estimados por el modelo de producci3n para bacalao APA.

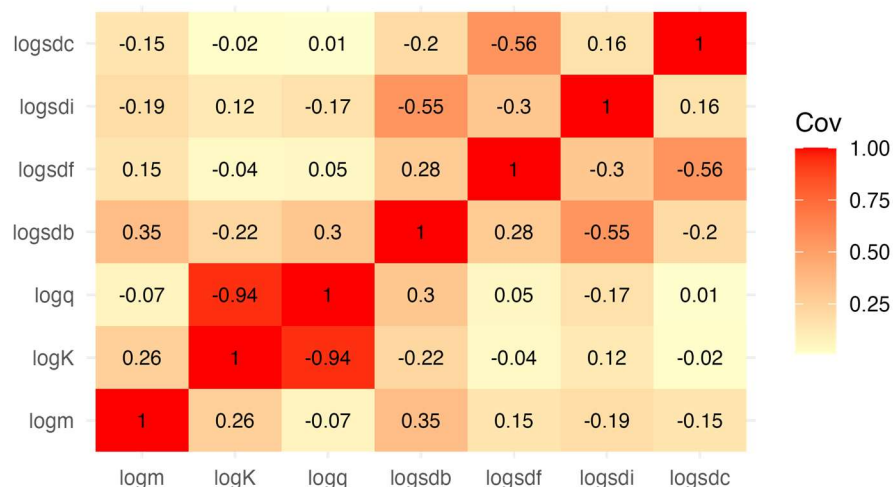


Diagrama de fase APA

La **Figura 7** muestra la evoluci3n de la biomasa y la mortalidad por pesca desde el a3o inicial (1985), indicado con un c3rculo, hasta el a3o terminal, identificado con un cuadrado (2024). La trayectoria de la pesquer3a en base a biomasa y mortalidad por pesca es representada por la l3nea azul. El pol3gono gris representa la incertidumbre en la estimaci3n del 3ltimo a3o. El stock evaluado de bacalao de profundidad presenta una trayectoria concordante con el inicio de una pesquer3a, la que llega a niveles altos de explotaci3n hacia los a3os 2000 y que cae posterior a eso hasta el presente. La historia del bacalao de profundidad en este diagrama atraviesa inicialmente desde el 3rea de subexplotaci3n (cuadrante verde) para luego encontrarse sobreexplotado y sobrepescado (cuadrante rojo), desde el cual, debido a una disminuci3n en su mortalidad por pesca, retorna a la zona de subexplotado en los 3ltimos a3os. Sobre la incertidumbre de estas estimaciones, cabe mencionar que la modelaci3n de esta secci3n de la poblaci3n al ser realizada con un an3lisis de datos pobres, presentan una gran banda de incertidumbre que abarca todos los estados posibles del diagrama como probables para el estado de la poblaci3n evaluada en el 3ltimo a3o.

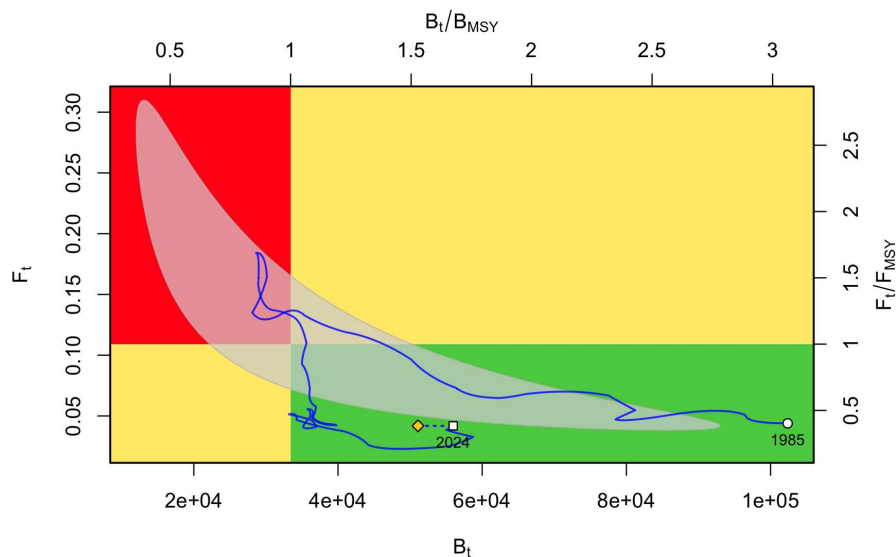


Figura 7. Diagrama de fase propuesto para bacalao de profundidad en APA para los a1os 1985-2024. En el eje X se presenta la raz3n entre el nivel de biomasa relativa estimada y la B al RMS y el eje Y representa mortalidad por pesca relativa proveniente de la evaluaci3n respecto al F al RMS.

Proyecci3n APA

Para las proyecciones de la pesquería de bacalao se evaluaron varios escenarios asociada a distintos objetivos de manejo posibles. Para ello se realizan proyecciones a corto plazo de biomasa y capturas basadas en el modelo de producci3n. Se adicion3 un a1o a la serie de datos, en este caso, entre los a1os 1985 y 2024, proyectando el a1o 2025. Las proyecciones son generadas como parte del ajuste del modelo de producci3n. En la **Tabla 5** se presentan las estimaciones de biomاسas, F y capturas y tambi3n los PBRs propuestos como B/Brms en un 1,67 y el F/Frms en 0.38. La captura proyectada se estima en 2338 t en funci3n del nivel actual de mortalidad por pesca (FACTUAL).

Tabla 5.

Estimaci3n y predicci3n de las variables poblacionales y diferentes PBR propuestos con sus incertidumbres asociadas para el a1o 2025 en la pesquería de bacalao APA bajo el escenario actual.

Parámetro	Estimaci3n	CI inf	CI sup	Log(est)
B_2025	55697.65	22104.98	140340.70	10.93
F_2025	0.04	0.01	0.13	-3.17
B_2025/Bmsy	1.67	1.13	2.45	0.51
F_2025/Fmsy	0.38	0.18	0.81	-0.96
Catch_2024	2338.01	1371.01	3987.05	7.76

Escenarios de Manejo APA.

La estimaci3n de captura para el 2024 asociada en status quo en la pesquería de bacalao en APA es de 2264 t. La recomendaci3n de CBA basada en el RMS se encuentra en las 5914 t, que es el actual esquema regla de control genérica por el cual se rige esta pesquería, de acuerdo a la LGPA. Los otros valores de CBA por escenario de manejo pueden ser vistas en la **Tabla 6**.

Tabla 6.

Estimaci3n de captura, B/BRMS y F/FRMS para distintos escenarios de manejo en bacalao de profundidad APA.

Regla	Captura	B/Brms	F/Frms
Captura actual	2264.6	1.67	0.37
F actual	2338	1.67	0.38
Pesca al Frms	5914.7	1.57	1
Veda	2.4	1.73	0
Reducir F en 25%	1761.7	1.68	0.29
Incrementar F en 25%	2909	1.65	0.48
Rampa (RMS)	5914.7	1.57	1
HCR ICES	5340	1.58	0.9

La proyecci3n de biomasa, mortalidad por pesca y captura se presenta en relaci3n con ocho escenarios de manejo usados como regla de control para la eventual toma de decisiones (**Figura 8**). La estimaci3n de un nivel de mortalidad por pesca asociado al RMS es superior al del F asociado al estimador del a3o 2024, dado que la pesquería se encuentra por debajo de los niveles de explotaci3n óptima considerando este como un modelo de excedente de producci3n.

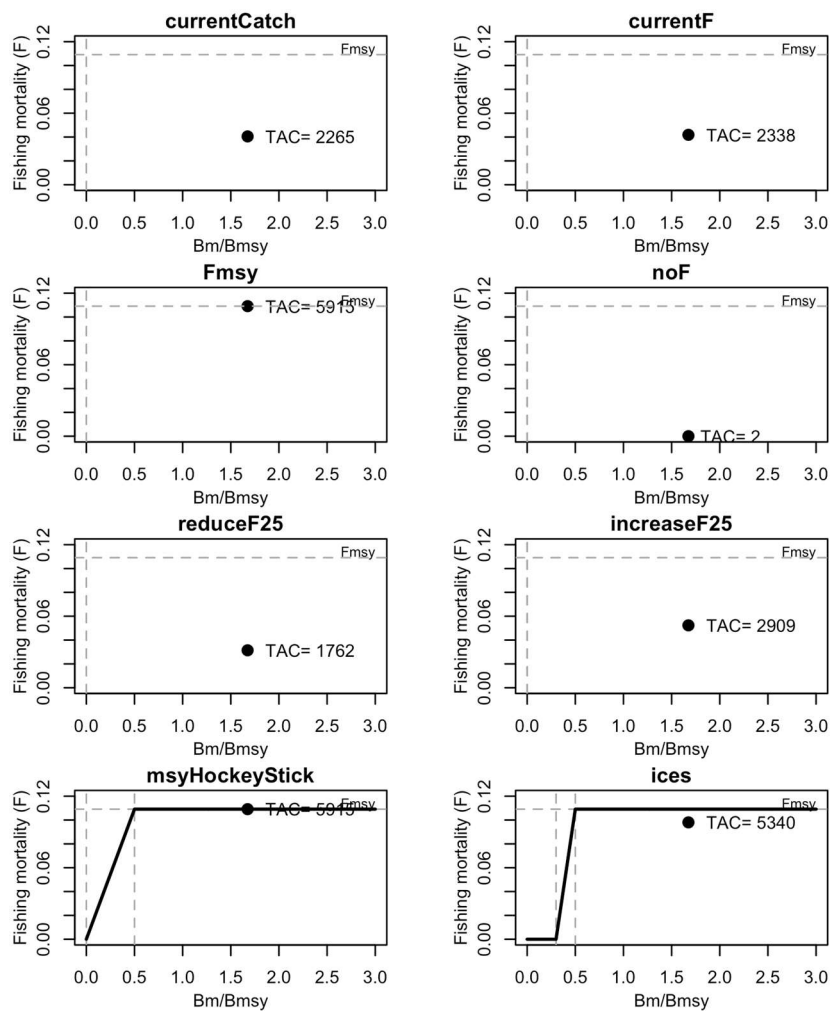


Figura 8: Evaluación del impacto de distintas reglas de control de captura sobre la potencial CBA para el bacalao de profundidad APA.

Análisis retrospectivo

En general, el modelo y las especificaciones utilizadas no presentaron un patr3n retrospectivo significativo **Figura 9**. Se observ3 un re escalamiento de las estimaciones de biomasa y mortalidad por pesca para la simulaci3n retrospectiva de -4 a3os. La incertidumbre asociada a este análisis fue amplia, pero todas las simulaciones presentaron tendencias similares. Los valores de rho de Mohn fueron bajos, lo que se relaciona con la ausencia del patr3n retrospectivo.

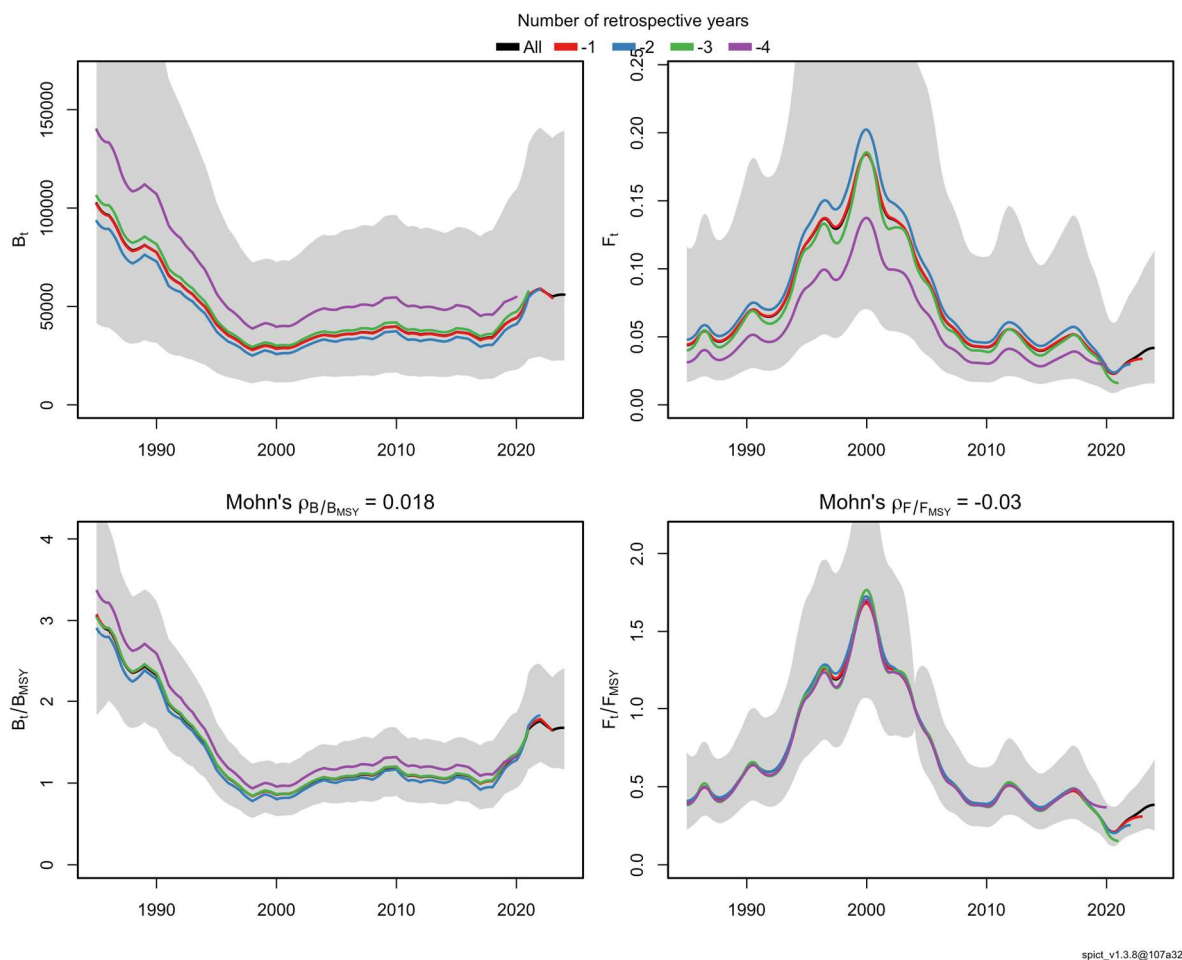


Figura 9: Análisis retrospectivo.

DISCUSIÓN

El anexo informe contiene la evaluación de stock del bacalao de profundidad presente en Chile comprendida desde el extremo norte del país hasta los 47° S. La evaluación corresponde a un análisis de datos pobres que fue solicitada por la SubPesca para el año 2023 y que solicitó actualizar para el presente año en reuniones del CCT. Respecto a la unidad de stock, en este estudio trabaja con un condicionamiento de stock cerrado en la zona de explotación exclusiva para el área artesanal APA a solicitud explícita de la SubPesca. Estudios genéticos indican que tanto los individuos presentes en Chile y Argentina corresponden a una única unidad poblacional homogenizada a través de flujo génico (Canales-Aguirre 2018). Por otro lado, Zuleta et al (2016) mediante un análisis de marcaje y recaptura, identificaron que, si bien la especie tiene una distribución *gondwanica* y antártica (Collins et al., 2010), los individuos no poseen grandes capacidades migratorias en fases adultas, por lo cual podrían presentar unidades poblacionales establecidas y discretas. Sin embargo, la longevidad de estos peces podría ser un factor que contrarresta su baja movilidad y ayuda a mantener el flujo de individuos suficientes para considerarla una única población. La implementación de modelos que consideren de forma errónea la estructura espacial de las poblaciones están proclives a dificultades en las estimaciones de parámetros como reclutamiento y mortalidad, los que bien podrían confundirse con procesos de migración. Estos puntos podrían dar soporte a que una alternativa mejor soportada por evidencia científica podría ser la presencia de un único stock nacional.

Para la evaluación del bacalao de profundidad en el APA fue necesario disponer y analizar la información disponible para este recurso y su pesquería. Esta información consideró tres principales fuentes de información: 1) Informes FIPA e literatura científica, 2) series de remociones oficiales (captura) provenientes de los anuarios estadísticos de pesca publicados por el Servicio Nacional de Pesca, 3) bases de datos provenientes del monitoreo pesquero de recursos demersales explotados en Chile, que lleva a cabo el IFOP a través del proyecto de Seguimiento Pesquero de Recursos Demersales. Respecto a los desembarques, fue posible obtener datos desde el año 1985, que es probablemente un periodo en donde la pesquería comenzó en este sector. Las regiones con mayor actividad y magnitudes registradas son Biobío y Los Lagos, con registros promedio entre 1200 y 1800 t respectivamente. En términos globales, el registro a nivel nacional tiene un pico el año 1991 con cerca de 8 mil t para luego mostrar un decaimiento en los últimos años con un promedio de 1589 t.

En relación con la información contenida en las bitácoras de pesca, este elemento se constituyó como una de las piezas más vitales de información para la modelación. En primer lugar, fue posible explorar

y analizar en términos espaciotemporales las principales variables operativas como el esfuerzo y rendimiento de pesca. El esfuerzo fue cuantificado mediante días fuera de puerto y se pudo observar sus cambios a través del tiempo en toda la serie (1997 y 2022), con una tendencia positiva para los últimos años de la serie en todas las regiones analizadas. Los datos de captura por unidad de esfuerzo (CPUE) se utilizan comúnmente en ambas pesquerías recreativas y comerciales para evaluar el estado de los peces poblaciones bajo el supuesto de que la captura es proporcional al tamaño de la población (Hilborn y Walters 1992; Quinn y Deriso 1999). Por lo general, se supone que la CPUE es lineal en función de la densidad de peces, donde la CPUE está vinculada a la densidad de peces. La CPUE para el bacalao APA se pudo reconstruir desde el año 1997 con los datos del monitoreo, evidenciando diferencias espaciales, con mayores registros en las regiones de Tarapacá y Arica y Parinacota para el inicio de la serie, y con registros mayores cercanos a los 400 kg/dfp para las regiones de Biobío y Los Lagos para los últimos años analizados. Junto con generar una serie de CPUE nominal entre los años 1997 y 2022 con datos del monitoreo, se pudo reconstruir una serie larga de la abundancia relativa a través de los datos provenientes del proyecto FIPA 96-32 (Young, 1986). La serie total de datos de CPUE se pudo reconstruir desde el año 1986 y permitió obtener una señal coherente y lógica de la señal de abundancia y dinámica poblacional del bacalao en APA. Cabe señalar que los datos provenientes del proyecto FIPA 96-32 no tienen covariables asociadas, lo cual dificulta los análisis posteriores. En función de esta reconstrucción de la CPUE con los dos proyectos, se pueden distinguir dos períodos. La CPUE calculada con los datos tomados por el proyecto FIP 96-32 entre los años 1985 y 1997 exhiben una notable disminución a partir del año 1989. Las tasas de captura calculadas con los datos del monitoreo IFOP entre 1997 y 2023.

A pesar de sus virtudes bien documentadas, la captura por unidad esfuerzo (CPUE) de muchas pesquerías como indicador de la abundancia contiene problemas de interpretación, dado que puede no reflejar con precisión los cambios en la abundancia (Beverton y Holt 1957). En este sentido, en este proyecto se trabajó en la estandarización de la CPUE para el bacalao APA usando un modelo lineal generalizado y mixtos (GLM; McCullagh & Nelder, 1989) donde el valor esperado de la captura (kg) por DFP como Captura Por Unidad de Esfuerzo (CPUE) se supone explicada por un arreglo de factores entre los cuales se encuentran la zona de pesca, número de tripulantes, período de pesca, característica de la embarcación, entre otras. Si bien los datos de las variables mencionadas presentan problemas de disponibilidad y consistencia en el tiempo, fue posible estandarizar un rendimiento para el período más reciente de la serie. Uno de los factores que más incertidumbre arrastra con el uso de esta serie es que, por las características de la pesquería y su extensión geográfica, no es posible censar las actividades extractivas de la flota artesanal y se cuenta con alrededor de un 30% a 40% de viajes de pesca cubiertos a nivel anual. Esto podría generar sesgos en las estimaciones de CPUE que requieren de futuros análisis formales para evaluar sus potenciales impactos.

En virtud de la informaci3n recopilada y analizada, y en funci3n de integrar estos datos a una modelaci3n estadística para el bacalao APA, se identifican algunos aspectos estructurales. Las composiciones de tallas plantean una complicaci3n al no contener la fracci3n adulta, es decir, la fracci3n desovante de la poblaci3n. Mientras no exista informaci3n m1s precisa respecto a la naturaleza de este dato, se desestim3 su uso y, por ende, modelos de evaluaci3n que utilicen esta informaci3n. Respecto a los par1metros de historia de vida, se determin3 que los estudios fueron realizados hace m1s de 15 ańos, lo cual amerita una actualizaci3n de la informaci3n respecto a estos vitales par1metros de uso com1n en modelos de evaluaci3n que consideren la dimensi3n biol3gica del recurso. Por otro lado, series de remoci3n est1n disponibles para esta zona desde 1985, lo cual es una apropiada historia pesquera del recurso, y las series de rendimientos, si bien fueron complejas de estandarizar, se pudo reconstruir una serie mediante datos de proyectos y del monitoreo desde el ańo 1986, mostrando contraste en los datos (tendencia negativa) y de larga data. En funci3n de lo seńalado, y considerando la disponibilidad de series de desembarques y rendimientos pesquero para el bacalao APA, se aplic3 un modelo de producci3n categorizado como parte del *Tier 2* de acuerdo con Paya et al. (2015). En este sentido se aplic3 un modelo de producci3n excedente, con base te3rica del modelo de producci3n de Schaefer (1957) que permiti3 hacer un an1lisis global de la din1mica de la poblaci3n, y que entrega m3tricas como Biomasa al RMS, F al RMS y RMS, y a su vez calcular una CBA para prop3sitos y servicio de manejo. Respecto al marco de referencia biol3gico, la actual legislaci3n establece que las pesquerías deber1n alcanzar o estar en torno al Rendimiento M1ximo Sostenido (RMS) considerando las característic1s biol3gicas de los recursos explotados. La nueva Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA) estableci3 que el Comit3 Científico Técnico ser1 quien recomiende el marco biol3gico de referencia basado en la definici3n de puntos biol3gicos referencia (PBR). Sin embargo, y al no existir un marco de referencia específic1 para bacalao de profundidad en APA, el objetivo de este estudio es sentar las bases que permitan identificar y proponer un marco biol3gico de referencia que pueda ser utilizado por la administraci3n, as1 como tambi3n por el CCT-RDAP.

Respecto a las evaluaciones de stock de bacalao de profundidad en el APA, se analiz3 un únic1 escenario de escenarios de modelaci3n para ser utilizado de forma exploratoria por el CCT ya que estos an1lisis no forman parte del procedimiento de manejo para el ańo en curso. A trav3s de este an1lisis se generaron estimaciones de las variables poblacionales m1s importantes, como biom1s y mortalidades por pesca, as1 como tambi3n los par1metros de inter3s y PBRs como, por ejemplo; r , K , $BRMS$, $FRMS$, RMS entre otros.

Con relación al estado del recurso basado en el presente análisis e interpretación del diagrama de fases (**Figura 7**), este indica que el recurso se encuentra en un estado de subexplotación desde ya algunos de los últimos años. La capacidad de carga se encuentre en el orden de las 69 mil t, mientras que la tasa de intrínseca de crecimiento poblacional tiene un valor de 0.23, lo cual es coherente para recursos del tipo de vida larga y niveles de productividad moderada, como esta especie demersal. La estimación de biomasa total para del último año (2023) se encuentra cercana a las 55 mil t, mientras que la mortalidad por pesca (F) está en 0.04 año^{-1} . No se realizó un análisis formal de la CBA dentro de la evaluación del APA porque esta no será utilizada en el procedimiento de manejo a desarrollarse para el próximo año.

Con respecto a la modelación, si bien el modelo SpiCT es uno de las mejores metodologías de data pobre disponibles, el uso de una sola metodología con limitaciones en los datos podría ser insuficiente para dar cuenta del nivel de incertidumbre bajo el que trabajan estas aproximaciones y el peso de los supuestos que estas tienen. Se sugiere que de ser necesario continuar con la evaluación de la pesquería data pobre para el bacalao APA se realice un trabajo que considere distintas aproximaciones limitadas en datos para evaluar en más profundidad el peso de los modelos y supuestos que cada una implementa para lograr realizar las estimaciones de las variables de estado.

REFERENCIAS

- Canales-Aguirre, C. B., Ferrada-Fuentes, S., Galleguillos, R., Oyarzun, F. X., & Hernandez, C. E. (2018). Population genetic structure of Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) in the Southeast Pacific and Southwest Atlantic Ocean. *PeerJ*, 6, e4173. <https://doi.org/10.7717/peerj.4173>
- Carruthers, T. R., Walter, J. F., McAllister, M. K., & Bryan, M. D. (2015). Modelling age-dependent movement: An application to red and gag groupers in the Gulf of Mexico. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 72(8), 1159-1176. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2014-0471>
- Collins, M. A., Brickle, P., Brown, J., & Belchier, M. (2010). The Patagonian Toothfish: Biology, Ecology and Fishery. En M. Lesser (Ed.), *Advances in Marine Biology* (Vol. 58). Academic Press.
- Hilborn, R., & Walters, C. (1992). Quantitative fisheries stock assessment: Choice, dynamics and uncertainty. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2(2), 177-178. <https://doi.org/10.1007/BF00042883>
- Kristensen, K., Nielsen, A., Berg, C. W., Skaug, H. J., & Bell, B. (2016). TMB: Automatic differentiation and laplace approximation. *Journal of Statistical Software*, 70(5), 1-21.
- Maunder, M. N., & Punt, A. E. (2013). A review of integrated analysis in fisheries stock assessment. *Fisheries Research*, 142, 61-74. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2012.07.025>
- Pedersen, M. W., & Berg, C. W. (2017). A stochastic surplus production model in continuous time. *Fish and Fisheries*, 18(2), 226-243. <https://doi.org/10.1111/faf.12174>
- Pella, J., & Tomlinson, P. (1969). A Generalized Stock Production Model. *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin*, 13, 419-496.
- Polacheck, T., Klaer, N. L., Millar, C., & Preece, A. L. (1999). An initial evaluation of management strategies for the southern bluefin tuna fishery. *Fishery Bulletin*, 97, 811-826.
- Tascheri, R. (2020). *Convenio de Desempeño 2022: Estatus y posibilidades de explotaci3n biol3gicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2022 Bacalao de profundidad, 2022* (No. Documento Técnico Consolidado; p. 125). Subsecretaría de Economía y EMT - IFOP.
- Thorson, J. T., Minto, C., Minto-Vera, C. V., Kleisner, K. M., & Longo, C. (2013). A new role for effort dynamics in the theory of harvested populations and data-poor stock assessment. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 70(12), 1829-1844. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2013-0280>



Young, Z., González, H., & Gálvez, P. (1997). *Análisis de la captura y del esfuerzo de pesca en la pesquería de Bacalao de Profundidad en la zona Centro-Sur* (No. FIP-IT/96-32; p. 63). FIP.

Zuleta, A., Rubilar, P., Moreno, C., Barrales, C., & Goyeneche, F. (2015). *Programa Plurianual de Marcaje y Recaptura de Bacalao de Profundidad a Escala Nacional, I Etapa 2014* (No. Fondo De Investigación Pesquera 2014-03; p. 74). CEPES - SUBPESCA.



A N E X O 5

Evaluación Área licitada

AL: Modelo que incluyó sólo los datos tomados en el área lícitada.

“Implementar el procedimiento de manejo vigente, determinando el estatus del recurso y la captura biológicamente aceptable (CBA)”

4.2.2 Resultados evaluación de stock (Variables poblacionales AL)

El ajuste a los datos de composición de edades de la flota industrial entre los años 2007 y 2022, conseguido por el modelo que utiliza los datos del área lícitada (AL) es presentado en la **Figura 1**. Este ajuste a estos datos presentó un buen ajuste de las estructuras anuales, reproduciendo en términos generales las modas y la dinámica de la flota en la zona AL. De igual forma se observa problema de estimación de los grupos de edad 15 al 20 en los años 2012 a 2022 y la subestimación de las edades 20+ en los años 2009-14, que de igual forma muestran que la dinámica de las cohortes es reproducida apropiadamente por el modelo.

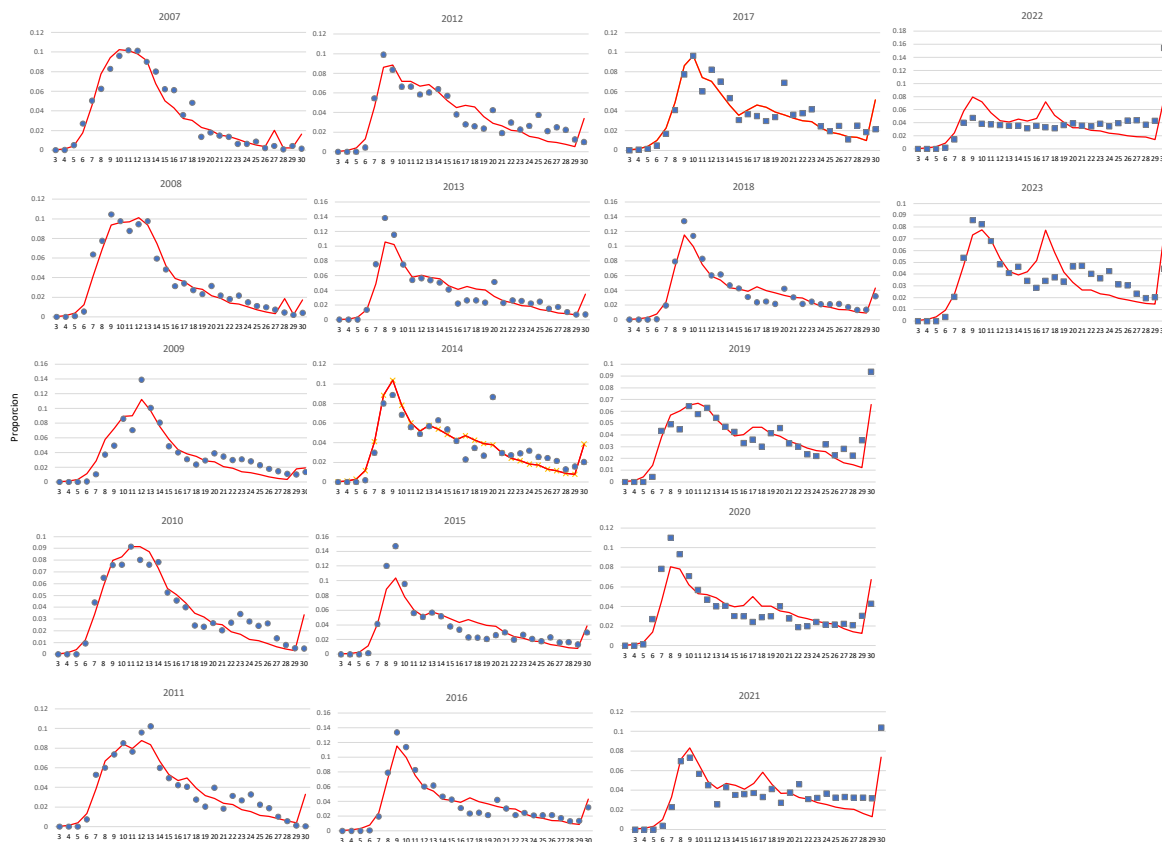


Figura 1. Ajuste del modelo a los datos de composición de edades de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota industrial entre los años 2007 y 2023. Modelo que incluyó sólo los datos del área lícitada (AL).

En el caso de las composiciones de longitud de la captura industrial los ajustes tambi3n fueron satisfactorios, reproduciendo modas y distribuciones observadas (**Figuras 2**). Este caso tambi3n present3 un ajuste deficiente de la frecuencia de tama1o observada en los a1os 2001 al 2004, con una incapacidad de reproducir las estructuras modales, y una subestimaci3n de las longitudes inferiores a 97 cm LT y una leve sobreestimaci3n de las frecuencias de longitud entre 100 cm LT y 150 cm LT.

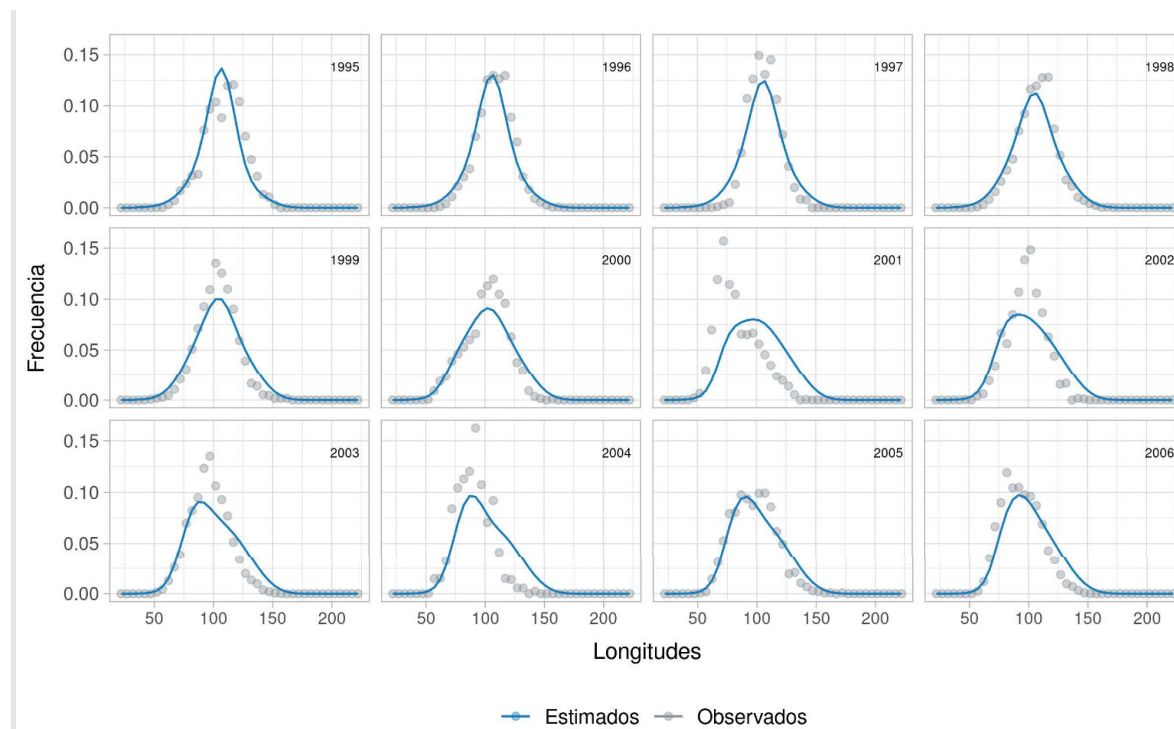


Figura 2. Ajuste del modelo a los datos de composici3n de longitudes de las capturas de bacalao de profundidad extraídas por la flota industrial entre los a1os 1995 y 2006. Modelo que incluy3 s3lo los datos del 1rea licitada (AL).

El ajuste a las series de CPUE de palangre espa1ol y cachalotera con el modelo del AL exhibi3 una clara diferencia en eficiencia relativa entre la CPUE medida con cada aparejo y present3 dificultades para ajustar los valores de CPUE de los a1os iniciales de cada una de las series (**Figura 3**). Pese a esto, se considera que el modelo reproduce apropiadamente el 3ndice de abundancia (en sus dos periodos). En su conjunto, las series de CPUE industriales sugieren una reducci3n en la abundancia relativa del recurso a trav3s del per3odo de a1os evaluado.

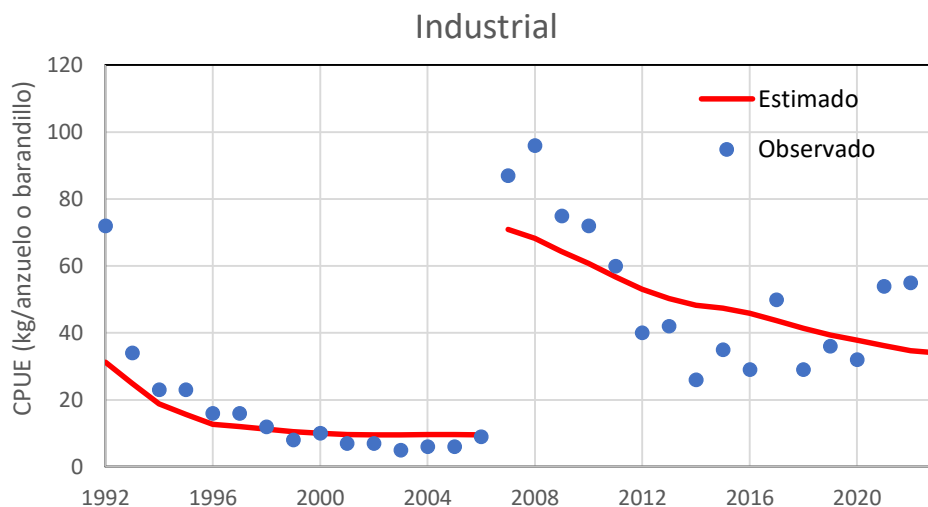


Figura 3. Ajuste del modelo a los 3ndices estimados con datos de la pesca chilena de palangre (1992-2006) y cachalotera (2007-2023). Modelo que incluy3 s3lo los datos del 3rea licitada (AL).

El ajuste a los datos de captura obtenido en este caso de evaluaci3n estuvo en correspondencia con el bajo coeficiente de variaci3n empleado la verosimilitud de este componente de los datos, el cual corresponde a 0.05 (**Figura 4**).

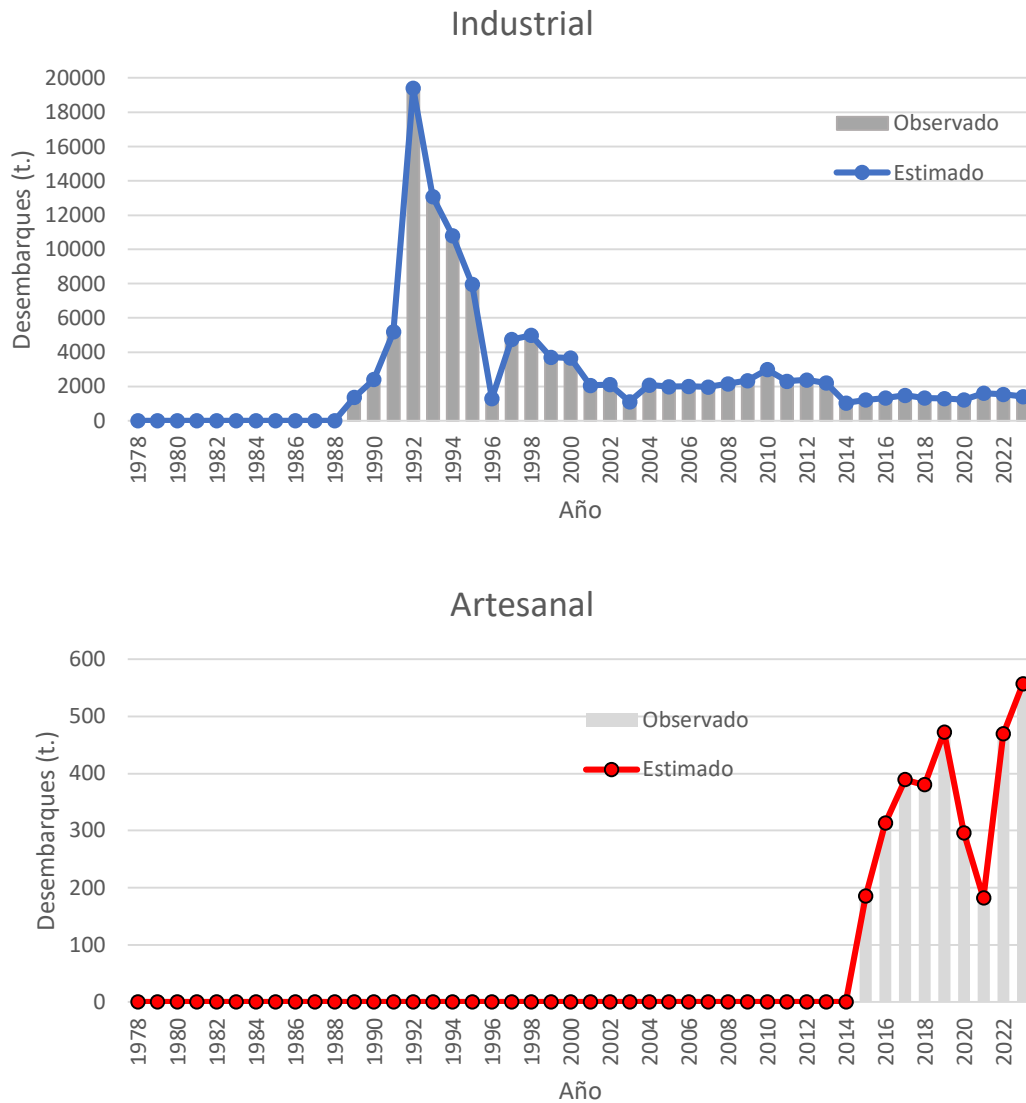


Figura 4. Ajuste del modelo a las capturas industriales (1989-2023) y artesanales (1978-2023). Modelo que incluy3 s3lo los datos del 3rea licitada (AL).

4.2.3 Estimaciones de parámetros

Capturabilidad

En el desarrollo de la pesca industrial chilena la flota ha empleado dos tipos de palangre: el sistema espaol y la cachalotera (o sistema trotline), este último normalmente incluyendo redes de exclusi3n de cetáceos (cachaloteras). La cachalotera fue introducida gradualmente entre los años 2006 y 2007, convirtiéndose en el único aparejo de pesca utilizado por esta flota a partir del año 2008.

La diferente estructura de estos aparejos, en combinaci3n con las diferentes áreas de operaci3n, resulta en diferencias en la eficiencia de pesca y para incluir este efecto en el modelo de evaluaci3n se estiman parámetros de capturabilidad diferentes para cada flota/aparejo (**Tabla 1**). El proceso de estandarizaci3n de los datos de captura y esfuerzo de la flota industrial y artesanal para obtener índices de abundancia relativa se describe en el **Anexo 3**.

Tabla 1.

Capturabilidades estimadas para los índices de abundancia relativa incluidos en los escenarios base de los casos de evaluaci3n: evaluaci3n nacional.

Caso	Aparejo/flota	Capturabilidad (q)	Desv.Est (q)
AL	Palangre Industrial	0.000099	0.21567
	Cachalotera	0.000747	-

La selectividad industrial hasta el año 1999 presenta de este modo una forma aproximada de domo con una edad completamente reclutada de 14 a 15 años y un nivel de escape de las edades 17+ que experimenta variaciones entre años. En los años 2000 a 2019, sin embargo, la selectividad adopta una forma asintótica con una edad completamente reclutada que fluctúa alrededor de los 17 años. Las probabilidades de retenci3n de las edades menores a 17 durante este período varían entre años de manera notable. Para el último año, en tanto las selectividades de las flotas de pesca son presentadas en la **Figura 5**, donde se destaca que a los 16 años estaría la edad donde se concentra la poblaci3n tiene una probabilidad del 0.5 de ser capturada, y sobre los 17 años la probabilidad se hace absoluta.

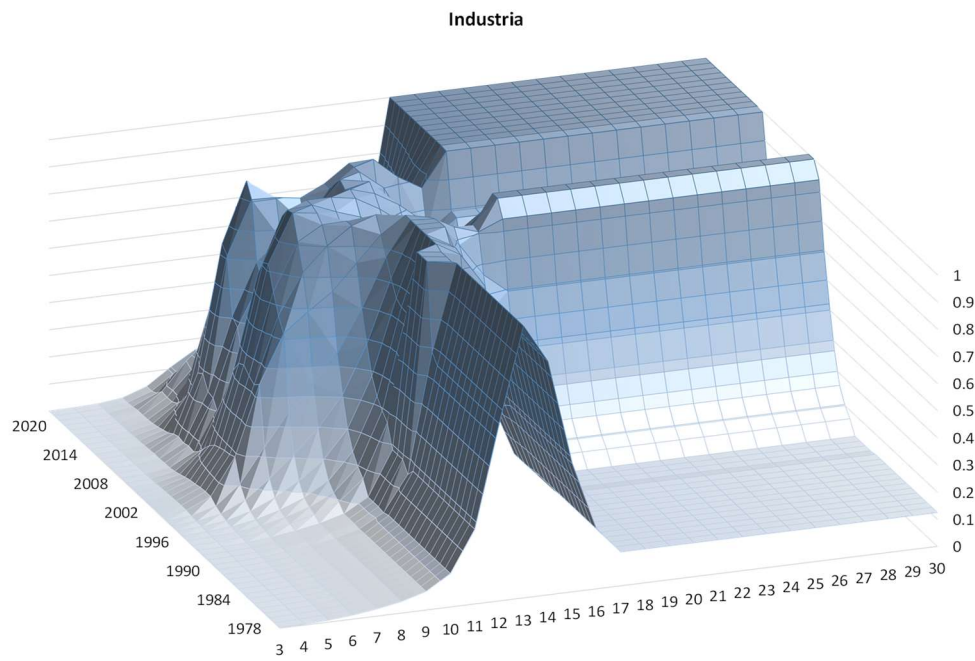


Figura 5. Selectividad estimada para la flota industrial. Modelo 3rea licitada (AL).

Mortalidades

Los buenos resultados obtenidos en las pescas exploratorias autorizadas por la Subsecretaría de Pesca para desarrollar la pesca de bacalao en la zona sur austral en los años 1990 y 1991 significaron un mayor incremento en la mortalidad por pesca con el inicio de la actividad industrial en esta zona bajo un Régimen de Pesquería Incipiente y manejada sobre la base de cuotas de captura individuales transferibles. De acuerdo con lo anterior, la mortalidad por pesca alcanzó un valor máximo en 1992 punto a partir del cual se redujo gradualmente (**Figuras 6**). Entre los años 2009 y 2013, la mortalidad total se ha mantenido relativamente estable en el área lícitada, y desde el año 2014 se aprecia un incremento de explotación tanto de la flota artesanal como de la flota industrial que opera en el AL.

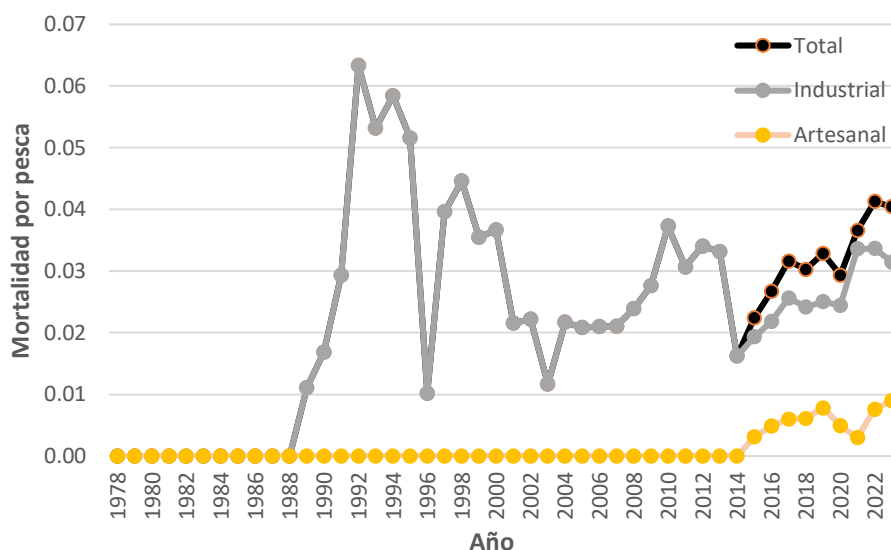


Figura 6. Mortalidades por pesca de las edades completamente reclutadas a la pesquería de bacalao de profundidad. Total: mortalidad total; Industrial: pesquería industrial; Artesanal: pesquería artesanal. La línea segmentada horizontal roja corresponde al valor de la mortalidad natural (M). (Modelo área lícitada (AL).

Reclutamientos

Para la zona AL, se obtienen desvíos del reclutamiento que exhibe desvíos positivos entre los años 1995 a 1999 y a partir del año 2000 se obtienen desvíos negativos de gran magnitud entre los años 2003 y 2007 particularmente (**Figuras 7**). Consecuentemente, el reclutamiento experimenta una reducción durante estos periodos, tendencia que coincide con las variaciones observadas en la biomasa desovante. Hacia el presente los desvíos se observan aún negativos, pero de menor magnitud que lo estimado en el año 2005.

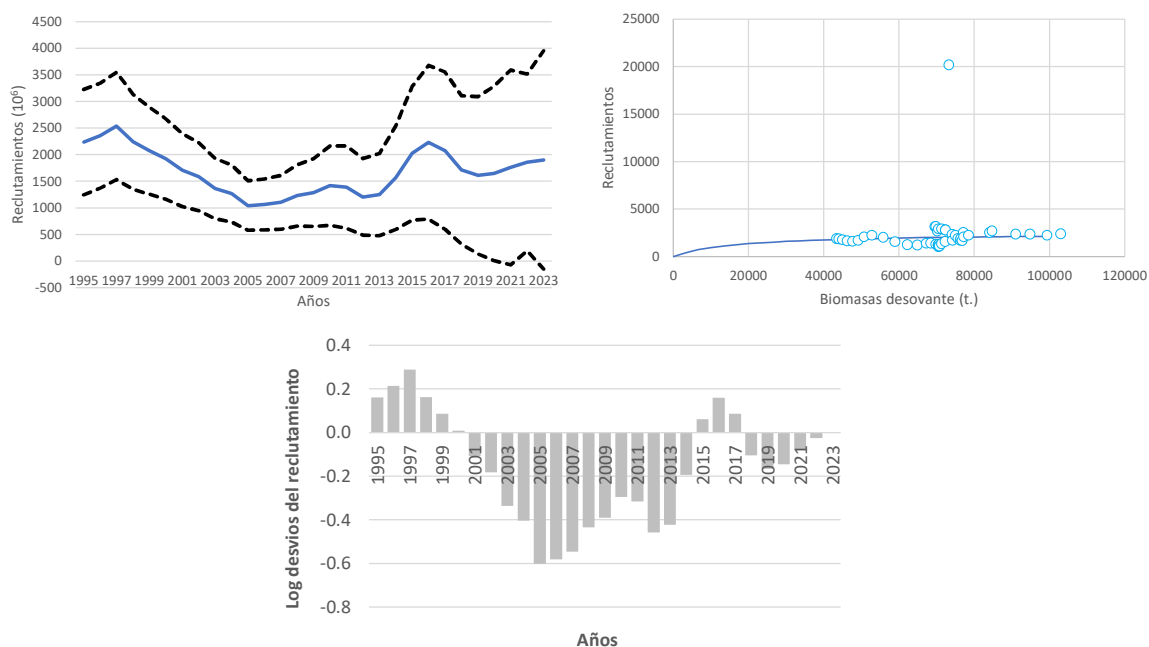


Figura 7. Reclutamientos de bacalao de profundidad estimados entre los años 1978 y 2023; curva stock reclutas y reclutamientos estimados en cada año (Año 2022 indicado en rojo); desvíos log normales y reclutamiento estimado con banda de confianza de 95%. Modelo área lícitada (AL).

Biomاسas

La biomasa total estimada que s3lo incluy3 los datos del 3rea licitada (AL), entre los 3os 1978 y 2022 present3 un rango con valores m3nimos y m3ximos de 59 mil toneladas estimadas para el 3o 2020 y 159 mil toneladas en el 3o 1991 (**Figura 8**). El rango de la biomasa desovante estimada para el mismo per3odo fluctu3 entre 36 mil toneladas estimadas para el 3o 2022 y 95 mil toneladas en 1991 (**Figura 8**). Entre 1978 y 1990 la biomasa desovante estimada para el 3rea licitada se increment3 en 29%. Entre 1991 y 2013 sin embargo, experiment3 una r3pida declinaci3n reduci3ndose en un 46%. Entre los 3os 2014 y 2022 la biomasa desovante continu3 reduci3ndose, pero a una tasa notablemente menor. Durante este 3ltimo per3odo, el tama3o de la biomasa ha fluctuado con un promedio de 40 mil toneladas. La biomasa en 2022 fue estimada en 36 mil toneladas (**Tabla 2**).

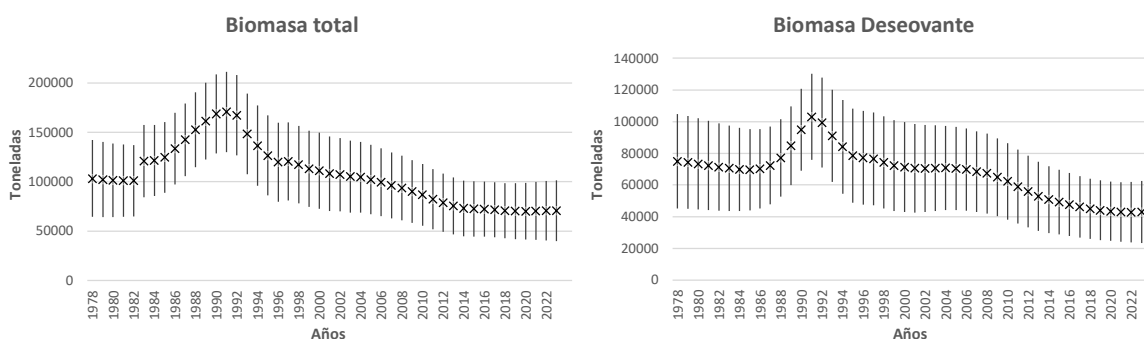


Figura 8. Series de biomasa total (edades 3+; panel superior) y biomasa desovante (panel inferior) de bacalao de profundidad con las respectivas bandas de confianza de 95%. 3rea licitada solamente AL. A3os 1978 a 2022

Tabla 2.

Biomasa total 3+, biomasa desovante, reclutamientos, mortalidad por pesca y tasas de explotaci3n de bacalao de profundidad, estimadas para los a1os 1997 a 2023. Modelo 1rea licitada (AL).

A1os	BT	BD	R	F	Tasa Explotaci3n
1997	120540	76479	2538	0.04	0.062
1998	117211	74278	2240	0.04	0.067
1999	113164	72295	2072	0.04	0.051
2000	111115	71311	1918	0.04	0.051
2001	108242	70562	1708	0.02	0.029
2002	107115	70451	1585	0.02	0.030
2003	105314	70592	1360	0.01	0.016
2004	104556	70763	1270	0.02	0.029
2005	102113	70427	1043	0.02	0.028
2006	99448	69774	1064	0.02	0.029
2007	96188	68423	1103	0.02	0.029
2008	93618	67291	1232	0.02	0.032
2009	89972	64884	1288	0.03	0.036
2010	86780	62257	1416	0.04	0.048
2011	82314	58977	1387	0.03	0.039
2012	78690	55829	1204	0.03	0.043
2013	75387	52837	1248	0.03	0.042
2014	72956	50727	1566	0.02	0.020
2015	72592	49179	2024	0.02	0.028
2016	72168	47660	2231	0.03	0.034
2017	71598	46248	2074	0.03	0.040
2018	70676	45018	1713	0.03	0.038
2019	70241	44069	1611	0.03	0.040
2020	70025	43414	1646	0.03	0.035
2021	70401	42971	1758	0.04	0.042
2022	70629	42779	1854	0.04	0.047
2023	70659	42943	1900	0.040	0.046

Resumen de la evaluaci3n de stock

Se actualiz3 la evaluaci3n de stock de bacalao de profundidad al a3o 2023. Entre los nuevos datos considerados se incluyen las composiciones de edad de las capturas industriales, estimaciones del 3ndice de abundancia relativa basados en datos de la pesquer3a y las capturas extra3das por estas flotas en el a3o 2022. De modo similar a lo observado en la 3ltima evaluaci3n tanto para el modelo nacional (APA+AL) asi como para el AL, el reclutamiento exhibi3 un per3odo de fuertes desv3os negativos coincidiendo con un per3odo de reducci3n en la biomasa desovante en ambos casos de estudio. Para la zona AL, y de acuerdo con los resultados obtenidos, en los 3ltimos siete a3os la biomasa ha tendido a mantenerse relativamente estable, estim3ndose para el a3o 2023 un valor de 42 mil toneladas, nivel que se mantiene los 3ltimos 3 a3os de la serie.

6.1.1 Puntos biol3gicos de referencia

Los puntos biol3gicos de referencia sustitutos del RMS estimados en cada caso de evaluaci3n de stock se entregan en la **Tabla 3**.

Tabla 3.

Valores sustitutos de los puntos biol3gicos de referencia del Rendimiento M3ximo Sostenible (RMS) estimados para el bacalao de profundidad en los dos casos estudiados de evaluaci3n de stock: que incluy3 s3lo el 3rea l3citada (AL).

	Valor
BD_{RMS}	33391
F_{RMS}	0.065

6.1.2 Evaluaci3n del estatus basado en la biomasa desovante.

El IRS estimado para el 1rea licitada (AL) se increment3 durante los primeros 15 a1os de la serie (1978 a 1992) fluctuando entre un m3nimo de 0.86 (1983, 1984) y un m1ximo de 1.23 (1991) (**Figura 9**). Entre 1993 y 2015 este indicador experiment3 una r1pida reducci3n alcanzando 0.41 en este 1ltimo a1o. En los 1ltimos 7 a1os, la serie de IRS estimada para el 1rea licitada exhibi3 un valor promedio de 0.53. El valor estimado para el a1o 2023 fue 0.51 valor que se ha mantenido en los 1ltimos 3 a1os (**Figura 9**). En relaci3n a la biomasa desovante estimada a nivel virginal, esta se calcul3 en 83 mil toneladas con una desviaci3n est1ndar de 15.8 mil t. Para el caso de la biomasa que genera el MRS (BD0*40%), esta present3 una mediana de 33 mil t. y una desviaci3n est1ndar de 6.3 mil t. Finalmente la biomasa calculada para el a1o 2023 present3 una mediana igual a las 42.9 mil t. y una desviaci3n est1ndar de 9.7 mil t. Estas estimaciones son presentadas en la **Figura 10**, donde se calcula la densidad que presentar3a la estimaci3n de estas variables de inter3s para el manejo.

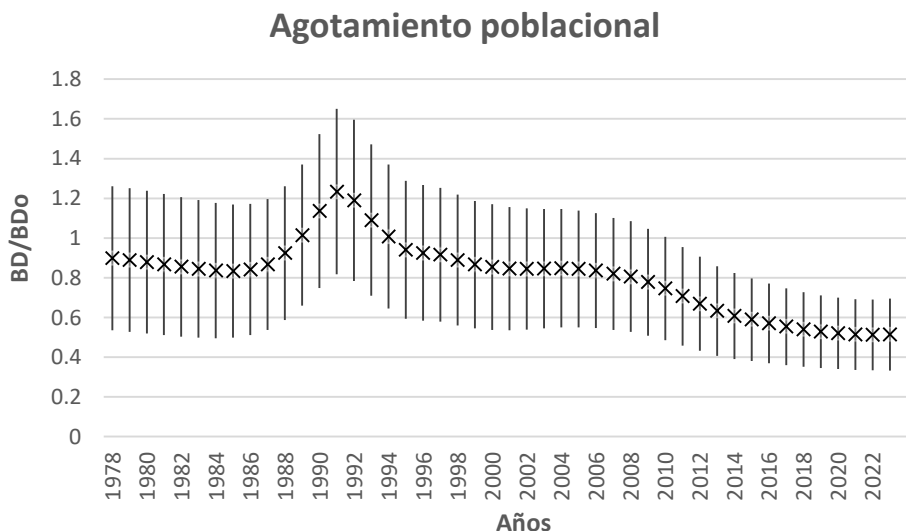


Figura 9. variaciones del 3ndice de reducci3n del stock desovante (IRS) de bacalao de profundidad 1rea AP.

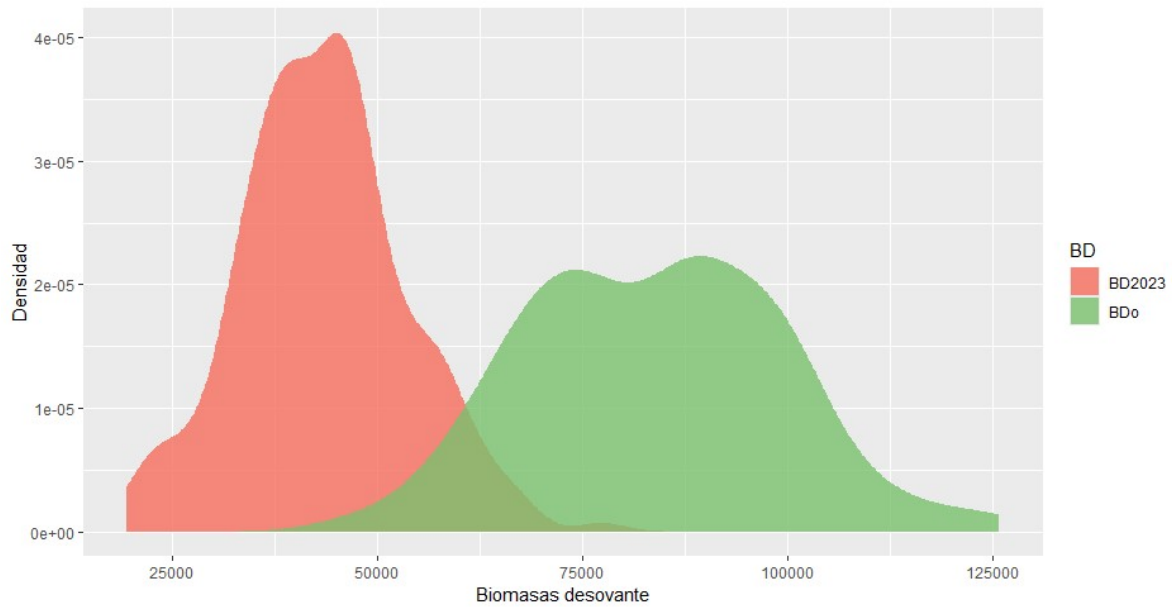


Figura 10. Distribuciones de probabilidades de la biomasa desovante estimada para en el a3o 2023 (BD2023), la biomasa desovante vinculada con el MRS (BDmrs) y la biomasa desovante virginal (BDo), para la zona lictada (AL).

6.1.3 Marco biol3gico de referencia

De acuerdo con este diagrama, entre 1978 y 2023 se observa que el recurso se mantuvo en el 1rea de sub-explotaci3n. Cabe se1alar, que si bien el recurso se acerc3 a la regi3n de sobrepesca el a1o 1992 y aunque la biomasa continu3 reduci3ndose en el tiempo, la condici3n del recurso no ca3o bajo el objetivo de manejo relacionado con BD/BD_{mrs} (**Figura 11**).

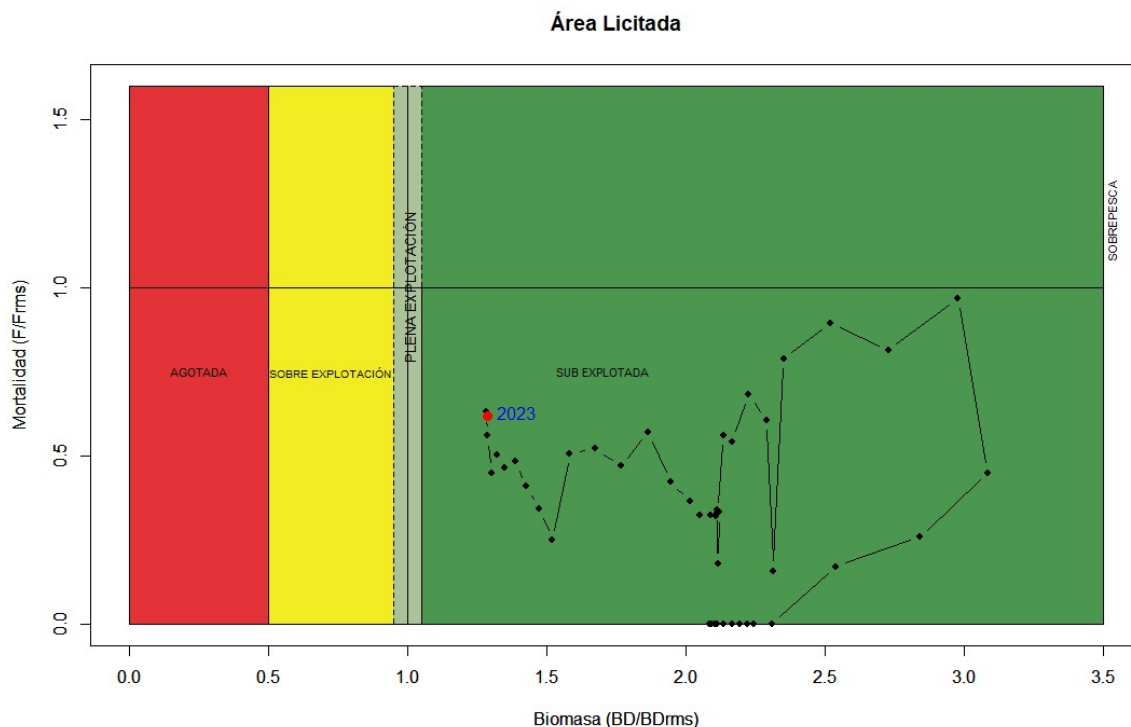


Figura 11. MBR mostrando la trayectoria del stock de bacalao de profundidad entre los a1os 1978 y 2023 para el modelo que incluye s3lo el 1rea licitada (AL). La situaci3n del stock en el a1o 2023 se destaca en azul.

6.1.4 Captura Biol3gicamente Aceptable

La poblaci3n fue proyectada al a1o 2025 bajo cuatro estrategias de explotaci3n correspondientes a una mortalidad por pesca constante e igual a F_{RMS} y a mortalidades por pesca constantes de 75%, 50% y 25% del valor de F_{RMS} , y es presentada para ambos casos de evaluaci3n en la **Tabla 4**.

Tabla 4.

Capturas Biol3gicamente Aceptables (CBA) de bacalao de profundidad estimadas para el a1o 2025.

	FMRS	0.75F	0.5F	0.25F	OF
AL	3003.69	2305.82	1573.66	805.613	0



A N E X O 6

Glosario de Términos



T3rmino	Descripci3n
APA	3rea de Pesquer3a Artesanal
AL	3rea Licitada
PM	Procedimiento de Manejo
CCRVMA	Comisi3n para la Conservaci3n de los Recursos Vivos Marinos Ant3rticos
RMS	Rendimiento M3ximo Sostenido
SPICT	Surplus Product Model in Continuous Time
MQMF	Modelling and Quantitative Methods in Fisheries
CCTRDAP	Comit3 Cient3fico T3cnico de Recursos Demersales Aguas Profundas
LGPA	Ley General de Pesca y Acuicultura
PBR	Puntos Biol3gicos de Referencia
TTR	T3rminos T3cnicos de Referencia
ZZE	Zona Econ3mica Exclusiva
k	Capacidad de carga
r	Tasa de crecimiento poblacional intr3neco
q	Capturabilidad
F	Mortalidad por Pesca
TMS	Talla Madurez sexual
MBR	Marco Biol3gico de Referencia
PDF	Funci3n de Distribuci3n de Probabilidades
IFOP	Instituto de Fomento Pesquero
SUBPESCA	SubSecretar3a de Pesca y Acuicultura
BTM	Bajo Talla de Madurez



A N E X O 7

Ordinario N°0893



(D.P.) ORD: Nº 0893 /

ANT: No hay.

MAT: Solicita análisis en pesquería artesanal de bacalao de profundidad en el marco de proyecto que indica.

VALPARAÍSO,

13 JUL 2023

A : DIRECTOR EJECUTIVO INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

DE : SUBSECRETARIO DE PESCA Y ACUICULTURA

Los estudios de estatus y posibilidades de explotación por su carácter integrador y de pronóstico son claves en el marco de la asesoría hacia los Comités Científico Técnico (CCT), ya que dichos estudios deben responder con incertidumbre aceptable respecto del estatus de los recursos y el nivel máximo de la Captura Total Permissible según la política de explotación definida. En este sentido, agotar todas las posibilidades de análisis plausibles es del todo necesario, de modo de atender un proceso de toma de decisión basado en ciencia bajo incertidumbre.

En este contexto, y considerando reuniones de coordinación recientes entre los equipos técnicos, tengo a bien en solicitar en el marco del estudio "Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2023: Bacalao de profundidad perteneciente a la cartera Convenio de Desempeño 2023, que en el caso de la pesquería de bacalao de profundidad correspondiente al área artesanal se desarrolle una evaluación de stock pobre en datos. Esto según lo discutido en el trabajo del CCT y los requerimientos de esta Subsecretaría para el proceso de toma de decisión

Saluda atentamente a Ud.,

PAULO SEPULVEDA SEPULVEDA
Subsecretario de Pesca y Acuicultura (S)JRV/PSS/ACU/JFA/ja
Oficio D.P. Nº 079/2023**DISTRIBUCIÓN:**

- Director Ejecutivo IFOP
- Gabinete
- División Jurídica
- Archivo Departamento Pesquerías



A N E X O 8

Ordinario N°00239



(D.P.) ORD N°: 00239/2024

ANT.: No hay.

MAT.: Solicita análisis en pesquería nacional de
bacalao de profundidad

Valparaíso, 29/02/2024

DE: JULIO ANDRES SALAS GUTIERREZ
SUBSECRETARIO
SUBSECRETARIA DE PESCA Y ACUICULTURA**A: DIRECTOR**
INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Como es de su conocimiento la cartera estratégica de estudios sectoriales financiados por el Convenio de Desempeño respectivo es fundamental para el proceso de toma de decisión. En este contexto los estudios de estatus y posibilidades de explotación por su carácter integrador y de pronóstico son claves en el marco de la asesoría hacia los Comités Científico Técnicos (CCT), ya que dichos estudios deben responder con incertidumbre aceptable respecto del estatus de los recursos y el nivel máximo de la Captura Biológicamente Aceptable según la política de explotación definida.

En este contexto, solicito a usted en el marco del estudio "Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2024: Bacalao de profundidad" perteneciente a la cartera ASIPA 2023-2024, se efectúe un análisis de evaluación de stock y CBA con enfoque nacional. Este análisis se solicita sea incorporado en documento técnico que se debe entregar a fines del mes de marzo de 2024. De ser necesario existe disposición si la situación lo amerita para ajustar la fecha de entrega según lo permite el contrato respectivo.

SALUDA ATENTAMENTE A UD.**JULIO ANDRES SALAS GUTIERREZ**
SUBSECRETARIO
SUBSECRETARIA DE PESCA Y ACUICULTURA

AGC/LTG/JFA

Contribuimos a la
sostenibilidad de los recursos
marinos de todos los chilenos.



 www.ifop.cl

 info@ifop.cl

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO - CHILE