



Índice

RESUMEN EJECUTIVO	3
1. OBJETIVOS	4
1.1. Objetivo general	4
1.2. Objetivos específicos	4
2. ANTECEDENTES	5
2.1. Antecedentes generales	5
2.2. Antecedentes de la pesquería	5
2.3. Revisión de aspectos biológicos	6
2.3.1 Estrcutura poblacional	6
2.3.2 Mortalidad natural, crecimiento y madurez	7
2.3.3 Época y zona de desove	8
2.3.4 Migraciones	8
2.3.5 Zona de concentración de larvas y juveniles	9
3. METODOLOGÍA DE TRABAJO	10
3.1. Objetivo específico 1:	10
3.1.1 Información biológico-pesquera	10
3.1.2 Estandarización CPUE de tasas de captura flota industrial	11
3.1.3 Modelo de evaluación de stock	13
3.1.4 Análisis retrospectivo	15
3.2. Objetivo específico 2:	17
3.2.1 Definición de estatus	17
3.2.2 Puntos Biológicos de Referencia	17
3.3. Objetivo específico 3:	20
3.3.1 Protocolo de estimación en la CBA	20
3.4. Objetivo específico 4:	21
3.4.1 Evaluación de Estrategias de Manejo (EEM)	21
3.5. Objetivo específico 5:	21
3.5.1 Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría Científica (PMCCAC)	22
4. RESULTADOS	23
4.1. Objetivo específico 1:	23
4.1.1 Información biológico-pesquera	23
4.1.2 Estandarización CPUE de tasas de captura flota industrial	31
4.1.3 Ajustes modelo base	48
4.1.4 Comparación escenarios y sensibilidad	59
4.1.5 Análisis retrospectivo	63
4.2. Objetivo específico 2:	66
4.2.1 Variables de estado y biomasa Modelo0_03a	66
4.2.2 Estatus y Puntos Biológicos de Referencia	68
4.3. Objetivo específico 3:	69
4.3.1 CBA 2021-2023	69
4.4. Objetivo específico 4:	70
4.4.1 Definiendo reglas de control de captura	70
4.4.2 Ordenando y visualizando resultados	73
4.5. Objetivo específico 5:	75
4.5.1 Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría Científica (PMCCAC)	75
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	77
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79



7. ANEXOS

ANEXO I. Datos y modelo de merluza del sur correspondiente al modelo consolidado 2020.

Preliminar



RESUMEN EJECUTIVO

Este informe se focaliza en la estimación de variables de estado (e.g.biomasa desovante) con el propósito de definir el estatus de explotación de merluza del sur y recomendar un rango de Capturas biológicamente Aceptables (CBA) para el año 2021. Las variables de estado fueron estimadas utilizando procedimientos de evaluación de stock estructurados por edad, los cuales hacen uso de información pesquera, biológica y de cruceros acústicos para reproducir la dinámica poblacional etaria de la merluza del sur en la zona sur-austral de Chile.

La implementación de los procedimientos de evaluación de stock requiere como primera etapa la actualización de la información pesquera y biológica disponible. En una base de información definida por flota de pesca (arrastre industrial, palangre industrial, espinel artesanal), esta actualización involucró la construcción de índices de abundancia, series temporales de desembarques, el cálculo de la captura a la edad, la estimación de biomasa acústica desagregada por edad, y la construcción de vectores de pesos medios a la edad. Este conjunto de piezas de información, más parámetros de historia de vida como madurez a la edad y mortalidad natural, conforman la totalidad de datos empleada por el procedimiento de evaluación de stock para la estimación de variables claves para el manejo de la pesquería de merluza del sur.

El procedimiento de evaluación de stock se realiza con información completa actualizada al 2019 (Mod0_03a), el proceso envuelve las siguientes etapas: i) estimación de abundancia poblacional a diciembre del 2020, ii) cálculo de puntos de referencia biológicos (PBR) basados en el Rendimiento Máximo Sostenido (RMS), iii) estimación de un rango de capturas biológicamente aceptables para el año 2021 en base a ponderadores de la mortalidad por pesca objetivo, y iv) contraste y consistencia con asesorías previas.

La biomasa desovante, definida como la variable de estado fundamental para establecer el estado de explotación en merluza del sur, mostró un leve aumento resultado de la inclusión de los pesos medios anuales de las flotas y crucero acústico. Los cambios interanuales de la biomasa desovante dejan ver un agotamiento respecto de la biomasa desovante virginal de un 31 %. De acuerdo con los objetivos de la administración, la pesquería de merluza del sur debe tender a un PBR de 40 % de reducción con respecto a la biomasa desovante virginal. Por lo tanto, el estado actual de explotación de merluza del sur es clasificado en sobre-explotación y sobrepesca, pues los niveles de biomasa desovante se ubican por debajo del PBR objetivo definido como el nivel de biomasa desovante al rendimiento máximo sostenible (BDRMS), y paralelamente los niveles de mortalidad por pesca se ubican por sobre el nivel máximo de mortalidad por pesca objetivo asociada con el rendimiento máximo sostenible (FRMS).

Por solicitud de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, se estima una CBA de tres años para el período 2021-2023. Alcanzando valores promedio para el período entre 14107 y 19501 toneladas, cuando se aplica una estrategia de explotación equivalente al FRMS y dependiendo del nivel de riesgo asumido.



1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo general

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

1.2. Objetivos específicos

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



2. ANTECEDENTES

2.1. Antecedentes generales

La actividad pesquera en Chile se ha situado como una de las áreas que ha liderado el crecimiento de la economía nacional. Dicho proceso se ha basado tanto en los niveles de producción y exportaciones de la pesca extractiva, así como también, en el rápido desarrollo de la acuicultura. Por mandato legal, la función pública en la gestión de la actividad pesquera y de la acuicultura le corresponde a la Subsecretaría de Pesca y al Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, instituciones responsables de fijar las políticas y establecer las medidas de regulación que tienen por objetivo conformar el marco legal y normativo para brindar las condiciones más adecuadas para el desarrollo sustentable de la actividad de la pesca y la acuicultura. Para cumplir adecuadamente ese rol resulta esencial contar con fundamentos científicos y técnicos sólidos en cuanto al conocimiento del estado de conservación de los recursos biológicos y su ambiente, así como también, del desempeño de la actividad extractiva.

Con el objeto de atender la misión y sus objetivos estratégicos, desde 1992 la Subsecretaría de Pesca identifica y encarga al Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) ejecutar los programas de seguimiento y monitoreo de las pesquerías, así como también, la evaluación de stock y análisis de capturas recomendables para los principales recursos pesqueros, principal objetivo de la presente investigación.

2.2. Antecedentes de la pesquería

La merluza del sur es una especie demersal distribuida en aguas exteriores e interiores (canales y fiordos) entre la X y XII Región. Habita entre los 60 y 800 m de profundidad, con las mayores concentraciones entre los 200 a 400 m. Se encuentra en aguas con temperaturas entre 3,8°C y 12°C (Aguayo 1995), abarcando una distribución en el cono sur de América que se extiende desde los 36°00' S en el océano Pacífico suroriental, bordeando el extremo sur de América para subir hasta los 38°00' S en el lado Atlántico.

El área de operación de la flota dirigida a la captura de merluza del sur se distribuye entre las latitudes 41°28,6'S a 57°S, en aguas exteriores (flotas industriales) e interiores (flota artesanal) de la X, XI y XII Regiones. El área de explotación pesquera se divide en dos unidades de pesquería, una norte (41° 28,6'S – 47°S) y otra sur (47°S – 57°S), subdivididas en áreas administrativas de aguas interiores y exterior, teniendo como límite con la zona exterior las líneas de base recta.

La pesquería de merluza del sur ha operado con clara intencionalidad en la zona austral de Chile desde el año 1977 y ha sido manejada utilizando un sistema de Cuota Anual Global de Captura, restricciones al número de embarcaciones y vedas biológicas, medidas que tienen por objeto evitar o mitigar los efectos de las actividades pesqueras sobre la especie objetivo, fauna acompañante y el ecosistema. La magnitud de estas cuotas surge a partir de las recomendaciones del Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) en base a las estimaciones de abundancia, el potencial productivo de la población y los niveles de explotación.

Para la evaluación de stock se considera que existe una sola unidad de stock (Chong y Galleguillos, 1993). Las investigaciones disponibles señalan que pueden existir diferencias interanuales de algunas semanas en la fecha de máxima actividad reproductiva, sin embargo, el desove en merluza del sur alcanza su máxima actividad a fines de invierno. El área principal de desove se encuentra ubicada entre la isla Guafo (43°37'S) y la Península de Taitao (47°S).

La relación de cuotas de captura y desembarques declarados en los años más recientes es la siguiente:

Año	Desembarque (t)	Cuota (t)
2010	25526	26000
2011	19913	24000
2012	20289	23000



Año	Desembarque (t)	Cuota (t)
2013	19373	21000
2014	12393	12120
2015	16115	16219
2016	19050	17708
2017	17032	19010
2018	19954	20310
2019	19015	19537

2.3. Revisión de aspectos biológicos

El modelo conceptual poblacional de merluza del sur asume que en aguas chilenas existe un único stock autosustentable distribuido en toda la zona económica exclusiva. Este supuesto aún es la base de todos los escenarios de evaluación presentados en la asesoría del año 2014 (Payá, 2015) y ha sido respaldado por el Comité Científico (Quiroz y Wiff, 2012) como también en las reuniones bilaterales IFOP-SUBPESCA relacionada con la estructura espacial de la población de merluza del sur (Quiroz et al., 2013).

Antecedentes indican que se identifica una zona única de desove de gran extensión, además existe información científica que respalda la existencia de zonas de crianza en aguas interiores de la zona austral, con mayor preponderancia en los canales y fiordos de la X y XII Regiones. La distribución de larvas entre aguas interiores y exteriores, muestra una mayor presencia de larvas de pequeños tamaños en los fiordos y canales de la zona sur austral, sin detectar mayores diferencias entre la macrozona norte y macrozona sur.

Se ha descrito un claro patrón migratorio entre aguas interiores y exteriores, con desplazamientos de la fracción adulta entre macrozonas. Este patrón de migración estaría confinado principalmente a las aguas chilenas, con un reducido intercambio de individuos entre éstas y la plataforma atlántica en el extremo austral de Chile (57°S). Si bien, no existen antecedentes científicos que posibiliten cuantificar la magnitud de este intercambio, la dinámica de la pesquería deja ver poco interés de captura en esta zona del país (rendimientos de pesca reducidos), sugiriendo que la magnitud de este proceso migratorio debe ser de una escala muy reducida en comparación con las rutas migratorias con fines reproductivos.

2.3.1 Estructura poblacional

Es posible indicar que el primer estudio sobre unidades poblacionales en merluza del sur fue realizado por el IFOP en el año 1993, a través de 3 técnicas: marcadores genéticos, análisis de la carga parasitaria y estudios morfométricos. Para el caso de los marcadores genéticos se analizaron un total 670 ejemplares, 400 correspondientes a aguas exteriores y 270 a aguas interiores. Este análisis, realizado a través de electroforesis de proteínas, mostró que no existen diferencias significativas en las muestras que provienen de aguas exteriores e interiores de la PDA (Chong y Galleguillos, 1993). Esto es concordante con los resultados encontrados a través de la composición y magnitud de la fauna parasitaria y de la morfometría de merluza del sur, que de la misma forma indica una alta similitud cualitativa entre las zonas de pesca. Por otra parte, Chong (1993) utilizó el análisis morfométrico de estructuras duras (otolitos sagitales), debido a que permite la discriminación fenotípica entre individuos de diferentes unidades poblacionales. A través de análisis multivariado de los otolitos, Chong (1993) concluyó que, si bien las variables morfológicas soportan la existencia de grupos locales, las variables discriminantes muestran una importante sobreposición, sugiriendo que los grupos analizados presentan un alto grado de mezcla, lo que impide considerarlos como



unidades discretas.

En el marco de un estudio FONDEMA “Diagnóstico merluza del sur y congrio dorado, aguas Interiores, XII Región”, se desarrollaron estudios del tipo genético, parasitológico, morfométrico y merístico, a objeto de determinar la existencia de unidades de stock y poblaciones residentes de merluza del sur en la XII Región (Daza et al., 2005). Para verificar la existencia de un stock puro o genético en este estudio se utilizaron como marcadores moleculares segmentos de ADN mitocondrial (D-Loop, NADH, Cyt B) y nuclear (Calmodulina e ITS). Los resultados obtenidos indicaron valores muy bajos de diferenciación genética poblacional, no permitiendo diferenciar más de un stock de merluza del sur. Desde la determinación de stocks ecológicos (poblaciones residentes) por medio de análisis parasitológicos, morfométricos y merísticos, no se obtuvieron diferencias significativas en la abundancia de parásitos según el sexo del pez y según la estación temporal.

2.3.2 Mortalidad natural, crecimiento y madurez

Para el modelo de evaluación de sexos combinados, la mortalidad natural se supone igual a 0.21 y constante a través de los años y las edades. El modelo implícitamente incorpora el crecimiento en las matrices de captura a la edad, que como ha sido característico en esta pesquería, no muestra las fuerzas de las clases anuales o las consecuencias de explotación severa como la ocurrida entre los años 1986 y 1992, salvo para los años 2006-2008 donde se observan importantes proporciones de individuos juveniles de edades entre 4 y 7 años. Los parámetros biológicos indicados en la Tabla 1 son supuestos constantes en el modelo.

Tabla 1 Parámetros biológicos a utilizar en el modelo de evaluación. Se muestra la madurez, mortalidad natural y los pesos a la edad teórico (dependientes del crecimiento basado en longitud) y empírico (observados desde la pesquería). Ver sección Pesos Medios para detalles sobre la utilización de los pesos medios en el modelo de evaluación.

Edad	Peso teórico	Peso empírico	Ojiva de madurez	Mortalidad natural
1	0.05	0.064	0	0.21
2	0.135	0.252	0	0.21
3	0.271	0.42	0	0.21
4	0.463	0.64	0	0.21
5	0.709	0.918	0.001	0.21
6	1.005	1.221	0.008	0.21
7	1.346	1.517	0.045	0.21
8	1.725	1.81	0.17	0.21
9	2.134	2.115	0.35	0.21
10	2.568	2.396	0.537	0.21
11	3.02	2.725	0.742	0.21
12	3.483	3.099	0.882	0.21
13	3.952	3.459	0.945	0.21
14	4.422	3.779	0.971	0.21



Edad	Peso teórico	Peso empírico	Ojiva de madurez	Mortalidad natural
15	4.888	4.235	0.982	0.21
16	5.349	4.606	0.988	0.21
17	5.8	4.943	0.991	0.21
18	6.238	5.249	0.993	0.21
19	6.663	5.658	0.995	0.21
20	7.073	6.095	0.996	0.21
21	7.466	6.275	0.997	0.21
22	7.843	6.601	0.998	0.21
23	8.202	7.074	0.999	0.21
24	8.543	7.357	1	0.21

2.3.3 Época y zona de desove

Los primeros antecedentes de los aspectos reproductivos de merluza del sur corresponden a observaciones macroscópicas realizadas durante los años 1977 y 1978 en cruceros de investigación. En estos estudios se señaló que esta especie desovaría de acuerdo a un esquema similar al de merluza común, es decir, a fines de primavera y probablemente parte del verano. En estos cruceros se observaron ejemplares con signos de madurez a partir de los 70 cm en las hembras y los 59 cm en machos (Avilés y Aguayo, 1979).

Aguayo *et al.*, (1986, 1987) basado en el análisis del IGS señaló que la actividad gonádica entre febrero y mayo es leve, para aumentar en junio-julio y declinar en agosto, lo que indicaría el inicio del desove masivo. El análisis de los estados de madurez de los ovarios es coincidente con el comportamiento del IGS. En efecto, Chong (1991) señaló que la merluza del sur presenta un ciclo de madurez gonádica que se inicia en febrero y abril con el desarrollo de ovocitos previtelogénicos y vitelogénicos. Estos últimos son más frecuentes entre mayo y junio, culminando la madurez y gatillando desoves masivos durante los meses julio, agosto y septiembre. Aquellos resultados fueron coincidentes con los reportados por Balbontín y Bravo (1993) y también con estudios realizados por Aguayo *et al.*, (2001). Las investigaciones disponibles señalan que pueden existir diferencias interanuales de algunas semanas en la fecha de máxima actividad reproductiva, sin embargo, el desove en merluza del sur alcanza su máxima actividad a fines de invierno.

En cuanto a la zona de desove, Aguayo *et al.*, (2001) señaló que el área principal de desove en merluza del sur se encuentra ubicada entre la isla Guafo ($43^{\circ}37'S$) y la Península de Taitao ($47^{\circ}S$), foco en el cual se registran los mayores valores de IGS para el período 1985-1998. Se registra un núcleo secundario de desove, el cual presenta valores intermedios de IGS, ubicado entre la Bahía San Pedro ($41^{\circ}S$) y la isla Guafo ($43^{\circ}37'S$).

2.3.4 Migraciones

Hasta el momento, no existen estudios específicos sobre el comportamiento migratorio de la merluza del sur. Sin embargo, se conocen antecedentes que se derivan básicamente de la actividad de la flota que opera sobre este recurso. En este contexto, Aguayo (1995) identificó dos tipos de migración:

- Migraciones latitudinales, donde se señala que desde julio hasta octubre de cada año existe una migración gatillada por el desove, donde los individuos se desplazan desde los centros de abundancia y crianza hacia



la isla Guamblín ($44^{\circ}85' S$). Desde octubre en adelante esta especie migra hacia el norte, posiblemente en busca de alimento.

- Migraciones longitudinales, donde se observa que a fines de primavera y comienzos del verano existe una importante migración desde aguas exteriores hacia aguas interiores. En otoño comienza a desplazarse hacia aguas exteriores, donde los adultos comenzarían su migración para el desove que se produce a fines de invierno y principios de primavera.

Las causas de estas migraciones no se conocen a cabalidad, pero probablemente sea de carácter trófico, asociado a una abundancia estacional de la sardina de los canales y merluza de cola, como ítems alimenticios principales.

2.3.5 Zona de concentración de larvas y juveniles

Los primeros antecedentes disponibles sobre la distribución de huevos y larvas de merluza del sur, provienen de un crucero de evaluación del stock desovante realizado el año 1995 en la zona sur-austral (Lillo *et al.*, 1996). Este estudio abarcó la zona comprendida entre el norte de la isla Guafo ($43^{\circ}20'S$) hasta cabo Raper ($46^{\circ}20'S$). De todas las estaciones se constató solo un foco significativo de abundancia de larvas situado al noreste de la isla Guafo. Se señala que el aporte de huevos de merluza fue escaso con una densidad no mayor a 8 huevos/10 m² y mostraron una distribución latitudinal reducida, con presencia entre las cercanías de Cabo Raper y la isla Garrido ($45^{\circ}12'S$).

Por otro lado, Rubilar *et al.*(2000), señalaron que la proporción de ejemplares juveniles en las capturas de merluza del sur en las regiones X, XI y XII, presenta una clara variación estacional, con aumentos importantes hacia invierno y primavera. Esta tendencia se refleja en otros indicadores como la talla y edad promedio en las capturas. En aguas interiores de la X Región, la mayor presencia de juveniles se registra en el seno de Reloncaví, destacando la zona de Contao donde la presencia de juveniles es permanente durante todo el año. En la XI Región, se observó una dinámica similar, existiendo áreas donde la proporción de juveniles es permanente durante todo el año como sucede en el sector comprendido entre la isla Casma a canal Costa. En cuanto a la XII Región se detecta un aumento de la proporción de juveniles en las capturas hacia otoño e invierno, pero la proporción es claramente inferior a lo encontrado en la X y XI Regiones. Resultados similares para las zonas y épocas de concentración de juveniles fueron reportadas por Aguayo (1995).

Rubilar *et al.* (2000) además señalaron que el aumento de los ejemplares juveniles de merluza del sur en la captura registrada en las estaciones en invierno y primavera, sería producto de comportamientos migratorios de la especie entre aguas exteriores e interiores. En este sentido, estos autores han planteado la hipótesis referente a que en este período parte de la fracción adulta de aguas interiores migra hacia aguas exteriores. Así la población de merluza del sur que permanece en aguas interiores se caracteriza por una fuerte presencia de juveniles. Esta hipótesis se encuentra apoyada por las consideraciones realizadas por Aguayo (1995), por medio de observaciones obtenidas desde los programas de monitoreo de la pesquería.



3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.1. Objetivo específico 1:

"Implementar procedimientos de evaluación de stock basados en protocolos científicos para la determinación del estatus de merluza del sur, con arreglo al nivel de conocimiento, información e incertidumbre correspondiente, conforme a los estándares actuales en ciencia pesquera."

La determinación del estatus de merluza del sur (*Merluccius australis*) se basa en la implementación de procedimientos de evaluación de stock coherentes con del método científico, en el sentido de la implementación de análisis basados en la mejor información y conocimiento disponible, y que considera en una amplia dimensión la aplicación del enfoque precautorio para la pesca establecido por la FAO el año 1996. En este marco, este objetivo se centra en: i) la descripción de la información pesquera-biológica y su utilización en el procedimiento de evaluación de stock, ii) la formulación matemática del modelo de evaluación de stock, y iii) los métodos estadísticos para evaluar características como bondad de ajuste, consistencia y pertinencia del procedimiento de evaluación de stock.

3.1.1 Información biológico-pesquera

Esta sección se enfoca en la actualización y consolidación de los antecedentes/datos pesqueros y biológicos disponibles para las unidades de pesquería de merluza del sur situadas al sur del paralelo 41°28,6 S. Además, se recaba y compila todos los datos referidos a parámetros de historia de vida (e.g.madurez) que permiten sustentar el modelo conceptual que subyace bajo el modelo de evaluación de stock. La escala y nivel de agregación espacial y temporal empleada en este estudio, es definida en coherencia con la información disponible, las recomendaciones de expertos y los lineamientos definidos por los Comités Científico Técnicos y la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Paralelamente, en esta sección además se describen y actualizan las estimaciones de biomasa acústica realizadas por las prospecciones independientes de la pesquería, efectuadas en la zona sur-austral de Chile.

I. Información Pesquera:

El proceso de evaluación de stock implementado incorpora explícitamente tres fuentes de información pesquera:

- a) La primera corresponde a los desembarques reportados en las estadísticas oficiales, que representan los niveles de remoción por pesca del stock provenientes de las estadísticas oficiales de control cuota reguladas por el Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA). Este sistema de control cuota define la importancia relativa de los distintos puertos de descarga y, por lo tanto, es de interés administrativo y/o comercial de la actividad. Específicamente en esta evaluación, se revisó y actualizó la información de desembarques para el periodo 1977-2019.
- b) Los niveles de descarte y sub-reportes representan la segunda fuente pesquera incorporada en el procedimiento de evaluación de stock. Si bien, a la fecha no existe un total consenso sobre los métodos y niveles de omisión de captura, en la evaluación de stock realizada el año 2014 (Payá, 2015) se acordó en el seno del Comité Científico Técnico de Recursos Demersales Zona Sur Austral (CCT-RDZSA) utilizar un conjunto de ponderadores de descarte/sub-reportes a nivel de flota. Basados en estos ponderadores, las series de desembarques anuales oficiales fueron corregidas por investigadores de IFOP y sensibilizadas en el modelo de evaluación de stock.
- c) Finalmente, la tercera pieza de información incorporada en el procedimiento de evaluación de stock corresponde a los rendimientos de pesca desagregados por flota pesquera. Esta información es utilizada para la construcción de índices de abundancia derivados de la Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE) para las flotas industriales de arrastre y palangre, como también, para la construcción de un indicador de tasa de captura nominal representativo de la actividad pesquera realizada por la flota artesanal.

II. Información biológica



El monitoreo de la pesquería de merluza del sur es realizado por el Proyecto de Investigación Situación Pesquerías de Peces Demersales y Aguas Profundas, que forma parte del Programa de Seguimiento de las Principales Pesquerías Nacionales, estudio requerido anualmente por la Subsecretaría de Pesca al Instituto de Fomento Pesquero. Este proyecto permite obtener indicadores como las estructuras de edad, claves talla-edad, composiciones de tamaños y pesos medio a la edad, los cuales conforman el núcleo principal de la información biológica empleada en el procedimiento de evaluación de stock. En este marco, y con fines de actualizar los datos de entrada al modelo de evaluación de stock, se revisaron los siguientes indicadores biológicos:

- a) *Captura por edad*: Denominada también como composición etaria, corresponde a la expansión de la captura por flota (arrastre, palangre y artesanal), zona (norte y sur del paralelo 47°S) y sexo (machos – hembras) mediante una clave edad-talla construida en base a lecturas de otolitos recopilados durante la temporada de pesca. La recopilación de los otolitos está basada en un diseño de muestreo estratificado por clase de tallas, que posibilita construir una matriz de información cruzada que representa la distribución de los ejemplares presentes en la captura por grupo de edad y por estrato de tamaño. A pesar de que se dispone de una estructura de edad por zona, sexo y flota, para efecto de la evaluación de stock esta información es agregada por sexo y zonas con fines de obtener una estimación global por flota para la unidad de pesquería. Esta información es empleada en el proceso de evaluación de stock a objeto de evaluar los supuestos de la mortalidad por pesca diferenciada por grupos de edad, además de entregar señales de la fuerza de las clases anuales que sustentan la fracción vulnerada por cada pesquería.
- b) *Pesos a la edad*: El crecimiento intra-anual de la merluza del sur es recogido en tres matrices de pesos medios a la edad, las que corresponden respectivamente a las estimaciones a mitad de año luego de la asignación de la edad, calculadas para las flotas de pesca de arrastre, palangre, y artesanal, respectivamente. El peso medio es empleado para generar las estimaciones de desembarques y biomasa vulnerable por cada flota, como también, la biomasa de la acústica estimada en agosto de cada año por los cruceros de prospección realizados en la zona sur-austral. Al margen de la desagregación de la información de pesos medios a la edad, el CCT-RDZSA determinó que la asesoría científica basada en el procedimiento de evaluación de stock, debe utilizar un vector de peso medio constante a través del tiempo que dé continuidad a los supuestos y criterios utilizados en asesorías previas. Esto implica que la información de las capturas a la edad y abundancia acústica a la edad se unan solo para estimar las estructuras, proporcionales a la edad. El cambio de pesos anuales o pesos fijos modifica el número de individuos capturados y la abundancia a la edad, los cuales ya no son los informados por los proyectos de seguimiento y evaluación acústica.

III. Parámetros de historia de vida

Para la implementación del procedimiento de evaluación se recoge el conocimiento de estudios científicos y técnicos que reportan información asociada a los parámetros del ciclo vital de la especie, como la mortalidad natural, el crecimiento y madurez. De esta forma, el proyecto tiene un rol de integración del conocimiento y utiliza los productos de todos los programas y proyectos de investigación para modelar la dinámica del recurso.

IV. Biomasa desovante Acústica

La información independiente de la pesquería utilizada en la evaluación de merluza del sur corresponde a los cruceros acústicos desarrollados durante el período de agregación reproductiva. Desde estos cruceros se obtienen las claves talla-edad necesarias para generar matrices de abundancia a la edad. Además, los cruceros reportan estimaciones de biomasa desovante para el mismo período, que para su inclusión en el modelo son considerados como valores de biomasa desovante relativa.

3.1.2 Estandarización CPUE de tasas de captura flota industrial

I. Intencionalidad de pesca

La pesquería industrial de merluza del sur ha operado en la zona austral de Chile (4120'S-5700'S) desde el año 1978. Los reportes de pesca han dejado ver desde inicios de los 80's una alta concurrencia de especies



en las capturas, las que en algunos años han superado las 100 especies durante la temporada de pesca. Si bien, no más de 5 especies y grupos taxonómicos (merluza del sur, merluza de cola, congrio dorado, bacalao y condriictos) representan en promedio el 85 % del total de desembarques anual, el restante 15 % concurren en diferentes proporciones dependiendo del tipo de flota y la estacionalidad de las capturas. En efecto, las proporciones de especies capturadas durante un lance o viaje de pesca difieren entre tipo de flota; por ejemplo, las capturas de la flota arrastrera recurrentemente muestran un alto número de especies como fauna acompañante, aunque la importancia relativa de estas especies tiende a ser baja, en contraste, la flota palangrera tiende a capturar un menor número de especies, pero con un número importante de registros de pesca donde la concurrencia de especies no objetivo es alta.

Esta dinámica en la flota que captura merluza del sur dificulta la identificación de la intencionalidad de pesca, requisito indispensable para el proceso de estandarización de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE). El carácter multiespecífico de las flotas hace necesario explorar mecanismos o metodologías para la identificación del esfuerzo de pesca (i.e. horas de arrastre, días de pesca, numero de anzuelos) empleado en la captura de una especie objetivo, o más bien, en las operaciones de pesca con dirección a una especie objetivo. Por lo anterior, desde el año 2007 el proceso de estandarización de la CPUE en merluza del sur utiliza el concepto denominado “táctica de pesca” (Pelletier y Ferraris, 2000) para clasificar las operaciones de pesca que son dirigidas a merluza del sur. Utilizando estadística multivariada, el procedimiento de clasificación de tácticas de pesca consiste en identificar y agregar las operaciones de pesca que contienen similitud entre los ensamblajes de especies capturadas a nivel de lance o viaje de pesca. A este grupo de operaciones le llamamos “táctica de pesca”. Luego de obtener aquellos grupos de embarcaciones que definen una táctica de pesca particular, regularmente se examinan las características espacio-temporales que presenta cada táctica de pesca. En esta sección se detallan los resultados de la identificación de tácticas de pesca en merluza del sur.

El procedimiento de estandarización incorpora la táctica de pesca como un predictor en los modelos lineales de predicción de las tasas de captura, esto como una vía para aislar los predictores temporales (Quiroz y Wiff, 2012; Quiroz et al., 2013). Como resumen de la metodología de estandarización, se implementan 6 etapas donde por medio de análisis multivariados y modelos lineales es posible diferenciar las estrategias de pesca que influencian los predictores temporales. Se realizaron análisis independientes por flota y zonas de pesca dentro de la zona austral, analizando las bitácoras de pesca que contenían merluza del sur en sus registros. En el caso de la flota arrastrera, el análisis abarca desde 1979 a 2019, mientras que en la flota palangrera abarca el período entre 1987 y 2019.

Las etapas realizadas en este proceso son:

1. Construcción de matrices con composición de captura para cada lance en el caso del espinal. Para el arrastre se construyeron matrices con composición de captura para cada embarcación en un mes determinado en una subzona determinada. Cada subzona corresponde a medio grado de latitud. Para cada subzona se acumularon las composiciones de captura para un barco en un mes determinado.
2. Análisis de componentes principales (ACP) de la composición de captura, cuyo objetivo es reducir el total de especies (columnas) en las componentes ortogonales que representen en su totalidad más del 85 % de la varianza.
3. Análisis de Cluster no-jerárquico de los vectores propios derivados del ACP que cumplían la condición anterior. Este análisis se realizó a través del método de K-means y como medida de similitud se usó la distancia euclíadiana. Esto permite reducir el número total de registros (lances de pesca) a 2500 centroides. El uso del cluster no-jerárquico se debe a que el análisis de dendrograma (cluster jerárquico) es muy extensivo desde un punto de vista computacional.
4. Análisis de Cluster jerárquico para construir los dendrogramas de similitud de los centroides derivados del punto anterior. Se utilizó la distancia euclíadiana y el método de Ward como medida de agrupación entre las observaciones.
5. Construcción de los dendrogramas y recuperación de los datos originales (lances de pesca) para asignarlos a un cluster (táctica de pesca) determinado.



6. Estandarización de la CPUE utilizando la táctica de pesca (cluster) como variables categóricas en un modelo lineal generalizado.

En el caso de la implementación del modelo lineal generalizado, el primer paso consiste en aplicar un Modelo Aditivo Generalizado (MAG) usando como variable respuesta a la captura por unidad de esfuerzo y cuyas variables categóricas pueden ser año, mes y barco, mientras que la profundidad, latitud y longitud pueden ser asumidas como variables continuas. Esto permite obtener una aproximación a los coeficientes para posteriormente incorporar los niveles Cluster (intencionalidad de pesca) en un predictor de un modelo lineal para la CPUE.

II. Proceso de estandarización

La captura por unidad de esfuerzo (CPUE) es ampliamente usada como índice de abundancia relativa en muchas pesquerías del mundo. Las variaciones de este índice, se asocian principalmente a las características y composición de la flota, así como a factores de tipo ambiental. Aquí se presenta la estandarización de las tasas de captura en la pesquería de merluza del sur, usando la información proveniente de las bitácoras de pesca entre los años 1979 y 2019 para el arrastre, 1987 a 2019 para palangre. Se utilizaron modelos lineales generalizados (MLG), técnica que ha sido el método más utilizado en la estandarización de CPUE (Punt et al., 2000). Este método permite realizar interacciones entre las variables explicatorias en la CPUE, así como explorar distintas distribuciones de error mediante la utilización de la verosimilitud en el ajuste del modelo (McCullagh y Nelder, 1989). Bajo este enfoque, el modelo general para la determinación de la CPUE es:

$$\log(cpue) = \beta_0 + \sum_k \beta_k x_k + \varepsilon$$

donde, β_0 es el intercepto, β_k son los coeficientes que dan cuenta de la variación en la CPUE con respecto al predictor x_k y ε es un error normal con media 0 y varianza constante σ^2 . Los factores analizados para el caso de la pesquería de arrastre y espinal fueron: años, meses, barco (aleatorio), zona (unidad de pesquería) y cluster. El efecto cluster corresponde a la táctica de pesca y se representa en las bitácoras de pesca por medio de una “etiqueta” que lleva cada lance de acuerdo al cluster donde se ha agrupado la operación de pesca.

La CPUE anual es función de tres variables estimadas a través de MLG:

donde, $\hat{\beta}_i$ es el coeficiente estimado para el año i , $\hat{\beta}_0$ es el intercepto del modelo (media global o referencial) y $\hat{\sigma}^2$ representa el parámetro de dispersión de la distribución asumida para el error.

3.1.3 Modelo de evaluación de stock

La evaluación de stock en Chile ha sido desarrollada y perfeccionada por IFOP durante los últimos 15 años y cuya metodología se encuentra en general acorde con los estándares internacionales vigentes. Como una vía para mantener este estándar, también se han incorporado las recomendaciones emanadas tanto desde los Comités Científico Técnicos como de los lineamientos entregados por el equipo de expertos internacionales en el marco del proyecto “Revisión de los puntos biológicos de referencia (Rendimiento Máximo Sostenido) en las pesquerías nacionales” (Payá et al., 2014).

El modelo poblacional de merluza del sur asume que en aguas chilenas existe un único stock autosustentable distribuido en toda la zona económica exclusiva. El ciclo anual del modelo comienza con el ingreso de nuevos reclutas de edad 1 (a inicios de año) que dependen de un único stock desovante. No se consideran procesos de migración/inmigración. Se implementa un modelo que asume error de observación en las capturas utilizando la ecuación de Baranov y donde las mortalidades por pesca son estimadas como parámetros en el modelo. Las biomassas son calibradas utilizando series de abundancia relativas basadas en CPUE y estimaciones de cruceros acústicos.

Durante la implementación del modelo poblacional de merluza del sur, se consideran elementos de incertidumbre estructural basados en el nivel de conocimiento y de la información o datos disponible, así como la incertidumbre de estimación generada de su aplicación al conjunto de datos disponibles. En este sentido, el modelo de evaluación de stock de merluza del sur se basa en el análisis estadístico de la dinámica de estructuras de edad anual y pesos medios a la edad, por medio de los siguientes componentes:



i. Condiciones Iniciales

Se asume que la población de merluza del sur al comienzo del año 1977 se encontraba en una condición de equilibrio libre de pesca. Bajo este supuesto, el reclutamiento del año 1977 corresponde a un reclutamiento virginal (R_0) consistente con una biomasa desovante virginal (S_0), mientras que en posteriores años (> 1977) es dependiente de una relación stock-recluta Beverton-Holt (función de la BD, B_0 , R_0 y h) perturbada por desviaciones obtenidas desde una distribución de probabilidad normal. Si bien, este supuesto simplifica la estructura del modelo, es un escenario altamente probable para la población de merluza del sur. De esta forma, el número de ejemplares de edad a , al comienzo del año 1977 es definida como,

La biomasa desovante virginal (en número) es obtenida como,

donde y corresponden a la proporción de hembras maduras y pesos medios a la edad a , respectivamente.

ii. Reclutamiento

Con objeto de estimar los reclutamientos (especificados a la edad 1), se utilizó el modelo stock-recluta de Beverton-Holt con una estructura de error lognormal, que incorpora un término de varianza que soslaya el sesgo durante la trasformación a escala real,

donde t es la biomasa desovante en el año t , ϵ_t es la desviación del reclutamiento en el año t , y σ es la desviación estándar de las desviaciones del reclutamiento en escala logarítmica. La relación entre los niveles virginales de reclutamiento y abundancia desovante, y los parámetros a y b del modelo Beverton-Holt es dada por,

donde h es un parámetro que define la fuerza de la densodependencia, S_0 es la biomasa desovante virginal, y R_0 es el reclutamiento promedio producido cuando la poblacional se encontraba en equilibrio libre de pesca (reclutamiento virginal). El término h , definido como el parámetro de escarpamiento, representa el nivel de reclutamiento relativo al reclutamiento virginal, que ocurre cuando la biomasa desovante ha sido reducida a un 20 % de su nivel virginal. Al igual que en la última evaluación se supuso h igual a 0,5. Como base estructural se continúa utilizando la biomasa desovante como predictor de los reclutamientos, que y es calculada en septiembre de cada año por la siguiente expresión:

iii. Evolución temporal de cohortes

La abundancia de merluza del sur a la edad a al tiempo t , es modelada por

tal que,

donde M es la tasa instantánea de mortalidad natural para la edad a al tiempo t , m es el grupo plus y $Z_{(a,t)}$ es la mortalidad total edad-específica. En este sentido, se plantea que la dinámica poblacional de la abundancia $N_{(a,t)}$ a la edad a al tiempo t , puede ser representada por un modelo de sobrevivencia donde las mortalidades por pesca anuales, $F_{t'g}$, para cada flota de pesca g , son aplicadas en forma continua durante la estación de pesca para cada edad a de acuerdo a una ojiva de selectividad $S_{a'g}$.

iv. Selectividades

La curva de selectividad implementada en el modelo para las flotas arrastre, espinelera y palangrera, como también en los cruceros, corresponde a una función doble-normal definida para todo el rango de edad. La función doble-normal utiliza tres parámetros, la edad máxima de selectividad (k) y las varianzas del lado derecho e izquierdo de la curva. Estos tres parámetros otorgan considerable flexibilidad a la funcionalidad de la selectividad, definida como,

La curva de selectividad es asintótica cuando la varianza derecha tiene a valores altos y conforma una curva tipo domo cuando adopta valores bajos. Se considera constante entre años tanto a nivel de parámetros de posición (edad al 50 % de explotación) como de dispersión (pendiente de la curvatura). Las justificaciones para este supuesto se basan en la poca variabilidad que presentan las composiciones de edades de las capturas y en menor grado en los cruceros, como también a que en esta pesquería no se conocen procesos de escape significativos de individuos longevos fuera de la zona donde opera la pesquería en el caso de curvas de selectividad asintóticas.

v. Valores Predichos



Los índices anuales de abundancia relativa para cada flota g, incluyendo las estimaciones de los cruceros hidroacústicos, se asumen proporcional a la biomasa vulnerable estimada a mitad del año, según,

donde q_g corresponde al coeficiente de capturabilidad de cada uno de los artes o aparejos de pesca.

En el caso de los cruceros acústicos, se asume que las estimaciones representan una fracción de la biomasa desovante disponible, lo que en otras palabras se traduce en que el índice de proporcionalidad o capturabilidad es estimado en el modelo sujeto a una distribución a priori, establecida siguiendo una distribución lognormal con media 0 y error estándar 0,4. Lo anterior se justifica dado que el proceso de agregación de la merluza del sur posiblemente es más extendido que el tiempo prospectado, de manera que el crucero admite un coeficiente de variación de 40 % en términos de la precisión de estimación.

La proporción de edad observada de las flotas de pesca y los cruceros (p donde $C_{(a,t)}^g$ corresponde a la matriz de captura a la edad observada de la flota g, mientras que $N_{(a,t)}^g$ corresponde a la abundancia a la edad estimada en los cruceros acústicos).

El desembarque anual por flota, , es modelado asumiendo un error de observación en el proceso de pesca, de esta forma, los desembarques son estimados como:

Las capturas totales incorporadas en el modelo, corresponden a los niveles de desembarques anuales realizados por las flotas de pesca industrial (arrastre y palangre) y artesanal (espinel).

iv. Bondad de ajuste y consistencia del modelo de evaluación de stock

Con el fin de asegurar la aplicación del mejor modelo de evaluación, así como su pertinencia, consistencia e incertidumbre resultante, se consideró los siguientes procedimientos:

- Se prueba la consistencia de la evaluación mediante análisis retrospectivos, sobre la base del mismo conjunto de datos empleados.
- Se presenta gráficamente el ajuste del modelo a los datos y la bondad de ajuste de los diferentes modelos empleados, cuándo corresponda. Lo anterior se acompañará con análisis de residuales de las principales fuentes de datos.
- Se incluye la comparación de resultados con versiones anteriores u otros modelos para evaluar la consistencia de la evaluación presente (análisis retrospectivo empírico).

Sobre la base de estos análisis, se identifica las oportunidades de mejoras en la implementación del procedimiento de evaluación, los vacíos de conocimiento y de información, entre otros.

3.1.4 Análisis retrospectivo

Mohn (1999), describe el análisis retrospectivo como una incoherencia sistemática entre una serie de estimaciones del tamaño de la población o las variables involucradas en la evaluación, relacionado con series de información cada vez mayores. Los patrones retrospectivos pueden ser causados por una serie de factores, pero todos requieren un cambio en el valor del parámetro o valor del modelo asumido en el tiempo. Las tres principales causas que provocarían los patrones retrospectivos son: los cambios en el nivel de las capturas en la evaluación, los cambios en la tasa de mortalidad natural (M), o cambios en la capturabilidad (q) (Legault, 2009).

El estadístico rho de Mohn (1999) se ha utilizado comúnmente para medir el patrón retrospectivo y se define como la suma de la diferencia relativa entre una cantidad estimada a partir de una evaluación con una serie de tiempo reducida y la misma cantidad estimada a partir de la serie de tiempo completa.

Donde X denota alguna variable de la evaluación de stock como F o SSB, y denota el año, npeels expresa el número de años que se eliminan de forma sucesiva y la repetición de la evaluación, Y es el último año en la serie de tiempo completo, tip muestra la estimación terminal de una evaluación con una serie de tiempo reducida, y ref indica la evaluación utilizando la serie de tiempo completa.

Este cálculo será cero cuando las evaluaciones reducidas coincidan exactamente con la evaluación completa o cuando las diferencias entre las evaluaciones limitadas y evaluación completa están equilibradas tanto



positivas como negativamente. El primer caso no tiene el cambio de año en año, mientras que el segundo caso se caracteriza por exhibir el ruido, pero no un patrón retrospectivo. El valor de rho será grande, ya sea positivo o negativo, cuando hay un patrón consistente de cambio en las evaluaciones reducidas relativo a la evaluación de series de tiempo completa.

Para desarrollar este análisis, se utilizó la eliminación sistemática de datos del año terminal de forma secuencial durante cinco años en relación al modelo. Este análisis, por lo tanto, permite evaluar la incertidumbre del modelo mod0_03 y mod0_03b, a la estimación de la biomasa desovante, el reclutamiento y la mortalidad por pesca a los resultados del análisis retrospectivo.

Preliminar



3.2. Objetivo específico 2:

“Determinar las variables poblacionales de los recursos pesqueros en estudio conforme al marco legal vigente y estimar el valor de los Puntos Biológicos de Referencia, determinados por los Comités Científico y Técnicos (CCT) respectivos, bajo condiciones de incertidumbre estructural y de estimación empleando el mejor conocimiento e información disponible a la fecha de ejecución del estudio.”

3.2.1 Definición de estatus

El estado de explotación de la merluza del sur se establece en base a la posición relativa de la biomasa desovante y mortalidad por pesca con respecto a los Puntos Biológicos de Referencia (PBR) basados en el Rendimiento Máximo Sostenido (RMS). Por lo tanto, Las variables de estado como la biomasa desovante (o adulta), reclutamientos y mortalidad por pesca, son parte del conjunto de resultados que en primera instancia emana desde el proceso de evaluación de stock. En este mismo proceso son estimados los niveles de incertidumbre para las variables de estado relevantes que definen el estado de explotación de merluza del sur.

En el contexto de la Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA) se establece que las pesquerías deberán alcanzar o mantenerse en torno del RMS considerando las características biológicas de los recursos explotados. El RMS se produce cuando el stock desovante se reduce notablemente antes que el reclutamiento se vea impactado, para lo cual requiere estimar los siguientes PBRs:

- Biomasa desovante en el Rendimiento Máximo Sostenible (BDRMS), bajo la cual el recurso califica en sobreexplotación.
- Mortalidad por Pesca en el Rendimiento Máximo Sostenible (FRMS), sobre la cual el recurso califica en sobreexplotación.
- Biomasa desovante límite (BLIM) bajo la cual una pesquería califica de agotada o colapsada.
- Mortalidad por Pesca límite (FLIM) a partir de la cual el recurso califica en sobrepesca.

La estimación de estos PBRs se basa en el Marco Biológico de Referencia establecido por el CCT-RDZSA y la determinación de Puntos Biológicos de Referencia (PBR).

3.2.2 Puntos Biológicos de Referencia

Durante el año 2014, el Instituto de Fomento Pesquero implementó un Sistema de Niveles (conocido en la literatura pesquera como Tiers System), donde cada stock explotado no solamente fue clasificado de acuerdo a la calidad y cantidad de información disponible para propósitos de la evaluación de stock, sino también, en base a los métodos de evaluación más plausibles que podrían ser implementados con los datos disponibles (Figura 1).

En el caso de la merluza del sur existe una gran cantidad de información disponible para realizar la evaluación de stock, concurren índices de abundancia para cada flota comercial, como también, un crucero acústico que abarca un periodo de 15 años. Además, existe información edad estructurada para un período de más de 20 años en cada flota. La evaluación consiste en un modelo de evaluación estándar estructurado a la edad que utiliza una relación stock recluta Beverton-Holt para modelar la tendencia central en el reclutamiento. Bajo este esquema de información, la merluza del sur se alinea con el Sistema de categoría de datos bajo el Nivel 1b (Payá et al., 2014).

Lo anterior implica que la definición del estado de explotación para merluza del sur debe estar condicionada a proxies de Puntos de Referencia Biológicos (PRB) basados en el Máximo Rendimiento Sostenido (RMS), tomando en cuenta la incertidumbre en el modelo de evaluación y el grado de resiliencia de la población. Por tanto, se definieron los siguientes PBR:

$F_{\{RMS\}}=F_{\{45 \% bdpr\}}$,

es decir, la mortalidad por pesca que reduce al 45 % la biomasa desovante por recluta, y

es decir, la biomasa desovante virginal reducida a un 40 %. Donde RMS y $F_{\{RMS\}}$ representan los PBR objetivos, los cuales son consistentes con el requerimiento de manejar los stocks comerciales en base al

RMS; mientras que ($F=0$) representa la biomasa desovante por recluta en ausencia de explotación ($F=0$) para un nivel de reclutamiento medio o virginal Ro. Complementariamente, se estableció como PBR límite para la biomasa desovante, el 50 % de RMS, que es equivalente a $(20\%Bo)$.

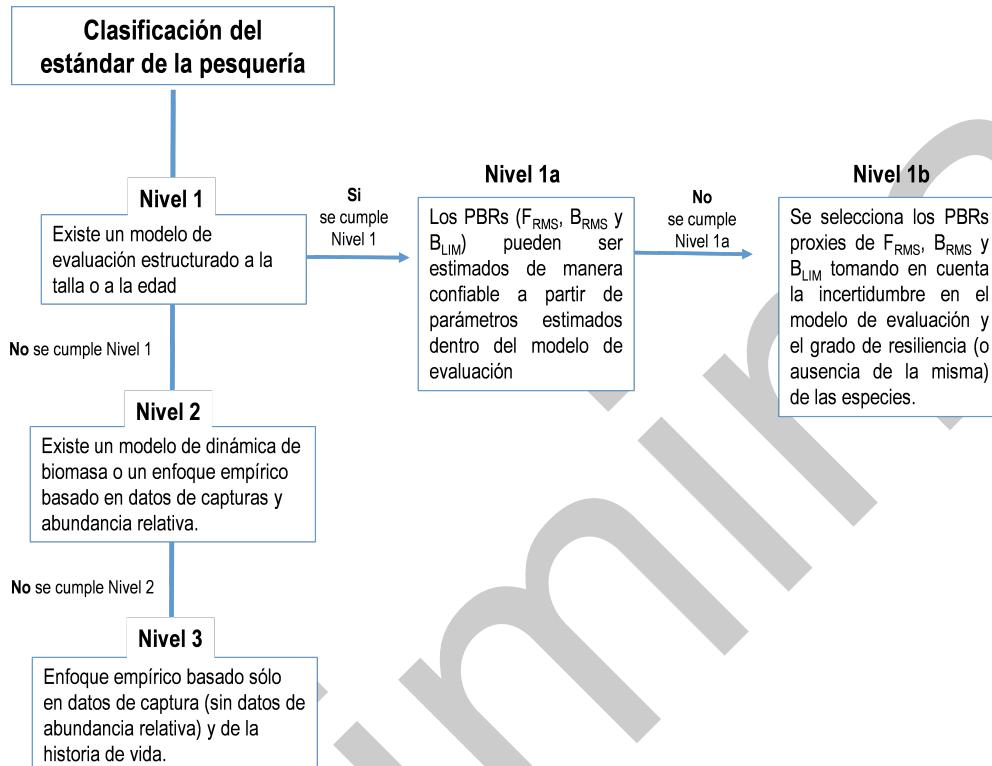


Figura 1. Sistema de niveles para la determinación de los PBRs de acuerdo a la cantidad, tipo y la calidad de la información disponible y, métodos de evaluación de stock empleados en cada pesquería.

i. Estimación de F_{RMS}

Frente a la incertidumbre en la relación stock-recluta en merluza del sur, la determinación de FRMS está basado en el análisis de biomasa desovante por recluta que describen el cambio de la biomasa de una cohorte o clase anual por efectos de la mortalidad natural y la pesca. La biomasa adulta o desovante por recluta (bdpr) es obtenida como función de la mortalidad por pesca (F), y en esta curva es factible identificar el nivel de referencia biológico $F_{(45\%bdpr)}$ que se supone debería minimizar el impacto de la pesca sobre el stock, permitiendo el escape en torno al 45 % respecto del valor que existiría en ausencia de explotación pesquera. La estimación de esta curva y su valor de referencia (45 %bdpr) se obtiene por medio de la dinámica de la abundancia en equilibrio definida como,

donde N_a es la abundancia en número a la edad $a+1$ para una población con longevidad máxima m , $S_{(a-1)}$ corresponde a la selectividad edad específica, M es la mortalidad natural y F la mortalidad por pesca.

Basada en esta abundancia, la biomasa desovante por recluta se define como,

donde dt es la fracción del año donde ocurre el desove (agosto), ma es la fracción de peces maduros a la edad y es el peso medio a la edad. Con el objeto de resolver el parámetro $F_{RMS}=F_{(45\%bdpr)}$ se utilizó la siguiente función objetivo

ii. Diagrama de fases de explotación

El estado del recurso se estableció en base a la posición relativa de la mortalidad por pesca y biomasa desovante versus los puntos biológicos de referencia basado en el rendimiento máximo sostenible (RMS),

tales como, FRMS y BDRMS. De este modo se obtienen los indicadores del estatus ($F/FRMS$ y $BD/BDRMS$) que permiten construir un diagrama de fase, donde los puntos de referencia biológicos se muestran en las líneas verticales y horizontales en $x=1$ e $y=1$. Las líneas verticales indican la biomasa desovante en el rendimiento máximo sostenible (BDRMS), bajo el cual el recurso califica en sobreexplotación y biomasa desovante límite (BDLIM) bajo el cual una pesquería califica de agotada y/o colapsada y la línea horizontal el punto de referencia correspondiente a la mortalidad por pesca en el rendimiento máximo sostenible (FRMS), sobre la cual el recurso califica en sobreexplotación. La Figura 2 muestra el diagrama de fase definido por el CCT-RDZSA para la pesquería de merluza del sur.

El estado de la pesquería en Plena Explotación se define en la Ley de Pesca como “un nivel en el que el punto biológico ha alcanzado o está a su máximo rendimiento sostenido”. Debido a la variabilidad natural en las condiciones ecológicas y ambientales, FRMS no es estática, pero fluctuará alrededor de BDRMS. Para reconocer esta variabilidad, una definición operativa para la región de Plena Explotación se define que se extiende a ambos lados de los puntos de referencia de RMS. A continuación, se describen los umbrales para la definición de estatus en merluza del sur:

Sobrepesca: Este Comité consideró necesario diferenciar al interior de la zona de sobreexplotación definida por la LGPA, el área de sobrepesca, con el objeto de aplicar las medidas de Administración más acordes con dicha condición. En tal sentido, la sobrepesca ocurriría cuando la mortalidad por pesca F (variable de flujo y de control) excede un valor considerado umbral o límite, que en este caso corresponde al valor superior en mortalidad por pesca (valor relativo al objetivo) de la zona de plena explotación.

Sobreexplotado: En correspondencia con la definición anterior, la sobreexplotación ocurriría cuando la biomasa (variable de estado) cae bajo un valor umbral o límite, correspondiendo éste al valor inferior en biomasa (valor relativo al objetivo) de la zona de plena explotación.

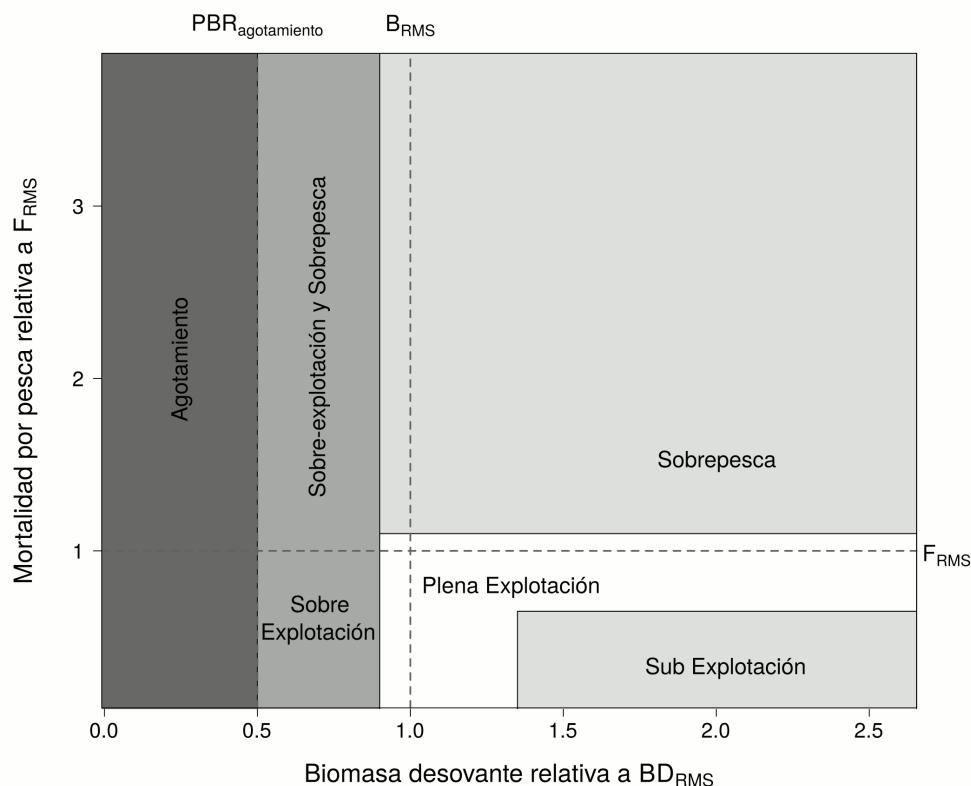


Figura 2. Diagrama de fase definido Comité Científico Técnico de Recursos Demersales Zona Sur Austral (CCT-RDZSA) para la pesquería de merluza del sur.



3.3. Objetivo específico 3:

“Analizar las distintas alternativas de Captura Biológicamente Aceptable para estos stocks acorde con las estrategias de explotación y reglas de control previamente definidas y considerando los posibles estados de la naturaleza, con sus respectivos análisis de riesgo, incluyendo análisis en horizontes de mediano y largo plazo, según requerimiento.”

Con objeto de actualizar las estimaciones de abundancia de merluza del sur y definir un rango plausible de alternativas de Captura Biológicamente Aceptable (CBA) para el año 2021, se realizarán las siguientes tareas:

1. Actualización de antecedentes y datos biológicos pesqueros hasta diciembre del año 2019 (Objetivo n°1)
 - I. Solo las piezas de información derivadas directamente de la pesquería fueron actualizadas, esto es, las capturas por edad en las flotas participantes (arrastre, palangre y artesanal), los desembarques por flota corregidos por descarte y sub-reporte, los índices de abundancia basados en las tasas de captura de las flotas, los niveles de abundancia estimados durante los cruceros acústicos
 - II. Tanto los parámetros de historia de vida (pesos medios y madurez a la edad) y los ponderadores se mantuvieron iguales a los reportados en la asesoría anterior, esto con objeto de hacer comparable los resultados
2. Implementación del modelo de evaluación (Objetivo n°1)
 - I. Implementación y codificación de los algoritmos de estimación en ADMB
 - II. Estimación de los parámetros (y errores estándar) poblacionales (e.g.Ro, BDo) y variables de estado de importancia para el manejo de la pesquería (e.g.biomasa desovante, reclutamientos)
 - III. Análisis de bondad de ajuste
 - IV. Estimación de incertidumbre asociadas con las variables y parámetros claves
3. Actualización de PBR en base a los resultados de la evaluación de stock (Objetivo n°2)
 - I. Biomasa Desovante y mortalidad por pesca respecto de las variables en el nivel del Rendimiento Máximo Sostenible
 - II. Biomasa Desovante límite a partir de la cual una pesquería califica de agotada o colapsada
 - III. PBR basados en el RMS
4. Exploración de los niveles de CBA para el año 2021 bajo diferentes ponderadores del FRMS.

Cabe mencionar que estas tareas son transversalmente a todos los objetivos específicos requeridos por el actual Convenio de Desempeño 2020-2021, el cual describe las directrices para los proyectos orientados a la definición de ‘Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales año 2021’.

3.3.1 Protocolo de estimación en la CBA

Como ha sido recurrente en la evaluación de la pesquería de merluza del sur, existe un retardo en la disponibilidad de información biológica y pesquera de al menos un año. Por lo que el protocolo de evaluación consideraba los siguientes pasos para fijar la CBA al año siguiente (2021):

1. Actualizar la información biológica-pesquera hasta el año 2019 y estimar la abundancia a diciembre del año 2020.
2. Debido a que la evaluación de stock se realiza a lo largo del año 2020 (temporada de pesca actual), la proyección de la abundancia poblacional desde diciembre del año 2019 a diciembre del año 2020, es realizada por descontar la máxima mortalidad que debe originar la CBA implementada durante el año 2020.
3. Finalmente, las alternativas de CBA para el año 2021 son calculadas por aplicar la mortalidad por pesca correspondiente al PBR objetivo (o sus ponderadores) sobre la abundancia estimada a diciembre del año 2020.



Sin embargo, siguiendo la solicitud realizada durante la última sesión del el Comité Científico Técnico de Recursos Demersales Zona Sur Austral (CCT-RDZSA), se realiza una proyección a tres años con el fin de estimar una Captura Biológicamente Aceptable constante para el período 2021-2023.

3.4. Objetivo específico 4:

“Desarrollar los lineamientos técnicos e implementar la aproximación de Evaluación de Estrategias de Manejo (EEM).”

3.4.1 Evaluación de Estrategias de Manejo (EEM)

Este objetivo muestra los avances en términos del desarrollo de los procedimientos de manejo basado en simulación aplicados a la Merluza del Sur bajo el marco del programa de Asesoría Integral para Pesca y Acuicultura (ASIPA).

La evaluación de Estrategias de Manejo (EEM) tiene como principal meta determinar cuál conjunto de Procedimientos de Manejo (PM) permite alcanzar los objetivos de conservación o administración, bajo la premisa que las gestiones de manejo fusionan aspectos políticos y técnicos. Un procedimiento de manejo está conformado por tres elementos: i) los puntos biológicos de referencia (PBR), ii) las reglas de control de captura (RCC) y iii) los posibles escenarios de modelamiento basados en un modelo de estimación de parámetros (MEP) de interés, en otras palabras, un modelo de evaluación de stock. El proceso de comparación de los diferentes PM en términos de medidas de desempeño (e.g.P(objetivo) es llamado una EEM.

Basado en los PBR, las RCC proporcionan las rutas temporales para alcanzar los objetivos de manejo. En este sentido, bajo los criterios establecidos por Ley de Pesca y Acuicultura respecto del RMS, los PBR representan la componente técnica de un procedimiento de manejo pues integran los aspectos de conservación que subyacen detrás de los PBR basados en el RMS. Mientras que las RCC, deberían representar los aspectos políticos ya que su forma y dimensión deberían incorporar los requerimientos económicos, sociales y ambientales que regulan la pesquería. En efecto, un conjunto de PBR sin RCC (adecuadas y bien acordadas) no conforman un PM, y recae más bien en un ejercicio de simulación bajo PBR que no necesariamente son reactivos en los períodos futuros.

En este marco, se simulo la población de merluza del sur bajo condiciones estocásticas en términos de su productividad, los PBR y opciones de RCC, evaluando el desempeño de variables de estado en un periodo de 50 años. Este acercamiento no está centrado en la capacidad de estimación del MEP respecto de las variables poblacionales, sino, se enfoca en la comparación de los diferentes PM bajo la precisa que la información que alimenta el MEP en cada año de iteración proviene de información perfecta deriva de un modelo operativo (MO) con iguales características en términos del modelo de error (proceso y de observación en variables de estado y en los datos generados) incluido en el MEP.

Cabe señalar que los resultados de este objetivo son incipientes, inapropiados para recomendaciones, y posiblemente variables en función de la retroalimentación con la contraparte técnico de la SSPA y las opiniones del CCT-RDZSA para la pesquería de merluza del sur.

3.5. Objetivo específico 5:

“Proponer el plan de trabajo para avanzar durante el año 2021 en el cumplimiento del Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría Científica (PMCCAC), informando los logros esperados y su vinculación con las siguientes etapas del Programa e informar del cumplimiento de cada una de las recomendaciones realizadas en las revisiones por pares, cuando corresponda y tareas complementarias sugeridas por los CCT y/o evaluadores nacionales.”



3.5.1 Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría Científica (PMCCAC)

En este objetivo se informan los avances alcanzados durante el desarrollo de este estudio, conforme al Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría Científica (PMCCAC) elaborado por recurso y/o pesquería. Este PMCCAC no sólo se enfoca en las brechas de datos, información y conocimiento, sino que incluye la pertinencia, consistencia, calidad y coherencia de éstos con la situación general de la pesquería, acorde con los requerimientos de asesoría solicitados por la administración pesquera.

No obstante, y con el propósito de alcanzar el Estándar Completo, se identifican las brechas y limitaciones que impiden lograr ese objetivo y se proponen detalladamente las acciones que se consideren necesarias para alcanzarlo, en el corto o mediano plazo, según corresponda. Al respecto, se reporta un listado de comprobación, en el que se da cuenta técnica y detalladamente de todas las recomendaciones emanadas de los revisores expertos, con el propósito de que, tanto los sectorialistas de la Subsecretaría de Pesca, evaluadores externos, pares nacionales, miembros del Comité Científico Técnico y cualquier científico, académico y ciudadano puedan verificar el cumplimiento de cada una de las observaciones, correcciones y recomendaciones señaladas por los revisores.

Como parte integral de las actividades del proyecto, se considera la participación en las reuniones establecidas por el CCT-RDZSA, así como las actividades demandadas por la Revisión por Pares Externos e Independientes (RPEI), las que constituirán el Estándar Metodológico en la Evaluación, cuyos protocolos se mantendrán vigentes mientras una actualización no sea requerida.



4. RESULTADOS

4.1. Objetivo específico 1:

"Implementar procedimientos de evaluación de stock basados en protocolos científicos para la determinación del estatus de merluza del sur, con arreglo al nivel de información, conocimiento e incertidumbre correspondiente, conforme a los estándares actuales en ciencia pesquera."

4.1.1 Información biológico-pesquera

a) Desembarques y Descartes

Los volúmenes de desembarques de merluza del sur se muestran en la Tabla 2 y Figura 3. Estos valores corresponden a la sumatoria de desembarques oficiales en aguas de la unidad de pesquería norte y sur entre el período 1977 y 2019 en el caso de la flota arrastrera industrial, período 1987 y 2019 en el caso de la flota palangrera industrial, y finalmente para la flota artesanal la sumatoria de los desembarques informados entre las Regiones X-XII para el período 1981 y 2019.

Sin embargo, es conocido que las flotas tienen incentivos para el descarte (principalmente la flota industrial) y subreporte (por parte de la flota artesanal), conducidos principalmente por restricciones del mercado y limitaciones en los niveles de cuotas de captura. Por ejemplo, Quiroz (2016) mostró que los niveles de descarte por parte de las flotas industriales son elevados, principalmente para la flota arrastrera donde en promedio entre los años 2000 y 2019 el nivel de evasión alcanzo a un valor promedio de 5665 toneladas, con un máximo de 7016 toneladas el año 2013. Menor participación en el descarte/subreporte se observó en la flota artesanal, que en promedio alcanzó un nivel de evasión promedio aproximado de 1219 toneladas para el periodo 2000-2019 (Figura 4).

Los valores de descarte-subreporte mencionados en el párrafo anterior están basados en probables niveles históricos acordados en el seno del Comité Científico Técnico de Recursos Demersales Zona Sur Austral (CCT-RDZSA). Si bien estos niveles de descarte han posibilitado reconstruir las series de desembarques oficiales (Tabla 3 y Figura 3), el marco legal vigente indicado en el Artículo 7ºB de la actual Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA, N° 18.892) sostiene, que el proceso de descarte en las pesquerías manejadas por cuotas de capturas debe ser considerado en el establecimiento de la cuota global anual de captura.

En este marco, la SSPA ha solicitado al IFOP que se considere el descarte en la determinación del estatus y posibilidades de explotación en las pesquerías nacionales, por medio de la incorporación de más recientes recopilados en el marco del Programa de Investigación del Descarte y Captura de Pesca Incidental (San Martín, 2016), o por medio de proyectos licitados que hayan proporcionado esta información.

Tabla 2 Desembarques oficiales (toneladas) de las flotas de arrastre, palangre y espinel artesanal.

Año	Arrastre	Palangre	Artesanal	Total
1977	2250	0	0	2250
1978	36342	0	0	36342
1979	44065	0	0	44065
1980	35731	0	0	35731
1981	38245	0	606	38851
1982	44046	0	535	44581
1983	30221	0	673	30894
1984	29281	0	2256	31537
1985	24201	0	7485	31686
1986	31311	0	10207	41518
1987	28707	2740	25171	56618
1988	26689	6080	36533	69302
1989	25359	8887	23162	57408



Año	Arrastre	Palangre	Artesanal	Total
1990	17847	6801	27283	51931
1991	13636	8309	17024	38969
1992	17003	4599	16735	38337
1993	10372	2894	9475	22741
1994	12814	3066	8987	24867
1995	11572	4608	9447	25627
1996	10811	3598	9949	24358
1997	10615	2929	9925	23469
1998	9573	4723	10061	24357
1999	11818	4858	11014	27690
2000	11658	5623	12264	29545
2001	6978	6311	14625	27914
2002	7565	6259	13741	27565
2003	8677	6033	14692	29402
2004	9563	5831	15245	30639
2005	9083	5177	14904	29164
2006	10132	5210	14194	29536
2007	10113	4322	15439	29874
2008	10005	4366	14664	29035
2009	9953	4788	13302	28043
2010	10103	4425	10998	25526
2011	10074	2399	7440	19913
2012	11024	3716	5549	20289
2013	11328	2368	5677	19373
2014	7087	1481	3552	12120
2015	7121	1574	7305	15999
2016	10705	1314	6776	18795
2017	9910	934	6004	16848
2018	13534	423	5997	19954
2019	13704	169	5142	19015

Tabla 3 Desembarques corregidos (toneladas) de las flotas de arrastre, palangre y espinal artesanal, F.C.= Factor de Corrección.

Año	Arrastre	F.C. Arrastre	Palangre	F.C. Palangre	Artesanal	F.C. Artesanal	Total
1977	2287	1.016	0	-	0	-	2287
1978	36942	1.016	0	-	0	-	36942
1979	44729	1.016	0	-	0	-	44729
1980	36320	1.016	0	-	0	-	36320
1981	38876	1.016	0	-	606	1	39482
1982	44873	1.019	0	-	535	1	45408
1983	31020	1.026	0	-	673	1	31693
1984	30203	1.031	0	-	2256	1	32459
1985	24893	1.029	0	-	7485	1	32378
1986	32967	1.053	0	-	10207	1	43174
1987	32377	1.128	2740	1	25171	1	60288
1988	28918	1.084	6080	1	36533	1	71531
1989	26659	1.051	8887	1	23162	1	58708
1990	18579	1.041	6861	1.01	27283	1	52723
1991	14103	1.034	8486	1.02	17024	1	39613

Año	Arrastre	F.C. Arrastre	Palangre	F.C. Palangre	Artesanal	F.C. Artesanal	Total
1992	17064	1.004	4600	1	16735	1	38399
1993	10783	1.04	2894	1	9475	1	23152
1994	13730	1.072	3066	1	8987	1	25783
1995	12687	1.096	4751	1.03	9447	1	26885
1996	11746	1.086	3795	1.05	9949	1	25490
1997	11683	1.101	3004	1.03	11360	1.145	26047
1998	10682	1.116	4959	1.05	11516	1.145	27157
1999	12522	1.06	4958	1.02	12606	1.145	30086
2000	12089	1.037	5809	1.03	14037	1.145	31935
2001	11300	1.619	6533	1.04	16740	1.145	34573
2002	12251	1.619	6583	1.05	14588	1.062	33422
2003	14051	1.619	6919	1.15	15856	1.079	36826
2004	15486	1.619	6375	1.09	16404	1.076	38265
2005	14709	1.619	5414	1.05	15764	1.058	35887
2006	16407	1.619	5363	1.03	15502	1.092	37272
2007	16377	1.619	4421	1.02	17386	1.126	38184
2008	16202	1.619	4565	1.05	17337	1.182	38104
2009	16118	1.619	4898	1.02	15259	1.147	36275
2010	16360	1.619	4503	1.02	12248	1.114	33111
2011	16314	1.619	2453	1.02	8250	1.109	27017
2012	17852	1.619	3752	1.01	6436	1.16	28040
2013	18344	1.619	2391	1.01	6464	1.139	27199
2014	11474	1.619	1496	1.01	4046	1.139	17016
2015	11527	1.619	1590	1.01	8322	1.139	21439
2016	17331	1.619	1327	1.01	7718	1.139	26376
2017	16044	1.619	952	1.01	6838	1.139	23835
2018	21911	1.619	427	1.01	6830	1.139	29168
2019	22186	1.619	171	1.01	5857	1.139	28214

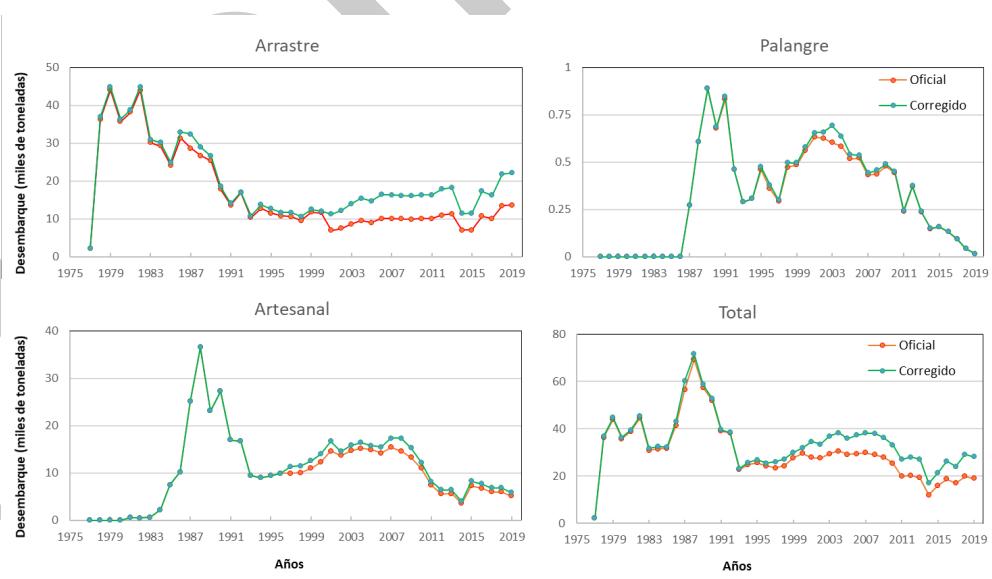


Figura 3. Línea punteada roja: desembarques oficiales (miles de toneladas), línea punteada verde: desembarques corregidos de merluza del sur (en base a Tabla 3 y 4), reportados por las flotas industriales y flota artesanal para el periodo 1977-2019.

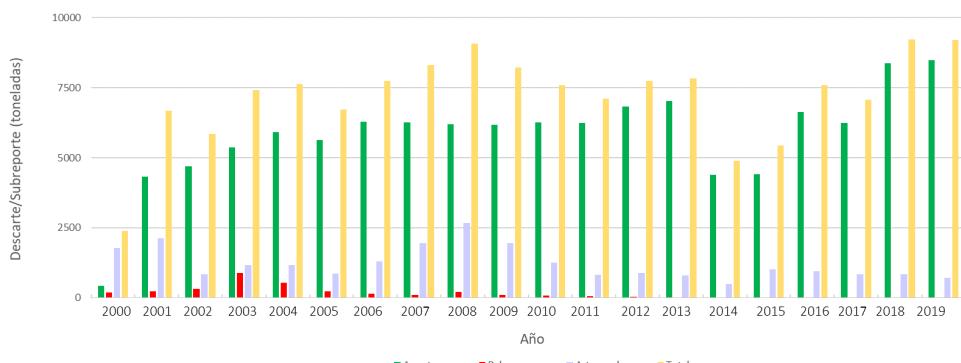


Figura 4. Niveles de descarte/subreporte en toneladas para las flotas industriales y artesanal durante el período 2000-2019.

El Programa de Investigación del Descarte y Captura de Pesca Incidental, entre otros objetivos, busca implementar y perfeccionar metodologías que permitan evaluar espaciotemporalmente las capturas totales, retenidas y descartadas de un número de especies incluida la merluza común (San Martín et al., 2016). Mediante tres procedimientos alternativos de estimación de la captura a bordo (cuya aplicación depende de la magnitud de la captura) este programa recopila datos de la captura (retenida y descartada) y su composición de tamaños mediante el despliegue de observadores científicos especialmente entrenados para estos efectos.

Las estimaciones de la captura total (y sus fracciones retenida y descartada y correspondientes varianzas) se obtienen mediante métodos tanto diseño como modelo basados, y en el caso de merluza del sur, son particularmente informativas tomando la información derivada de la flota de arrastre. Por ejemplo, para el año 2015 se estimó una captura de 10.198 t, con descartes de 4.104 t (40 % respecto del total). El factor K se estimó en 1,6736 (Ver Tabla 4). En el año 2016, las capturas totales se estimaron en 8.197 t, con porcentajes de descarte de 30 %. Para este año se estimó un K de 1,4460 (Ver Tabla 5).

Tabla 4 Estimaciones de captura descartada, retenida y total de las principales especies en la flota de arrastre hielero pesquería demersal austral. Año 2015.

Especie	Cap. retenida (t)	Cap. descartada (t)	Cap. total (t)	%descarte/cap. descartada	%descarte/cap. total
Jibia	■	823	829	43.7	9.9
Merluza de cola	3680	666	4346	35.1	7.9
Merluza del sur	2319	325	2645	17.2	3.9
Otras especies	514	75	589	3.9	0.9
Kmsur=	6514 1.14107	1895	8409	100	22.5

Tabla 5 Estimaciones de captura descartada, retenida y total de las principales especies en la flota de arrastre hielero pesquería demersal austral. Año 2016.



Especie	Cap. retenida (t)	Cap. descartada (t)	Cap. total (t)	%descarte/cap. descartada	%descarte/cap. total
Jibia	■	927	927	58.9	8.1
Merluza de cola	7064	442	7505	28.0	3.9
Merluza del sur	2371	79	2450	5.0	0.7
Otras especies	444	128	572	8.1	1.1
	9879	1576	11455	100	13.8
Kmsur=	1.033319				

b) Estructura de edades de las capturas comerciales

Como es recurrente, la información de captura a la edad que es incluida en el modelo de evaluación de stock de merluza del sur incluye registros de tres flotas: (i) naves industriales arrastreras operando en aguas exteriores, (ii) naves industriales palangreras con operaciones de pesca principalmente en la zona extremo sur, y finalmente (iii) naves artesanales que utilizan espíneles de fondo desplegados principalmente en aguas de la ZZE e interiores.

La información base de captura a la edad, proveniente del Sección Edad-Crecimiento del Instituto de Fomento Pesquero, se encuentra desagregada por sexo (macho-hembra), flota (las tres mencionadas anteriormente) y área (norte y sur 47°S). Para fines de la evaluación, esta es agregada por flota por medio de la sumatoria de los individuos muestreados por sexo, área y flota, ponderados por los niveles de captura oficiales reportados por flota y área.

- Flotas industriales

Se actualizó la información completa del año 2019 totalizando un periodo de datos de 37 años (1982-2019).

Como fue informado en previos reportes, la información edad estructurada indica que entre los años 1981-1986 la flota arrastrera capturó importantes niveles de peces longevos, que derivó en un declive importante de la edad media de captura (Figura 5). Entre los años 1995 y 2005, las proporciones de peces longevos en ambas flotas fueron reducidas en comparación con los años iniciales. No obstante, desde el año 2012 la edad media se ha mantenido constante en torno a los 13-14 años en la flota arrastrera, mostrando una disminución hasta los 12 años en 2019. A diferencia, la edad media de flota palangrera aumenta desde el año 2012 hasta la actualidad, estancándose en los 15 años de edad.

Respecto del ingreso de cohortes a la población, la información estructurada no posibilita un seguimiento adecuado, salvo las cohortes nacidas en los años 1980 y 1986 que posiblemente sustentaron las capturas durante la década de los años 90'.

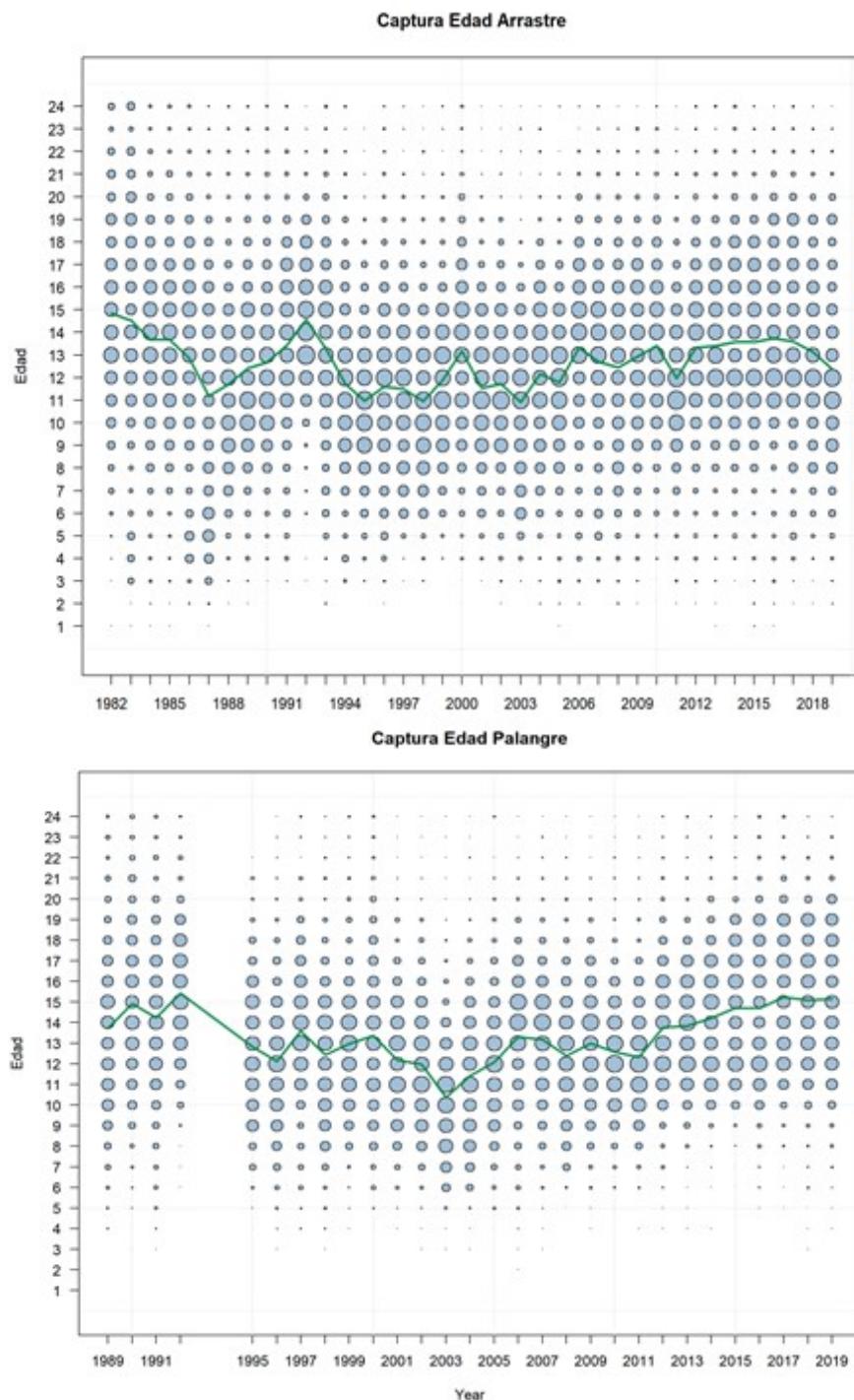


Figura 5. Gráfico de burbujas de la proporción de las edades en la captura de la flota arrastrera (superior) período 1989-2019 y palangrera (inferior) período 1981-2019. La línea verde representa la edad media de la captura por año.

- Flota de espinel artesanal

Para el espinel la información disponible contempló los períodos 1987-1988, 1995-1997 Y 1999-2019 (Figura 6). La estructura de edades abarca un rango edades más jóvenes que las flotas de arrastre y palangre y una edad media de captura en torno a los 10 años (comparado a 12-14 años de las flotas industriales). Los dos primeros años de datos (1987 y 1988) corresponden a los años con grandes capturas artesanales

(20 a 30 mil t), pero luego no se dispone de datos para el período 1989-1995, donde las capturas aún eran altas, pero con tendencia a la baja. El período 1995-1999, se aprecia el desplazamiento de la estructura hacia edades mayores para luego observó una estructura relativamente estable en los años 2005-2013. Por último, desde 2014 y hasta 2017 se observa un incremento en la edad media desde los 9 hasta los 12 años, para decaer nuevamente en 2018-2019 a los 11 años promedio.

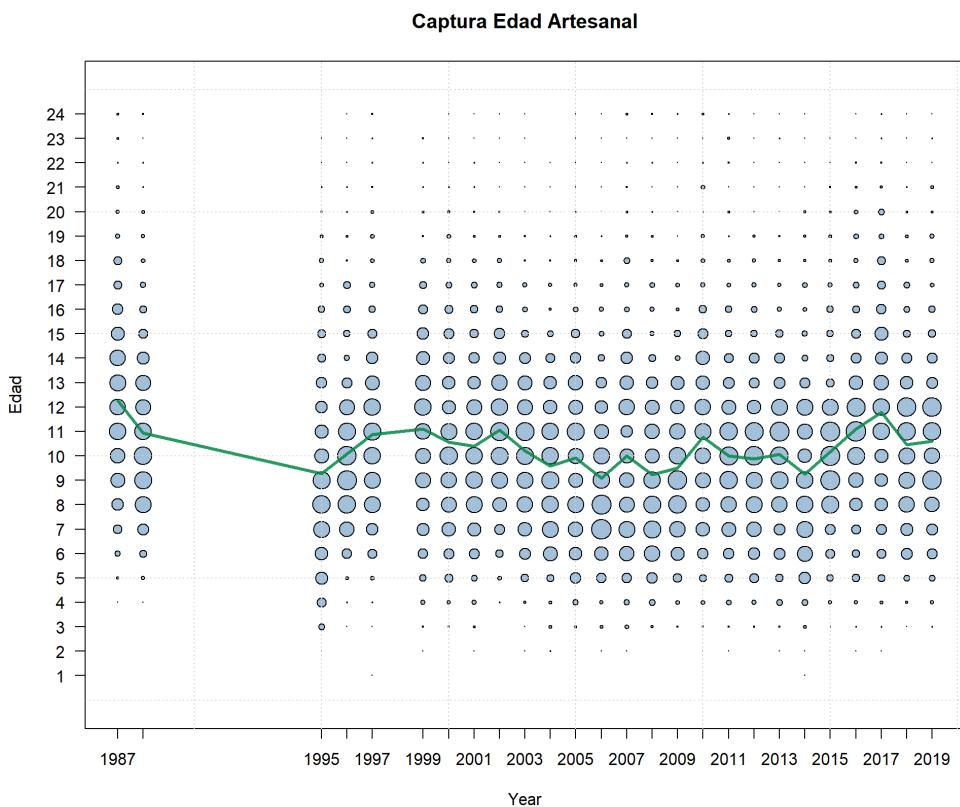


Figura 6. Gráfico de burbujas de la proporción de las edades en la captura de la flota artesanal período 1987-2019. La línea verde representa la edad media de la captura por año.

c) Actualización de los cruceros hidroacústicos

Biomasa disponible en la zona de desove

La información independiente de la pesquería utilizada en la evaluación de merluza del sur corresponde a los cruceros acústicos desarrollados durante el período de agregación reproductiva. Desde estos cruceros se obtienen las claves talla-edad necesarias para generar matrices de abundancia a la edad, las cuales son incluidas en el modelo de evaluación para el período 2000-2019. Además, los cruceros reportan estimaciones de biomasa desovante para el mismo período, que para su inclusión en el modelo son considerados como valores de biomasa relativa adulta.

Los cambios interanuales en la serie de biomassas acústicas sugieren una reducción desde inicios de la serie para luego mantenerse relativamente estables durante el período 2010-2015, la abundancia indica una tendencia similar para el mismo período (Tabla 6 y Figura 7) con aumentos considerables para los últimos dos años de prospección. La biomasa y la abundancia tienen tendencias decrecientes muy similares, excepto en los años 2008 y 2013, cuando los pesos promedios fueron menores debido a la mayor presencia de peces de menores edades. Para los años 2014 al 2019 la biomasa de merluza del sur presentó un aumento, aunque este último año el peso medio fue menor que en años anteriores (2587 g), se estimó una biomasa de 131433 toneladas.

Tabla 6 Estimaciones del tamaño del stock (geoestadístico) en términos de biomasa (t) y abundancia (millones), y pesos promedios estimados en los cruceros hidroacústicos durante el período 2000-2019.

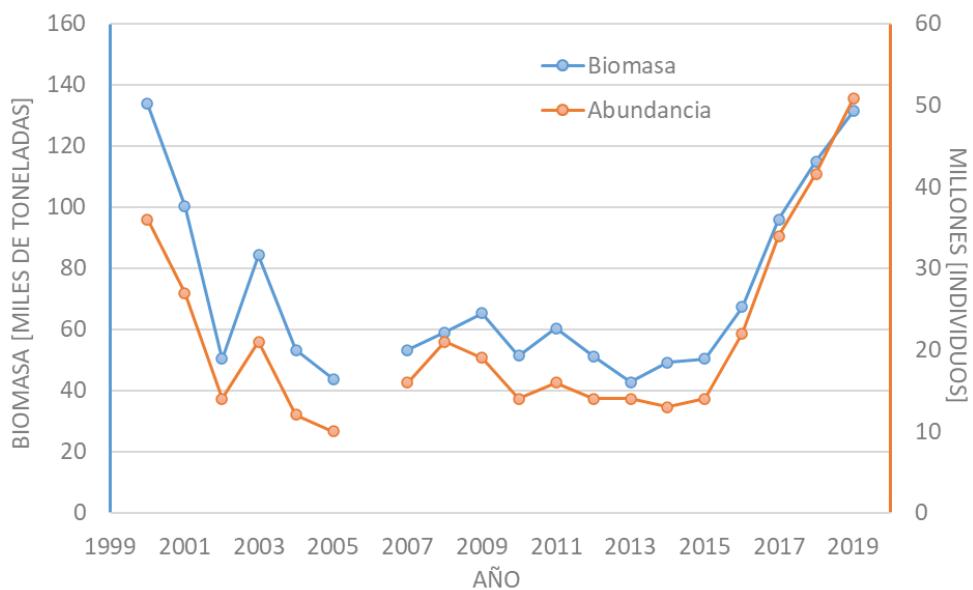


Figura 7. Biomasa miles de toneladas y abundancia estimada en la zona de desove mediante acústica entre el período 2000-2019.

Estructura de edades del crucero

Con el fin de incluir solo la biomasa adulta del crucero acústico, desde la asesoría año 2018, se utilizan las ojivas de madurez macroscópicas de machos y hembras de cada año para el periodo 2000-2019 eliminando la alta abundancia de ejemplares juveniles detectados durante los últimos 3 años. La distribución de la abundancia adulta por edades se ha mantenido relativamente estable entre los 13 y 16 años Figura 8 (línea verde).

Para el año 2019 se registró una leve disminución de la edad media de la fracción desovante, que alcanza los 15 años. Valores que no son posibles de contrastar con el peso medio debido a la utilización de las ojivas de madurez para separar ejemplares juveniles de adultos.

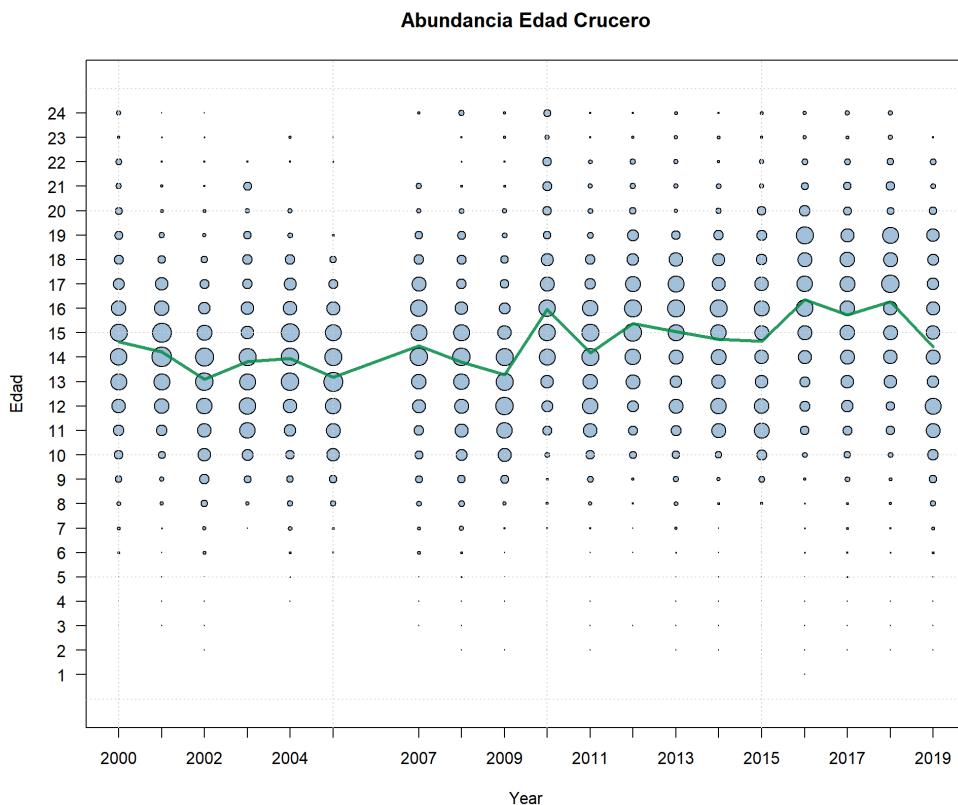


Figura 8. Gráfico de burbujas de la proporción de las edades de la fracción desovante prospectada por los cruceros acústicos período 2000-2019. La línea verde representa la edad media de la captura por año.

4.1.2 Estandarización CPUE de tasas de captura flota industrial

a) Estandarización CPUE arrastre

La base de datos proviene de las bitácoras de pesca de arrastre y bitácoras de viajes pesca de IFOP, las que abarcan el período 1979-2019. En la Tabla 7 se presenta el número de lances totales que se utilizaron para el análisis. Desde inicios de la serie se presenta un valor en torno a los 1000 registros anuales hasta el año 1998, donde los registros aumentan a 6544. Posterior a esto, se observa un período en torno a los 3500 registros (2004-2012), los años 2013-2015 presentan el número de registros más bajo de toda la serie para aumentar en torno a los 3 mil registros en los últimos años. El número total de registros para el período es de 91439 lances. La estandarización se realiza considerando dos períodos, el primero abarca desde 1979 hasta 1997 y el segundo desde 1998 hasta 2018.

Tabla 7 Número de lances utilizados en la estandarización de CPUE por año, período 1979-2019.

Año	Número de lances	Año	Número de lances
1979	501	2000	3393
1980	589	2001	4236
1981	827	2002	3301
1982	878	2003	2407
1983	812	2004	3699
1984	1003	2005	3279

Año	Número de lances	Año	Número de lances
1985	1037	2006	3572
1986	1008	2007	3299
1987	837	2008	3404
1988	1097	2009	3656
1989	1185	2010	4069
1990	1290	2011	3316
1991	721	2012	3051
1992	1166	2013	1751
1993	1106	2014	1732
1994	1235	2015	1640
1995	1149	2016	3028
1996	834	2017	3541
1997	933	2018	2728
1998	6544	2019	2581
1999	5004		

La Figura 9 contiene el histograma de los rendimientos de pesca (CPUE) y el logaritmo de la CPUE incluyendo los 18208 lances para el período 1 (1979-1997) y 73231 lances para el período 2 (1998-2019). El valor en logaritmo presenta la condición de normalidad necesaria para la estandarización del rendimiento. Esta variable se mide en kilogramos por horas de arrastre (kg/h.a.).

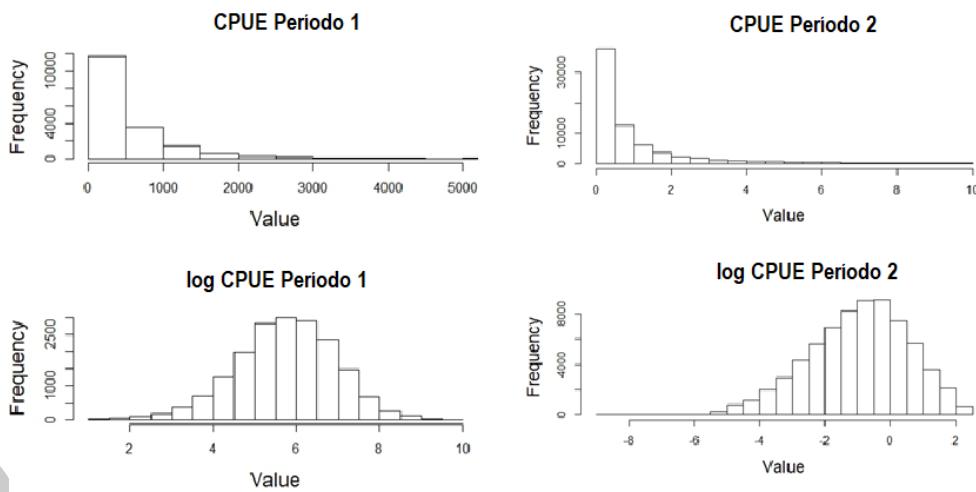


Figura 9. Histograma del rendimiento de pesca en kilogramos por hora de arrastre y del logaritmo del rendimiento para el período 1 (1979-1997) y período 2 (1998-2019).

La Figura 10 presenta los valores promedio para las horas de arrastre, CPUE y captura durante el período 2 (1998-2019). En las horas de arrastre se observa una importante disminución para el año 2002 en donde el valor decae hasta las 1.99 horas de arrastre, gracias al bajo aporte del buque 400180 en ese año en particular. Existe un aumento progresivo en la hora de arrastre promedio desde el año 2002 hasta la actualidad, en donde el año 2019 alcanza el valor más alto de la serie (4.0 h.a.). En cuanto a las capturas y CPUE promedio se observa el mismo aumento desde inicios de la serie. El año 2014 presenta valores bajos tanto en captura y CPUE debido a la importante disminución de las cuotas de captura.

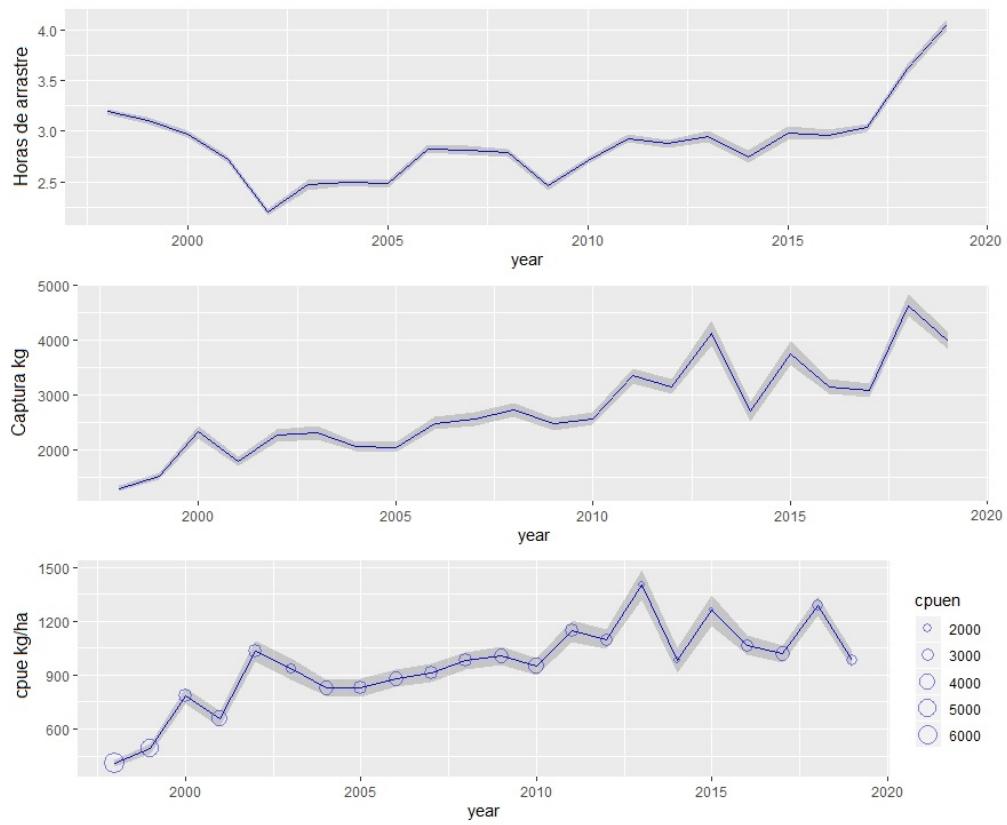


Figura 10. Valores promedio de horas de arrastre, captura (kg) y CPUE nominal (kg/h.a.) por año para el período 2 (1998-2019) flota arrastrera.

Para incorporar la intencionalidad de pesca como un predictor en los modelos lineales de predicción de las tasas de captura, se construyeron las matrices con composición de captura para cada lance. Una vez obtenida la matriz de proporción de especies por cada lance, se realizó un análisis de componentes principales con el fin de reducir el número de especies y obtener solo aquellas que explican más de un 85 % de la varianza. Con estas nuevas especies se realizó el análisis de cluster a través del método de K-means y como medida de similitud se usó la distancia euclidiana, reduciendo el número total de registros a 1500 centroides. Por ejemplo, en la Figura 11 se presentan los primeros 5 componentes principales para el período 2 obtenidos en la etapa anterior, el primero contiene presencia de merluza de cola y merluza del sur relacionada positivamente, el segundo contiene las mismas especies, pero relacionadas de forma negativa, el tercero se caracteriza por congrio y los dos últimos por merluza de tres aletas y bycatch.

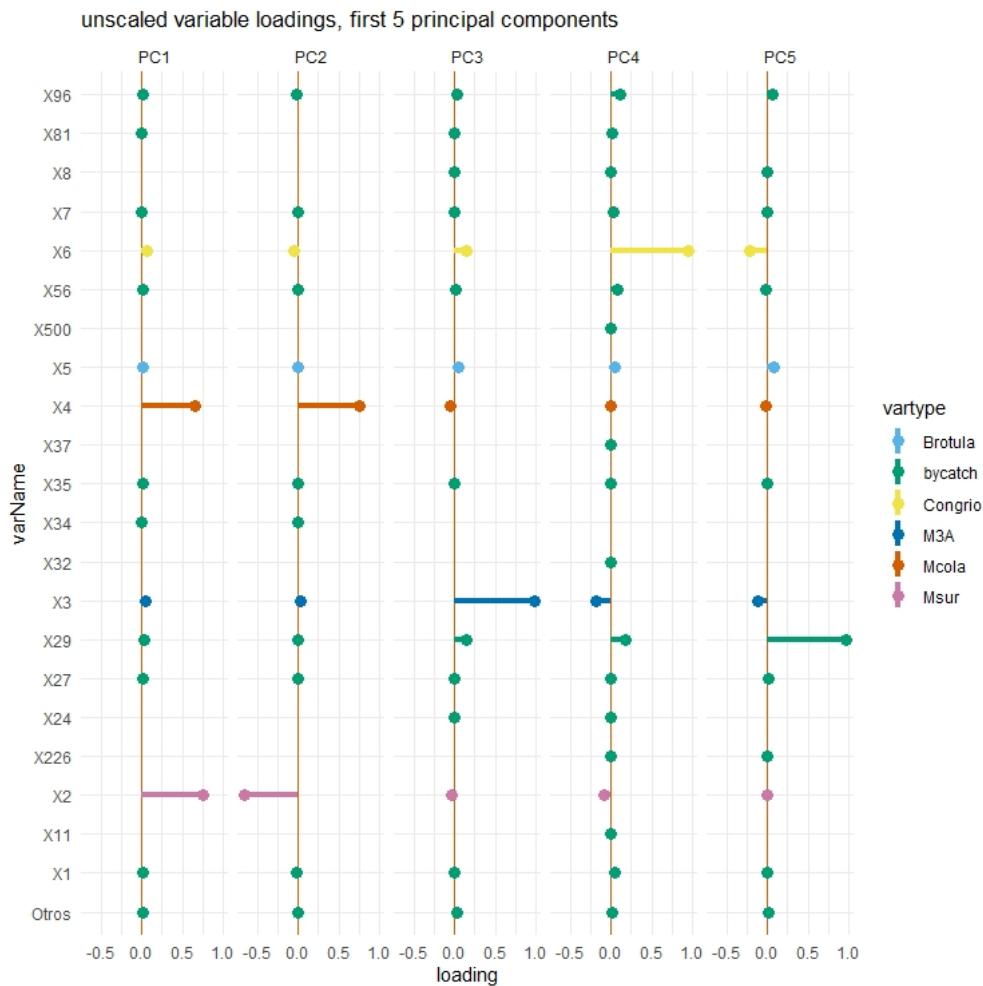


Figura 11. Análisis de componentes principales de la matriz de proporciones para el arrastre, período 2 (1998-2019).

Finalmente, se construyó el dendrograma y se recuperaron los datos originales (lances de pesca) reducidos en las etapas anteriores para asignarlos a un cluster o táctica de pesca determinado, obteniendo un set de datos con el número de cluster y la proporción de especies correspondiente, el número de registros utilizados finalmente en cada cluster se presenta en la Tabla 8. La estandarización de la CPUE utiliza la táctica de pesca como variables categóricas en el modelo lineal generalizado.

Tabla 8 Número de lances incorporados en cada cluster para el período 1 (1979-1997) y período 2 (1998-2019).

Cluster	N lances periodo 1	N lances periodo 2
1	4558	19895
2	3372	26908
3	5244	14648
4	2958	11811
5	2076	-

Este arte de pesca se caracteriza por presentar un gran número de especies, pero la mayoría con bajos porcentajes en cuanto a representatividad según la Figura 12 y 13. En el período 1 la especie predominante en el cluster uno corresponde a merluza del sur, el cluster dos presenta un mix de especies, el tres se

caracteriza por presentar aproximadamente un 50 % de merluza del sur y por último el cluster cuatro y cinco con una mayor proporción de merluza de cola y congrio respectivamente (Figura 12).

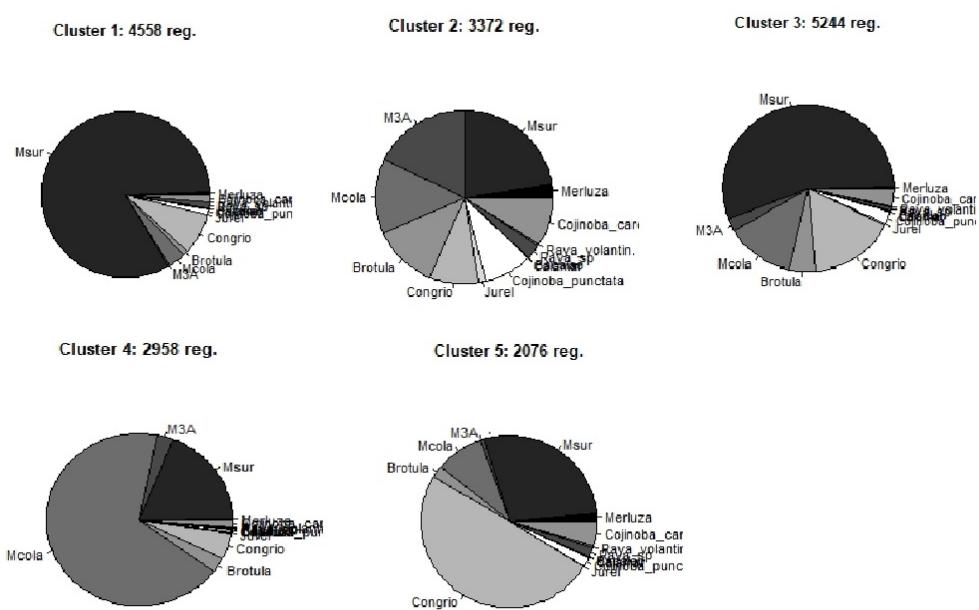


Figura 12. Proporción de especies presentes en los lances por cada cluster para el período 1 (1979-1997).

El análisis para el segundo período (1998-2019) se presenta en la Figura 13, se observa que en el cluster uno existe un mix de especies con menor importancia en proporción, el cluster dos se caracteriza principalmente por merluza del sur, el número tres contiene principalmente bycatch y, por último, el cluster cuatro una proporción importante de merluza de cola.

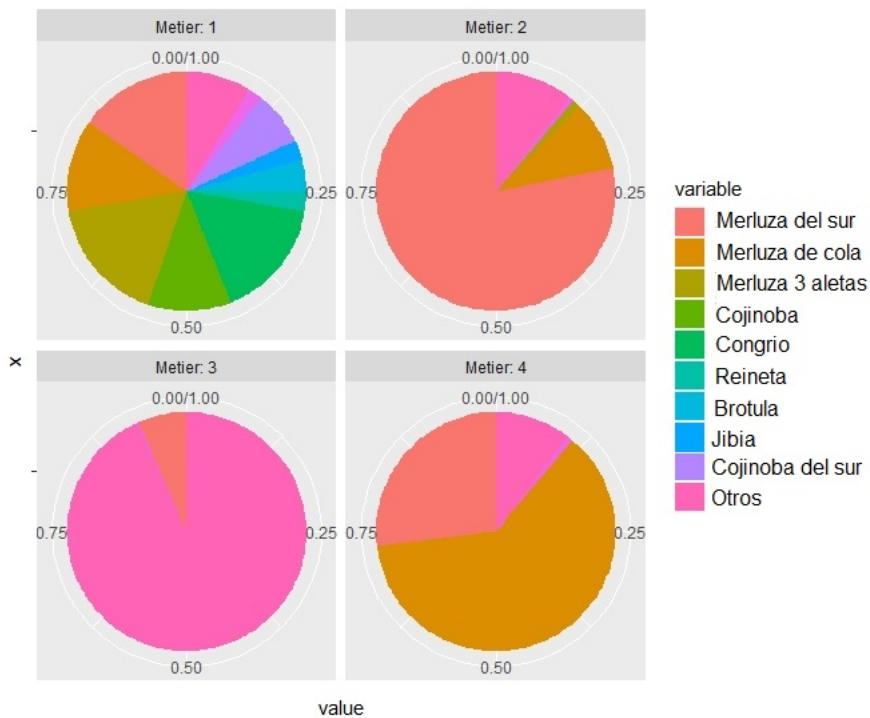


Figura 13. Proporción de especies presentes en los lances por cada cluster para el período 2 (1998-2019).

Las Figuras 14 y 15 confirman los resultados anteriormente descritos, la Figura 14 presenta la intencionalidad de pesca para el período 1 en el cluster 1, en donde la proporción de merluza del sur por lance es alta. La Figura 15, confirma los resultados obtenidos en el período 2 identificándose el cluster dos con los mayores valores de captura y CPUE, cluster que corresponde al con mayor proporción de merluza del sur. En esta figura se observa un aumento progresivo en la CPUE promedio anual del cluster dos, la cual disminuye durante los últimos cinco años de la serie.

Intencionalidad Cluster 1

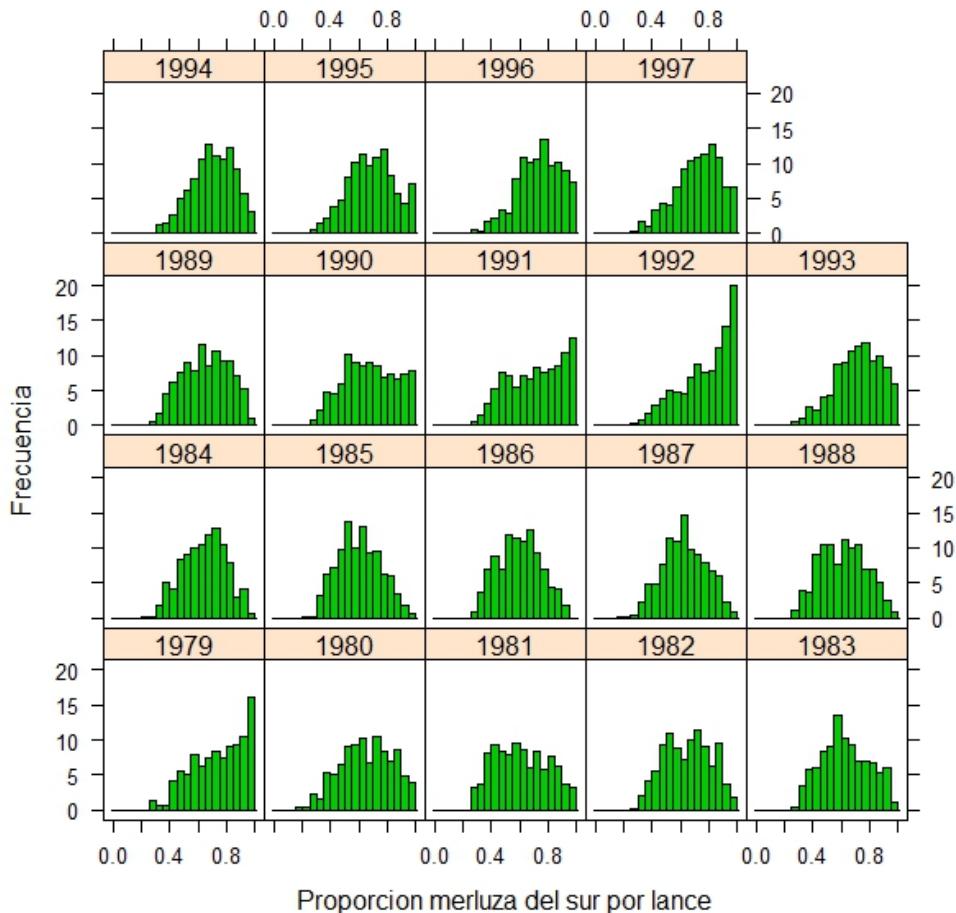


Figura 14. Frecuencia de la proporción de merluza del sur en la flota arrastrera para el período 1, por año en el cluster 1.

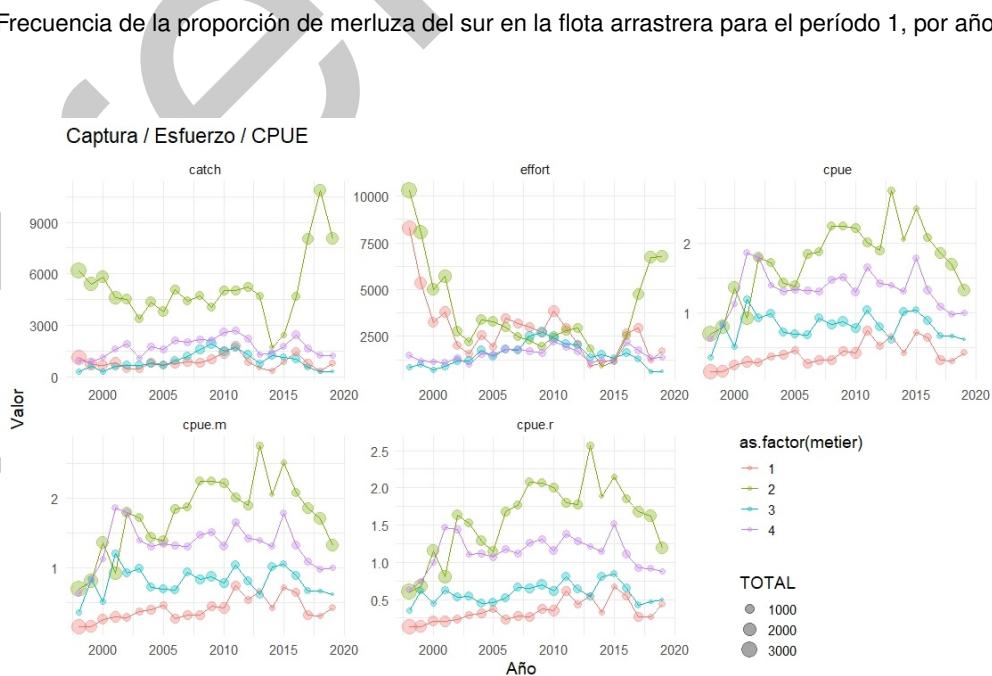




Figura 15. Sumatoria anual de la captura kg y esfuerzo en h.a., CPUE nominal promedio kg/h.a. para la flota arrastrera para el período 2 por cluster, el tamaño del circulo es proporcional al número de lances utilizados.

Para la estandarización de la CPUE en el período 1 se implementaron cinco modelos, incorporando como factores el año, mes, buque, zona y cluster. En la Tabla 9 se presentan los estadísticos para cada modelo, siendo en primer lugar el factor año el que explica un mayor porcentaje de la devianza (26-33 %), seguido por el factor mes y cluster y por último el factor zona. El modelo que explica un mayor porcentaje de la devianza total corresponde a mod1 (67 %).

Tabla 9 Estadísticos de los modelos lineales con su respectiva devianza explicada en porcentaje, período 1 (1979-1997).

Factor	Mod0	Mod1	Mod2	Mod3	Mod4
Año lance	0.33	0.26	0.26	0.23	0.26
Mes_lance	0.14	0.15	0.13	0.15	0.13
Cluster	-	0.12	0.08	0.12	0.08
Zona	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03
Barco	0.12	0.10	0.11	0.12	0.11
Mes_lance*Buque	-	-	0.05	-	-
Dev. Explicada %	63	67	66	66	61
Dev. Residual	101059	151051	128872	184751	128872

Para el período 2 se implementaron 4 modelos, incorporando como factores el año, mes, zona y cluster. En la Tabla 10 se presentan los estadísticos para cada modelo, siendo en primer lugar el factor cluster el que explica un mayor porcentaje de la devianza para todos los casos (entre un 13 y 18 %), seguido por el factor mes (8 – 8.7 %) y por último el factor zona. El modelo que explica un mayor porcentaje de la devianza total corresponde a mod0 (39.7 %) seguido de mod3 (35.2 %).

Tabla 10 Estadísticos de los modelos lineales con su respectiva devianza explicada en porcentaje, período 2 (1998-2019).

Factor	Mod0	Mod1	Mod2	Mod3
Año lance	5.7	4.7	4.7	4.7
Mes lance	8.0	8.7	8.7	8.7
Buque	2.5	2.9	2.9	2.9
Zona	5.6	2.8	2.8	0.4
Cluster	17.8	13.7	13.7	16.1
Cluster: Zona	-	-	1.0	0.9
Mes lance: Cluster	-	-	-	1.5
Dev. Explicada %	39.7	32.8	33.7	35.2
Dev. Residual	174607	135688	135688	135688

En la Figura 16 se presenta la CPUE estandarizada para la flota arrastrera período 1 para los 5 modelos probados Mod0, Mod1, Mod2, Mod3, Mod4 y la CPUE promedio sin estandarizar en línea celeste. Las CPUE's escaladas de cada modelo presentan la misma tendencia que la CPUE promedio anual evidenciando una progresiva disminución desde inicios del período hasta el año 1995 donde se comienza a observar un leve aumento.

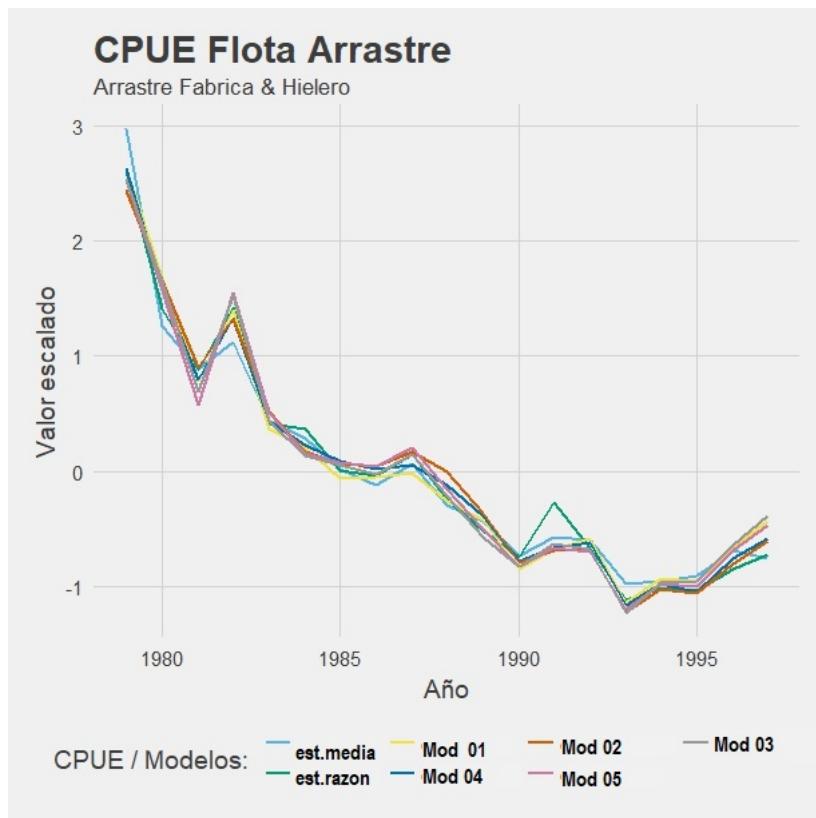


Figura 16. CPUE (kg/h.a.) media y estandarizada para la flota arrastrera período 1979-1997. Se presentan los 5 modelos probados y la CPUE promedio sin estandarizar en línea celeste.

Para el período 2, la CPUE estandarizada se presenta en la Figura 17. En líneas segmentadas se presenta la CPUE estimada por los 4 modelos de estandarización Mod0, Mod1, Mod2, Mod3, en línea continua roja la CPUE promedio sin estandarizar y en línea continua amarilla la CPUE estandarizada estimada el año anterior (informe de estatus 2018). En este período se observa un aumento en la CPUE que proviene de fines del período 1.

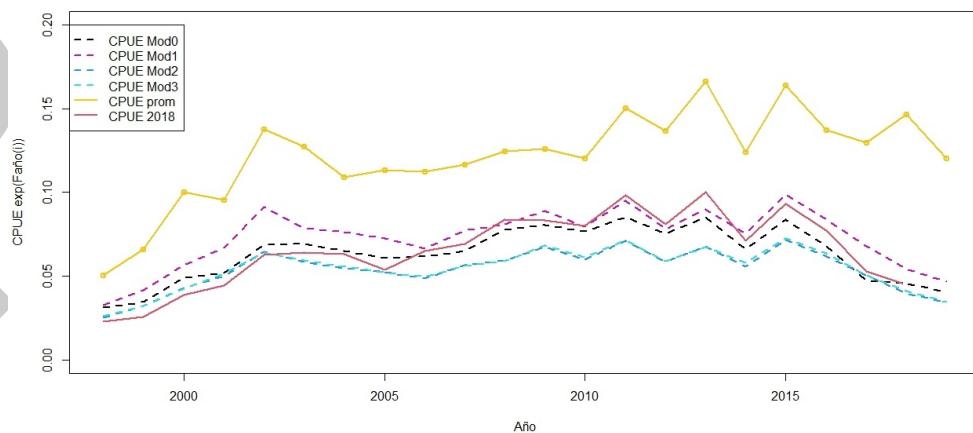


Figura 17. CPUE kg/h.a. estandarizada para la flota arrastrera período 2 (1998-2019). Se presentan los 4 modelos probados en líneas segmentadas, CPUE promedio sin estandarizar en línea continua roja y CPUE estandarizada (informe estatus año 2018) en línea continua amarilla.



b) Estandarización CPUE palangre

La captura por unidad de esfuerzo (CPUE) en el palangre fue medida en kilogramos por número de anzuelo por hora de reposo (kg/(nanz*h.r.)). La base de datos utilizada comprende dos períodos 1987- 1997 y 1998-2018. En las Tablas 11 y 12 se presenta el número de registros por año y por pesquería, posterior a los filtros realizados a la base de datos. El período 1 cuenta con 20722 registros mientras que el período 2 con 15738. Las pesquerías dirigidas a merluza del sur corresponden a la número 5 (IFOP) y número 92 (SERNAP) y las pesquerías número 11 y 91 corresponden a palangre fábrica bacalao IFOP y SERNAP respectivamente.

Tabla 11 Número de registros de la flota palangrera para el período 1 (1987-1997) por año y por pesquería 5= flota merlucera (IFOP), 10= palangre hielero (IFOP) y 11=palangre fábrica (IFOP).

Año	Pesquería 5	Pesquería 10	Pesquería 11
1987	650	27	-
1988	932	79	-
1989	1441	881	-
1990	3656	897	-
1991	2269	1192	-
1992	1734	867	2
1993	1615	313	8
1994	1245	110	25
1995	1196	-	38
1996	998	8	5
1997	497	7	30
Total	16233	4381	108

Tabla 12 Número de registros para la flota palangrera para el período 2 (1998-2019) por año y por pesquería, 5=Palangre fábrica merlucero (IFOP), 11= Palangre fábrica bacalao (IFOP), 91= Palangre fábrica bacalao (SERNAP) y 92= Palangre fábrica merlucero (SERNAP).

Año	Pesquería 5	Pesquería 11	Pesquería 91	Pesquería 92
1998	241	4	6	478
1999	164	-	73	423
2000	163	22	71	523
2001	288	-	119	530
2002	114	41	73	643
2003	196	10	98	819
2004	234	-	120	815
2005	89	-	63	1013
2006	238	18	26	962
2007	193	-	44	918
2008	94	43	8	744
2009	233	41	46	695
2010	214	-	-	574
2011	164	-	-	324
2012	134	-	1	516
2013	76	1	19	452
2014	58	50	-	44
2015	210	-	-	70
2016	270	-	-	-

Año	Pesquería 5	Pesquería 11	Pesquería 91	Pesquería 92
2017	243	9	-	211
2018	144	-	-	225
2019	306	1	1	-
Total	4066	240	768	10979

La Figura 18 contiene el histograma de los rendimientos de pesca (CPUE) y el logaritmo de la CPUE para ambos períodos. El valor en logaritmo presenta la condición de normalidad necesaria para la estandarización del rendimiento. Esta variable se mide en kilogramos por número de anzuelo por hora de reposo (kg/(nanz*h.r.)).

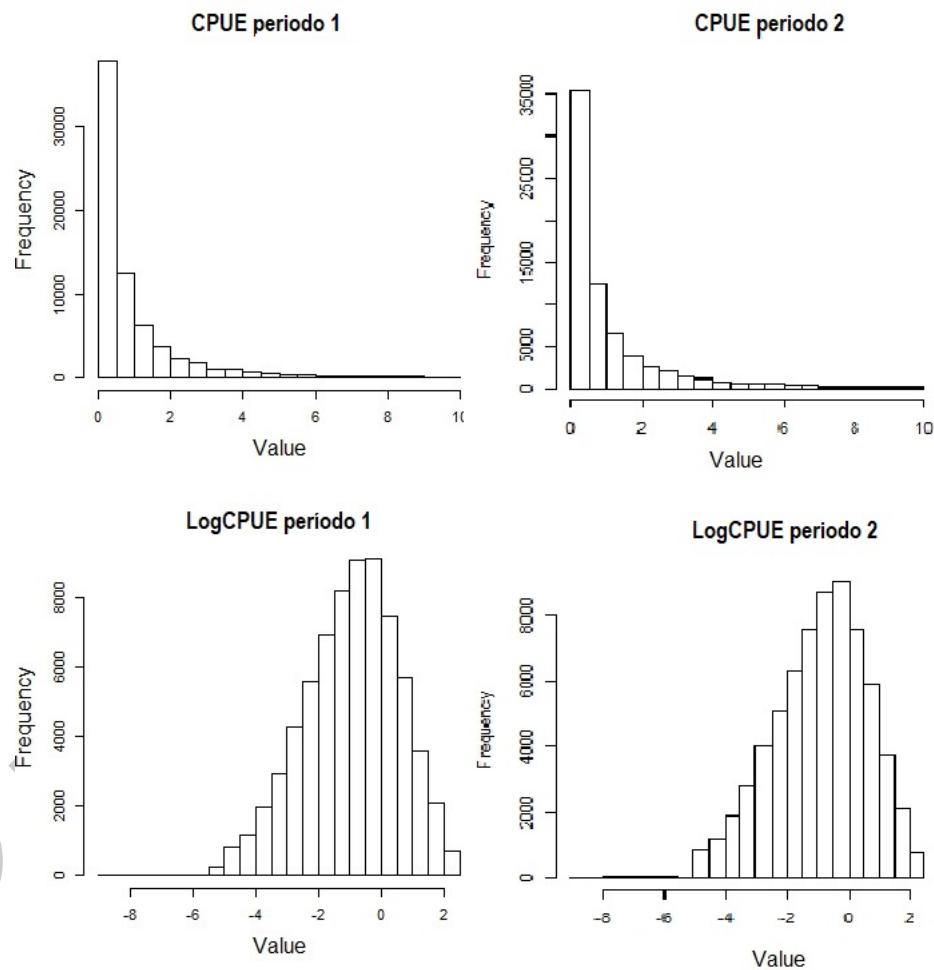


Figura 18. Histograma del rendimiento y logaritmo del rendimiento de pesca en kilogramos por número de anzuelo y hora de reposo.

La **Figura 19** entrega un resumen de los datos de palangre utilizados en el período 2 (1998-2019), el cuadrante superior izquierdo contiene el número de anzuelos promedio para cada pesquería, el valor bordea los 15 mil anzuelos exceptuando algunos años (por ejemplo 2015). En la pesquería 11 el valor más bajo se encuentra en el año 2013 ya que el barco 941225 presenta solo 3600 anzuelos ese año, a diferencia del resto de los barcos que presentan entre 11 mil y 24 mil anzuelos.

En el cuadrante superior derecho se presenta la CPUE promedio con las horas de reposo no corregidas, en el cuadrante inferior izquierdo la captura promedio de merluza del sur, en donde los años 2017, 2018 y 2019 se caracterizaron por presentar los valores más bajos de la serie, y en el cuadrante inferior derecho la CPUE promedio considerando las horas de reposo corregidas.

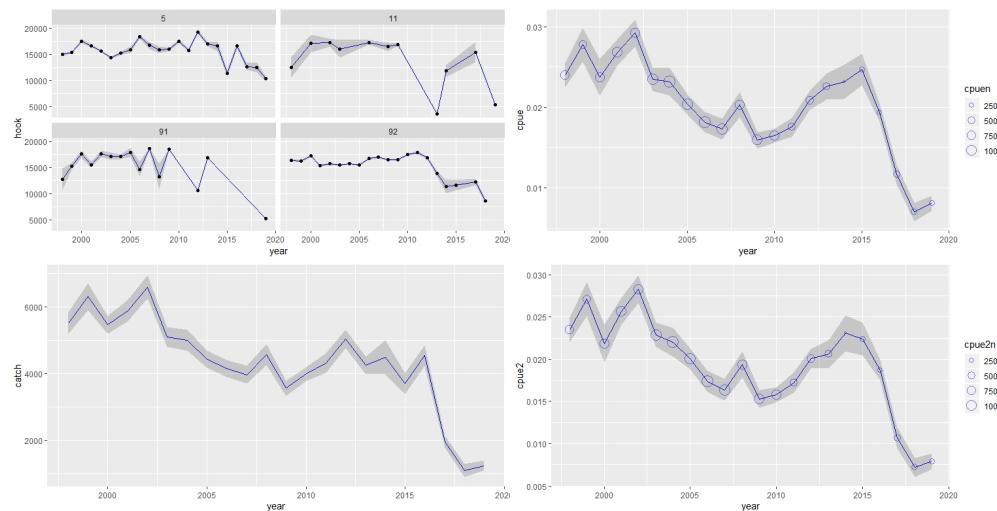


Figura 19. Valores promedio del número de anzuelos por año y pesquería (5,11,91,92) (cuadrante superior izquierdo), captura promedio de merluza del sur por año en kilogramos (cuadrante inferior izquierdo), CPUE nominal promedio por año con horas de reposo sin corregir (cuadrantes superior derecho) y CPUE nominal promedio por año con horas de reposo corregidas (cuadrantes inferior derecho) para el período 2 (1998-2019) flota palangrera.

Al igual que en el arrastre, se construyeron matrices con composición de captura para cada lance con el fin de incorporar la intencionalidad de pesca como un predictor en los modelos lineales. Luego, se realizó el análisis de componentes principales y el análisis de cluster obteniendo como resultado la Figura 20, aquí se presentan los primeros 5 componentes principales del período 2 obtenidos en la etapa anterior, el primero contiene presencia de merluza del sur y congrio relacionada positivamente, el segundo contiene las mismas especies, pero relacionadas de forma negativa, el tercero se caracteriza por brótula y el cuarto por bycatch y el último por merluza de cola.

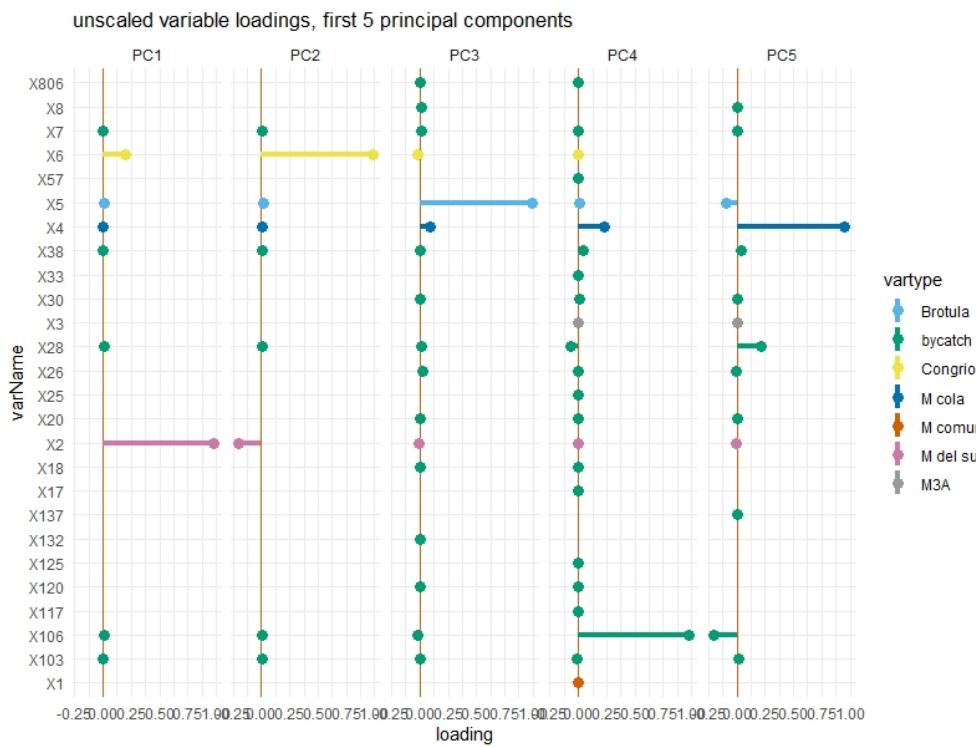


Figura 20. Análisis de componentes principales de la matriz de proporciones para el palangre, periodo 2 (1998-2019).

Luego se construyó el dendrograma y se recuperaron los datos originales (lances de pesca) reducidos en las etapas anteriores para asignarlos a un cluster o táctica de pesca determinado, obteniendo un set de datos con el número de cluster y la proporción de especies correspondiente, el número de registros utilizados finalmente en cada cluster se presenta en la **Tabla 13**.

Tabla 13 Número de lances incorporados en cada cluster.

Cluster	N lances periodo 1	N lances periodo 2
1	9050	3039
2	8737	2543
3	2935	8499
4	-	1972

Contrario a lo obtenido en la flota arrastrera, donde pocos cluster contienen proporciones elevadas de captura de merluza del sur, aquí se observan cluster con mix de especies, la flota palangrera concentra las mayores proporciones de captura en más de un cluster, por ejemplo, la Figura 21 contiene la proporción de especies por cluster para el período 1, en donde se observa presencia importante de merluza del sur en los cluster 1 y 2 dejando en el cluster 3 mayor participación de congrio. Para el período dos (Figura 22) se observan 4 cluster en donde existe una importante presencia de merluza en los cluster 1, 3 y 4.

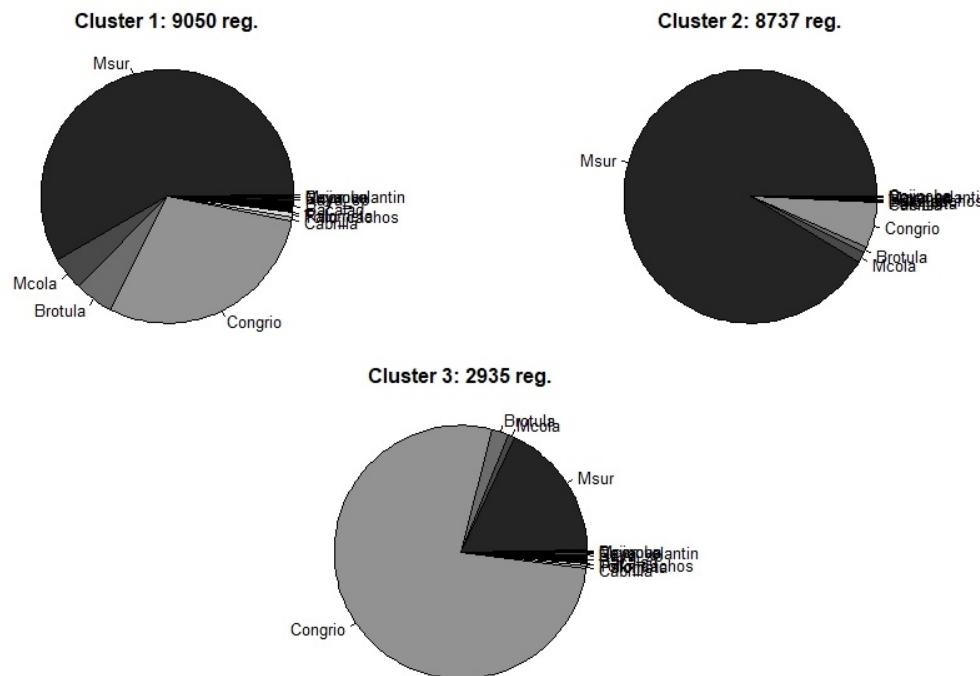


Figura 21. Proporción de especies presentes en los lances de la flota palangrera por cada cluster, período 1 (1979-1997).

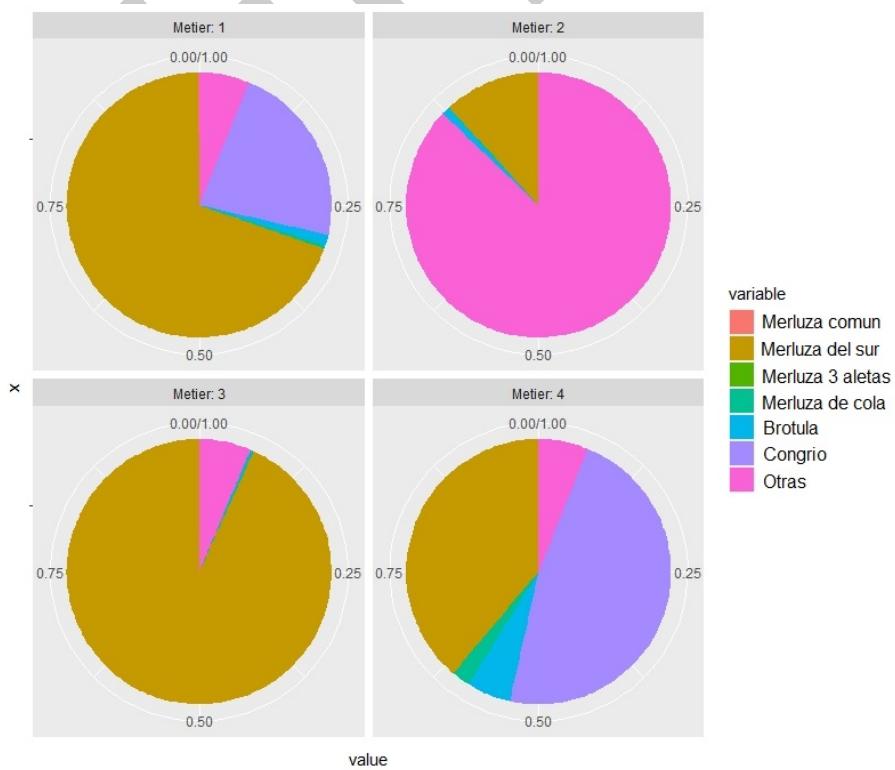


Figura 22. Proporción de especies presentes en los lances de la flota palangrera por cada cluster, período 2 (1997-2019).

La **Figura 23** contiene la intencionalidad de pesca del cluster 2 para el período 1, este cluster es el que contiene la mayor proporción de merluza del sur en las capturas (según Figura 21), esta figura confirma los resultados anteriores identificando proporciones altas de merluza del sur por cada lance.

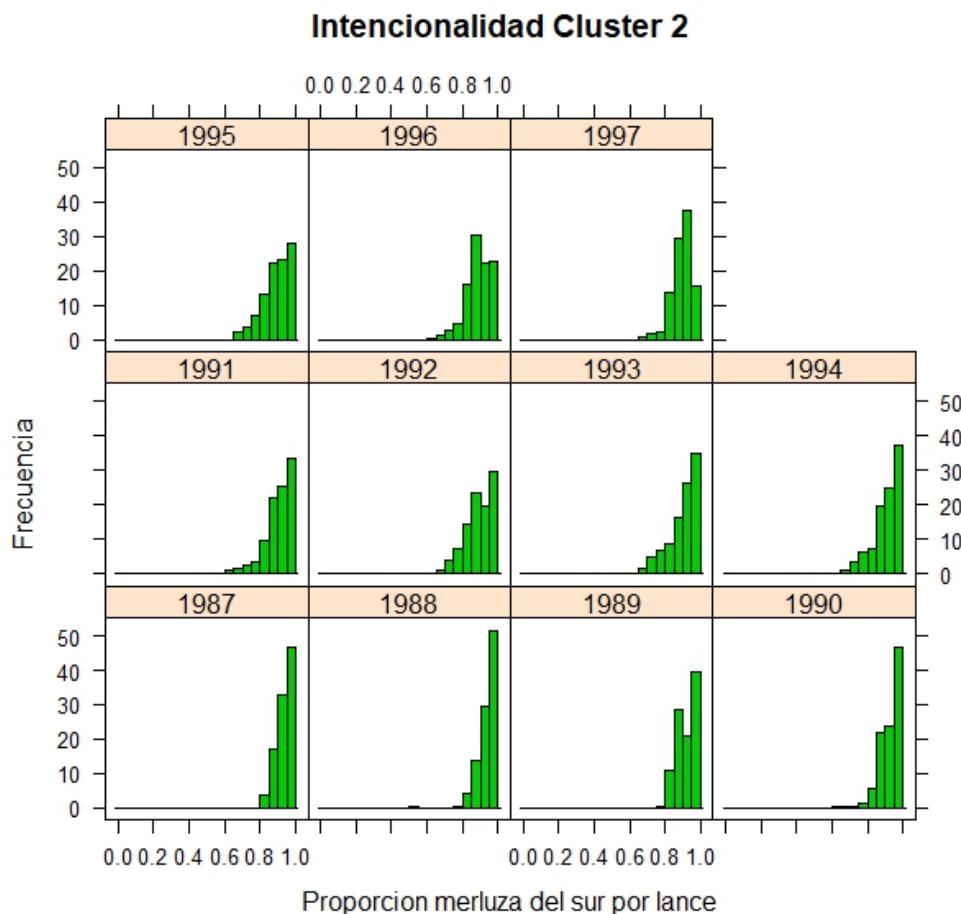


Figura 23. Frecuencia de la proporción de merluza del sur para la flota palangrera período 1 (1979-1997) por año en el cluster 2.

El cluster con mayor proporción de merluza del sur para el período 2 corresponde al cluster 3, seguido del cluster 1 (según **Figura 22**), la **Figura 24** presenta la captura, esfuerzo y CPUE promedio por cada cluster. La línea celeste corresponde al cluster 3, alcanzando los valores más altos de captura y CPUE promedio.

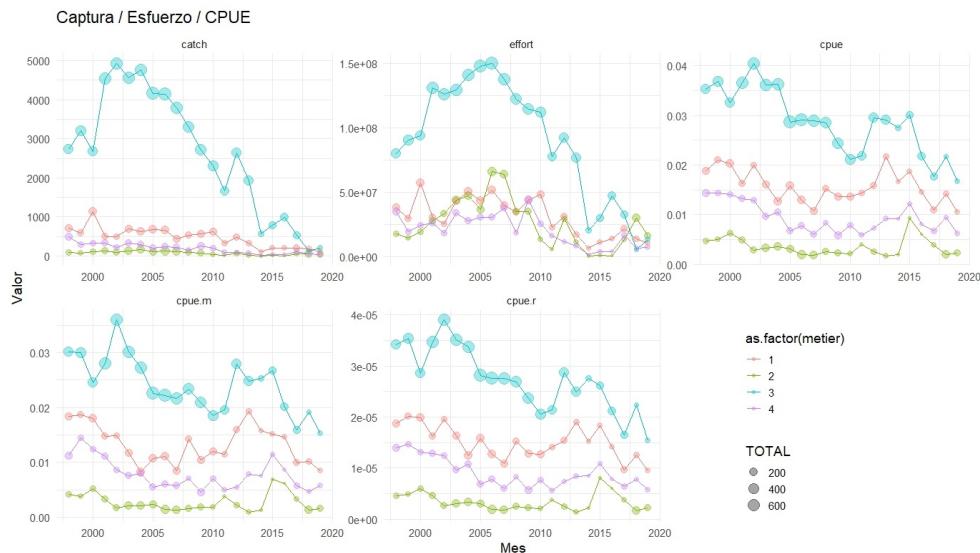


Figura 24. Sumatoria anual de la captura (kg) y esfuerzo (nanz/h.r.), CPUE (kg/(nanz*h.r.)) por cluster para el período 2 período 1998-2019, el tamaño del círculo es proporcional al número de lances utilizados.

Para la estandarización de la CPUE se utilizaron 4 modelos lineales generalizados, los que incluyeron como factores el año (1998-2019), mes, pesquería, zona, cluster y barco. En la Tabla 14 y 15 se presentan los estadísticos para cada MLG.

El análisis de varianza de los predictores para el período 1 (1979-1997) indica que la táctica de pesca y año son los factores que mejor explican la varianza de la CPUE (hasta un 19%). El modelo que explica un mayor porcentaje de la varianza corresponde al modelo 1 con un 44%.

El período dos (1998-2019) presenta resultados similares en donde el predictor cluster alcanza un 35.3 % de la devianza explicada. Esto sugiere que el predictor “táctica de pesca” es adecuado para construir una serie de CPUE objetiva en una pesquería multi específica, filtrando adecuadamente la intencionalidad de pesca. En segundo lugar, encontramos el factor mes que explica entre un 9.2 y 15.7 %. El modelo que explica un mayor porcentaje de la devianza total corresponde al modelo 1 (61.1%) seguido del mod2 (51%).

Tabla 14 Estadísticos de los modelos lineales para el período 1 (1979-1997) con su respectiva devianza explicada en porcentaje.

Factor	Mod0	Mod1	Mod2	Mod3
Año lance	0.12	0.12	0.18	0.18
Mes_lance	0.01	0.01	0.02	0.02
Cluster	0.12	0.19	-	0.01
Zona	0	0	0	0
Barco	0.13	0.13	0.14	0.14
Dev. Explicada %	37	44	34	35
Dev. Residual	12832.1	12832.1	3955.1	3955.1

Tabla 15 Estadísticos de los modelos lineales para el período 2 (1998-2019) con su respectiva devianza explicada en porcentaje.

Factor	Mod0	Mod1	Mod2	Mod3
Año lance	8.2	8.2	6.1	6.1
Mes_lance	15.7	15.7	9.2	9.2
Cluster	-	34.9	35.3	33.8
Zona	0.0	0.2	0.5	2.0
Pesquería	0.1	-	-	-
Barco	2.3	2.1	-	-
Cluster: Zona	-	-	-	1.0
Mes_lance: Cluster	-	-	-	1.0
Dev. Explicada %	26.3	61.1	51.0	49.9
Dev. Residual	26603	26603	18875	18875

La CPUE estandarizada para la flota palangrera se presenta en la **Figura 25 y 26**. El período 1 considera los 4 modelos utilizados Mod0, Mod1, Mod2, Mod3, en línea continua celeste se muestra la CPUE promedio sin estandarizar. Para el período 2, la Figura 26 incluye la CPUE de los modelos utilizados en líneas segmentadas, la CPUE promedio sin estandarizar en línea continua roja y la CPUE estandarizada estimada el año anterior en línea continua amarilla (informe de estatus 2018).

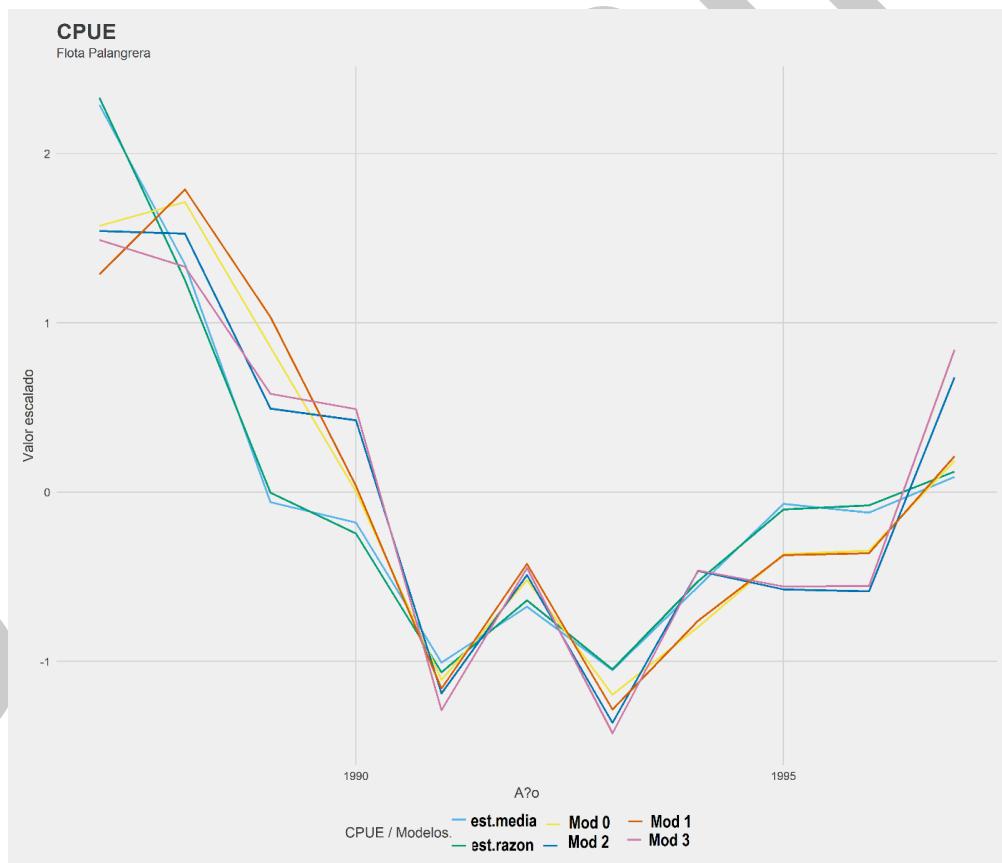


Figura 25. CPUE estandarizada ($\text{kg}/(\text{nanz} \cdot \text{h.r.})$) período 1, para los 4 modelos probados en líneas segmentadas, CPUE promedio sin estandarizar en línea continua roja y CPUE estandarizada (informe estatus año 2018) en línea continua amarilla.

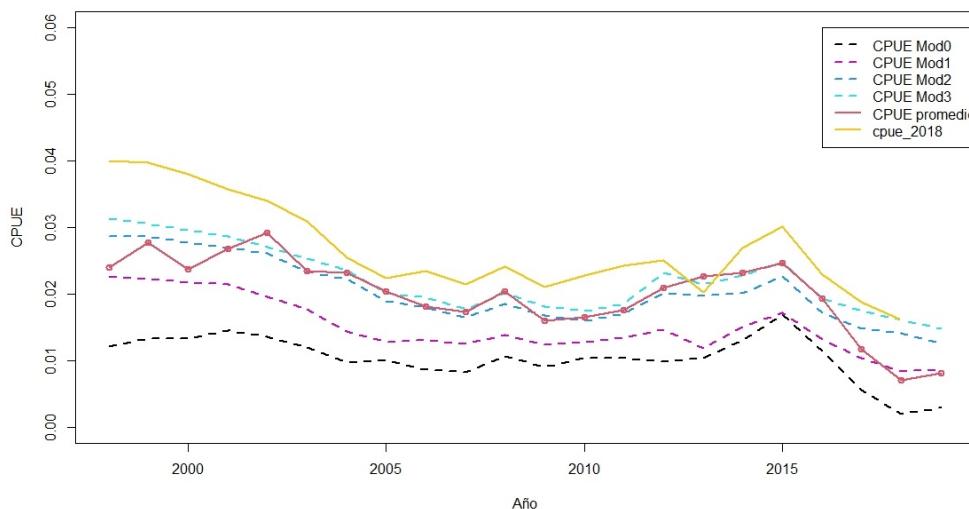


Figura 26. CPUE estandarizada ($\text{kg}/(\text{nanz}^*\text{h.r.})$) período 2, para los 4 modelos probados en líneas segmentadas, CPUE promedio sin estandarizar en línea continua roja y CPUE estandarizada (informe estatus año 2018) en línea continua amarilla.

4.1.3 Ajustes modelo base

El modelo base actual (Mod0_03a) proviene del escenario Mod0_03 implementado en la asesoría año 2019. Este modelo se caracteriza por estandarización de la CPUE de arrastre y palangre en dos períodos. Además, incluye el índice de abundancia de la flota artesanal en la función de verosimilitud y la táctica de pesca como un predictor en los modelos lineales de predicción de tasas de captura. Además, se incorporan algunas modificaciones solicitadas por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura y por el Comité Científico Técnico de Recursos Demersales: i) modificación del coeficiente de capturabilidad para el arrastre considerando años de quiebre 1997, 2001 y 2011 y para el palangre los años 1997 y 2011; ii) modificación del coeficiente de variación para los índices de abundancia: los pesos para los índices de las flotas arrastrera y palangrera se redujeron a la mitad mientras que el crucero acústico se aumentó al doble. El índice de CPUE de la flota artesanal no se modificó, manteniendo un peso de baja importancia respecto de los restantes índices de abundancia; iii) incorporación de la fracción madura del crucero acústico, en donde se utilizaron las ojivas de madurez macroscópicas de machos y hembras de cada año para el periodo 2000-2019; iv) incorporación de pesos medios variables entre años para las flotas y el crucero acústico.

Como datos de entrada provenientes de la pesquería se cuenta con:

- (*) Captura a la edad:

39 años de datos para el arrastre (1981-2019). 29 años para palangre (1989-1992, 1995-2019). 26 años para espinel artesanal (1987, 1988, 1995-1997, 1999- 2019). 19 años de datos de abundancia provenientes del crucero (2000-2005, 2007-2019).

- Índices de abundancia:

Arrastre (1979-2019). Palangre (1987-2019). Artesanal (2000-2019). Crucero (2000-2019).

- Desembarques:

Arrastre (1977-2019). Palangre (1987-2019). Artesanal (1981-2019).

La **Tabla 16** contiene los valores del coeficiente de variación utilizado para los índices de abundancia provenientes de las flotas de arrastre, palangre, artesanal y crucero acústico.



Tabla 16 Coeficientes de variación para el índice de abundancia CPUE utilizados para las flotas de arrastre, palangre, artesanal y crucero acústico Modelo003a.

Año	Arrastre	Palangre	Crucero	Artesanal
1977	0	0	0	0
1978	0	0	0	0
1979	0.4	0	0	0
1980	0.4	0	0	0
1981	0.4	0	0	0
1982	0.4	0	0	0
1983	0.4	0	0	0
1984	0.4	0	0	0
1985	0.4	0	0	0
1986	0.4	0	0	0
1987	0.4	0.4	0	0
1988	0.4	0.4	0	0
1989	0.4	0.4	0	0
1990	0.4	0.4	0	0
1991	0.4	0.4	0	0
1992	0.4	0.4	0	0
1993	0.4	0.4	0	0
1994	0.4	0.4	0	0
1995	0.4	0.4	0	0
1996	0.4	0.4	0	0
1997	0.4	0.4	0	0
1998	0.8	0.4	0	0
1999	0.8	0.4	0	0
2000	0.8	0.4	0.2	0.8
2001	0.8	0.4	0.2	0.8
2002	0.4	0.4	0.2	0.6
2003	0.4	0.4	0.2	0.6
2004	0.4	0.4	0.2	0.6
2005	0.4	0.4	0.2	0.4
2006	0.4	0.4	0.2	0.4
2007	0.4	0.4	0.2	0.4
2008	0.4	0.4	0.2	0.4
2009	0.4	0.4	0.2	0.4
2010	0.4	0.4	0.2	0.4
2011	0.4	0.4	0.2	0.4
2012	0.4	0.4	0.2	0.4
2013	0.4	0.4	0.2	0.4
2014	0.4	0.4	0.2	0.4
2015	0.4	0.4	0.2	0.4
2016	0.4	0.4	0.2	0.4
2017	0.4	0.4	0.2	0.4
2018	0.4	0.4	0.2	0.4
2019	0.4	0.4	0.2	0.4

La **Figura 27** presenta el ajuste de los desembarques de las flotas arrastrera, palangrera y artesanal con sus respectivos residuales por flota (**Figura 28**). Se observa que los ajustes de las series temporales son precisos e inclusive reproducen la reducción de los desembarques posterior al año 2010. Los desembarques de las flotas palangreras y artesanal disminuyen durante los últimos 4 años, a diferencia de la flota de arrastre que presenta un aumento en los últimos 3 años debido al traspaso de cuota de la flota artesanal.

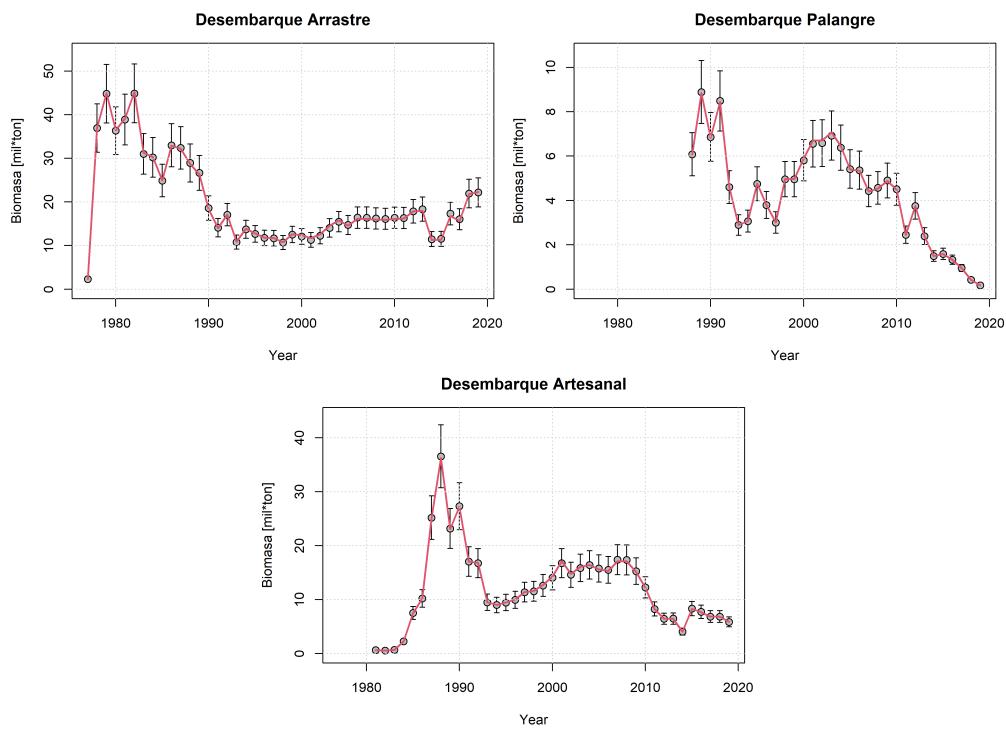


Figura 27. Desembarque observado en miles de toneladas (puntos) y estimado (línea roja) con su respectiva desviación estándar (barras) para las flotas arrastrera, palangrera y artesanal.

La precisión del ajuste se muestra en el comportamiento de los residuales, los que se sobreponen con la distribución teórica esperada para la distribución normal de datos (**Figura 28**). Solo unos pocos puntos de datos se alejan de dos desviaciones estándar.

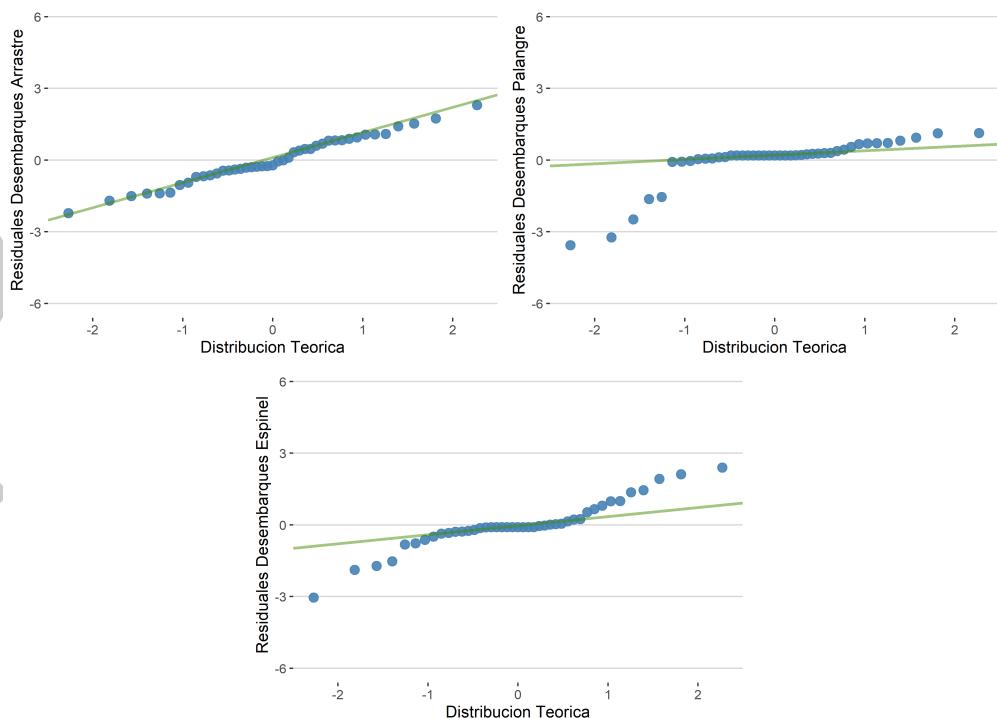


Figura 28. Residuales de los datos de desembarque de las flotas arrastrera, palangrera y artesanal, período 1977-2019.

El ajuste a los datos de índices de abundancia por flota se presenta en la **Figura 29**, con sus respectivos residuales por flota (**Figura 30**). Los ajustes a las series temporales de abundancia son variables entre flotas y crucero. En términos generales, se observa mejores ajustes en los índices de abundancia de palangre y arrastre para el período 1, con una menor precisión la flota artesanal y la biomasa desovante prospectada durante los cruceros acústicos. Para el arrastre se observa un primer período con una disminución de la CPUE hasta el año 1997 (cuadrante izquierdo) y un posterior aumento durante el segundo período (cuadrante derecho). El palangre presenta un período con valores máximos (1998-2000) al igual que la flota artesanal (2001-2002).

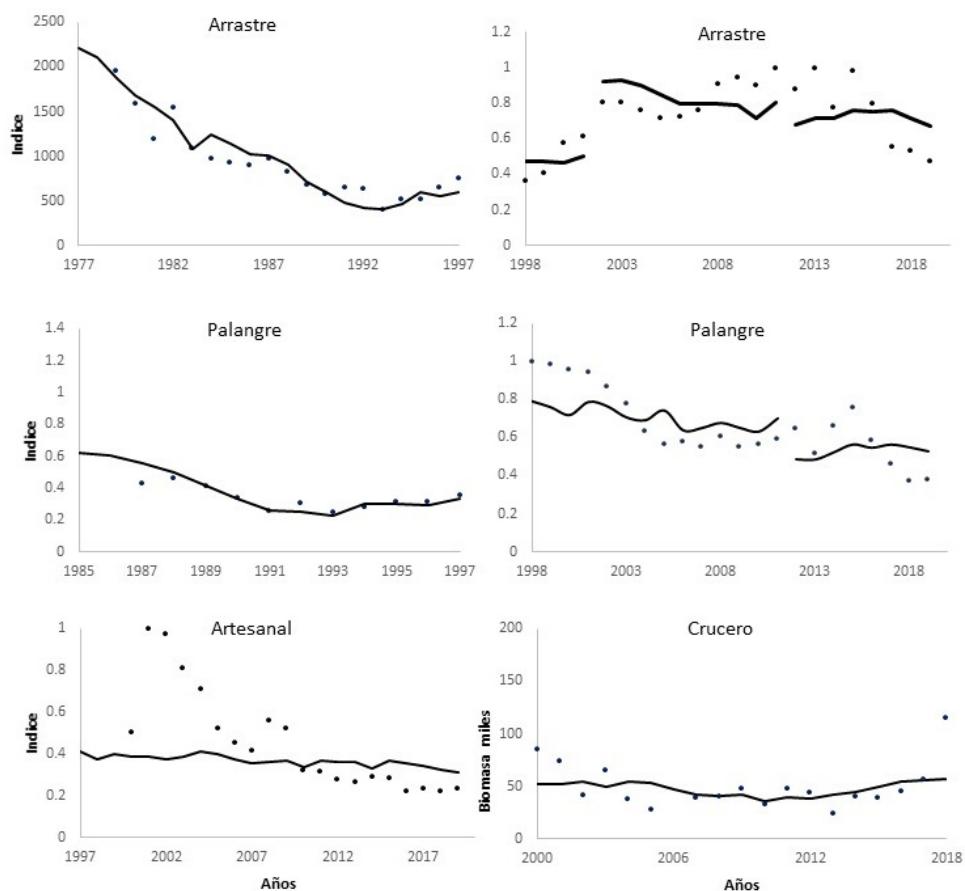


Figura 29. Índice de abundancia observado (puntos) y estimado (línea continua) de las flotas arrastrera (kg/h.a.), palangrera (kg/(nanz*h.r.)) y artesanal (kg/h.r.), junto a las predicciones del crucero acústico.

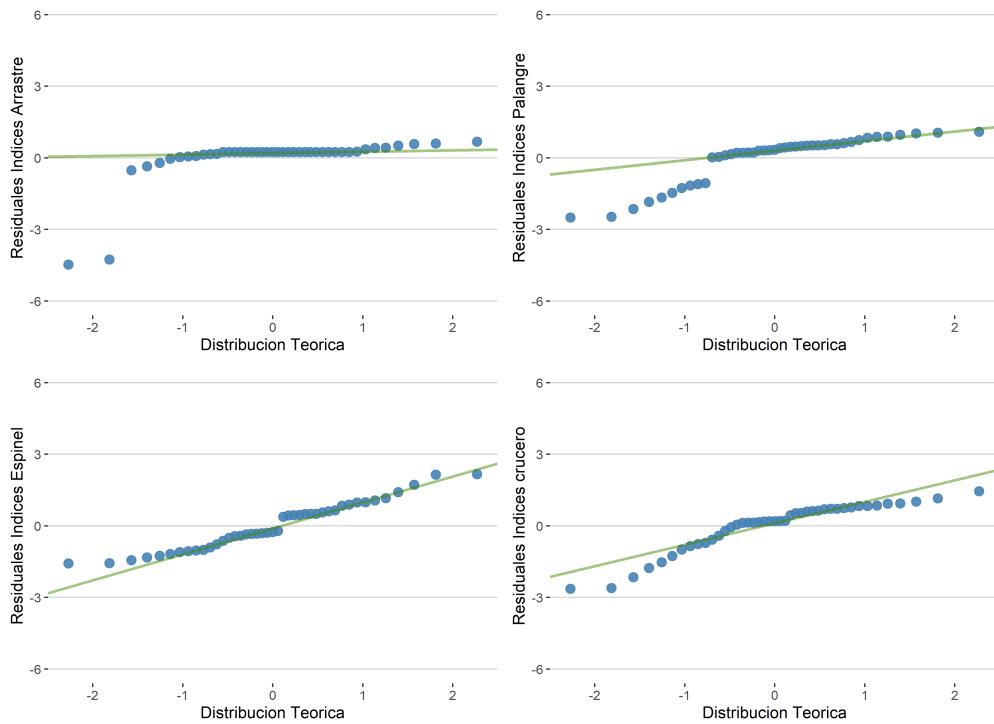


Figura 30. Residuales índices de abundancia de la flota arrastrera, palangrera, artesanal y crucero acústico.

En la **Figura 31** se observa la selectividad del arte de pesca para cada flota, arrastre, palangre, espinel y crucero acústico. Las edades de des-reclutamiento son de aproximadamente 18 años para el arrastre, 19 años para el palangre, 12 años en la flota artesanal y 21 para el crucero acústico.

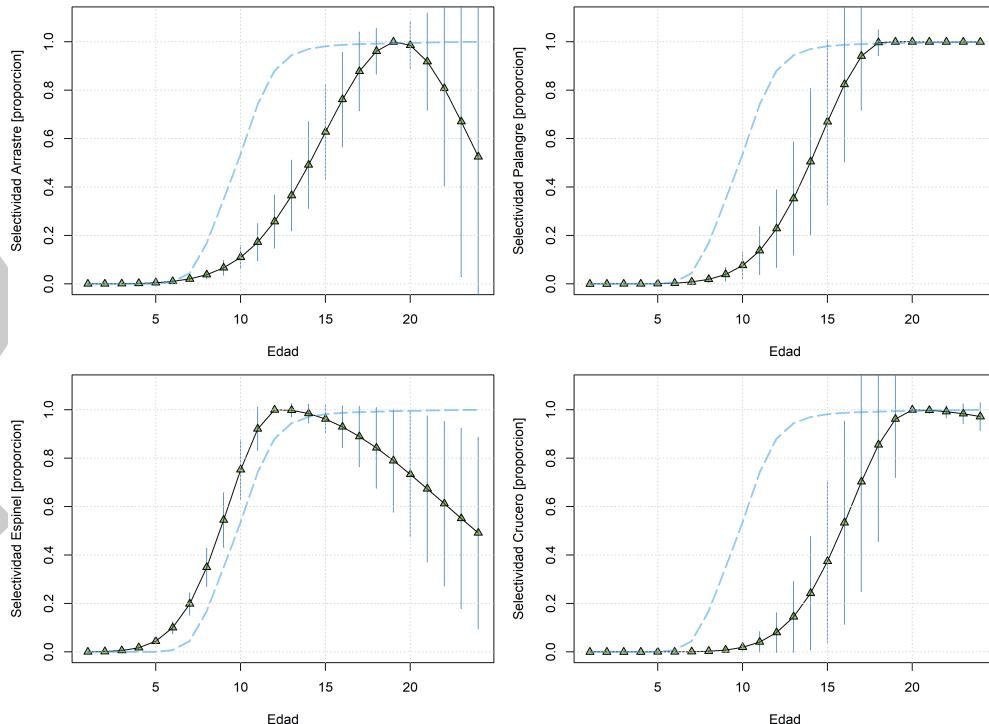


Figura 31. Selectividad de la flota arrastrera, palangrera, artesanal y crucero acústico, en línea segmentada azul se

sobrepone la madurez sexual.

La mortalidad por pesca por flota y total se muestra en la **Figura 32**, cómo ha sido recurrente los mayores niveles de mortalidad por pesca han sido generados por la flota arrastrera. En magnitud le sigue la flota palangrera, aunque durante los últimos 6 años esta flota mostró una reducción importante en los niveles de remoción. En las tres flotas se observa una significativa reducción de la mortalidad por pesca para el año 2014, consecuencia de la reducción en las cuotas de captura. Con respecto a la mortalidad total, se observa un aumento durante los últimos 2 años generada principalmente por la flota arrastrera.

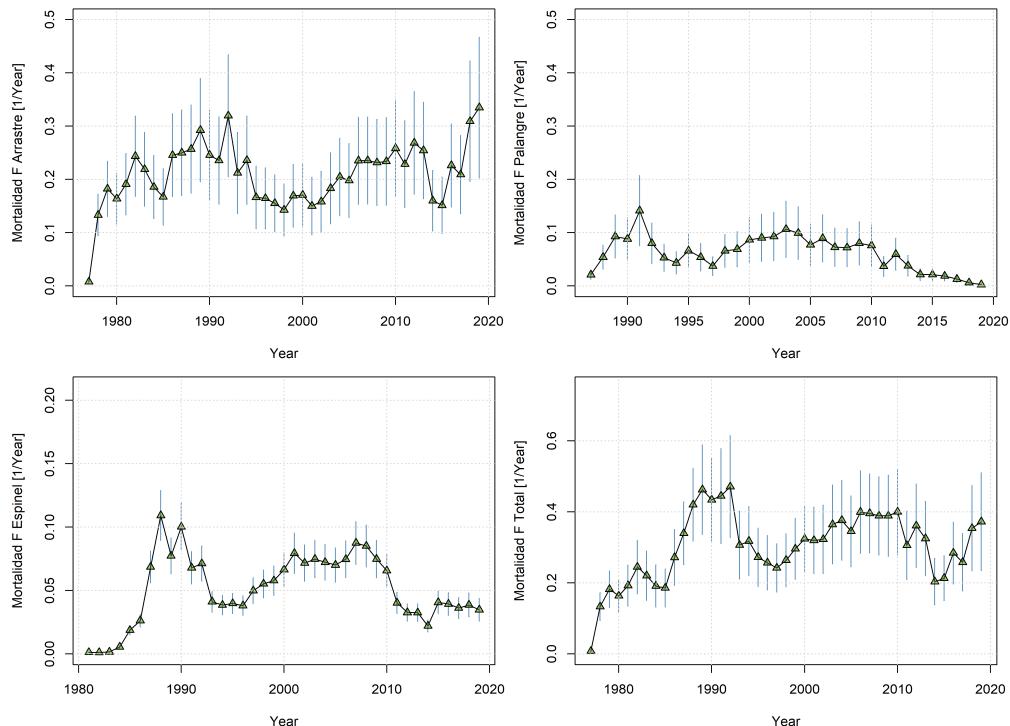


Figura 32. Mortalidad por pesca estimada para la flota arrastrera, palangrera, espinelera y mortalidad por pesca total.

En cuanto a las estructuras de tallas, el arrastre presenta información desde 1982 hasta 2018. Destacan los años 1982 y 1983 con estructuras que poseen una importante participación de las edades mayores de 19 años, las que no volvieron a aparecer con esa importancia en la historia de la pesquería (Figura 33). Luego en 1986 y 1998 se aprecia un contingente de peces de edades menores de 9 años, que sugieren un buen reclutamiento asociado a los desoves del año 1982 y 1983. Desde el año 2001 hasta el 2007 se produce otro desplazamiento de la estructura hacia edades más viejas. Finalmente, desde el 2008 la estructura se ha mantenido relativamente estable con un pequeño aumento en la aparición de ejemplares mayores a 19 años.

En el palangre (Figura 34) se observa la presencia de ejemplares de mayor tamaño entre los años 1989-1992, desde el año 1995 y hasta 2000 la estructura se mantiene relativamente estable, pero en durante el período 2001-2005 presenta un desplazamiento hacia edades más jóvenes. Desde el año 2006 y hasta la actualidad es posible encontrar ejemplares representando a las tallas mayores de la estructura, sobre todo los años 2015 al 2019 en donde se presenta un aumento importante en la proporción de ejemplares entre 18 y 20 años.

Desde los residuales a la edad (Figura 35) se observa, para el período 1994-2005, una subestimación de ejemplares entre los 14 y los 19 y una subestimación de ejemplares entre 6 y 12 años. Para el palangre, entre los años 1990-1992 el modelo tiende a subestimar las tallas mayores a 13 años y sobreestimar tallas menores. Desde el año 1994 el modelo subestima las tallas menores a 13 años y sobreestima las tallas

mayores.

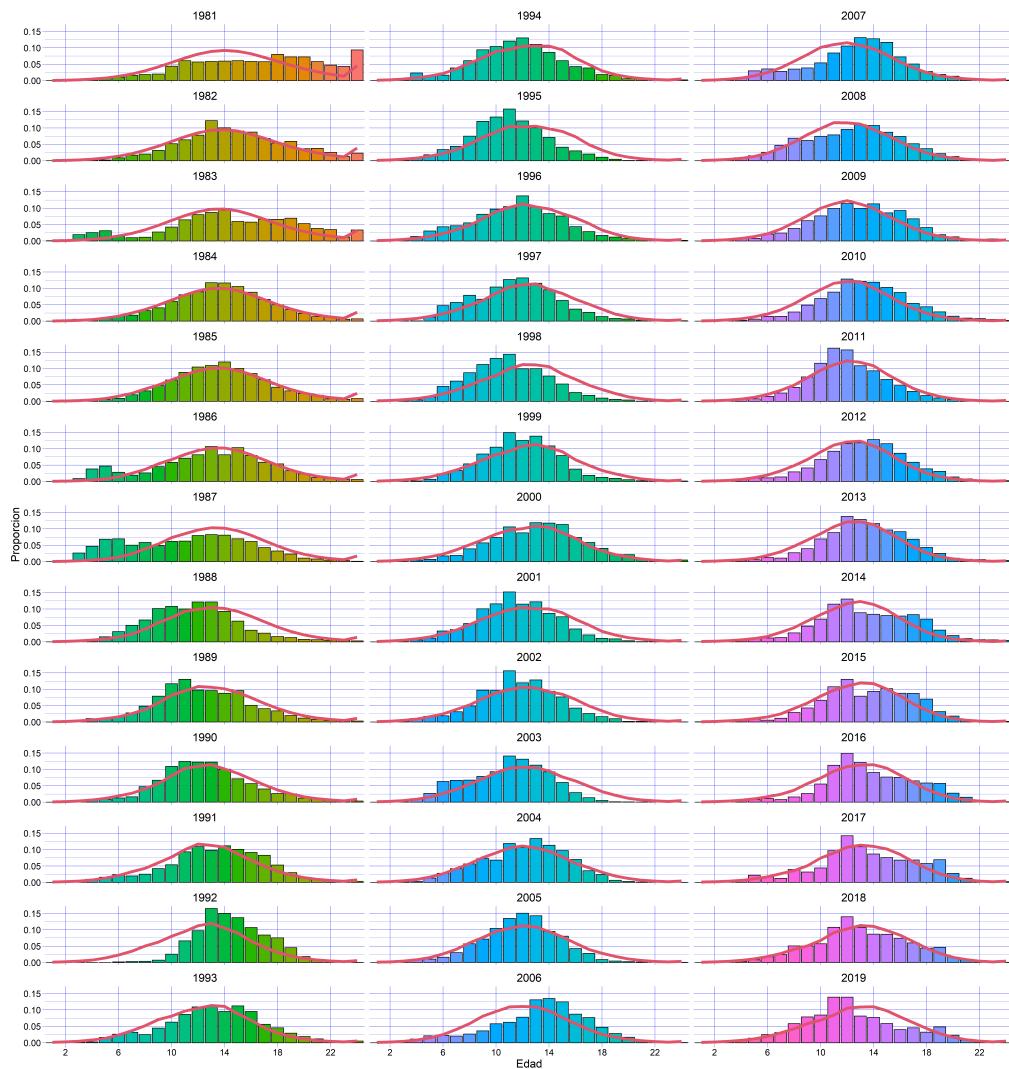


Figura 33. Ajuste estructuras de edades flota arrastrera período 1981-2019, estimados (línea roja) y observados (barras) de la proporción de edades en las capturas.

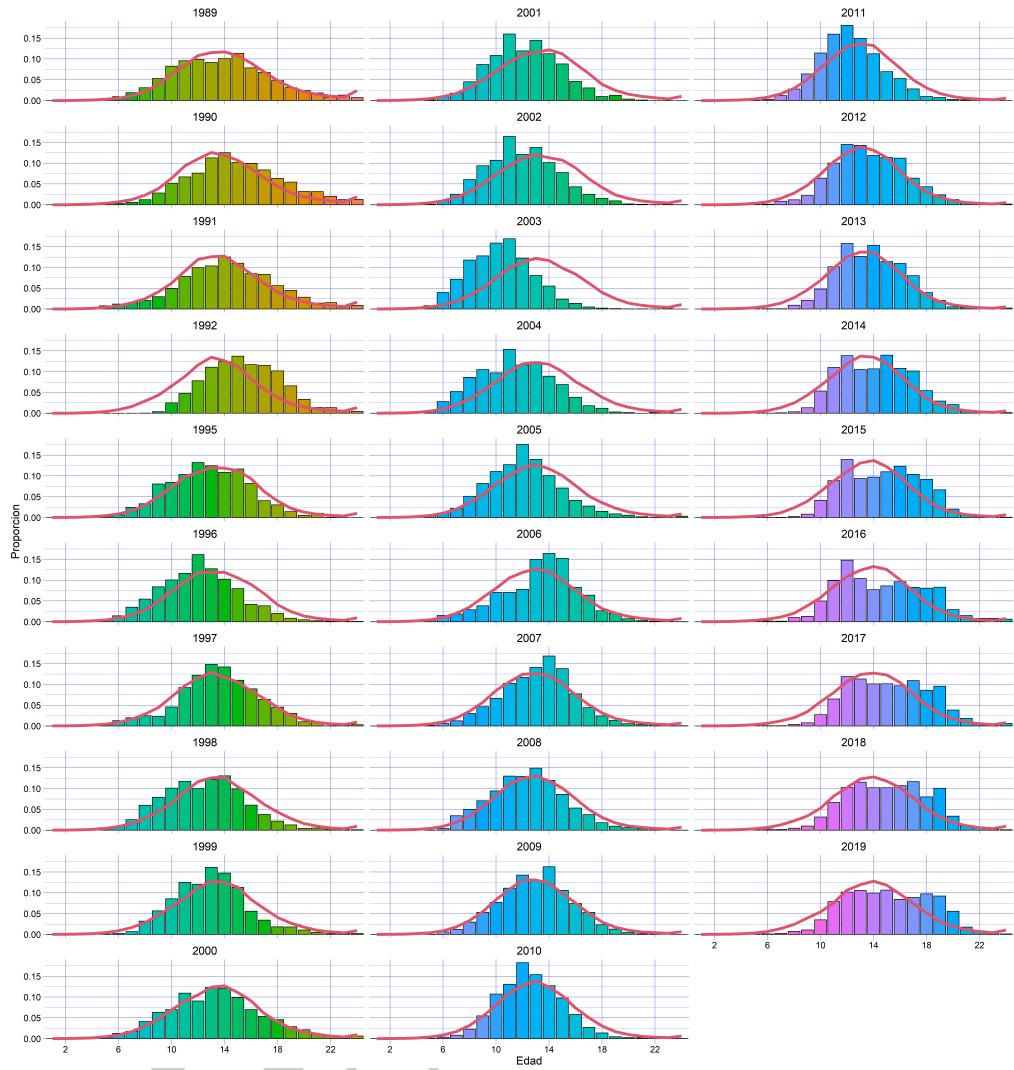


Figura 34. Ajuste estructuras de edades flota palangrera período 1989-2019, estimados (línea roja) y observados (barras) de la proporción de edades en las capturas.

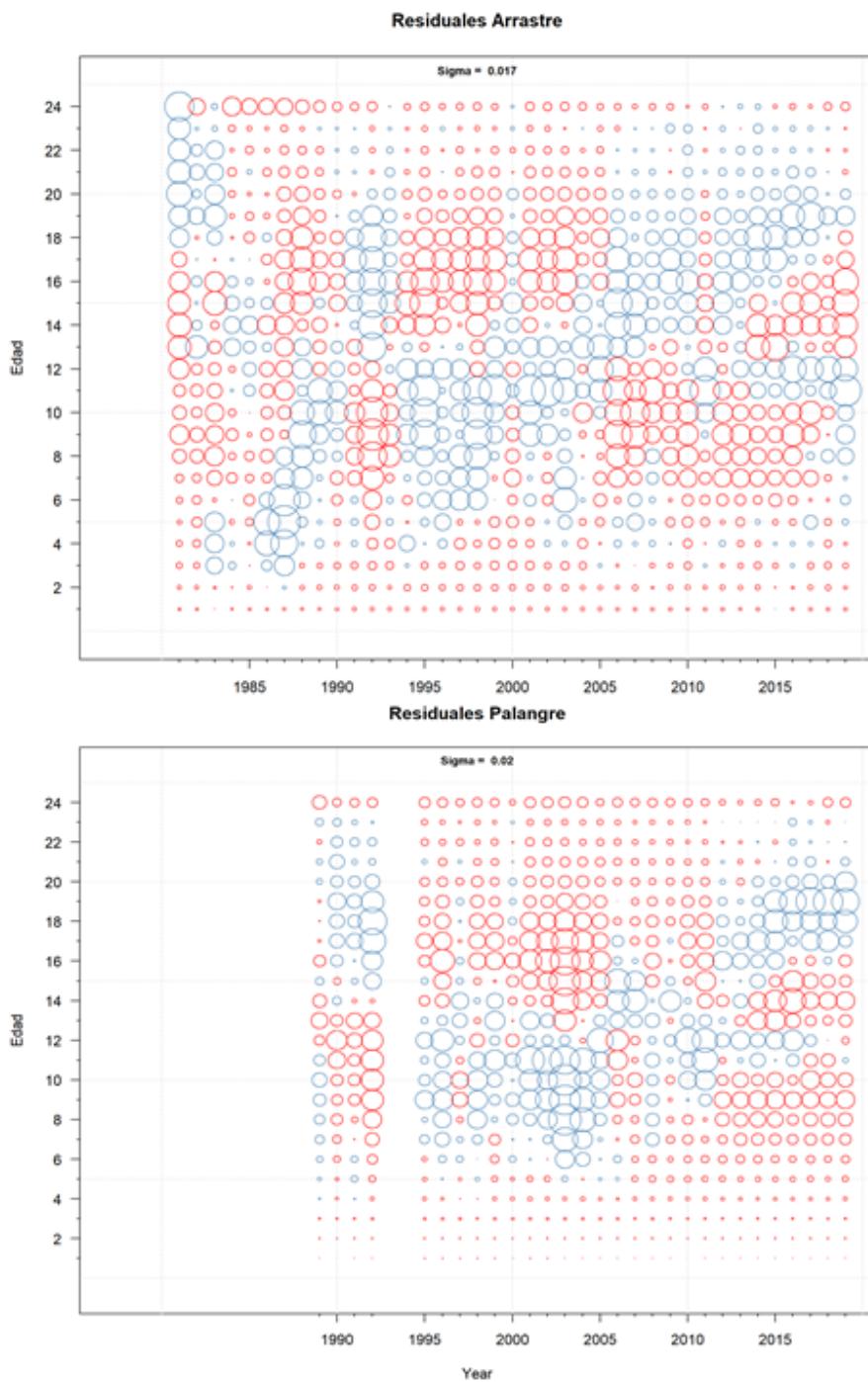


Figura 35. Residuales de estructura de edades de la flota de arrastre y palangre. Subestimaciones (círculo azul) y sobreestimaciones (círculo rojo), donde el tamaño corresponde a la magnitud relativa del error por edad.

Para el espinal la estructura de edades abarca un rango de edades más jóvenes que las flotas de arrastre y palangre (Figura 36), apareciendo individuos a partir de los 3-4 años de edad. Los dos primeros años de datos (1987 y 1988) corresponden a los años con grandes capturas artesanales (20 a 30 mil t), pero luego no se dispone de datos para el período 1989-1994, donde las capturas aún eran altas, pero con tendencia a la baja. El período 1995-1999, se aprecia el desplazamiento de la estructura hacia edades mayores. Desde 2000 hasta 2004 se observó una estructura relativamente estable y desde 2005 a 2009 la participación de

edades jóvenes aumentó. En los últimos dos años de la serie no se observan los ejemplares mayores a 17 años que habían sido observados en el año 2017.

Los datos provenientes del crucero acústico muestran estabilidad los primeros años para encontrar una ausencia de ejemplares menores a 10 años en 2011 (Figura 37). Es importante mencionar que la estructura de edades presentada en este informe corresponde solo a ejemplares adultos, obtenidos aplicando la ojiva de madurez macroscópica para cada sexo, esto debido a la solicitud por parte de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura de incorporar solo ejemplares adultos parte de la fracción desovante y eliminar la fuerte presencia de ejemplares juveniles menores a 7 años que se detectaron en los años 2016, 2017 y 2018.

Los residuales para la flota artesanal y los cruceros acústicos (Figura 38) se distribuyeron adecuadamente a través de los años y edades, con algunos residuales positivos en las edades 3 a 6 en la segunda mitad de los años ochenta, sin embargo, estos residuales no superan las 3 desviaciones estándar y por lo tanto están dentro del rango del 95 %.

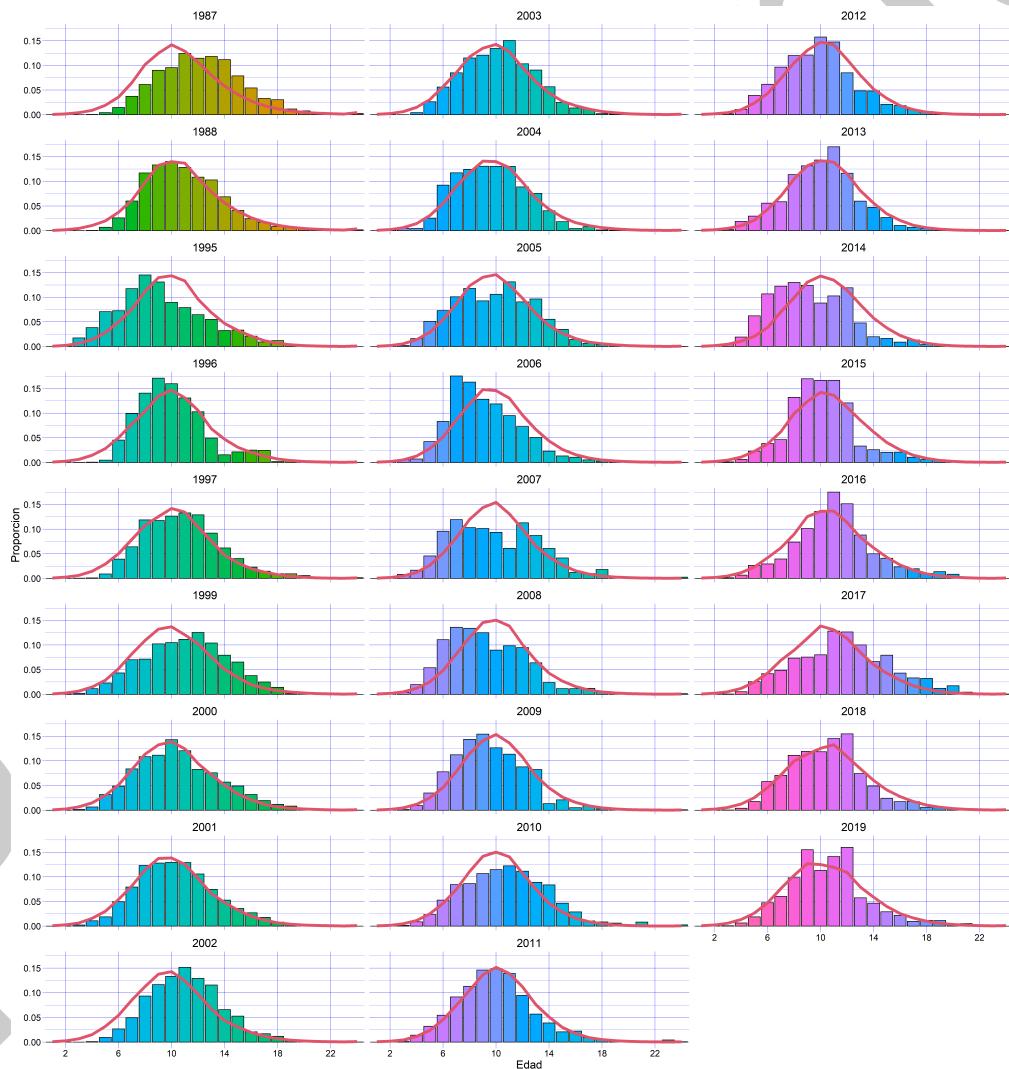


Figura 36. Ajuste estructuras de edades flota artesanal período 1987-2019, estimados (línea roja) y observados (barras) de la proporción de edades en las capturas.

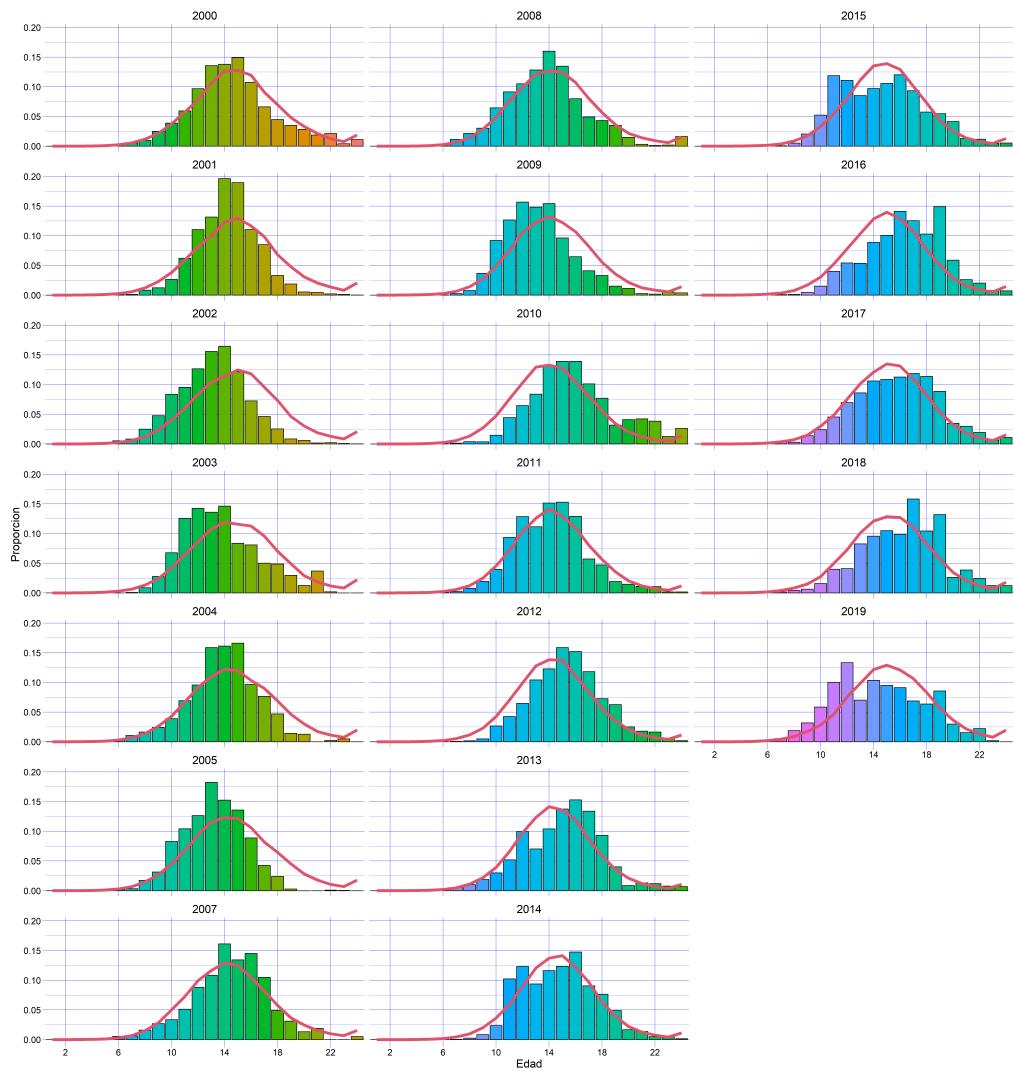


Figura 37. Ajuste estructuras de edades fracción adulta del crucero acústico período 2000-2019, estimados (línea roja) y observados (barras) de la proporción de edades en las capturas.

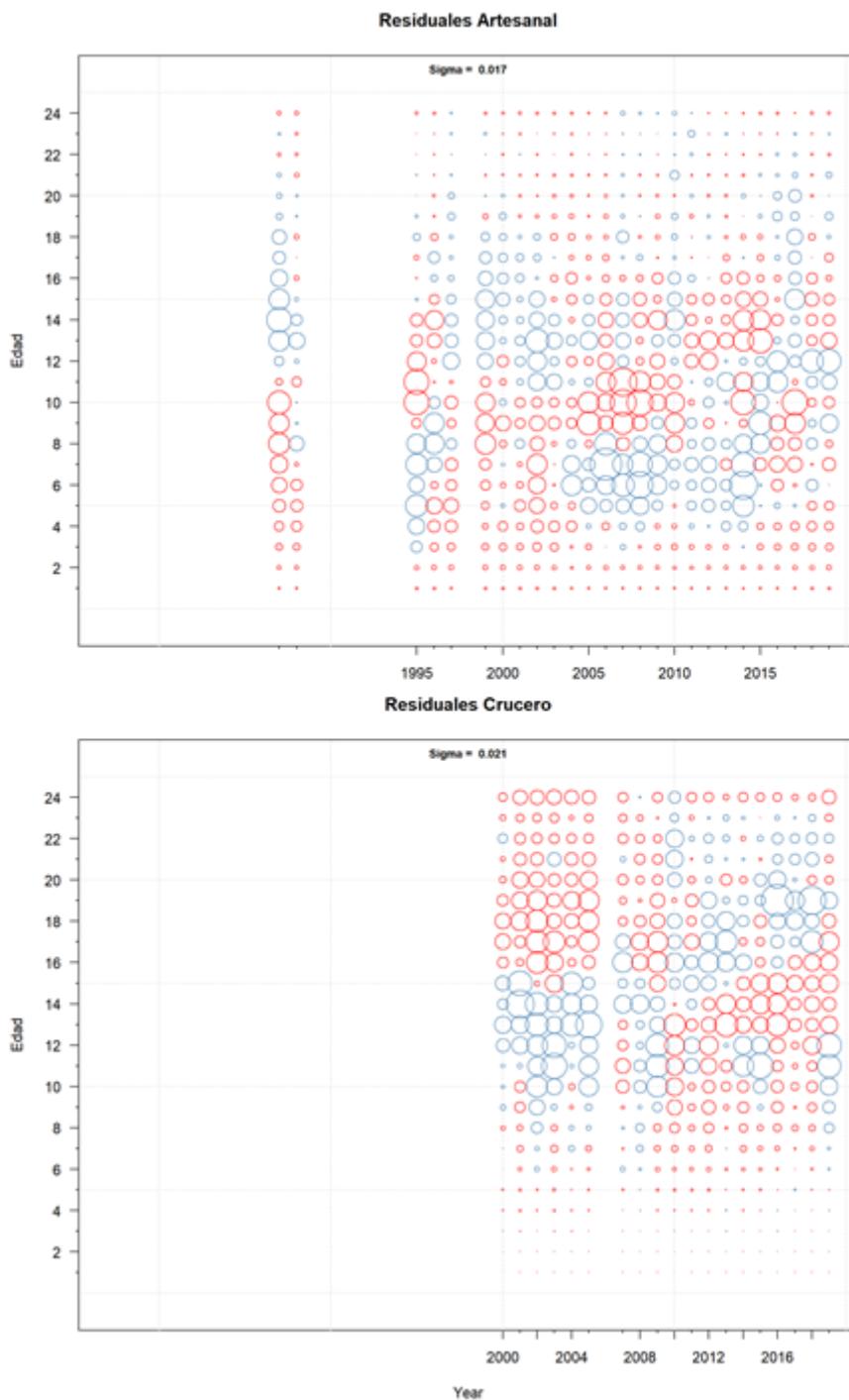


Figura 38. Residuales de estructura de edades de la flota artesanal y crucero acústico. Subestimaciones (círculo azul) y sobreestimaciones (círculo rojo), donde el tamaño corresponde a la magnitud relativa del error por edad.

4.1.4 Comparación escenarios y sensibilidad

Con el fin de observar de mejor forma los cambios en la incorporación y/o modificación de la información se compara el modelo implementado en la asesoría previa, 2019 con datos parciales mod0_01 con el modelo

solicitado por el Comité Científico Técnico, que actualiza los datos al 2019 e incluye los pesos medios del crucero (mod0_02) y flota (mod0_03). Finalmente, se incluyen dos configuraciones de sensibilidad al modelo mod0_03, la primera modifica los coeficientes de variación de los índices de abundancia mod0_03a (Tabla 3) y la segunda incluye un cambio en la productividad de la población modificando el parámetro de escarpamiento desde $h=0.5$ a $h=0.75$ mod0_03b. En sombreado se destaca modelo base.

Modelos	Datos
mod0_01	2019_parcial febrero
mod0_02	2019 full + pesos medios cruceros
mod0_03	Como mod_02 + pesos medios de flotas
	Configuración de sensibilidad
mod0_03a	Como mod0_03 incluyendo cambios en cv índices
mod0_03b	Como mod0_03a incluyendo cambios en productividad ($h=0.75$)

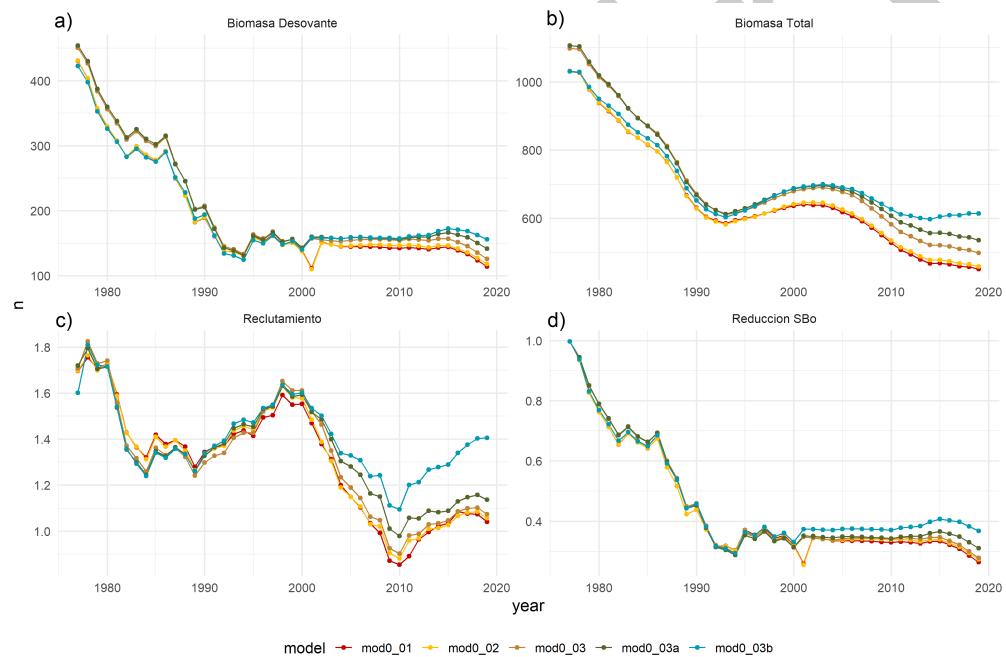


Figura 39. (a) Biomasa desovante, (b) biomasa total, (c) reclutamiento y (d) reducción de la biomasa desovante para los 5 escenarios periodo 1977-2019.

Las variables de estado biomasa desovante, total, reclutamiento y reducción de la biomasa desovante se presentan en la Figura 40. En términos de la reducción de la biomasa desovante (Figura 40,d), los escenarios que muestran una mayor recuperación corresponden a los mod0_03a (BD/BD0=31 %) y mod0_03b (BD/BD0=37 %), sin embargo, en todos los escenarios la biomasa desovante disminuye durante los últimos 4 años. En el escenario mod0_03b se observa un aumento en la biomasa total al final de la serie (Figura 40,b), lo que se puede atribuir al aumento en los reclutamientos desde el año 2010 debido al aumento en la productividad de la población (Figura 40,c).

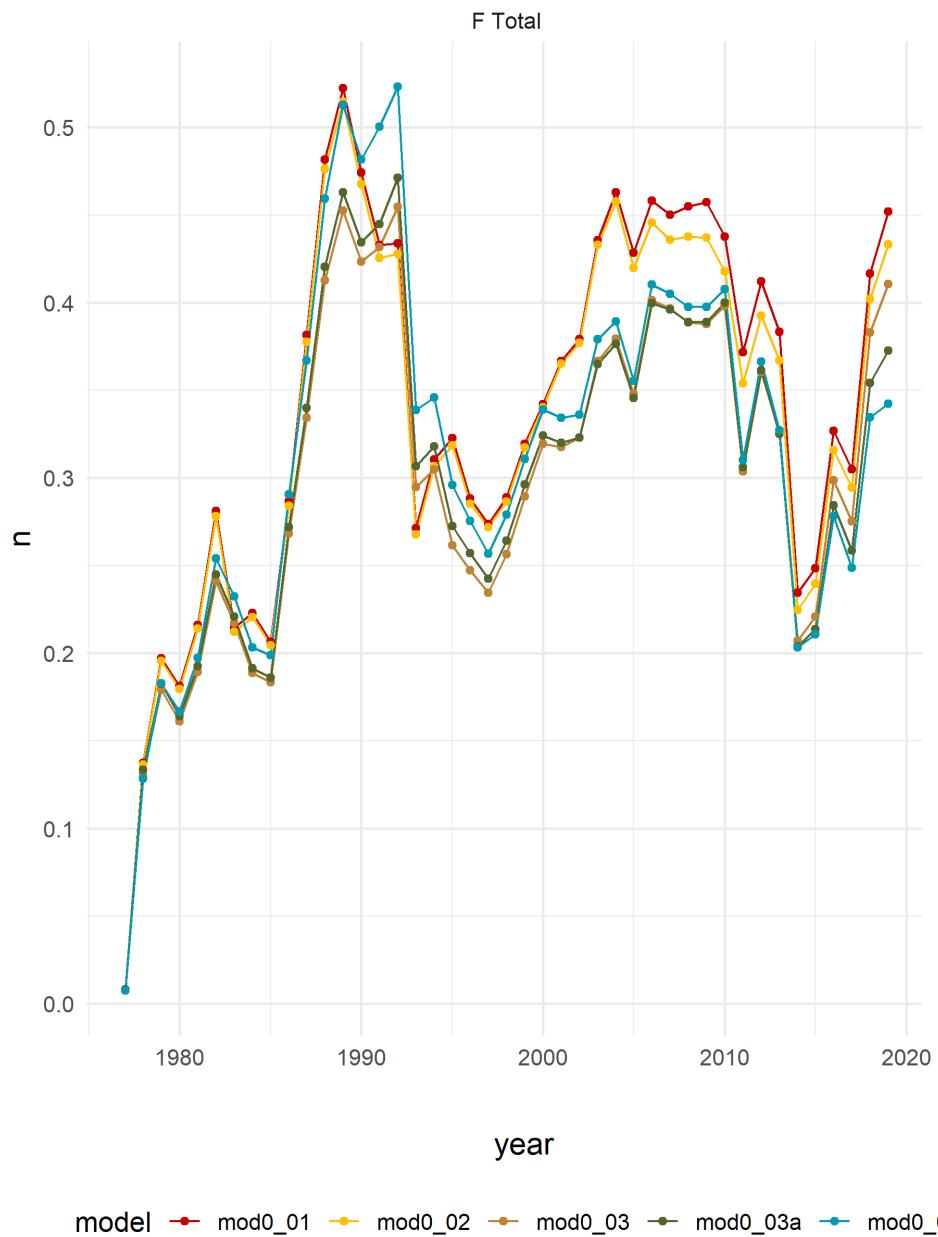


Figura 40.ortalidad por pesca total para los 5 escenarios período 1977-2019.

El efecto de incluir los pesos medios del crucero acústico y de la flota se puede observar en la Figura 41, en donde el ajuste de los escenarios mod0_01 (con pesos medios constantes) y mod0_02 (con pesos medios del crucero acústico) evidencia una tendencia suavizada, a diferencia de los escenarios que incluyen los pesos medios de la flota (mod0_03, mod0_03a y mod0_03b), en los que el ajuste presenta una tendencia más acerrada influenciada por la variación anual de los pesos medios en vez de la utilización de valores constantes a lo largo de la serie.

La captura se proyectó para los escenarios mod0_3a y mod0_3b asumiendo para el año 2020 un valor desembarque igual a la CBA ponderada por los respectivos valores de descarte y subreporte utilizados de forma histórica en la evaluación de stock para cada flota, lo que entrega un valor de desembarque 2020 incluyendo descarte y subreporte de 29600 toneladas (Figura 42). Los valores de CBA para los años 2021,

2022 y 2023 se reportan en la Tabla 18.

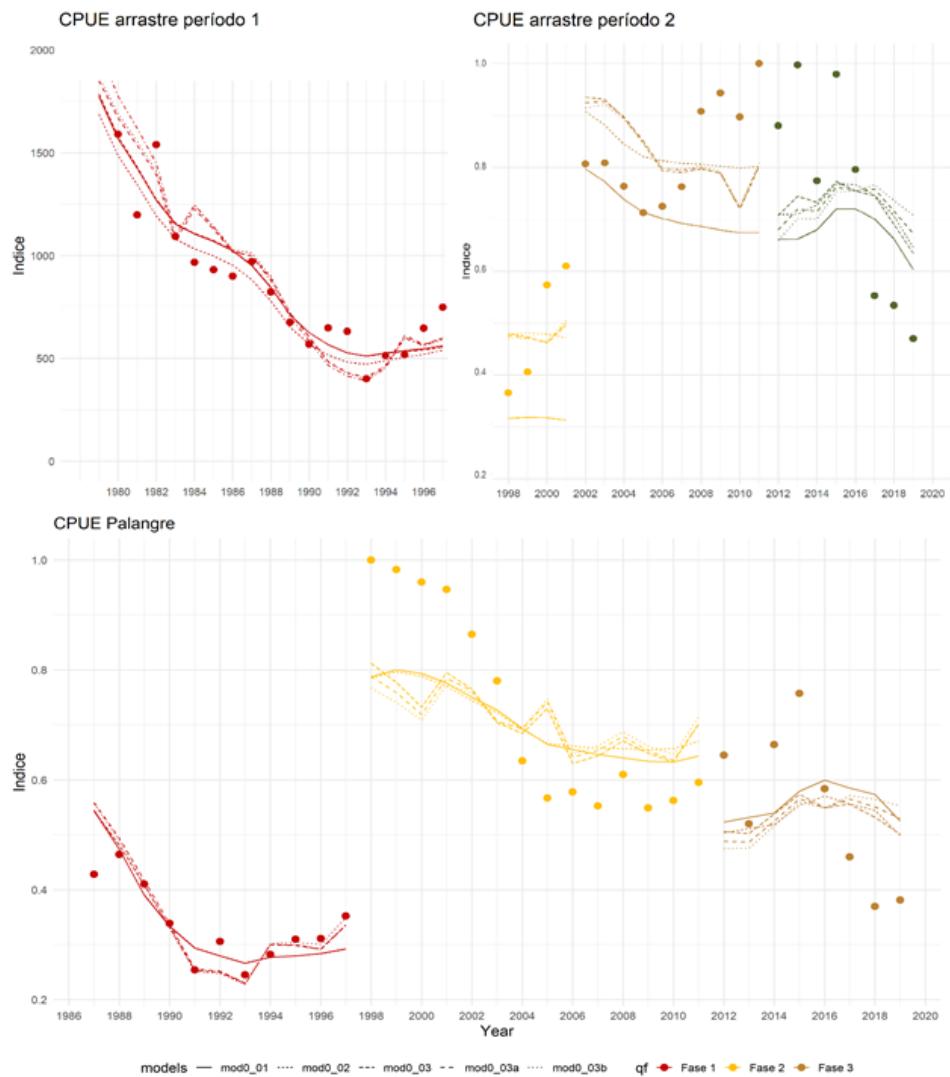


Figura 41. Índice de abundancia observado (puntos) y estimado (línea continua) de las flotas arrastrera (1979-1997; 1998-2019) y palangrera (1987-1997; 1998-2019) para los 5 escenarios.

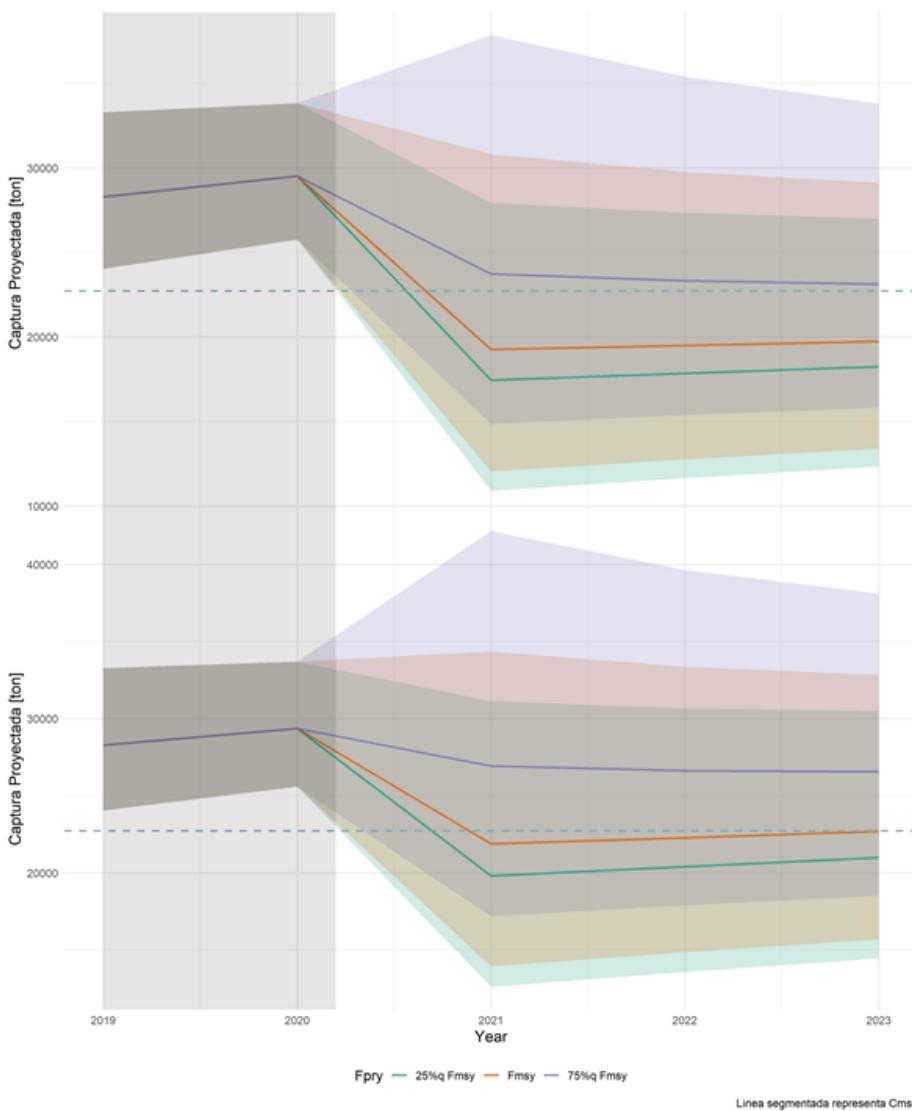


Figura 42. Proyección de la captura para los años 2021, 2022 y 2023, cuadrante superior: mod0_03a, cuadrante inferior: mod0_03b.

4.1.5 Análisis retrospectivo

La Tabla 17, presenta los resultados en relación a la reducción de información, en términos de parámetros, variables de estado y de calidad de ajuste de la información (verosimilitud) para el modelo mod0_03 (modelo que considera pesos medios por flota). En este sentido se destaca la existencia de una importante congruencia en la estimación de la biomasa virginal, la cual se re escala a niveles en cercanos en relación a la reducción de información. El mismo efecto se aprecia lógicamente en la estimación del reclutamiento virginal.

Tabla 17 Análisis retrospectivo, y sus implicancias en las variables de estados y parámetros del modelo (mod0_03).

El estimador del patrón retrospectivo (ρ), resulta por lo tanto de gran interés para poder comparar y realizar inferencia de la calidad del modelo, y de cómo las variables se ven afectadas por la reducción de información. La Figura 43, presenta el análisis retrospectivo del modelo mod0_03 de evaluación de stock

de merluza del sur, mostrando el impacto de la reducción de información de dos años de información prácticamente no afecta las variables de estado. En términos de rho, se aprecia que la reducción de información afecta y de manera negativa a la estimación de la biomasa desovante (arreglar = -0,089) representando el mayor efecto dentro de las variables evaluadas en términos de un patrón retrospectivo). En el caso de los reclutamientos estos son alterados positivamente (arreglar = 0,014), siendo esta variación de menor cuantía. Finalmente, la variación de la mortalidad por pesca, presenta niveles cercanos en torno a arreglar = 0,044.

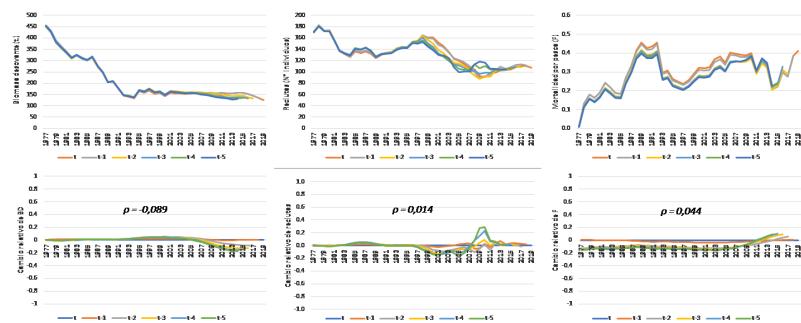


Figura 43. Análisis retrospectivo del modelo de evaluación de stock y su efecto en la biomasa desovante, el reclutamiento y la mortalidad (mod0_03).

La Tabla 18 muestra el desempeño del análisis retrospectivo del modelo mod0_03b. En donde se destaca, y al igual al caso anterior, el modelo presenta una importante sintonía en la reducción de información y de su efecto es la condición inicial del stock. Lo anterior se puede observar que la estimación de la biomasa desovante virginal tiene una variación menor, incluso con una diferencia de 5 años de la condición estimada en completitud de información. Con respecto al reclutamiento virginal y a los parámetros de la relación stock recluta, se confirma la mínima variación registrada entre escenarios analizados.

Tabla 18 Análisis retrospectivo, y sus implicancias en las variables de estados y parámetros del modelo (mod0_03b).

La Figura 44, presenta el análisis retrospectivo del modelo mod0_03b de evaluación de stock de merluza del sur, mostrando el impacto de la reducción de información de dos años de información prácticamente no afecta de manera importante la biomasa desovante. En términos de rho, se aprecia que la reducción de información afecta levemente y de manera negativa a la estimación de la biomasa desovante (arreglar = -0,062). En el caso de los reclutamientos estos son alterados en torno a arreglar = 0,056, representando junto a la biomasa desovante las variables que mostraron un mayor impacto de la reducción de información de las variables evaluadas, en términos de un patrón retrospectivo. Finalmente, la variación de la mortalidad por pesca parece de menor cuantía, por solo presentar niveles cercanos a cero (arreglar = 0,034).

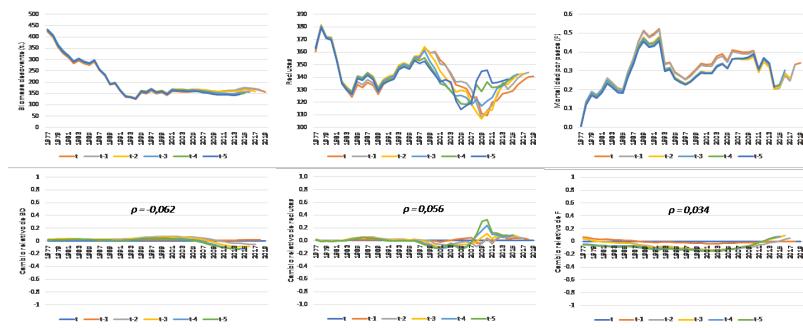


Figura 44. Análisis retrospectivo del modelo de evaluación de stock y su efecto en la biomasa desovante, el reclutamiento y la mortalidad (mod0_03b).

La Figura 45 muestra el impacto de la reducción de información en la reducción poblacional, contrastada en ambos casos de estudio. En esta figura se puede observar, que el modelo mod0_03 muestra una leve subestimación al reducir la información con la cual se realiza la evaluación poblacional. En efecto como se mostró anteriormente, el patrón retrospectivo en este caso es negativo lo que produce una estimación si bien en torno a la condición actual del recurso, está en cada resta de información parece ser de menor cuantía. Por otro lado, en el caso del modelo mod0_03b, el cual se caracteriza por presentar una condición de productividad mayor al caso anterior, permite estimar niveles más cercanos al 40% de agotamiento del BD/BDo. En relación a el patrón retrospectivo para este escenario, podemos comentar que si bien el cambio relativo de BD es de menor error que el calculado para el caso mod0_03, persiste el mismo patrón que estima menores niveles de agotamiento en cada reducción de información.

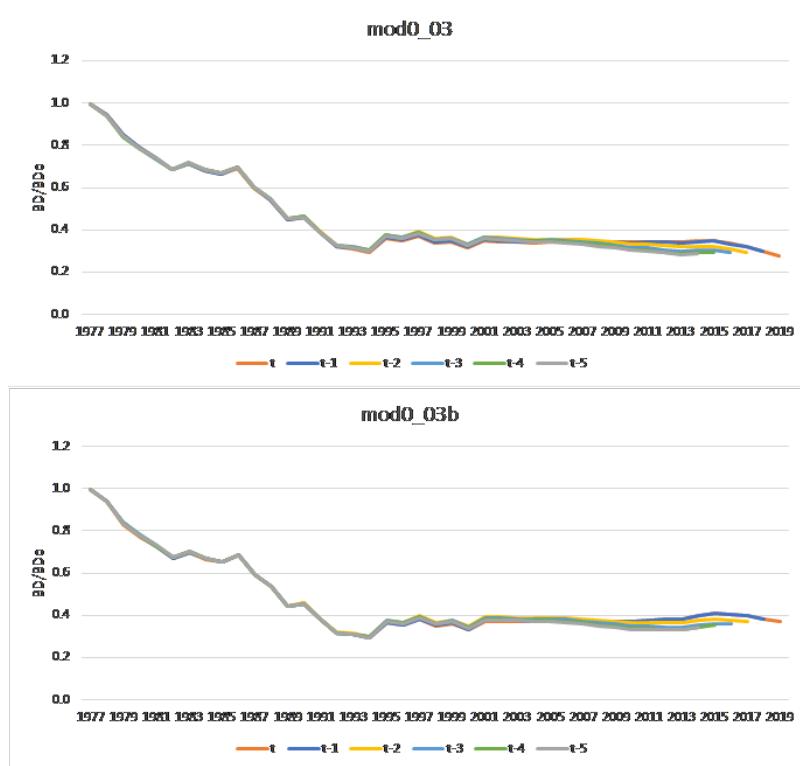


Figura 45. Análisis retrospectivo del modelo de evaluación de stock y su efecto en la reducción poblacional (BD/BDo).

4.2. Objetivo específico 2:

“Determinar las variables poblacionales de los recursos pesqueros en estudio conforme al marco legal vigente y estimar el valor de los Puntos Biológicos de Referencia, determinados por los Comités Científico y Técnicos (CCT) respectivos, bajo condiciones de incertidumbre estructural y de estimación empleando el mejor conocimiento e información disponible a la fecha de ejecución del estudio.”

4.2.1 Variables de estado y biomasa Modelo0_03a

En la Tabla 19 se presentan los valores de las variables de estado biomasa total, desovante y juvenil, además del número de reclutas y la mortalidad por pesca anual estimadas por el modelo de evaluación base. Para el año 1977 se estima una biomasa total de 1064 mil toneladas y una biomasa desovante de 444 mil toneladas. Para el año 1977 se estima una biomasa total de 1106 mil toneladas y una biomasa desovante de 454 mil toneladas. Para el año 2019 las estimaciones indican una biomasa total aproximada de 536 mil toneladas y una biomasa desovante de 141 mil lo que corresponde aproximadamente a un 31 % de reducción (Figura 46). Las tendencias en el agotamiento de la biomasa desovante (Figura 46) muestran una disminución progresiva hasta el año 2001 y alcanzando el punto objetivo en el año 1991. Se mantiene durante los siguientes 13 años en torno a un 32 % para disminuir nuevamente durante los últimos 4 años. La biomasa total va en declive desde el año 2000 alcanzando actualmente un 48 % de reducción.

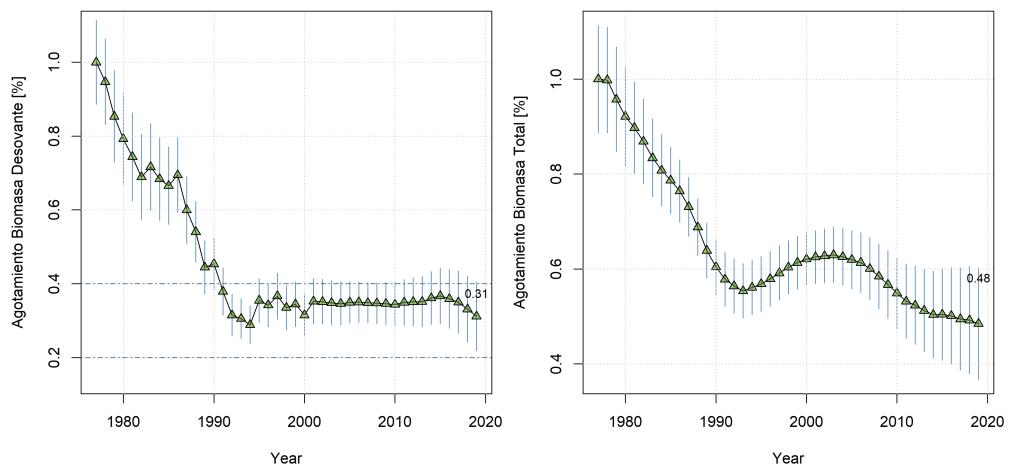


Figura 46. Reducción de la biomasa desovante en porcentaje (BD/BDO) y biomasa total en porcentaje período 1977-2019.

Tabla 19 Variables de estado biomasa total (BT), desovante (BD) y juvenil (B6) en miles de toneladas, reclutas (R) en número y mortalidad por pesca anual (FT) obtenidas del ajuste del modelo base.

Año	BT	BD	B6	R	FT
1977	1106	454	858	172	0.008
1978	1104	430	855	180	0.133
1979	1059	387	809	171	0.182
1980	1019	360	769	171	0.164
1981	993	338	745	154	0.193
1982	961	313	719	135	0.245
1983	923	325	695	130	0.221
1984	893	310	679	124	0.191
1985	870	302	672	135	0.186
1986	846	315	656	133	0.272
1987	809	272	620	137	0.340
1988	761	245	571	134	0.420
1989	707	202	514	126	0.463
1990	668	206	477	133	0.434
1991	640	172	448	136	0.445
1992	624	143	433	138	0.471
1993	613	139	420	145	0.307
1994	621	131	422	147	0.318
1995	629	161	425	145	0.272
1996	641	155	433	153	0.257
1997	654	166	442	154	0.243
1998	668	152	451	163	0.264
1999	678	156	457	159	0.296
2000	687	143	460	159	0.324
2001	692	160	464	152	0.320
2002	694	159	466	149	0.323
2003	696	158	474	140	0.365
2004	692	157	476	130	0.376
2005	685	159	479	128	0.346
2006	679	159	481	125	0.400

Año	BT	BD	B6	R	FT
2007	664	158	476	116	0.396
2008	647	158	466	115	0.389
2009	627	157	454	101	0.389
2010	608	156	443	98	0.400
2011	588	159	432	106	0.306
2012	579	159	427	106	0.361
2013	567	159	419	109	0.325
2014	557	164	407	108	0.204
2015	558	167	403	109	0.214
2016	554	163	399	113	0.284
2017	547	159	389	115	0.258
2018	544	150	384	116	0.354
2019	536	141	374	114	0.372

El reclutamiento estimado se presenta en la Figura 47, durante los primeros 20 años el reclutamiento se mantiene aproximadamente en los 150 millones de individuos para luego descender hasta el año 2010 a 98 millones de individuos. Desde el año 2010 y hasta el 2018 se observa un leve aumento de los reclutamientos hasta alcanzar el orden de 110 millones de individuos.

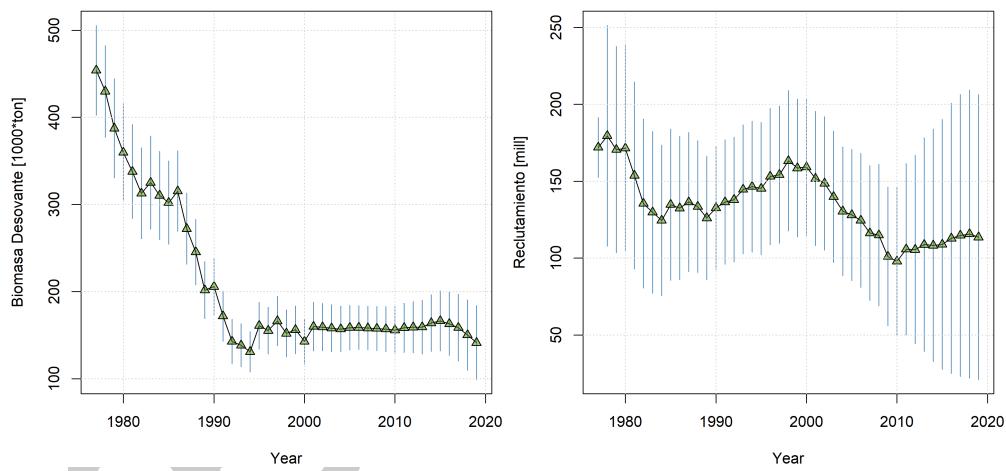


Figura 47. Reclutamiento (millones de individuos) estimado por el modelo base para el período 1977-2019.

4.2.2 Estatus y Puntos Biológicos de Referencia

La reducción de la biomasa desovante se muestra en la Figura 48, comenzando con una condición de subexplotación a inicios del período. Luego, los altos niveles de captura aplicados hasta los 90's produjeron una disminución abrupta del potencial reproductivo de la población, sobre pasando en 1991 el punto biológico objetivo. Al año 2019 la merluza del sur se encuentra en un 31 % de la condición inicial.

El estado actual de esta pesquería es de sobreexplotación y sobrepesca, con un valor de FRMS de 0.257 año-1 y de mortalidad por pesca al 2019 de 0.372 año-1.

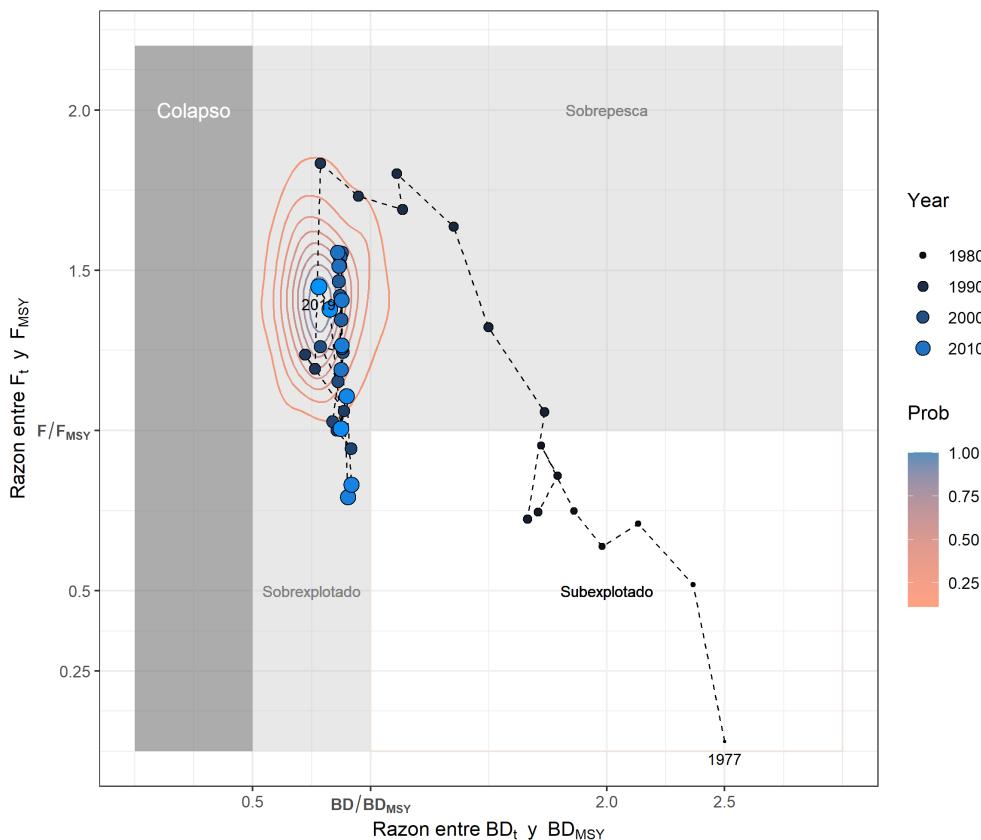


Figura 48. Diagrama de fases merluza del sur período 1977-2019, FRMS=0,257 año-1.

4.3. Objetivo específico 3:

“Analizar las distintas alternativas de Captura Biológicamente Aceptable para estos stocks acorde con las estrategias de explotación y reglas de control previamente definidas y considerando los posibles estados de la naturaleza, con sus respectivos análisis de riesgo, incluyendo análisis en horizontes de mediano y largo plazo, según requerimiento.”

4.3.1 CBA 2021-2023

La Tabla 20 muestra la CBA estimada para los años 2021, 2022 y 2023 bajo diferentes niveles de riesgo (10-50 %) y bajo diferentes escenarios de evaluación. Para el año 2020 se asumió un desembarque igual a la CBA establecida para el año en curso, ponderada por los valores de descarte y subreporte utilizados históricamente en la evaluación de stock para cada flota. Es importante tener en consideración que para el cálculo de la CBA proyectada para los años 2022 y 2023 no fue posible incluir este ponderador de descarte y subreporte.

Tabla 20 Captura Biológicamente Aceptable (CBA) para diferentes ponderadores de FRMS bajo una estrategia de explotación con mortalidad por pesca constante. Se evaluaron los riesgos entre 50 y 10

			CBA 2021	(miles de t	oneladas)		
Escenario	s.d.	10 %	20 %	30 %	36 %	40 %	50 %
mod0_03	4154	11851	13679	14997	15686	16123	17175
mod0_03a	4587	13389	15407	16862	17623	18105	19267



			CBA 2021	(miles de t)	oneladas)		
mod0_03b	4996	15473	17671	19256	20085	20610	21876
			CBA 2022	(miles de t)	oneladas)		
Escenario	s.d.	10 %	20 %	30 %	36 %	40 %	50 %
mod0_03	3818	12687	14367	15578	16211	16613	17580
mod0_03a	4173	14143	15979	17303	17995	18434	19491
mod0_03b	4551	16432	18434	19875	20633	21111	22264
			CBA 2023	(miles de t)	oneladas)		
Escenario	s.d.	10 %	20 %	30 %	36 %	40 %	50 %
mod0_03	3577	13433	15007	16141	16735	17111	18017
mod0_03a	3868	14788	16490	17717	18359	18765	19745
mod0_03b	4232	17276	19138	20480	21182	21627	22699

4.4. Objetivo específico 4:

"Desarrollar los lineamientos técnicos e implementar la aproximación de Evaluación de Estrategias de Manejo (EEM)."

4.4.1 Definiendo reglas de control de captura

Como parte de los lineamientos técnicos asociados con la implementación de los procesos de Evaluación de Estrategias de Manejo (EEM) en merluza del sur, se definió un conjunto de PM que incorporan diferentes opciones de Reglas de Control de Capturas (RCC), plausibles umbrales para los PBR y varios niveles de productividad de la población.

El acercamiento implementado en este objetivo está orientado a comparar diferentes PM bajo la premisa que la información que alimenta el MEP en cada año de iteración proviene de información perfecta deriva de un modelo operativo (MO). El proceso de comparación de PMs es un análisis multidimensional debido a las múltiples opciones que derivan de la combinación de RCC, PBR y niveles de productividad. Por ejemplo, para este ejercicio se definieron cuatro niveles de PBR ($BDRMS=\{0.4, 0.3\}$, $BDLIM=\{0.2\}$, $FRMS=\{45 \% bdpr\}$), dos estrategias de explotación alternativas basadas en capturas y tasas de explotación constantes, tres niveles umbrales de captura y mortalidad por pesca la cuales son anexadas a los PBR, y finalmente, cuatro niveles de productividad (reclutamientos fijos alto y bajos, reclutamientos afectos a desvíos aleatorios bajo umbrales altos y bajos). La combinación de todos estos elementos en diferentes PMs envuelve un extenso proceso de simulación que es altamente demandante de cálculos computacionales.

La Figura 49 muestra las proyecciones de doce PMs (cada panel) que combinan parte de los elementos indicados en el párrafo anterior. En una primera inspección de resultados se observan diferencias importantes derivadas de los supuestos de productividad (columnas), y en una segunda medida debido a la utilización de los PBRs en la configuración de cuatro RCC (filas). Si bien, las diferencias no son evidentes en términos de biomasa, la Figura 50 muestra que los niveles de captura en cada PM son altamente sensibles a la RCC utilizada (filas), mientras que los niveles de incertidumbre parecen responder a los supuestos de productividad (columnas).

De acuerdo a los PM evaluados, se observa que solo las proyecciones basadas en reclutamientos afectos a desvíos aleatorios permiten en algunos años alcanzar el objetivo de manejo definido por el PBR DBRMS (Figura 51). En efecto, ninguno de los escenarios con reclutamientos fijos (ya sean altos o bajos) permite una recuperación de la biomasa desovante mayor a un 40 de la biomasa virginal.

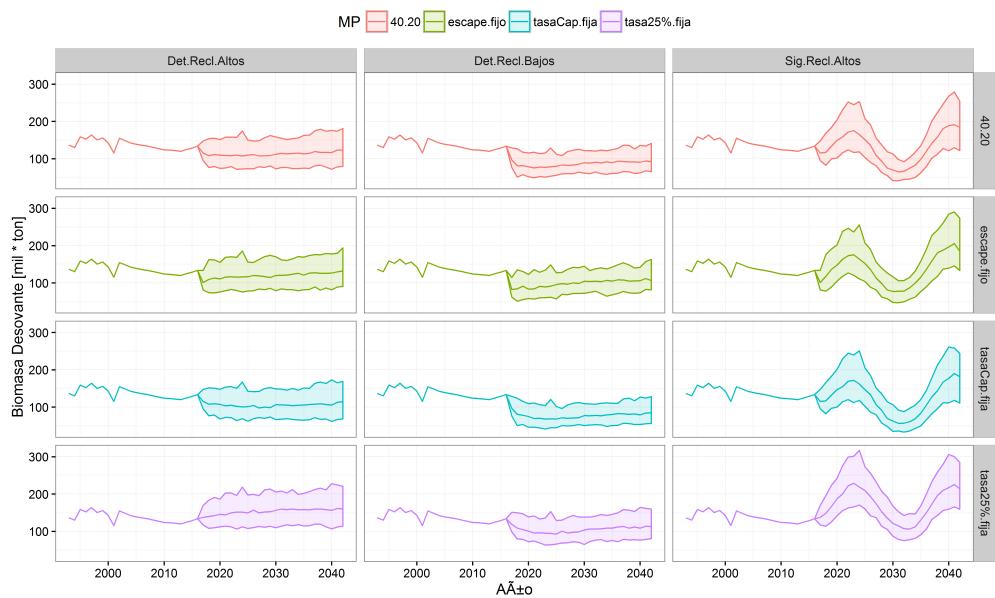


Figura 49. Proyecciones de la biomasa desovante bajo doce procedimientos de manejo que combinan diferentes niveles de productividad y opciones de PBR.

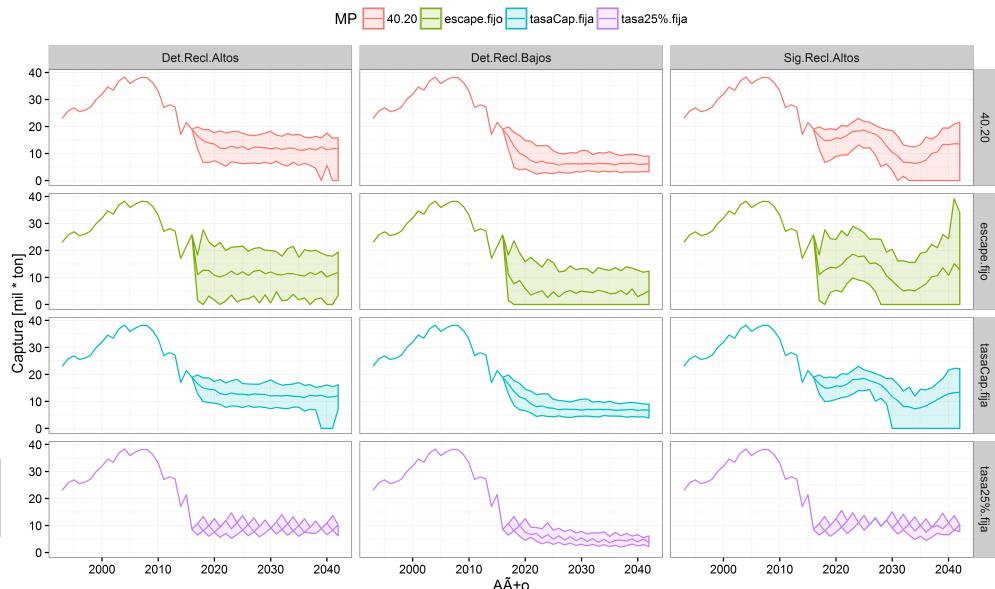


Figura 50. Proyecciones de la captura bajo doce procedimientos de manejo que combinan diferentes niveles de productividad y opciones de PBR.

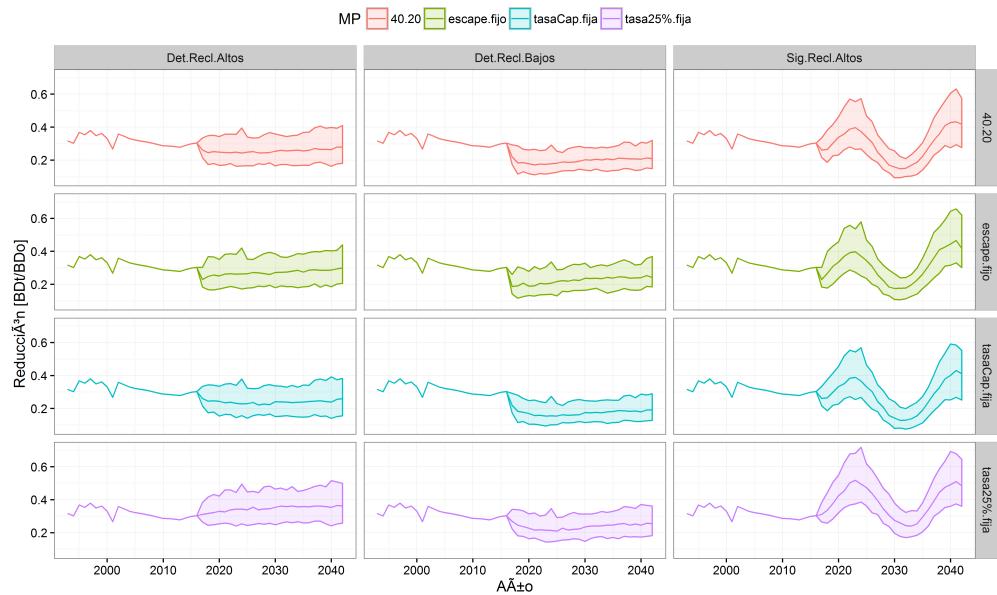


Figura 51. Proyecciones del nivel de agotamiento bajo doce procedimientos de manejo que combinan diferentes niveles de productividad y opciones de PBR.

La Figura 52 muestra un resumen de las principales medidas de desempeño como la razón entre la biomasa proyectada y la biomasa virginal, la captura media en la proyección, la variación de la captura anual bajo una ventana móvil de 5 años, y un conjunto de riesgos recurrentemente utilizado para definir umbrales de captura.

Estas medidas de desempeño tienen como objetivo resguardar diferentes intereses. Por ejemplo, la probabilidad que la biomasa proyectada sea menor que la biomasa objetivo definida por el PBR BDRMS, representa una componente conservacionista que no considera ningún elemento operacional de las flotas de pesca. Mientras que la variabilidad de la captura en una base de 5 años, busca resguardar la estabilidad de pesquería en términos de evitar cambios inter-anuales en la renta de la flota en un corto plazo.



Regla de Control de Captura (RCC) Series de Tiempo Table EEM Dinamico

Reducción Bt/Bo

MP	Det.Recl.Altos	Sig.Recl.Bajos	(all)
40.20	0.29	0.26	0.27
captura.fija	0.29	0.25	0.27

Captura Media

MP	Det.Recl.Altos	Sig.Recl.Bajos	(all)
40.20	21.99	20.24	21.12
captura.fija	22.04	20.66	21.35

Variación Promedio de la Captura Anual (5-años)

MP	Det.Recl.Altos	Sig.Recl.Bajos	(all)
40.20	0.18	0.20	0.19
captura.fija	0.10	0.18	0.14

Probabilidad Cierre Pesquería

MP	Det.Recl.Altos	Sig.Recl.Bajos	(all)
40.20	0.00	0.00	0.00
captura.fija	0.00	0.08	0.04

Probabilidad de SSB < 0.20 (Objective P < 0.05)

MP	Det.Recl.Altos	Sig.Recl.Bajos	(all)
40.20	0.00	0.09	0.05
captura.fija	0.00	0.16	0.08

Probabilidad de SSB < 0.40 (Objective P < 0.25)

MP	Det.Recl.Altos	Sig.Recl.Bajos	(all)
40.20	0.05	0.23	0.14
captura.fija	0.05	0.24	0.15

Figura 52. Ejemplo de medidas de desempeño para un conjunto de PMs que incluyen opciones de reclutamiento y dos reglas de control de captura.

La combinación entre las diferentes medidas de desempeño es la mejor opción para comparar entre PM. Por lo tanto, el siguiente paso en los análisis es realizar una evaluación cruzada de estas medidas de desempeño con objeto de identificar las mejores combinaciones de PM que permitan balancear objetivos conservacionistas, económicos y posiblemente sociales.

4.4.2 Ordenando y visualizando resultados

Debido a los múltiples resultados y opciones derivados de la evaluación de procedimiento de manejo, uno de los desafíos de este proceso es la adecuada comunicación a los usuarios de las diferentes opciones

que garanticen el balance de los intereses involucrados (económicos, conservación, social, etc). Como parte de la aproximación a la Evaluación de Estrategias de Manejo (EEM), se desarrolló una interfase de comunicación para exponer los resultados de la sección anterior.

La Figura 53 muestra el tablero inicial de esta interfase que permite opciones para visualizar resultados en términos tabulares y gráficos. Por ejemplo, una opción de esta interfase es la selección de la RCC basada en PBRs (Figura 54), donde por medio de controles es posible definir diferentes opciones de RCC a aplicar durante las proyecciones de la población de merluza del sur.



Figura 53. Tablero inicial de la interfase gráfica de resultados del proceso de evaluación de estrategias de explotación.



Figura 54. Opción de la interfase gráfica para definir reglas de control de captura.

Junto con resultados tabulares como los mostrados en la Figura 52 y el despliegue de series de tiempo como las mostradas en las Figuras 49-51, esta interfase posibilita explorar gráficos dinámicos con opciones específicas de explotación o la comparación de diferentes PM (Figura 55), facilitando de esta forma la visualización de evaluaciones cruzadas de medidas de desempeño.

Los resultados expuestos en este objetivo conforman un primer acercamiento a la EEM y buscan delimitar los lineamientos necesarios para su implementación en las pesquerías nacionales. En este marco, estos resultados deben ser considerados únicamente para propósitos de establecer este lineamiento y no con fines de asesoría para la definición de estatus en merluza del sur. En efecto, varios de los componentes del PM necesitan ser revisados, consensuados y aprobados antes que una EEM sea calificada válida para el manejo de las pesquerías nacionales.

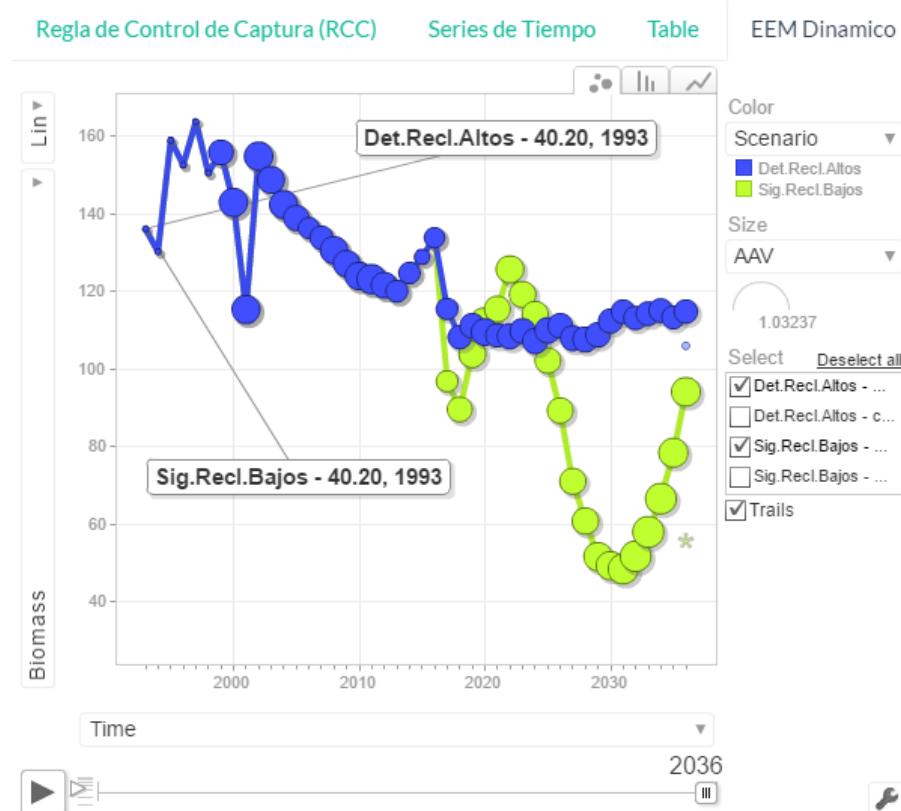


Figura 55. Grafica dinámica explicativa de la evolución temporal de los PMs.

4.5. Objetivo específico 5:

"Proponer el plan de trabajo para avanzar durante el año 2018 en el cumplimiento del Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría Científica (PMCCAC), informando los logros esperados y su vinculación con las siguientes etapas del Programa e informar del cumplimiento de cada una de las recomendaciones realizadas en las revisiones por pares, cuando corresponda y tareas complementarias sugeridas por los CCT y/o evaluadores nacionales."

4.5.1 Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría Científica (PMCCAC)

Como parte del proceso de mejora continua y debido al establecimiento de una Captura Biológicamente Aceptable constante para los años 2021-2023, se presenta un plan de trabajo de tres años. El plan de trabajo contiene recomendaciones derivadas desde la revisión por pares internacionales años 2011 y 2017, revisión por pares nacionales anuales, propia evaluación de stock y las sugerencias del propio CCT-RDZSA, en la Tabla 21 se resumen las actividades a desarrollar en los próximos tres años divididas en cuatro grupos



principales: 1) Mejoras en la evaluación de stock; 2) puntos pendientes en la evaluación por pares 2011; 3) puntos pendientes en la evaluación por pares 2017 y 4) desafíos evaluación de estrategias de manejo.

Tabla 21 Plan de trabajo período 2021-2023, programa mejoramiento continuo de la calidad de la asesoría científica merluza del sur.

Grupo	Actividad
Evaluación de stock	Sensibilidad del modelo a cambios importantes en remociones
Periodicidad de cambios en la madurez	
Ponderación de datos	
Representación de datos	Correcciones de capturas
Revisión por pares 2017	
Interacción entre flotas (traspasos)	
Incorporación de CPUE estandarizada de la flota artesanal	
Incorporar factor de movilidad de flotas en la CPUE	
Patrones espaciales diferenciales para hembras y machos	
Revisión por pares 2011	Modelo que contemple dimorfismo sexual
Cambios en la disponibilidad y comportamiento de las flotas	
Error en la determinación de edad	
Puntos biológicos de referencia con consideraciones empíricas	
Evaluación de estrategias de manejo	Definir el uso de evaluación de las estrategias de manejo, un balance entre modelamiento y selección de estrategias
Marco de referencia y su implementación	



5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La evaluación de stock de merluza del sur presenta varios conflictos en términos de la consistencia de los datos, la calidad de algunas de las piezas de información, algunos vacíos en términos de los procesos biológicos y su representación en el modelo cuantitativo.

En este marco, es que los actuales PBR basados en el RMS son altamente consistentes con el escenario histórico, en el sentido en que las potenciales CBA no recomiendan capturas mayores a las 20 mil toneladas en ninguno de los ponderadores de FRMS (ver Tabla 20). El estado de explotación de merluza del sur es clasificado en sobreexplotación y sobrepesca, pues los niveles de biomasa desovante se ubican por debajo del PBR objetivo definido como el nivel de biomasa desovante al rendimiento máximo sostenible (BDRMS), y paralelamente los niveles de mortalidad por pesca se ubican por sobre el nivel máximo de mortalidad por pesca objetivo asociada con el rendimiento máximo sostenible (FRMS).

Respecto de incrementar la exactitud de la asesoría científica con fines de manejo (i.e.recomendación de CBA), como también reducir la incertidumbre de las variables de estado, aún resta mejorar algunos elementos del modelo de evaluación, por ejemplo, la incorporación de errores derivados de la lectura de edades o la implementación de un modelo desagregado por sexo que permita evaluar la dinámica productiva asociada con la proporción sexual. Sin embargo, es necesario reconocer que no existe una correlación entre aumentar la complejidad del modelo de evaluación y garantizar una mejor asesoría científica, o reducir la incertidumbre. Pues el modelo de evaluación es una representación de la realidad.

Puesto que el modelo de evaluación no necesariamente es el elemento clave en la mejora de la asesoría científica, el estado del arte en las principales pesquerías mundiales muestra que la Evaluación de Estrategias de Manejo es una herramienta candidata para sortear este problema. En este informe, se ha avanzado someramente en este tópico (ver Sección 4.4) con objeto de definir los lineamientos claves para la implementación de la EEM. Esta herramienta, también conocida como Evaluación de Procedimiento de Manejo, es una técnica basada en simulación con alta dependencia computacional, analítica y estadística. Junto con la complejidad técnica, también engloba aristas de gestión pesquera en términos de balancear en las componentes que estructuran el EEM, los intereses económicos, conservacionistas y sociales de las partes involucradas en la pesquería. Por tanto, más que la implementación analítica de marco de trabajo de la EEM, subsiste un enrome camino en términos de lograr acuerdo entre las partes involucrada de una pesquería, para definir las estrategias de explotación candidatas a evaluar por este método.

Los resultados de este en este informe respecto de la EEM, en primera instancia dejan ver que potencialmente existen capacidades para abordar este tema desde un prisma analítico (ver Figuras 49-51). Segundo, es posible identificar estrategias de explotación candidatas y viables que pueden ser expuestas a las partes interesadas para su evaluación. Tercero, a pesar de la enorme cantidad de resultados derivados de la EEM, es posible aunar un esquema de interfase de resultados que de una manera transparente ejemplifique los diferentes escenarios bajo un procedimiento de manejo (ver Figuras 52-53).

En cuanto al escenario actual de modelación Mod0_03a, el cambio de utilizar una matriz de pesos medios constantes entre flotas y años hacia la utilización de pesos medios variables, provocó un aumento de la biomasa desovante debido a que los peces son de un tamaño mayor a los empleados en escenarios previos. El efecto de la inclusión de los pesos medios es también visible en los ajustes de los índices de CPUE de las flotas arrastreras y palangreras, en donde los índices recogen las variaciones de los pesos en las tendencias (Figura 41). Si bien el escenario 3a logra incluir los pesos corporales, es decir, el incremento en peso de la población, el escenario 3b incluye los cambios en la productividad, es decir, en el número de individuos que recluta a la población (tasa de reclutas). Por lo que es necesario evaluar escenarios que asuman una mayor productividad modificando el valor del parámetro de escarpamiento h.

Por último, el establecimiento de una CBA para los próximos tres años nos permite incorporar cambios y mejoras en el modelo de evaluación de stock que ya habían sido destacadas en evaluaciones por pares anteriores, pero que no habían podido ser desarrolladas a cabalidad por la dificultad que conlleva realizar cambios estructurales al modelo. Cambios que han cobrado mayor relevancia en los últimos años como lo son las interacciones de cuota entre las diferentes flotas y los cambios en la disponibilidad y comportamiento de las flotas a lo largo de la historia.



Preliminar



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguayo, M., Z. Young, R. Bustos, V. Ojeda, T. Peñailillo, R. Gili, C. Vera, H. Robotham. 1986. Diagnóstico de las principales pesquerías nacionales demersales (peces) zona sur austral 1985. Estado de situación del recurso. Corporación de Fomento de la Producción (AP 86/55). Instituto de Fomento Pesquero. Chile, 143 p.
- Aguayo, M., Z. Young, R. Bustos, T. Peñailillo, V. Ojeda, C. Vera, H. Hidalgo y I Céspedes. 1987. Diagnóstico de las principales pesquerías nacionales demersales (peces) zona sur austral 1986. Estado de situación del recurso. Corporación de Fomento de la Producción (AP 87/3). Instituto de Fomento Pesquero. Chile, 209 p.
- Aguayo, M. 1995. Biology and fisheries of chilean hakes, fisheries, ecology and markets. J. Alheit and T. Pitcher (Ed.). Chapman & may, London. 305-337.
- Aguayo, M., I. Payá, R. Céspedes, H. Miranda, V. Catasti, S. Lillo, P. Gálvez, L. Adasme, F. Balbontín, R. Bravo. 2001. Dinámica reproductiva de merluza del sur y congrio dorado. FIP 99-15. 114 pp+ tablas y figuras.
- Avilés, S., y M. Aguayo. 1979. Merluza española. En: bases para un desarrollo pesquero. Peces. Estado actual de las principales pesquerías nacionales. CORFO. IFOP (AP 79-18), 29, p.
- Balbontín, F. y R. Bravo. 1993. Fecundidad, talla de la primera madurez sexual y datos biométricos en la merluza del sur (*Merluccius australis*). Rev.Mar.28:111-132.
- Chong, J. 1991. Ciclo reproductivo y fecundidad de la merluza del sur, *Merluccius australis* en la pesquería sur austral. Estudio complementario “captura total permisible del recurso merluza del sur en aguas interiores, 1991”. Informe Técnico IFOP-SUBPESCA:
- Chong, J. 1993. Ciclo de madurez sexual del congrio dorado (*Genypterus blacodes*) en la zona de la pesquería sur-austral. Estudio complementario a “Captura total permisible del recurso merluza del sur en aguas interiores, 1991”. IFOP-SUBPESCA (Circulación restringida).
- Chong, J. y R. Galleguillos. 1993. Determinación de unidades de stock de merluza del sur. Estudio poblacional de merluza de cola. Estudio de reproducción de congrio dorado y estudio de edad de la merluza de cola. Estudio encargado por IFOP a la Sociedad de Estudios Hidrobiológicos Ltda. (Informe interno).
- Daza, E., R. Céspedes, R. Galleguillos, L. Gonzales, C. Vargas, H. Miranda, J. Saavedra. 2005. Diagnóstico merluza del sur y congrio dorado, Aguas Interiores, XII Región. Proyecto FONDEMA Magallanes y Antártica Chilena. Código BIP: 20196777-0. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) – Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA).
- Legault, C.M. 2009. Report of the Retrospective Working Group, January 14–16, 2008, Woods Hole, Mass. NEFSC Reference Doc. 09-01.
- Lillo, S., V. Ojeda, R. Céspedes, F. Balbontín, J. Donoso y J. Osses. 1996. Evaluación directa del stock desovante de merluza del sur en la zona sur austral. Informe final. FIP 96-38.
- McCullagh, P. y J.A. Nelder. 1989. Generalized Linear Models, second edition. ISBN. 0 412 31760 5. Chapman and Hall. London. 526 pp.
- Mohn R. 1999. The retrospective problem in sequential population analysis: an investigation using cod fishery and simulated data. ICES J. Mar.Sci. 56: 473-488.
- Payá I, C. Canales, D. Bucarey, M. Canales, F. Contreras, F. Espíndola, E. Leal, C. Montenegro, J. Quiroz, R. Tascheri. 2014. Revisión de los puntos biológicos de referencia (Rendimiento Máximo Sostenible) en las pesquerías nacionales." Primer Taller internacional. Informe de Avance 1. Subsecretaría de Economía - IFOP. 32 pp.+ 4 Anexos.
- Payá I. 2015. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2015. Merluza del Sur. Informe de Estatus y Cuota. Subsecretaría de Economía y Empresas de menor tamaño - IFOP. 127 pp + anexos.



Pelletier D, Ferraris J. 2000. A multivariate approach for defining fishing tactics from commercial catch and effort data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57: 51–65.

Punt AE, Walker TI, Taylor BL, Pribac F. 2000. Standardization of catch and effort data in a spatially-structured shark fishery. *Fish. Res.* 45: 129–145.

Quiroz J.C. R, Wiff. 2012. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, Año 2012. Merluza del Sur. Subsecretaría de Pesca - IFOP. 86 pp + anexos.

Quiroz J.C. R, Wiff y L, Chong. 2013. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, Año 2013. Merluza del Sur. Subsecretaría de Pesca - IFOP. 85 pp + anexos.

Quiroz J.C. 2016. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, Año 2016. Merluza del Sur. Subsecretaría de Pesca - IFOP. 74 pp + anexos.

Rubilar, P., R. Céspedes, V. Ojeda, L. Adasme, A. Cuevas, F. Cerna y G. Ojeda. 2000. Análisis de la estructura y condición biológica de los recursos merluza del sur y congrio dorado en aguas interiores de la X, XI y XII regiones. Informe final. FIP 98-02.

San Martín, M., V. Escobar, C. Román, J. C. Saavedra-Nievas, Z. Young, J. Azócar, C. Bravo, J. López, C. Bernal. 2016. Convenio de Desempeño 2015 Programa de Investigación del Descarte y Captura de Pesca Incidental, año 2015. Instituto de Fomento Pesquero - Subsecretaría de Economía y EMT. 310 p + Anexos.