



**SEGUNDO INFORME**

Convenio de Desempeño 2021

Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentable  
de Anchoveta y Sardina española,  
Región de Atacama a la Región de Coquimbo, año 2022.

**SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Mayo 2022**



## **SEGUNDO INFORME**

Convenio de Desempeño 2021

Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentable  
de Anchoqueta y Sardina española,  
Región de Atacama a la Región de Coquimbo, año 2022.

**SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Mayo 2022**

### **REQUIRENTE**

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

Subsecretaria de Economía y Empresas de Menor Tamaño  
**Javiera Constanza Petersen Muga**

### **EJECUTOR**

**INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP**

Director Ejecutivo  
**Luis Parot Donoso**

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

### **JEFE DE PROYECTO**

Juan Carlos Quiroz Espinosa

### **AUTORES**

Doris Bucarey Sepúlveda  
María José Zúñiga Basualto  
Fernando Espíndola Rebolledo  
Juan Carlos Quiroz Espinosa



# Índice

<b>RESUMEN EJECUTIVO</b>	<b>2</b>
<b>1. OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
1.1. Objetivo general	3
1.2. Objetivos específicos	3
<b>2. ANTECEDENTES</b>	<b>4</b>
2.1. Distribución espacial del recurso y localización del área de estudio	4
2.2. Unidades de Stock	5
2.3. Áreas de desove y período reproductivo	5
2.4. Ingreso de juveniles a la pesquería	6
2.5. Pesquería	6
2.6. Evaluación de stock	9
2.7. Determinación de CBA	11
<b>3. METODOLOGÍA</b>	<b>13</b>
3.1. Objetivo específico 1:	13
3.1.1. Modelo Conceptual	13
3.1.2. Datos de entrada al modelo de evaluación de stock	15
3.1.3. Evaluación de stock	20
3.2. Objetivo específico 2:	28
3.2.1. Estatus	28
3.3. Objetivo específico 3:	30
3.3.1. Captura biológicamente aceptable (CBA)	30
3.4. Objetivo específico 4:	34
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>35</b>
4.1. Objetivo específico 1:	35
4.1.1. Información y datos de entrada al modelo de evaluación de stock	35
4.1.2. Diagnóstico del modelo de evaluación de stock	40
4.2. Objetivo específico 2:	48
4.2.1. Indicadores del stock	48
4.2.2. Estado de explotación	51
4.3. Objetivo específico 3:	56
4.3.1. Primer proceso de asesoría: CBA inicial 2022 (septiembre 2021)	56
4.3.2. Segundo proceso de asesoría: CBA final 2022 (abril 2022)	57
4.4. Objetivo específico 4:	59
4.4.1. Esquema de trabajo y plan de actividades 2018-2022	59
4.4.2. Avances en reducción de brechas	59
4.4.3. Taller de Datos y Modelo 2021 (julio 2021)	64
<b>5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>73</b>
<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>76</b>
<b>7. ANEXOS</b>	
■ <b>ANEXO I</b> : Análisis de las tasas de captura y esfuerzo de pesca	
■ <b>ANEXO II</b> : Presentación del Modelo Edad Estructurado al Comité de Manejo (julio 2021)	
■ <b>ANEXO II</b> : PMCCAC Avances	



## RESUMEN EJECUTIVO

El siguiente documento contiene la actualización del modelo de evaluación de stock y determinación del estatus de la anchoveta (*Engraulis ringens*, Jenyns 1842), que se distribuye frente a la costa de las regiones de Atacama y Coquimbo y que conforma la Unidad de Pesquería (UP) centro-norte. A partir de los resultados se revisa el nivel de captura biológicamente sustentable (CBA) para el año 2022.

La información utilizada es completa para el año 2021, es decir: i) serie de desembarques oficiales (1985-2021), ii) composiciones de tallas de la captura comercial (1995-2021), iii) tasas de captura estandarizada de la flota industrial (1985-2010) y artesanal (1998-2021), iv) serie de biomasa y composición de tallas provenientes de los cruceros acústicos (2006-2021) y v) serie de biomasa desovante estimada por el crucero MPDH (2015-2021). Para el año 2022 se cuenta con las estimaciones de biomasa y composiciones de tallas provenientes del crucero acústico RECLAN 2022.

El enfoque de modelación aquí utilizado, corresponde a un modelo estructurado a la edad con información en tallas y en escala anual, desarrollado durante el año 2020, el cual fue presentado al CCT-PP, pasando un exhaustivo proceso de revisión hasta su adopción en agosto 2020 (Acta N°4/2020). Además, el nuevo enfoque de modelación fue presentado al Comité de Manejo de Anchoveta y Sardina española Regiones de Atacama y Coquimbo en Sesión de Julio 2021 (Acta Sesión N°4, 2021).

Los resultados de modelo muestran que las trayectorias de las biomásas disminuyeron el período 2013-2015, debido al ingreso de clases anuales débiles y niveles de remoción levemente por sobre el objetivo (2014 y 2016). La recuperación de las clases anuales es progresiva entre los años 2016 y 2019, permitiendo un aumento de los niveles poblacionales. Sin embargo, los niveles de remoción estuvieron por sobre el objetivo de manejo lo que situó al recurso en condición de sobrepesca. En esta evaluación se consolida el estatus 2021, con una población desovante en torno al objetivo de manejo ( $BD_{2020}/BD_{RMS} = 1,02$ ) y con un nivel de remoción igual a  $F_{2021}/F_{RMS} = 1,21$ , situando al recurso en sobrepesca. La condición proyectada para el año 2022, es saludable en términos de biomasa ( $BD_{2022}/BD_{RMS} = 1,19$ ), con una baja probabilidad de sobre-explotación (6 %). En tanto, el nivel de  $F$  respecto al objetivo de manejo se estimó en  $F_{2022}/F_{RMS} = 1,29$  con una alta probabilidad de mantenerse en sobrepesca  $p(F_{2022} > F_{RMS}) = 0,77$ . No obstante, este valor representa el supuesto de remoción, por lo tanto, es de carácter preliminar.

La Captura Biológicamente Aceptable (CBA) final para el año 2022, bajo el criterio de explotación ( $F_{RMS}$ ) y percentiles de riesgo entre el 10 % y 50 % de sobrepasar dicho criterio, fue estimada entre 42 mil y 51 mil toneladas. Descontando el porcentaje de descarte supuesto para el año 2022 de un 2,01 %, los rangos de captura se encuentran entre las 41 mil t y 50 mil t. Si se considera el mismo percentil de riesgo (30 %), usado en la evaluación de septiembre 2021, la CBA 2022 actualizada es un 10 % menor que la CBA inicial.

En el caso de la sardina española, la información disponible a la fecha no permite realizar un seguimiento y construcción de indicadores biológicos suficientes para evaluar la condición del stock y establecer un diagnóstico del recurso.



## 1. OBJETIVOS

### 1.1. Objetivo general

Proveer la asesoría científica necesaria para la determinación del estado de explotación y la Captura Biológicamente Aceptable (CBA) que deberá llevar o mantener al Rendimiento Máximo Sostenible (RMS), la pesquería de anchoveta y sardina española de la Región de Atacama a la Región de Coquimbo, bajo condiciones de riesgo e incertidumbre, cuantificando las distintas fuentes e integrando la mejor información científica-técnica disponible.

### 1.2. Objetivos específicos

1. Implementar procedimientos de evaluación de stock basados en protocolos científicos para la determinación del estatus de anchoveta y sardina española, con arreglo al nivel de información, conocimiento e incertidumbre correspondiente, conforme a los estándares actuales en ciencia pesquera.
2. Establecer el estatus actualizado de anchoveta y sardina española, sobre la base de sus principales indicadores estandarizados de estado y flujo, propagando para estos efectos todas las fuentes de incertidumbre subyacente a la pesquería.
3. Determinar niveles de Captura Biológicamente Aceptable (CBA) que lleven y/o mantenga la pesquería en torno al Rendimiento Máximo Sostenible (RMS), a partir de un análisis de riesgo en condiciones de incertidumbre de no alcanzar los objetivos de conservación y sostenibilidad conforme lo establece la LGPA y contenidos en el Plan de Manejo y/o en el Programa de Recuperación respectivo, según corresponda.
4. Informar el avance del Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad en la Asesoría Científica (PMCCAC) realizado durante el presente estudio, respecto al cumplimiento de recomendaciones formuladas en procesos de RPEI y priorizadas por el CCT, cuando corresponda.

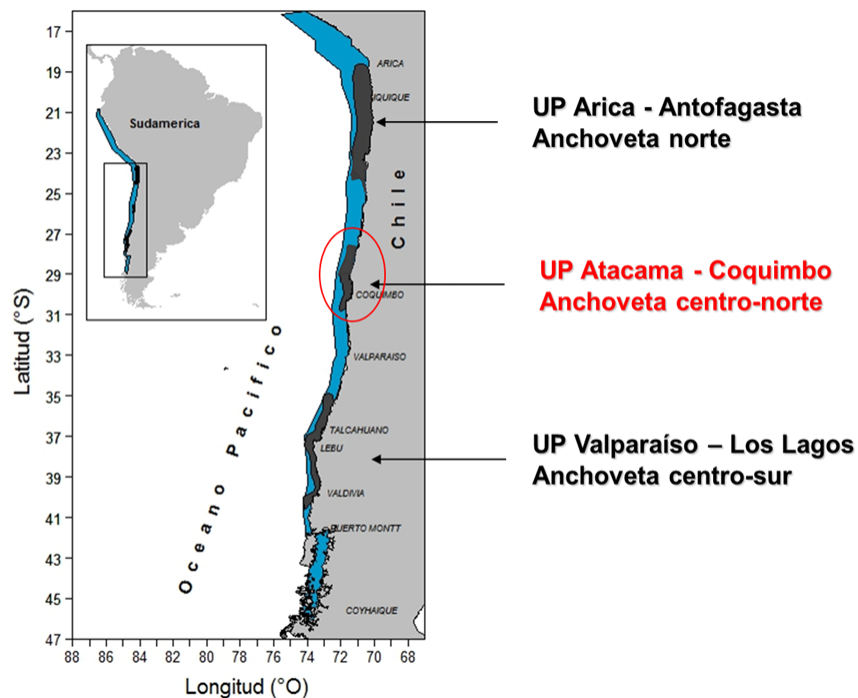
## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Distribución espacial del recurso y localización del área de estudio

La anchoveta (*Engraulis ringens* Jenyns, 1842), se distribuye en un amplio rango geográfico (4º a 42º L.S.) a lo largo de la corriente de Humboldt en la costa este del Pacífico sur. En el área se han descrito tres poblaciones de esta especie, norte y centro del Perú, sur del Perú - norte de Chile y centro-sur de Chile (Alheit y Ñiquen, 2004).

El área costera en Chile y en particular el norte del país es dominado por el Sistema de la Corriente de Humboldt y se encuentra bajo la influencia de la dinámica ecuatorial y procesos oceanográficos como El Niño - La Niña, oscilación decadal de las condiciones oceanográficas y ondas atrapadas a la costa. Se destacan también procesos de surgencia, turbulencia generada por el viento y de una capa mínima de oxígeno bajo los 50 m de profundidad (Blanco *et al.*, 2002; Hormazábal *et al.*, 2001). Estos procesos oceanográficos y meteorológicos influyen en la distribución y abundancia de la anchoveta, toda vez que impactan sobre el hábitat haciéndolo más o menos idóneo en la modulación del ciclo de vida de la anchoveta, por ejemplo, en el proceso y éxito reproductivo, en la historia temprana y en el reclutamiento a la pesquería (Castro *et al.*, 2000 y 2009; Hernández y Castro, 2000; Chávez *et al.*, 2003, Llanos-Rivera y Castro, 2006; Silva *et al.*, 2018).

A lo largo de la costa de Chile, se distinguen tres zonas principales de pesca de la anchoveta, las cuales han sido definidas como unidades de pesquería declaradas en estado y régimen de plena explotación. La primera zona se ubica en el norte de Chile, entre las regiones de Arica y Parinacota hasta Antofagasta, correspondiente al stock compartido con el sur de Perú. La segunda corresponde a la unidad de pesquería de las regiones de Atacama y Coquimbo (D.S. N°493, D.O 13/08/1996), aquí descrita como la anchoveta de la zona centro-norte (ZCN) y objetivo del presente estudio. La tercera unidad de pesquería corresponde a la anchoveta de la zona centro-sur, que habita en las costas frente a las regiones de Valparaíso y Los Lagos (D.S. N°409, D.O. 21/08/2000, **Figura 1**).



**Figura 1.** Distribución espacial de la anchoveta en Chile y principales unidades de pesquería (UP).



## 2.2. Unidades de Stock

Estudios desarrollados en la zona centro-norte aportan antecedentes que apoyan la independencia de la unidad de pesquería centro-norte como una unidad poblacional que se extendería desde el sur de la Región de Atacama hasta los 32°10'S. En la década de los ochenta, cruceros de investigación llevados a cabo desde Arica (18°30'S) a Chiloé (42°00'S), desde la costa y hasta las 125 mn al oeste, distinguen focos discretos de desove de anchoveta en las bahías de Caldera y Coquimbo (Rojas *et al.*, 1983).

A partir del método de producción de huevos aplicado en los años 1997, 2004 y 2005 entre Arica y Chañaral (18°S - 26°S), los autores Braun *et al.* (2005), evidenciaron un proceso de desove que se extiende al sur de los 26°S. Los autores señalan que la zona centro-norte constituye un hábitat favorable cuando por factores ambientales expande su área de desove al sur de los 26°S.

En las bahías de Caldera y Coquimbo, se presentan patrones de circulación y focos de surgencia (Valle-Levinson y Moraga, 2006) que facilitarían la retención y desarrollo de la anchoveta en la zona, en conjunto con una pesquería de pequeña escala. A través de un análisis de zooplancton de 6 cruceros (2008-2014), los autores Mujica *et al.* (2016), distinguen concentraciones costeras de huevos en caletas ubicadas en los 26°S y 29°S, correspondientes a las regiones de Atacama y Coquimbo, respectivamente.

El proyecto FIPA N° 2015-22, "Determinación de unidades poblacionales de anchoveta (*Engraulis ringens*) en Chile" a cargo de la Universidad de Los Lagos (Niklitschek *et al.*, 2018), tuvo como principal objetivo determinar si las tres unidades de manejo de anchoveta en Chile, corresponden a unidades poblacionales independientes. Para ello, se realizaron análisis multi-metodológicos tales como, estudios de microquímica, microincrementos y morfometría de otolitos, genética (marcadores moleculares) y fauna parasitaria. Los autores indican que la mayoría de las técnicas utilizadas dan soporte al modelo que considera la existencia de tres unidades demográficas al reconocer segregación de áreas de crianza, segregación de áreas de alimentación y conectividad limitada entre las distintas unidades.

Los autores Canales y Leal (2009), estimaron parámetros biológicos para la anchoveta distribuida en la zona centro-norte de Chile relativos al crecimiento, mortalidad natural y madurez sexual. Los resultados indican una tasa de crecimiento menor que el reportado para la anchoveta de la zona norte (Arica - Parinacota y Antofagasta, Cerna y Plaza, 2016) y mayor que la anchoveta centro-sur (Cubillos *et al.*, 2001). La misma relación se observa en términos de la mortalidad natural, en tanto existe una asociación entre ésta y el parámetro de crecimiento  $k$ . A su vez, la talla media de madurez sexual también se diferencia de la ojiva estimada para la anchoveta centro-sur (Cubillos *et al.*, 1999).

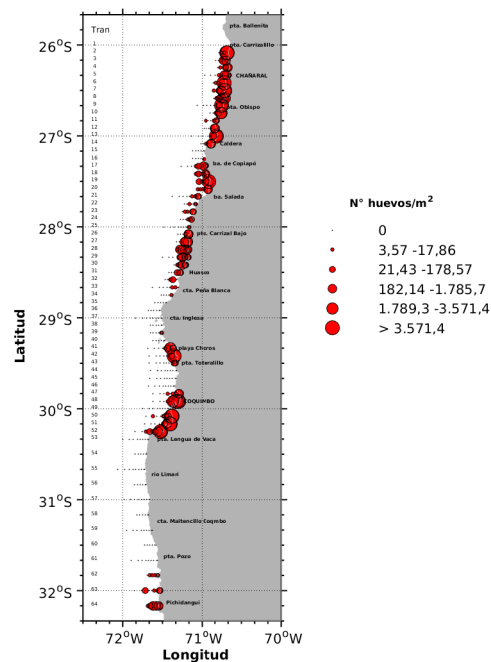
Las bahías de Caldera y Coquimbo actúan como zonas de refugios, permitiendo en el tiempo el desarrollo de una población de anchoveta que se reproduce y recluta en el área y que además sustenta una pesquería con características propias en términos de esfuerzo de pesca y fracción vulnerable que la diferencia de la pesquería de la zona norte y centro-sur. La operación de pesca es efectuada por embarcaciones artesanales que abastecen plantas de reducción, dado que la industria, a diferencia de la zona norte, no cuenta con flota propia.

Si bien en sus inicios (1985-2010) esta pesquería fue desarrollada por una flota de cerco industrial, la merma de otras especies como jurel y sardina española influyeron en la desaparición paulatina de ésta. A partir de los años 2002 - 2003 el accionar de las embarcaciones artesanales se fortaleció y mantiene al día de hoy, 55 naves con capacidades de bodega (CB) promedio de 69 m<sup>3</sup> y eslora promedio de 16 m en el puerto de Caldera y CB promedio de 40 m<sup>3</sup> y 14 m de eslora en Coquimbo. Estas embarcaciones operan y descargan regularmente en ambos puertos, sosteniendo la actividad local en las últimas décadas (Böhm *et al.*, 2017; Reyes *et al.*, 2015).

## 2.3. Áreas de desove y período reproductivo

La reproducción de los peces pelágicos es un proceso complejo que involucra cambios fisiológicos y somáticos que culminan con el desove, el cual da inicio a una nueva generación de individuos en la población. Los peces pelágicos pequeños adaptan su ciclo reproductivo, desovando en zonas protegidas y/o períodos del año favorables para la sobrevivencia y desarrollo de estadios tempranos (Parrish *et al.*, 1983; Hutchings *et al.*, 1998; Cubillos *et al.*, 2001). Las zonas de desove recurrente (ZDR) de la anchoveta centro-norte se

identifican entre los 26°00' y 31°00' LS, al norte de Chañaral y punta Obispo, entre bahía Copiapó y bahía Salada y entre playa Choros y norte de Coquimbo (Reyes *et al.*, 2018; Cifuentes *et al.*, 2021; **Figura 2**). El patrón estacional de la actividad reproductiva de la anchoveta se caracteriza por un amplio período que abarca invierno e inicios de primavera, con un decrecimiento en verano y un reposo sexual relativo en otoño. El proceso de maduración gonadal y de desove acorde al patrón reproductivo, indica que la anchoveta de la zona de Caldera incrementa la actividad en junio y se mantiene alta hasta la primavera, período de baja incidencia de atresia. En la zona de Coquimbo, la actividad reproductiva se inicia en junio y se mantiene hasta mediados de septiembre (Böhm *et al.*, 2017). El principal período reproductivo estaría sincronizado con condiciones ambientales físicas, tales como patrones de circulación y centros de surgencia, que facilitarían la retención y el desarrollo de los huevos de anchoveta.



**Figura 2.** Distribución espacial de huevos de anchoveta en la zona centro-norte de Chile recolectados en el crucero MPDH 2020 (Cifuentes *et al.*, 2021).

## 2.4. Ingreso de juveniles a la pesquería

El proceso de ingreso de nuevos individuos a la pesquería de anchoveta se estudia sistemáticamente desde el verano de 2006 por medio de evaluaciones hidroacústicas realizadas por IFOP en febrero de cada año, cuando se maximiza la presencia de la fracción juvenil en la biomasa de anchoveta en la zona centro-norte. La técnica utilizada es una herramienta que evalúa la abundancia y biomasa de los peces en forma directa e independiente de la actividad extractiva y permite medir simultáneamente las condiciones ambientales que limitan la distribución de la especie en estudio (Leiva *et al.*, 2020). El modelo de evaluación de stock considera la abundancia a la talla estimada en el crucero como pieza de información de la composición en tallas de la anchoveta para el área y período de ejecución del estudio.

## 2.5. Pesquería

En la zona centro-norte, la pesquería de la anchoveta desarrollaba un rol importante en la economía regional, siendo sus principales usuarios los pescadores artesanales y la industria reductora de la zona.

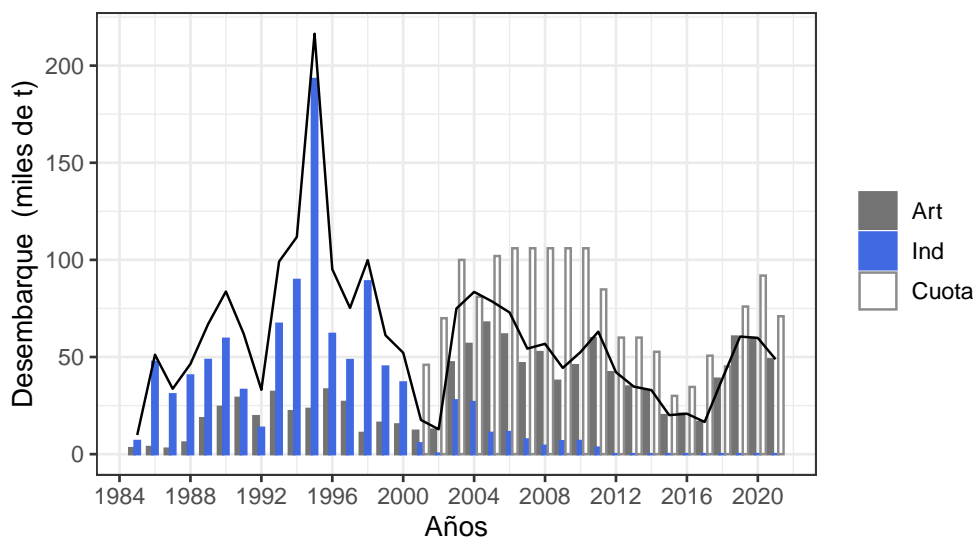


Administrativamente, en 1996 la pesquería es declarada en estado y régimen de plena explotación (D.S. N° 493, D.O. 13/08/1996) y en consecuencia con la entrada en vigencia del régimen LMCA (DFL N°19.713, 25/01/2001), a partir del año 2001, se ha administrado bajo sistema de cuotas globales de capturas, las que restringen los niveles de desembarque y regulan así la mortalidad por pesca.

Debido a la distribución eminentemente costera de la anchoveta, su disponibilidad para la flota industrial se vio alterada ante el nuevo marco legal, cambiando a una operación esporádica de un reducido número de naves, asociadas al desplazamiento de la flota que opera normalmente al norte o sur del país. Por otra parte, la merma de otras especies como jurel y sardina española influyeron en la desaparición paulatina de ésta. De este modo, la pesquería de anchoveta de la zona centro-norte pasa a ser una actividad desarrollada principalmente por la flota artesanal.

En el año 2005, se establecieron medidas de conservación tendientes a proteger el proceso reproductivo y el reclutamiento a la pesquería. Estas medidas son de carácter móvil, es decir, se activan dentro de un período referencial y cuando los criterios definidos para el establecimiento de la veda biológica son alcanzados. El período referencial establecido para la veda reproductiva abarca desde el 16 de julio al 15 de febrero, cuando el índice gonadosomático (IGS) alcanza valores iguales o mayores al 6 % y el porcentaje de hembras activas (PHA) es mayor o igual al 50 % (CCT-PP, Informe Técnico N°3/2017). La veda de reclutamiento en cambio, ha sido establecida esporádicamente y dado que los antecedentes muestran una baja representatividad de la fracción juvenil en las capturas, a la fecha no se ha implementado un período referencial para el establecimiento de veda de reclutamiento en esta zona (Acta Sesión N°5 08/2020, CCT-PP).

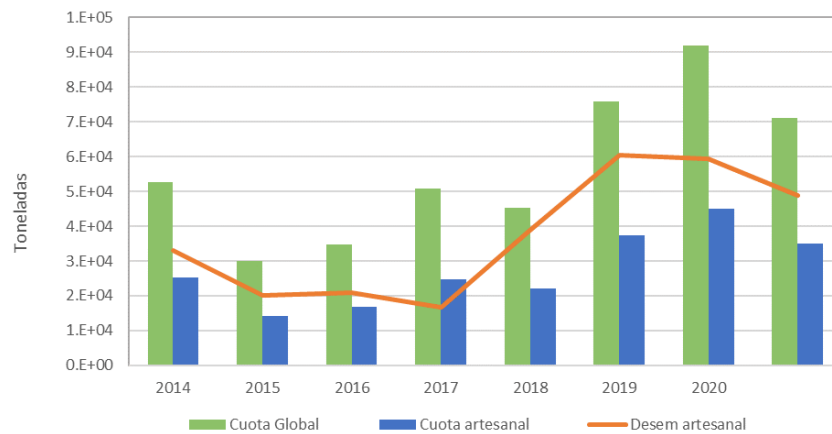
En términos del desembarque se identifican tres períodos: i) 1985-2000, con un evidente predominio de la flota industrial, el desembarque más alto observado en el desarrollo de la pesquería en 1995 y un promedio en torno a las 75 mil t; ii) 2001-2012, período en que la actividad se desarrolla principalmente por la flota artesanal y el desembarque promedio alcanza las 54 mil t y iii) 2013-2018, actividad artesanal con desembarques promedio en torno a las 27 mil t. En el año 2017, el desembarque disminuyó a 17 mil t, siendo éste el volumen más bajo observado en más de 15 años (**Figura 3**). En adelante, se ha observado un aumento de los desembarques, consistentes con la recuperación del recurso (Bucarey *et al.*, 2021) alcanzando el 2021 un total de 48825 t, equivalentes a un 69 % de la cuota establecida.



**Figura 3.** Desembarque artesanal, industrial y cuotas de captura para la anchoveta de la zona centro norte, 1985-2021. La línea negra representa el desembarque total (ambas flotas).

Las cuotas establecidas no han sido capturadas en su totalidad por causas que han sido discutidas tanto al interior del Comité Científico (CCT-PP) como en el Comité de Manejo de la Pesquería. Este último, ha indicado que en algunos años, se relaciona con menor disponibilidad del recurso en las áreas de operación permitidas (fuera de las 5 millas de la costa). Otro factor se asocia con la reorientación de recurso objetivo motivado por factores económicos, por ejemplo, cuando la flota artesanal reporta incrementos de captura de jurel, como el ocurrido en el año 2017 (11 mil t), coincidiendo con un menor desembarque de la anchoveta en la zona de Caldera.

En el CCT-PP se ha discutido que las cuotas deben ser miradas con precaución previo a su conformación (año 2014), ya que el procedimiento de establecimiento de la cuota de captura no necesariamente obedecía a la recomendación técnica. Luego, también se deben tener en cuenta factores de administración y manejo, por ejemplo, la asignación de la cuota establecida es de 50 % para cada flota. Dado que, desde el año 2010, no existe una actividad industrial propiamente tal en el área, dicha cuota es traspasada a la flota artesanal, permitiendo que ésta sobrepase el desembarque originalmente asignado. Por lo tanto, si el traspaso de cuota no es completo o no ocurre dentro del período de pesca, la cuota global no es capturada en su totalidad (**Figura 4, Tabla 1**).



**Figura 4.** Cuota Global y cuota asignada a la flota artesanal de anchoveta de la zona centro-norte para el período 2014 - 2021. Se comparan con el desembarque artesanal registrado, las diferencias positivas entre desembarque y cuota provienen de traspasos de cuota industrial al sector artesanal.



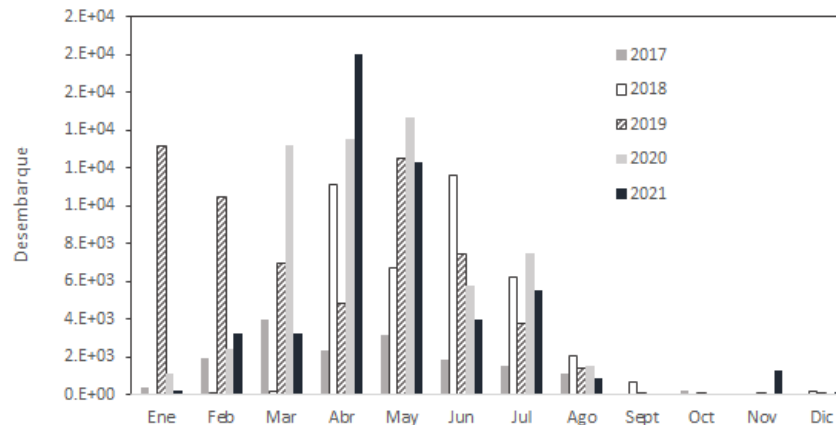
**Tabla 1.** Cuotas de captura y desembarque por flota en el período 2014-2022. Se presenta la razón entre el desembarque y la cuota asignada para la flota artesanal, valores sobre 1 se explican por el traspaso de cuotas del sector industrial al artesanal.

Año	Cuota Global (t)**	Cuota Ind.(t)	Cuota Art. (t)	Desemb. Ind. (t)	Desemb. Art.(t)	Razon Desem Art y Cuota Artesanal
2014	52.700	25.788	25.788	-	32.946	1,3
2015	30.000	14.665	14.665	-	20.086	1,4
2016	34.600	17.265	17.265	-	20.811	1,2
2017	50.700	25.315	25.315	-	16.565	0,7
2018	45.144	22.522	22.522	-	38.841	1,7
2019	75.982	37.941	37941	-	60.528	1,6
2020	91.927	44.969	44.969	-	59.824	1,3
2021	70.987	35.098	35.098	-	48.859	1,4
2022	51.287	25.602	25.602	-	16.590	0,65*

\*Considera el desembarque hasta la 1a semana de abril 2022. Fuente: Programa Seguimiento de las Pesquerías Pelágicas IFOP.

\*\*Se debe considerar que una pequeña fracción de la Cuota Global puede ser destinada para Investigación (<=2%), imprevistos (<=1%) y consumo humano (<=1%).

La pesquería de anchoveta centro-norte presenta una marcada estacionalidad en sus desembarques, los que se concentran principalmente en el segundo y tercer trimestre de cada año. No obstante, los altos niveles poblacionales observados durante el año 2019 permitieron altos desembarques durante todo el primer semestre (**Figura 5**).



**Figura 5.** Capturas mensuales de la anchoveta centro-norte entre 2017 y 2021.

## 2.6. Evaluación de stock

Las poblaciones de peces pelágicos pequeños situados en los ecosistemas de surgencia costera se caracterizan por una alta variabilidad interanual en su abundancia (Bakun y Parrish, 1982; Cushing, 1990; Cubillos *et al.*, 2002). Estas fluctuaciones se asocian fundamentalmente al reclutamiento, cuya variabilidad está relacionada tanto a factores ambientales (Cole y MacGlade, 1998; Rothschild, 2000) como al potencial reproductivo de la población a través de mecanismos denso-dependientes. Como consecuencia, los niveles de captura biológicamente sustentables, varían cada año. En este contexto, es necesario realizar una evaluación anual del estado del recurso y establecer una estrategia de manejo adecuada para la sustentabilidad de la pesquería.



La evaluación de stock en Chile ha sido desarrollada y perfeccionada por IFOP por más de 15 años, a través del uso de métodos que se encuentran acorde con los estándares internacionales vigentes. A su vez, los modelos y métodos han sido clasificados en grupos de calidad o “Tiers” conforme al nivel de conocimiento, cantidad y calidad de la información disponible que aporta a la evaluación de stock, de acuerdo con las recomendaciones emanadas desde los Comités Científico Técnico 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).

En el desarrollo de los métodos y modelos empleados 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. Independientemente del nivel del estándar, en base al permanente proceso de mejora se recomienda la realización de estudios, cruceros, investigaciones, monitoreo y otras acciones conducentes a mejorar el estado de conocimiento del recurso en cuestión y la pesquería, con el fin de allanar las brechas de conocimiento e información conducentes a reducir los niveles de incertidumbre.

En la **Tabla 2** se presenta la evolución en la modelación de dinámica poblacional de la anchoveta y las plataformas utilizadas. Luego de Excel, MATLAB fue la plataforma de computación por más de 10 años y en esta se implementaron modelos de dinámica basada en tallas en escala anual. Durante el año 2010 se exploró un modelo alternativo edad estructurado, similar al utilizado en la anchoveta de la zona centro-sur, con la CPUE como índice calibrador. Los resultados indicaron que ambos enfoques presentaron ajustes satisfactorios a los índices y una eficaz reproducción de la estructura de longitudes/edades de la pesquería y de los cruceros de evaluación directa. Los indicadores poblacionales evidenciaron similitud en las tendencias y niveles dentro los límites de confianza. Las diferencias entre ambos enfoques de modelación se relacionaron con la asignación de las edades a los individuos presentes en las capturas. La recomendación entonces, fue continuar utilizando el modelo estructurado en longitudes para establecer el diagnóstico del recurso en la zona de estudio (Leal, 2010).

En el año 2012 se inicia la migración de los modelos hacia el lenguaje ADMB (Fournier *et al.*, 2012) con lo cual IFOP queda inserto en la línea de las evaluaciones de stock cuyo lenguaje de programación es internacionalmente aceptado.

En el contexto del Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría Científica (PMCCAC), en conjunto con las recomendaciones emanadas de los procesos de revisión por pares nacionales y los talleres de revisión de datos y modelo realizadas con el Comité Científico Técnico de Pequeños Pelágicos (CCT-PP), se han especificado supuestos a usar en el modelo base. A partir del año 2019, la CPUE es un índice independiente por tipo de flota y se incorpora como índice de abundancia la serie de biomasa desovante estimada por los cruceros MPDH realizados en agosto desde el año 2015 (Acta Sesión N°3 10-11/05/2018).

Durante el año 2020 y siguiendo con el PMCCAC, se prioriza el desarrollo de un modelo alternativo estructurado a la edad con información en tallas, con la misma configuración del modelo en tallas. Los resultados indicaron que el diagnóstico de ambos modelos es similar para los ajustes de los índices utilizados, residuales y análisis retrospectivo. Las estimaciones de las principales variables poblacionales también presentan tendencias y magnitudes similares con resultados consistentes en términos del estatus (Bucarey *et al.*, 2021 **ANEXO III**). En la sesión N°5 del mismo año, el CCT-PP adopta el modelo alternativo para la anchoveta Regiones Atacama y Coquimbo, previamente aprobado en el Acta N°4/2020 y acuerda iniciar una fase de transición, por el período de un año, hacia la toma de decisión con el mismo. En Julio 2021, el nuevo enfoque de modelación a utilizar en la determinación de CBA 2022 es presentado al Comité de Manejo de Anchoveta y Sardina española Regiones Atacama y Coquimbo (Acta Sesión N°4, 2021)

**Tabla 2.** Evolución de los modelos de evaluación empleados en anchoveta de zona centro-norte.

Años	Modelo	Plataforma	Índices	Referencia
2001	Modelo de diferencia con retardo	Excel	Desembarques CPUE	Barría y Serra, 2001
2003-2008	Análisis de captura en longitudes	MATLAB	Desembarques CPUE	Barría <i>et al.</i> , 2003 Canales <i>et al.</i> , 2004 Canales y Canales, 2005 y 2006 Canales, 2007 Leal y Canales, 2008
2009-2010	Anual talla-estructurado con información en Tallas (MATT)	MATLAB	Desembarques CPUE RECLAN	Leal y Bucarey, 2009
2010	Anual talla-estructurado (MATT) Anual edad estructurado (MAEE)	MATLAB	Desembarques CPUE RECLAN	Leal, 2010 y 2011
2012	Anual Talla-estructurado (MATT)	MATLAB ADMB	Desembarque CPUE RECLAN	Leal, 2012 y 2013 Leal y Canales, 2014 y 2015 Leal <i>et al.</i> , 2016
2013-2018	Anual talla-estructurado (MATT)	ADMB	Desembarques CPUE RECLAN	Bucarey, 2017 Bucarey <i>et al.</i> , 2018
2019-2021	Anual talla-estructurado (MATT) Anual edad-estructurado (MAET)	ADMB ADMB	Desembarques CPUE Industrial CPUE Artesanal RECLAN MPDH	Bucarey <i>et al.</i> , 2019 Bucarey <i>et al.</i> , 2020 Bucarey <i>et al.</i> , 2021
2022	Anual edad estructurado datos en	ADMB	Desembarques CPUE Industrial CPUE Artesanal RECLAN MPDH	Bucarey <i>et al.</i> , 2021b

En base al modelo conceptual de la dinámica del stock de la anchoveta centro-norte se sustenta el enfoque y modelo de evaluación, que permite asesorar al CCT-PP en los análisis de la productividad del stock y de sus posibilidades de explotación, considerando los parámetros e indicadores estimados por el modelo de evaluación de anchoveta, con su incertidumbre asociada. El análisis considera como criterio de explotación, aquel nivel de mortalidad que conduce al Rendimiento Máximo Sostenido ( $F_{RMS}$ ), la proyección poblacional bajo condiciones de incertidumbre y la generación de tablas de decisión sobre las consecuencias de determinadas acciones en base a posibles estados de la naturaleza (*e.g.* optimista, neutro, pesimista), de variables de estado relevantes tales como biomasa desovante y/o niveles de reclutamiento, junto al riesgo de no lograr determinados objetivos.

## 2.7. Determinación de CBA

De acuerdo con el ciclo de manejo de esta pesquería, el proceso de asesoría comienza con el cálculo de la CBA inicial estimada en septiembre de cada año ( $t$ ), la que permite al CCT-PP establecer el estatus y recomendar el rango de CBA para el año siguiente ( $t+1$ ). En febrero de cada año, el crucero de evaluación hidroacústica permite estimar la abundancia y biomasa vulnerable a inicios de año (crucero RECLAN), la



que junto a la información actualizada de la pesquería es usada para revisar la recomendación inicial de CBA en abril del año  $t+1$ . En el proceso de revisión, el cálculo de la CBA se basa en la estimación de los peces que sobrevivieron al año anterior, más los peces que están reclutando en el año actual (información entregada por el crucero RECLAN).

Dada la incertidumbre asociada a los niveles de reclutamiento, la variabilidad ambiental, así como la incertidumbre estructural y de proceso asociada al modelo de evaluación, se sugiere mantener cautela frente al diagnóstico y un enfoque precautorio sobre las recomendaciones de manejo. Desde un punto de vista práctico y administrativo, la problemática se traduce en la dificultad de disminuir la cuota asignada, cuando en un proceso de actualización la recomendación es menor a la anterior, especialmente si parte de la cuota ya ha sido consumida (**Tabla 3**).

**Tabla 3.** Capturas biológicamente aceptables recomendadas por el CCT-PP en las distintas etapas de establecimiento de CBA, desembarque total registrado y razón entre ambas.

Año	CBA (t) Inicial	CBA (t) Revisión	CBA (t) Revisión adicional	Desembarque total (t)	Razón Desembarque vs Cuota
2014	52.700	<i>statu quo</i>	-	32.946	0,64
2015	30.000	<i>statu quo</i>	-	20.086	0,67
2016	25.650	34.600	-	20.811	0,60
2017	50.700	<i>statu quo</i>	-	16.565	0,33
2018	40.000	42.590	45.144	38.841	0,86
2019	40.520	75.982	-	60.528	0,80
2020	91.927	<i>statu quo</i>	-	59.824	0,65
2021	70.987	<i>statu quo</i>	-	48.859	0,69
2022	51.287	-	-	16.590*	0,32*

\*Considera el desembarque hasta la 1a semana de abril 2022. Fuente: Programa Seguimiento de las Pesquerías Pelágicas IFOP.



## 3. METODOLOGÍA

### 3.1. Objetivo específico 1:

*“Implementar procedimientos de evaluación de stock basados en protocolos científicos para la determinación del estatus de anchoveta y sardina española, con arreglo al nivel de información, conocimiento e incertidumbre correspondiente, conforme a los estándares actuales en ciencia pesquera”.*

#### 3.1.1. Modelo Conceptual

La conceptualización del modelo biológico considera los siguientes componentes de la dinámica poblacional:

- Estructura geográfica: se asume un stock homogéneo al interior de la unidad de pesquería, donde el conjunto de individuos está sujeto a la misma probabilidad de crecimiento y mortalidad, y donde la migración no es importante.
- Reproducción: se asume que los individuos del stock tienen un evento reproductivo discreto, que se representa a comienzos de la estación reproductiva y que con propósitos prácticos ocurre en agosto de cada año.
- Reclutamiento: ocurre a la forma de un pulso de abundancia a inicios de cada año.
- Tasa de mortalidad natural: se asume invariante y se considera  $M=1,3$  por año para anchoveta de la zona centro-norte.
- Dinámica del crecimiento: el crecimiento es en escala anual y se recoge a través de la ecuación de Von Bertalanffy y se modela a través de una clave edad-talla.
- Interacción inter-específica: La interacción se asume ocurre en los eventos de pesca, de tal manera que el modelo es de tipo mono-específico.

El modelo de evaluación de stock se basa en un análisis estadístico de la dinámica estructurada a la edad a nivel anual, incorporando información biológica y pesquera agregada en año calendario. La información que ingresa al modelo consiste en los desembarques provenientes del SERNAPESCA, la Captura Por Unidad de Esfuerzo (CPUE), datos de composición de tallas anual de la flota proporcionados por el programa de monitoreo de las pesquerías de peces pelágicos, mientras que las evaluaciones hidroacústicas proporcionan información de biomasa vulnerable y composiciones de tamaño. Desde el año 2015, el crucero de huevos (MPDH) entrega estimaciones de biomasa desovante en el período reproductivo. En base a esta información el modelo estima las variables de estado representadas por la biomasa desovante (BD) y los niveles de mortalidad por pesca (F) que junto a los puntos biológicos de referencia (PBRs) permiten determinar el estatus y calcular la "Captura Biológicamente Aceptable (CBA) (**Figura 6**).

En la implementación del procedimiento de evaluación se utilizan protocolos científicos basados en la determinación de un sistema de niveles o “tiers” que permiten clasificar la información disponible de las especies y su pesquería. Para estimar el Rendimiento Máximo Sostenible (RMS) se utiliza la estrategia de niveles y de acuerdo con la clasificación del estándar de información, se definen los PBR o “proxy” a usar para determinar el estatus del recurso. Los procedimientos de cálculo de los PBR y del marco de referencia especie específicos, se basan en el estudio “Revisión de los puntos Biológicos de referencia (RMS) en las pesquerías nacionales” (Paya *et al.*, 2014), en cuyo primer taller, se desarrolló en conjunto con expertos internacionales, un sistema de tres niveles para derivar al RMS específico para las pesquerías en Chile (**Figura 7**). Además, para determinar el estatus de los recursos, se considera lo establecido por el Comité Científico Técnico de Pelágicos Pequeños (CCT-PP) sobre los requerimientos técnicos que define los estándares de análisis y evaluación para las pesquerías, conforme a los niveles de conocimiento, información y calidad de los datos disponibles para esos fines. No obstante la incertidumbre en la evaluación y las continuas mejoras que puedan ser incorporadas cada año al modelo estadístico usado para modelar la dinámica, los datos empleados en la actual evaluación de stock contienen información suficiente para ser modelada y obtener resultados consistentes que pueden ser usados para el manejo pesquero. Estos antecedentes permiten clasificar a la anchoveta de la zona centro-norte en el Tier o nivel 1b.

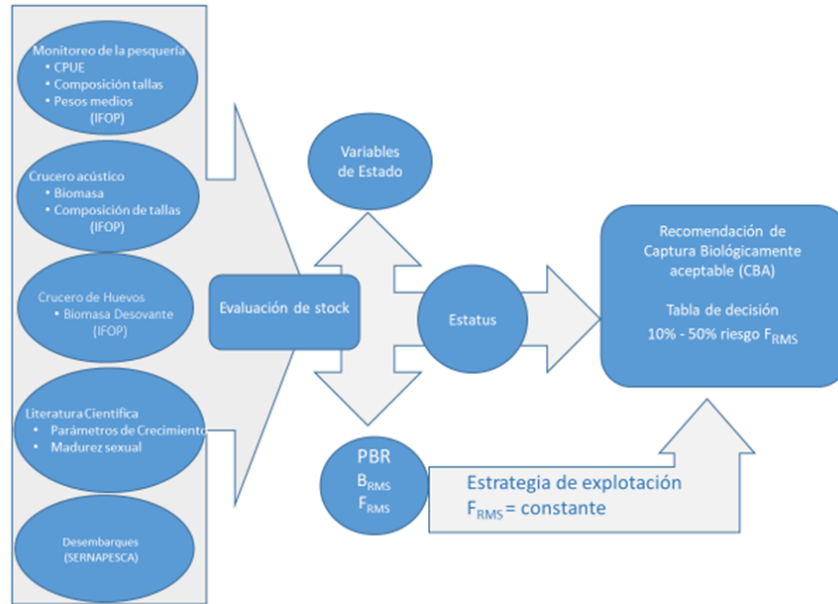


Figura 6. Procedimiento de evaluación de stock de la anchoveta centro norte.

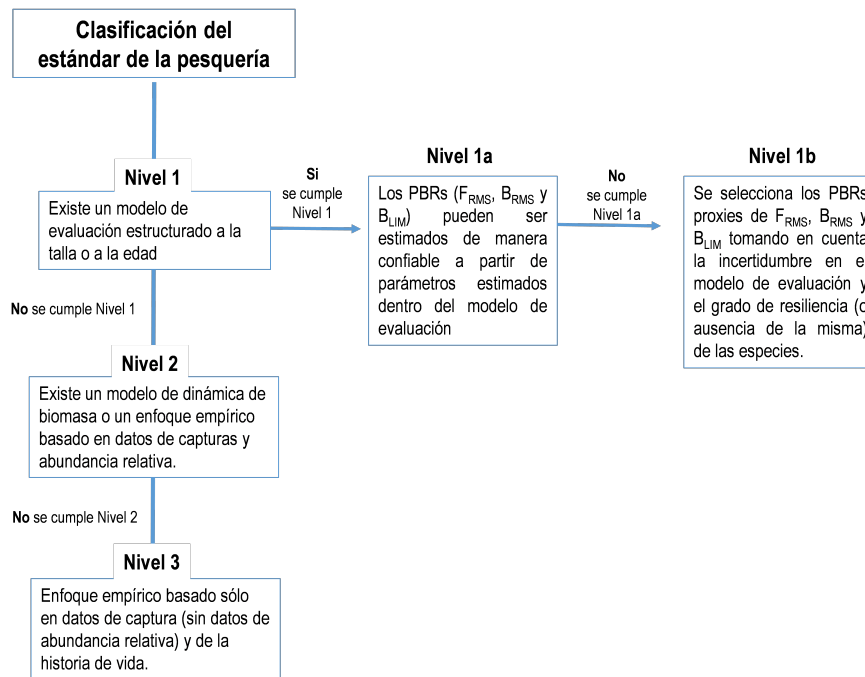


Figura 7. Sistema de niveles para la determinación de los PBRs de acuerdo a la cantidad, tipo y la calidad de la información disponible y métodos de evaluación de stock empleados en cada pesquería.



### 3.1.2. Datos de entrada al modelo de evaluación de stock

Las fuentes de información identificadas, que definen el conjunto de datos a emplear para la estimación de los índices de abundancia (y de la incertidumbre asociada), corresponden a:

#### Desembarques

Niveles de remoción por pesca del stock provenientes de las estadísticas oficiales de control cuota sistematizadas por el Servicio Nacional de Pesca. En éste se define la importancia relativa de los distintos puertos de descarga, por lo tanto, es de interés administrativo y/o comercial de la actividad. Su propósito es cuantificar los volúmenes, totales y por especie, que efectivamente se reciben en la descarga o desembarque. Los desembarques son registrados sobre una base mensual, por tipo de flota (artesanal e industrial), puerto de desembarque (Caldera y Coquimbo) y especie objetivo. Para efecto de la evaluación se utiliza la totalidad del desembarque por especie que ocurre en la unidad de pesquería, comenzando la serie desde el año 1985 hasta el año 2021. Los desembarques son empleados en el proceso de evaluación de stock como una fuente de mortalidad. La misma información es además utilizada para estimar un índice de abundancia poblacional (CPUE). En relación con el nivel de confianza del desembarque registrado oficialmente respecto de posibles niveles de sub/sobre-reporte, G. Böhm (*com. pers.*), a cargo del programa de monitoreo de esta pesquería señala que los niveles de desembarques reportados son en general, confiables en cuanto no se encuentra asociado a otras especies de importancia comercial tales como jurel/caballa.

#### Descarte

Los estimadores de captura descartada son diseño-basados, y asociados a un muestreo estratificado de conglomerados bietápico, en donde la unidad de primera etapa es el viaje y la unidad de segunda etapa es el lance de pesca. La estratificaciones son: Espacial (región o macrozona), temporal (año o semestre) y operacional (flota) y como factor de expansión se utiliza el esfuerzo en términos de viajes de pesca anuales de la flota, información proveniente de la base de datos de desembarque de SERNAPESCA. En cuanto al número de viajes totales, se consideran solo embarcaciones mayores a cierta eslora en las cuales se realizan embarques por parte de observadores. Las capturas retenida y descartada por lance se estimaron visualmente, considerando además información proveniente de los equipos de detección del barco y el volumen de llenado de la bodega en términos de peso (t) para el caso de la captura retenida. Cuando se observó un descarte completo desde la red en el agua, la proporción de especies se estimó de manera visual. En pocas ocasiones se pudo acceder a una muestra de la captura descartada. Cuando el descarte fue parcial, se asumió que la proporción de especies de la captura descartada, fue el mismo que los de la captura retenida.

El programa de Descarte en la pesquería de anchoveta centro-norte se inicia el año 2018, sin embargo, no fue posible estimar capturas retenidas y descartadas para la flota debido a que los tamaños de muestra fueron muy reducidos. La información disponible a la fecha es semestral para los años 2019 y 2020, para la flota artesanal. Las dificultades observadas para obtener una cobertura de muestreo adecuada se relaciona con un bajo apoyo al estudio en la Región de Atacama, donde tampoco se aplica el RAE, por lo tanto, los datos provienen principalmente de la Región de Coquimbo. Otra de las limitaciones de muestreo tiene relación con la baja habitabilidad de las embarcaciones menores a 15 metros de eslora dado que IFOP tiene una política de seguridad que indica a los observadores científicos embarque en naves sobre los 15 metros de eslora. Respecto de las estimaciones de capturas totales y descartadas, en general, durante el segundo semestre de cada año no hay registros de captura producto del cierre de las plantas de proceso, por lo tanto, en esta zona la operación de las plantas determina la operación de la flota, disminuyendo el número de viajes totales realizados por la flota artesanal durante el segundo semestre. El número de viajes totales realizados por la flota artesanal fluctúa entre 843 y 1.181 en el primer semestre, mientras que en el segundo se realizaron entre 31 y 167 viajes. El porcentaje de cobertura de los viajes muestreados es bajo, menos del 5% de los viajes realizados por la flota artesanal son muestreados por observadores científicos, con excepción del segundo semestre del año 2020, cuando la significativa reducción de viajes totales (31) incrementó el % de cobertura a un 45% (**Tabla 4**).



**Tabla 4.** Estimaciones de captura total (CT), retenida (CR) y descartada (CD) en toneladas, porcentaje de descarte, tamaños de muestra de los viajes muestreados y totales y porcentaje de cobertura para el período 2018 al 2020 por semestre para la pesquería de anchoveta de la zona centro-norte.

Año	Semestre	Flota	Captura total	Captura retenida	Captura descartada	% descarte	Nº viajes muestreados	Nº Viajes totales	% cobertura
2018	1	Artisanal					5	843	0.6
2018	1	Industrial							
2018	2	Artisanal					2	167	1.2
2018	2	Industrial							
2019	1	Artisanal	29462	29205	257	0.9	48	1028	4.7
2019	1	Industrial							
2019	2	Artisanal	1506	1238	268	17.8	11	164	6.7
2019	2	Industrial							
2020	1	Artisanal	32651	31985	666	2.0	63	1181	5.3
2020	1	Industrial							
2020	2	Artisanal	1443	1326	116	8.1	14	31	45.2
2020	2	Industrial							

El programa de estudio del descarte para esta zona terminó el 2020, por lo tanto, en la presente asesoría se incorporará el descarte a la evaluación de stock. El modelo de evaluación de stock de anchoveta centro-norte utiliza información anual (Bucarey *et al.*, 2021), por lo tanto, se requieren datos de descarte anuales de la flota artesanal para ser incorporados a la serie de desembarques. En años que no dispongan de información se debe utilizar un supuesto. Adicionalmente, el CCT-PP debe descontar un % de descarte a la CBA, por lo tanto, también se debe contar con un supuesto de descarte proyectado. En base a la información previa, en la cuarta sesión del CCT-PP (Acta Sesión N°4) se acordó que para la anchoveta de las regiones de Atacama y Coquimbo, se aplicará de forma transitoria un descarte de 2,01 % anual para corregir la serie histórica de capturas. Este porcentaje considera la información registrada en los años 2019 y 2020. Además, se aplicará un descarte de 2,01 % anual a la CBA máxima, de forma transitoria en el período 2021 y 2022 (**Tabla 5**).

**Tabla 5.** Captura total (CT) y descartada (CD) para corrección de desembarques años 2019 y 2020. Para obtener el % de descarte a utilizar en el supuesto 1 (desembarque 2021). Para el supuesto 2 (proyección de CBA año 2022) se utiliza la captura total y descartada promedio del año 2019 y 2020. Supuestos para asesoría de septiembre 2021 de anchoveta centro-norte.

Criterios	Año	Captura total (t)	Captura descartada (t)	% descarte
Corrección de desembarques	2019	30968	525	1.70
2019 y 2020	2020	34094	782	2.29
<b>Supuestos</b>				
1. Corrección de desembarque	2021	32531	654	2.01
2. Proyección de CBA	2022	32531	654	2.01



## Seguimiento de la pesquería

El monitoreo de la pesquería es una de las principales fuentes de información, que se genera a partir del Programa de Seguimiento de las Principales Pesquerías Pelágicas de la zona centro norte de Chile, encargado por la Subsecretaría de Economía y EMT a IFOP. Detalles de la metodología asociada a cada proceso de generación de datos pueden ser encontrados en los informes que son emitidos anualmente. Este proyecto permite obtener indicadores como las estructuras de edad/talla y peso medio a la talla, entre otros:

- Composición de tallas en la captura: corresponde al número de ejemplares, por rango de talla, capturados por la flota que opera sobre la anchoveta de la zona centro-norte. En términos generales el diseño de muestreo asociado a la estructura de tallas del desembarque, corresponde a un diseño bi-etápico, donde la primera son los viajes y la segunda los ejemplares. También, y con menos frecuencia, se lleva a cabo un muestreo en tres etapas, es decir, un muestreo dentro de un viaje, lance y ejemplares. El indicador se obtiene por estratos de zona (puerto) y mes inicialmente, a través de la ponderación de la estructura de talla con la captura diaria o temporal evaluada de las embarcaciones. De este modo, se construye la matriz que representa la distribución de los ejemplares que están presentes en la captura, por grupo de talla y por estrato de tamaño. A pesar de que se dispone de una composición por puerto, mes y tipo de flota, para efecto de la evaluación se considera la estimación global para la unidad de pesquería y agregadas entre flotas, estando disponible una serie construida desde el año 1985. 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 tallas, además de entregar señales de la fuerza de las clases anuales que han atravesado por la pesquería.
- Pesos medios a la talla: el crecimiento de la anchoveta es recogido en un vector de pesos medios a la talla, correspondiente a un peso medio histórico para el área total de la pesquería y la serie de años analizado. Esta se obtuvo a partir de la relación longitud-peso anual, a través de un modelo con error multiplicativo cuya ventaja radica que al aplicar logaritmo se obtiene un modelo lineal.

## Índice de Abundancia relativa basado en el análisis de las tasas de captura (CPUE)

La información utilizada en el análisis de CPUE (t/vcp) estandarizada proviene de los registros de bitácoras recopiladas desde el año 1985 y hasta el año anterior a la presentación del reporte para cada proceso de asesoría. Se utilizan en la estandarización de las tasas de capturas de anchoveta de la flota industrial y artesanal, modelos lineales generalizados (GLM; McCullagh y Nelder, 1989).

Bajo este enfoque, la CPUE (variable respuesta continua) es predicha como una combinación lineal de las variables explicativas:  $x_j$ , con  $j = 1, \dots, k$ .

$$E(Y) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k$$

donde  $x$  e  $Y$  son vectores columna ( $n \times 1$ ).

Se evalúan modelos según el tipo de distribución de los datos observados, normalmente del tipo Log-normal y Gamma (Pennington, 1983; Ortiz y Arocha, 2004). Se evalúan únicamente los viajes que efectivamente obtuvieron capturas (viajes con pesca), ya que en esta pesquería en particular, es difícil realizar un seguimiento eficaz o confiable de los viajes con captura cero (G. Böhm *com. Pers.*). Detalles y resultados del proceso de estandarización es presentado en el **ANEXO I**

## Índice de biomasa estimado por cruceros de evaluación hidroacústica

En febrero de cada año se realiza la evaluación acústica de biomasa de la anchoveta centro-norte (RE-CLAN), del cual se obtiene una estimación de la magnitud de la biomasa vulnerable a inicios de año cuando se maximiza la presencia de juveniles a la pesquería. La cobertura temporal abarca desde el año 2006 y se extiende hasta el último crucero realizado en febrero de cada año. La evaluación hidroacústica contempla un área de estudio localizada entre los 25°00' y 32°10'S, entre la costa y las 20 mn, en donde se realizan transectas diurnas y replicas nocturnas, y además se realizan lances de pesca de media agua y de cerco.



A partir del año 2014, se evalúa el sesgo de orilla en ambas regiones y se realizan lances de pesca a bordo de L/M artesanales. La estimación de la abundancia y biomasa total y por rango de tallas, se realiza utilizando los métodos Geoestadístico y Bootstrap. Para efectos de esta evaluación se utilizan las biomásas obtenidas a partir del enfoque geoestadístico ya que considera la componente espacial en la estimación.

### **Índice de biomasa adulta basada en la evaluación del stock desovante por MPDH**

La biomasa desovante se define como la razón entre la producción diaria de huevos (huevos por unidad de superficie por día) y la fecundidad específica diaria de la población adulta (huevos por día por tonelada métrica) en el área de desove. La producción diaria de huevos se evalúa a partir de la producción total de huevos en la época reproductiva mediante un crucero ictioplanctónico. La fecundidad específica diaria de la población se determina a partir de muestras de peces adultos obtenidos simultáneamente, y de las cuales se determina la fecundidad media poblacional, peso promedio de hembras, frecuencia del desove y proporción sexual. Estos parámetros reproductivos, así como la producción diaria, son tasas instantáneas que permiten evaluar la biomasa en un instante determinado dentro del período reproductivo sin la necesidad de integrar toda la producción de huevos en una estación de desove completa (Cubillos *et al.*, 2011).

En el año 2014 se realizó el primer crucero de evaluación del stock desovante de anchoveta centro-norte con el Método de la Producción Diaria de Huevos (MPDH) en el área comprendida entre los 26°00'S y 32°10'S, desde la costa hasta las 20 millas náuticas. Si bien esta primera experiencia no generó resultados utilizables en el modelo de evaluación, sirvió de base para generar un diseño metodológico más adecuado para la zona de estudio. Desde el año 2015, se han realizado cuatro cruceros de huevos con mejores resultados, los que inicialmente se utilizaron en modo exploratorio como un escenario alternativo de análisis. Como es de esperar, el efecto de la incorporación de un bajo número de observaciones no presenta impactos en la evaluación en términos de la estimación de las variables de estado, sin embargo, a partir del año 2018 es incorporada como pieza de información al modelo base, como un índice del nivel de biomasa desovante de anchoveta en el período reproductivo. Lo anterior fue discutido y consensuado en conjunto con el CCT-PP (Acta Sesión N°3 10-11/05/2018).

### **Parámetros de historia de vida**

Para la implementación del procedimiento de evaluación se recoge el conocimiento de otros estudios que reportan información asociada a los parámetros del ciclo vital de la especie, tales como:

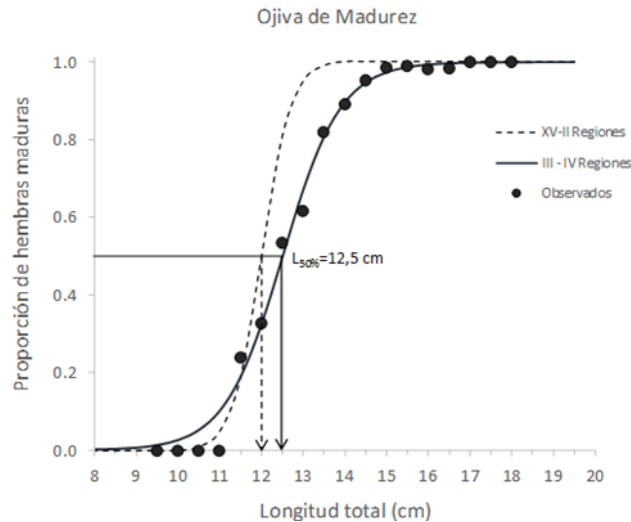
- Longitud media de madurez ( $L_{50\%}$ )

Canales y Leal, 2009, estimaron a través de estados macroscópicos de desarrollo ovárico, la ojiva de madurez para la anchoveta distribuida en la unidad de pesquería centro-norte. Este análisis señala que la longitud media de madurez ( $L_{50\%}$ ) de la anchoveta en esta zona, estaría en torno a los 12,5 cm de longitud total (LT). Esta estimación es cercana a lo reportado para la anchoveta de la unidad de pesquería norte, sin embargo, se aprecian diferencias en la proporción de hembras maduras por intervalo de talla (**Figura 8**).

Dado que la descripción del proceso reproductivo de la anchoveta centro-norte se basó en estados de madurez macroscópica, en el modelo de evaluación se ha usado la ojiva de madurez sexual correspondiente a la zona norte estimada por Martínez *et al.* (2004), en tanto no se disponga de un análisis basado en estados microscópicos de madurez, de manera de precisar el proceso de maduración de los individuos, disminuyendo la incertidumbre en las estimaciones de abundancia y biomasa de la fracción madura de la población en la zona de estudio. Cabe señalar que esta decisión fue ratificada por el CCT-PP en julio de 2021 en el marco del Taller de Revisión de Datos y Modelos de anchoveta centro norte (Acta Sesión N°4/2021).

- Crecimiento individual

Se utilizan los parámetros de crecimiento propuestos por Canales y Leal, 2009, específicos para la anchoveta centro-norte, estimados en:  $L_{\infty}=18,75$  cm,  $k=0,91$  año<sup>-1</sup> y  $t_0=-0,01$  año. Estos parámetros son usados en el modelo de evaluación desde el año 2009.



**Figura 8.** Comparación entre la ojiva de madurez actualmente utilizada para la evaluación (línea segmentada) y la estimada por Canales y Leal (2009), línea continua (modelo ajustado), puntos (datos observados).

#### ■ Mortalidad natural

Canales (2007) estima la mortalidad natural ( $M$ ) para la anchoveta centro-norte, asumiendo un valor compromiso para este parámetro de  $0,87 \text{ año}^{-1}$ , entre distintos métodos. Este valor de  $M$  fue usado en las evaluaciones 2007 y 2008. En el año 2009, se incorporan en la evaluación los nuevos parámetros de crecimiento estimados por Canales y Leal, 2009. Bajo este enfoque y dada la correlación existente entre los parámetros de crecimiento, los autores corrigen  $M$  a través de 4 métodos bioanalógicos: Pauly, 1980; Rikhter y Efanov, 1976; Hoenig, 1983; Hewitt y Hoenig, 2005, estimando un valor de  $M = 1,3 \text{ año}^{-1}$ .

Cabe destacar que la transición al modelo con los nuevos parámetros estimados por Canales y Leal (2009) se llevó a cabo en el marco del proceso de Asesoría que IFOP y SSPA mantenía por medio de reuniones bilaterales. En Leal y Bucarey (2009), Anexo 2, se presenta un análisis de sensibilidad al modelo de evaluación con los nuevos parámetros de crecimiento y mortalidad natural, y se contempla su utilización para los estudios venideros. De este modo, dichos parámetros son utilizados en el modelo para el proceso de asesoría 2010 (Leal, 2010). Actualmente, datos y modelos de evaluación de stock son revisados por el Comité Científico Técnico durante los talleres de revisión de datos, y también, en las presentaciones de resultados como parte del proceso de asesoría permanente que IFOP entrega a la SSPA y CCT-PP.

Estos resultados fueron presentados en la 3ª Reunión del CCT-PP, realizada en mayo de 2018 en dependencias de la SSPA, en el contexto del Taller anual de revisión de datos y modelo de la anchoveta centro-norte, quedando establecido el modelo base, a partir del cual se hace la recomendación de cada año (CCT-PP, Acta de Reunión 03/2018).



### 3.1.3. Evaluación de stock

La metodología empleada en el desarrollo del proyecto está basada en el enfoque de procesos y sistemas, entendiendo los objetivos de éste como los componentes de un sistema de información y conocimiento. El enfoque metodológico se sustenta en la aplicación del método científico y los análisis se basan en el uso de la mejor información y conocimiento disponibles, consecuente con la aplicación del enfoque precautorio para la pesca (FAO, 1996). Se implementa un proceso de evaluación de stock que considera las siguientes etapas:

- **Análisis y procesos preliminares:** En esta etapa se recopilan los antecedentes y datos de la pesquería y del recurso, en conjunto con la estimación de indicadores de abundancia relativa y otras piezas de información, como las estructuras de tallas y pesos medios. Se realiza un análisis crítico de los datos e información disponibles y finalmente se determina el Estándar Metodológico para la Evaluación (EME).
- **Especificación del modelo de evaluación de stock:** A partir del EME se define el modelo de evaluación de stock, que incluye la definición de supuestos, hipótesis, condiciones iniciales de la dinámica del stock, definición de los modelos de los procesos (dinámica), de las observaciones y penalizaciones. La formulación estadística del modelo se presenta en las secciones siguientes.
- **Inferencia estadística:** Una vez definido el modelo de dinámica y los datos de entrada, se procede a la estimación de los parámetros y estados no observables, utilizando un enfoque frecuentista.
- **Diagnóstico del Modelo:** Se realizan análisis de los resultados del modelo a través de la representación gráfica de los Residuales para los índices utilizados, revisión histórica y análisis retrospectivo. Análisis de sensibilidad para abordar la incertidumbre respecto de parámetros y supuestos se realizan en el marco del PMCCAC.
- **Estatus del stock:** Se estiman los puntos biológicos de referencia, se analizan las variables de estado y flujo, se construye el diagrama de fases de explotación y finalmente se determina el estatus del recurso.
- **Análisis prospectivos:** Con el propósito de determinar los niveles de explotación que aseguran la sustentabilidad del recurso, se proyecta el stock en el mediano plazo, bajo un conjunto de tácticas y estrategias de explotación, evaluándose las probabilidades (riesgo) de no cumplir con los objetivos de administración.
- **Conclusiones y recomendaciones:** Una vez concluidas las etapas anteriores, se procede a sintetizar las principales brechas del conocimiento y limitaciones, tanto de parámetros del ciclo vital de la especie, como de datos de la pesquería. Además, se realiza un análisis crítico del modelo de evaluación de stock, junto con los resultados obtenidos, que permiten la elaboración del PMCCAC.

### Descripción del modelo base

A partir de la presente evaluación, se utiliza un enfoque de modelación donde la dinámica poblacional se estructura en grupos de edades. La estructura temporal abarca el período 1985 a 2022 y considera información en escala anual presentada en la **Tabla 6**. El enfoque de modelación utilizado en este estudio, correspondió a un análisis estadístico de las composiciones de tamaño de las capturas de la flota y del crucero, de los índices de abundancia directa (Cruceros Acústico y MPDH) y relativa (CPUE), y de los desembarques a una escala anual. El modelo de evaluación de stock, se compone de: 1) un modelo de la dinámica poblacional estructurado a la edad, donde la mortalidad natural y por pesca actúan de manera conjunta sobre la abundancia, 2) un modelo de las observaciones, correspondiente a los modelos de los datos de entrada y 3) un proceso de estimación de parámetros a partir de una función objetivo, donde se contrastan estadísticamente las observaciones y estimaciones del modelo mediante máxima verosimilitud. Se utiliza como plataforma de estimación la herramienta estadística ADMB (Fournier *et al.*, 2012).



**Tabla 6.** Información utilizada en el modelo de evaluación anual con dinámica a la edad de anchoveta centro norte.

Datos de entrada	Período	Fuente de Información
Desembarque total anual	1985 al 2021	SERNAPESCA
CPUE estandarizada Industrial	1985 al 2010	PSPPP-NCH
CPUE estandarizada Artesanal	1998 al 2021	PSPPP-NCH
Biomasa Acústica	2006 al 2022	EHPP-AtCqbo
Biomasa desovante (MPDH)	2015 al 2021	MPDH-AtCqbo
Composición de tallas crucero	2006 a 2022	EHPP-AtCqbo
Composición de tallas flota	1995 a 2021	PSPPP-NCH
Madurez a la Talla	Constante	Martínez <i>et al.</i> , 2004
Parámetros de Crecimiento	Constante	Canales y Leal, 2009
Mortalidad Natural	Constante	Canales y Leal, 2009

- SERNAPESCA: Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura.
- PSPPP-NCH: Programa de Seguimiento de las Principales Pesquerías Pelágicas de la zona Norte de Chile, regiones Arica-Parinacota y Coquimbo realizado por IFOP.
- EHPP-AtCqbo: Evaluaciones hidroacústicas de pequeños pelágicos entre las regiones de Atacama y Coquimbo realizado por (IFOP) licitados por el Fondo de Investigación Pesquera y Acuicultura (FIPA).
- MPDH-AtCqbo: Evaluación del stock desovante de anchoveta entre las regiones de Atacama y Coquimbo realizada por IFOP.

### Dinámica poblacional del modelo base

Dado que el modelo base es edad-estructurado, es necesario transformar las estructuras de tallas a edades a partir de los parámetros de crecimiento de von Bertalanffy. Para ello se utiliza una clave edad-talla modelo basada, en la que la desviación estándar de la longitud a la edad ( $\sigma$ ) se supone proporcional a la talla media a la edad ( $a$ ), a través del coeficiente edad-invariante. La talla media para cada grupo etario se estima a partir de los parámetros de crecimiento y de la talla media del primer grupo de edad ( $l_0$ ). De esta forma, la probabilidad de que un individuo pertenezca a un rango de tallas ( $l$ ), dado que pertenece al grupo de edad ( $a$ ), es modelada a través de una distribución de probabilidad normal con media  $l_a$  y desviación  $\sigma_a$  sobre el rango de tallas observado en la matriz de captura a la talla.

$$l_a = l_\infty (1 - e^{-k}) + e^{-k} l_{a-1}$$

$$\sigma_a = cv l_a$$

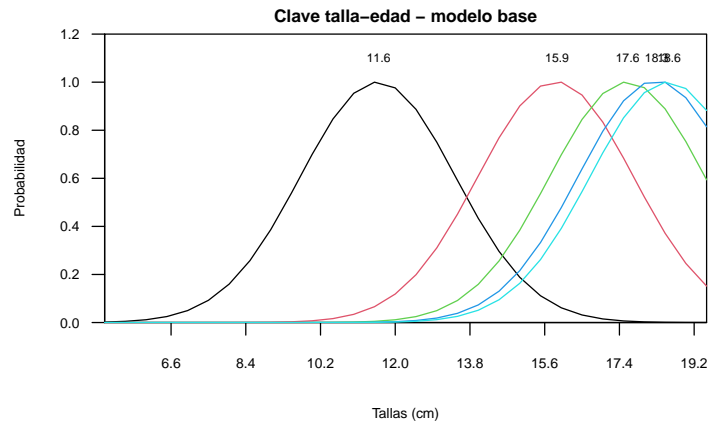
$$P_{l,a}(l_a, \sigma_a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_a^2}} e^{-\frac{(l-l_a)^2}{2\sigma_a^2}}$$

donde  $P_{l,a}$  representa la matriz de distribución de probabilidad por talla  $l$  a la edad  $a$ . Y  $\sigma_a$  corresponde a la desviación estándar de la talla media para la edad  $a$ .

$$\hat{C}_{l,t} = P_{l,a} C_{a,t}$$

Donde  $C_{a,t}$  corresponde a las capturas en número observadas a la talla provenientes de los monitoreos de la pesquería y cruceros acústicos.

La **Figura 9** muestra la clave talla-edad simulada por el modelo alternativo para obtener las capturas en número estimadas a la talla “ $l$ ” y año “ $t$ ”.



**Figura 9.** Probabilidad de que un individuo de talla " $l$ " pertenece a una cierta edad " $a$ " estimada en el modelo base actual. Los números sobre cada curva corresponden a la longitud promedio de cada grupo de edad.

La abundancia  $N_{a,t}$  de los ejemplares de edad  $a$ , a comienzos del año  $t$ , queda entonces representada por:

$$N_{a,t} = N_{a,t-1} \exp(-Z_{a,t-1}),$$

Donde,  $N_{a,t-1}$  corresponde al número de peces de edad  $a$ , en el año  $t - 1$ ,  $Z_{a,t-1}$  es mortalidad total para peces de edad  $a$  en el año  $t - 1$ .

La mortalidad por pesca se descompone en el producto de un coeficiente edad específico  $S_a$  y una tasa de mortalidad por pesca anual  $F_t$  según:

$$F_{a,t} = S_a F_t,$$

El coeficiente  $S_a$  se construye a la edad, donde  $a_{50\%}$  corresponde al parámetro de posición, donde el 50% de los peces son retenidos por el arte de pesca y  $\Delta$  es la dispersión que determina la pendiente de la curva.

$$S_a = \left( 1 + \exp \left[ -\ln 19 \frac{(a - a_{50\%})}{\Delta} \right] \right)^{-1},$$

El método empleado bajo un enfoque estructurado a la edad utiliza información en tallas agrupada en año calendario, siendo el desove establecido en agosto (0,67 año). El método considera supuestos resumidos en la **Tabla 7** e incorpora los siguientes elementos:

- Modelo de dinámica poblacional estructurada por edad.
- Modelos de las observaciones que permiten relacionar el modelo de dinámica con las observaciones **Tabla 8**.
- Identificación de la estructura del error a través de funciones de log-verosimilitud negativas **Tabla 9**.
- Proceso de estimación de los parámetros desconocidos del modelo de dinámica a través de un algoritmo que minimiza la función objetivo total, contrastando las observaciones con las estimaciones deducidas del modelo de dinámica.



**Tabla 7.** Resumen de los principales supuestos del modelo de evaluación asociados a los datos observados.

Datos observados	Símbolo	Supuestos
Desembarque total anual	$Y_t$	Representa la captura total del periodo anual $t$ . Se considera continua al interior del año. Desviación estándar supuesto como parte del error de observación $\sigma_f = 0,05$
Captura por unidad de esfuerzo	$CPUE_t^f$	Índice relativo de la biomasa media vulnerable a mitad de año por flota. Desviación estándar supuesto como parte del error de observación $\sigma_{cru} = 0,20$
Biomasa del crucero acústico	$B_t^{cru}$	Representa a la biomasa que ocurre en el período del año en que se realiza el crucero $dt^{cru}$ . Desviación estándar supuesto como parte del error de observación $\sigma_{cru} = 0,15$
Proporción de la abundancia a la talla del crucero	$P_{l,t}^{cru}$	Representa la distribución en talla de los ejemplares que están presentes en la captura del crucero. Tamaño de muestra efectivo supuesto como parte del error de observación $n^c = 29$
Proporción de la abundancia a la talla de la flota	$P_{l,t}^{flo}$	Representa la distribución en talla de los ejemplares que están presentes en la captura comercial. Tamaño de muestra efectivo supuesto como parte del error de observación $n^f = 30$
Peso medio anual	$\hat{W}_l$	El peso teórico es obtenido desde la relación alométrica $\hat{W}_l = aL^b$ con $a$ y $b$ parámetros a estimar desde los muestreos biológicos
Ojiva de madurez sexual	$O_l$	Describe la probabilidad de que un individuo maduro sexualmente pertenezca a la talla $l$ y se asume conocida.

**Tabla 8.** Modelo de las observaciones del Modelo Anual con información en tallas.

Variable	Ecuación	Descripción
Captura estimada en número a la edad	$\hat{C}_{a,t} = \frac{F_{a,t}}{Z_{a,t}} N_{a,t} (1 - S_{a,t})$	$\hat{C}_{a,t}$ Captura en número estimada a la edad $a$ y en el año $t$ .
Desembarques en peso	$\hat{Y}_t = \sum_l (P_{l,a} \hat{C}_{a,t}) w_l$	$w_l$ es el peso medio a la longitud $l$
Proporción de la captura a la longitud de la flota	$\hat{p}_{l,t}^f = \frac{(P_{l,a} \hat{C}_{a,t})}{\sum_l (P_{l,a} \hat{C}_{a,t})}$	$\hat{C}_{a,t}$ Captura en número estimada a la edad $a$ .
Abundancia a la edad del crucero	$\hat{N}_{a,t}^c = N_{a,t} e^{-dt^c Z_{a,t}} S_a^c$	$dt^c$ es la fracción del año en la que se realiza el crucero
Selectividad del crucero	$S_a^c = \left( 1 + \exp \left[ -\ln 19 \frac{(a - a_{50\%}^c)}{\Delta^c} \right] \right)^{-1}$	$a_{50\%}^c$ edad al 50 % $\Delta^c$ rango entre la edad al 95 % y 50 %
Biomasa crucero acústico	$\hat{B}_t^c = q^c \sum_l (P_{l,a} \hat{N}_{a,t}^c) w_l$	$w_l$ es el peso medio a la longitud $q^c$ es la capturabilidad/ disponibilidad del crucero
Biomasa desovante MPDH	$\hat{B}D_t^{c2} = q^{c2} \sum_l (P_{l,a} \hat{N}_{a,t}^c * \exp^{-dt^{c2} Z_{a,t}}) * O_l w_l$	$O_l$ es la madurez a la longitud $q^{c2}$ es la capturabilidad/disponibilidad del crucero MPDH $dt^{c2} Z_{l,t}$ fracción del año en la que se realiza el crucero
Captura por Unidad de esfuerzo por flota	$CPUE_t^f = q^f \left[ \sum_l P_{l,a} (S_{a,t} N_{a,t} \exp(-Z_{a,t})) w_l \right]$	$q^f$ : coeficiente de capturabilidad por flota



**Tabla 9.** Modelo de los errores del Modelo Anual con información en tallas.

Variable	Error	Ecuación	Descripción
Desembarques	Lognormal	$L = -\frac{0,5}{\sigma_y^2} \sum_t \left( \ln \frac{Y_t}{\hat{Y}_t} \right)^2$	$Y_t$ : Captura estimada en el año $t$ . $\hat{Y}_t$ : captura predicha para el año $t$ . $\sigma_y$ es la desviación estándar
Biomasa Crucero	Lognormal	$L = -\frac{0,5}{\sigma_{Bc}^2} \sum_t \left( \ln \frac{B_{ct}}{\hat{B}_{ct}} \right)^2$	$B_{ct}$ : Biomasa crucero $\hat{B}_{ct}$ : Biomasa crucero predicha $\sigma_{Bc}$ es la desviación estándar.
CPUE	Lognormal	$L = -\frac{0,5}{\sigma_{cpue}^2} \sum_t \left( \ln \frac{CPUE_t}{\hat{CPUE}_t} \right)^2$	$CPUE_t$ : Captura por unidad de esfuerzo estandarizada. $\hat{CPUE}_t$ : Captura por unidad de esfuerzo predicha . $\sigma_{cpue}$ es la desviación estándar
Proporción de la captura a la talla de la flota y crucero	Multinomial	$L = -n \sum_l \sum_t p_{l,t} * \ln(\hat{p}_{l,t})$	$p_{l,t}$ corresponde a la captura a la talla de la flota. $n$ es el tamaño de muestra efectivo.

### Selectividad

El patrón de explotación de la flota es asintótico y se considera constante entre años tanto a nivel de parámetros de posición (talla al 50 % de explotación) como de dispersión (pendiente de la curvatura). Las justificaciones para este escenario se basan esencialmente a que en esta pesquería no se conocen procesos de escape significativos de individuos más longevos fuera de la zona donde opera la pesquería, lo que pudiera sugerir un modelo tipo “domo”. En el caso de los cruceros de biomasa acústica, el patrón de explotación se supone igualmente logístico, pero se estima independiente al de la flota.

### Capturabilidad de los cruceros

La capturabilidad del crucero de evaluación hidroacústico es un parámetro estimado por el modelo, pero asume un valor de referencia inicial  $q=0,65$  con un  $cv=0,2$ . En el taller de revisión de datos se discutió sobre los problemas asociados con la corrección de orilla, la composición de especies, frecuencia de talla, cardúmenes no detectados y corrección de superficie y costa, etc. de los cruceros acústicos. Existe la posibilidad de dar lugar a estimaciones menores o mayores que la abundancia real. En base a esto, no existiría una razón a priori para asumir que  $q$  debería ser más cercano a 1 en uno u otro crucero.

### Ponderadores de la Información

- Tamaño de muestra Efectivo

El tamaño de muestra corresponde a una expresión inversamente proporcional con la incertidumbre/error de observación que tienen las composiciones de tallas empleadas en la evaluación de stock. En base a los antecedentes presentados en el taller sobre ponderación de datos organizado por el “Center for the advancement of population Assessment Methodology” (CAPAM), se propone el método de estimación propuesto por McAllister y lanelli (1997), a través de la aplicación de un proceso iterativo que considera el promedio armónico según:



$$nm = \frac{\sum_l \hat{p}_{l,t}(1 - \hat{p}_{l,t})}{\sum_l (p_{l,t} - \hat{p}_{l,t})^2}$$

Donde  $p_{(l,t)}$  es la proporción de talla  $l$  de la captura en el año  $t$ . El proceso se inicia con un valor arbitrario de tamaños de muestra para luego de repetidos ajustes del modelo, llegar a valores estables que son los empleados en esta evaluación de stock. A menudo es deseable verificar estas estimaciones cuando en el modelo se van integrando nuevas composiciones de tallas o como estos valores pueden variar dependiendo de cambios en los supuestos del modelo.

#### ■ Coeficiente de variación

Los coeficientes de variación que son empleados en los distintos índices de abundancia y capturas miden el nivel de desviación que el analista supone tienen los datos respecto del valor central verdadero como parte del error de observación. El coeficiente de variación tiene relevancia en las estimaciones pues es inversamente proporcional con el peso que tiene una determinada fuente de datos en la verosimilitud total.

Por ejemplo y como medida de referencia, para dos series de índices con igual número de observaciones, un  $cv=0,1$  (i.e. un IC al 95% de  $\pm 20\%$  la media) tiene un peso en la verosimilitud total de 4 veces más respecto del índice que asume un  $cv=0,2$ . En este razonamiento a menudo se supone que el modelo representa la naturaleza de manera perfecta, lo cual ya es cuestionable y por ende el establecimiento de ponderadores es un punto de debate. Este tema ha sido discutido por Francis (2011) sin que por ahora se disponga de reglas claras para su determinación, sino más bien criterios a tomar en cuenta.

Estos factores son a menudo consensuados entre especialistas y es común asumir desviaciones que reflejen el nivel de credibilidad relativa que se tienen a ciertas piezas de información. Comúnmente se asignan bajos niveles de incertidumbre a los desembarques y mayores a los cruceros, esto por el hecho que los desembarques son mediciones directamente asociadas con la mortalidad por pesca, mientras las estimaciones de biomasa de cruceros están sujetos a variados criterios y consideraciones en sus estimaciones de una población “no observable”, lo que en definitiva insta a suponer que ellos tienen mayor incertidumbre y/o son tratados como medidas relativas de abundancia.

Francis (2011) propone la idea de aproximarse de manera gradual a una medida del error, comenzando con un suavizador de los datos, es decir, un análisis exploratorio que considere aquel coeficiente de variación teórico que resulta de aplicar el “mejor” modelo de tendencia central a los datos aislados. Este primer procedimiento no depende del modelo de evaluación de stock sino de la variabilidad de los datos.

Con respecto a los CV de las capturas, debido a que existe poca o ninguna información en los datos y estructura del modelo para estimar la captura total, el modelo se ajusta asumiendo que las capturas se conocen exactamente o con altos niveles de precisión. Bajo este supuesto, las estimaciones de  $N$  del modelo y los parámetros de separabilidad permitirían determinar  $F$  anual. Sin embargo, para la ecuación de Baranov, no existe una solución analítica para los valores de  $F$ , por lo tanto, se deben tratar como parámetros estimables, pero altamente limitados (CV bajos) de tal manera que las capturas totales se puedan estimar de manera muy precisa (**Tabla 10**).



**Tabla 10.** Resumen de los principales ponderadores usadas a las piezas de información de entrada al modelo base de evaluación.

Índice	Valor del ponderador
cv Desembarque anual	0,05
cv CPUE industrial y artesanal	0,2
cv Biomasa acústica (RECLAN)	0,15
cv Biomasa desovante MPDH	0,15

### Documentación del modelo de evaluación de stock

El modelo de la dinámica poblacional fue programado en la plataforma AD Model Builder (Fournier *et al.*, 2012). Todos los códigos fuente y datos empleados en la evaluación son debidamente documentados e informados detalladamente, incluyendo su versión digital, estableciéndose una numeración específica para cada versión. Cualquier modificación del modelo y/o de su correspondiente código es informada en el informe respectivo, dejando constancia de las versiones que se emplearon hasta la fecha en que se emite el informe y definiendo específicamente la versión que se empleará en éste, para fines de revisiones posteriores.

### Diagnóstico del modelo de evaluación de stock

#### Ajuste del modelo a los datos

Corresponde a la presentación gráfica del ajuste del modelo a los datos observados y bondad de ajuste mediante diagrama QQ que permitirá evaluar si los valores estimados se apartan significativamente del supuesto inicial, esto es, que las observaciones son una muestra aleatoria de una distribución log-normal con media y varianza conocida. Si los datos se aproximan significativamente a la relación lineal implica entonces que el supuesto es adecuado para los datos analizados.

#### Análisis de residuos

Los residuales frente a los valores predichos son presentados para revisar si la varianza residual es constante, los residuales del modelo frente a las variables explicativas (año) para determinar si la varianza es homogénea entre los años, un histograma de los residuos para revisar normalidad y un diagrama qqplot de los residuos que indica linealidad.

#### Análisis histórico

Se incluirá 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 identificarán las oportunidades de mejoras en la implementación del procedimiento de evaluación, los vacíos de conocimiento y de información, entre otros.

#### Análisis retrospectivo

Este análisis es un diagnóstico que implica correr el modelo eliminando años de datos sucesivos consecutivamente para estimar el sesgo del modelo (Cadrin y Vaughn, 1997; Cadigan y Farrell, 2005). Este análisis permitirá evaluar la robustez de cada escenario frente a nuevas piezas de información lo que también permitirá validar el escenario "caso base". Este análisis consiste en una validación cruzada de naturaleza sistemática en la que es removido secuencialmente el último año de información y se evalúa su impacto en las tendencias poblacionales. De esta forma podemos determinar si hubo un patrón consistente de sobreestimación o subestimación en años sucesivos de las principales variables de estado utilizados en la determinación del estatus de la anchoveta centro-norte.



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

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

Donde  $X$  corresponde a alguna variable de la evaluación de stock, tales como BD o F, y corresponde a los años,  $npeels$  es el número de años que son disminuidos de manera sucesiva,  $Y$  es el último año de la serie de tiempo completa,  $tip$  es la estimación terminal de la serie de tiempo reducida, y  $ref$  es la serie de tiempo completa.

Este cálculo será cero cuando la serie de tiempo reducida se encuentre exactamente con la serie de tiempo completa, o cuando las diferencias entre la serie disminuida y la serie completa están en equilibrio tanto positivo como negativo. El rho de Mohn será grande, ya sea positivo o negativo, cuando hay un patrón consistente de cambio en la serie de tiempo reducida respecto a la serie completa.

#### Análisis de sensibilidad para evaluar escenarios alternativos

El análisis de escenarios alternativos al modelo de evaluación del stock de la anchoveta centro-norte considera las recomendaciones emanadas del taller de revisión de datos y modelo, junto con las mejoras y recomendaciones realizadas por el CCT-PP y las recomendaciones del evaluador externo del proyecto, con el objetivo de abordar la incertidumbre estructural del modelo ante cambios en parámetros y supuestos considerados conocidos.



### 3.2. Objetivo específico 2:

“Establecer el estatus actualizado de anchoveta y sardina española, sobre la base de sus principales indicadores estandarizados de estado y flujo, propagando para estos efectos todas las fuentes de incertidumbre subyacente a la pesquería.”

#### 3.2.1. Estatus

##### Indicadores del estado del stock

El estado del recurso se estableció en base a la posición relativa de la biomasa desovante y mortalidad por pesca relacionada a la explotación pesquera v/s Puntos Biológicos de Referencia (PBR) basados en el Rendimiento Máximo Sostenido (RMS). 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, en promedio, para lo cual exige, se estimen los siguientes PBRs:

- Biomasa desovante en el Rendimiento Máximo Sostenible ( $BD_{RMS}$ ), bajo la cual el recurso califica en sobreexplotación.
- Mortalidad por Pesca en el Rendimiento Máximo Sostenible ( $F_{RMS}$ ), sobre la cual el recurso califica en sobrepesca.
- Biomasa desovante límite ( $B_{LIM}$ ) bajo la cual una pesquería califica de agotada o colapsada.
- Mortalidad por Pesca límite ( $F_{LIM}$ ) a partir de la cual el recurso califica en sobrepesca.

En este informe se presenta el Marco Biológico de Referencia establecido por el Comité Científico Técnico Pesquerías de Pequeños Pelágicos (CCT-PP) en base a los avances realizados durante el 2013 y 2014 en la determinación de Puntos Biológicos de Referencia (PBR) y del Rendimiento Máximo Sostenido (RMS) del proyecto “Revisión y estimación de los PBR (Rendimiento Máximo Sostenido) para las principales pesquerías nacionales” (Payá *et al.*, 2014). Este proyecto ejecutado por IFOP que contó con la consultoría de investigadores de prestigio internacional, con los cuales se realizaron tres talleres de trabajo, contando además con la participación de investigadores nacionales.

##### Puntos biológicos de referencia

En el informe sobre: “Revisión de los puntos biológicos de referencia (Rendimiento Máximo Sostenido) en las pesquerías Nacionales” (Paya *et al.*, 2014), se propone usar como objetivo, el nivel de mortalidad por pesca que reduce hasta un 55% la biomasa desovante virginal ( $55\%BD_0$ ). Tal nivel de reducción corresponde a un 60% en la Biomasa desovante por recluta ( $60\%BDPR$ ). Por tanto, se utiliza el  $F_{60\%}$  del análisis de biomasa desovante por recluta (BDPR) como objetivo que no necesita estimación de  $h$  para actuar como un proxy de  $B_{RMS}$ . Además, se demostró que, al menos para algunas condiciones, la pesca en  $F_{60\%}$  produce que un stock alcance  $B_{55\%}$  (actuando como una aproximación genérica o proxy para  $B_{RMS}$ ) bajo un amplio rango de valores de steepness ( $h$ ) de una relación stock-recluta de Beverton-Holt. El CCT-PP recoge dichas recomendaciones y establece los PBRs presentados en la **Tabla 11** (Acta Sesión N°5/2014).

**Tabla 11.** Puntos de Referencia objetivo y límites para anchoveta que definen su estado y criterio de explotación.

RECURSO	$F_{RMSproxy}$	$B_{RMSproxy}$	$B_{LIM}$
Anchoveta Arica - Antofagasta	$F_{55\%BDPR}$	55% BDPR (ó 50% $B_0$ )	25% $B_0$
Anchoveta Atacama - Coquimbo	$F_{60\%BDPR}$	60% BDPR (ó 55% $B_0$ )	27,5% $B_0$
Anchoveta Valparaíso -Los Lagos	$F_{60\%BDPR}$	60% BDPR (ó 55% $B_0$ )	27,5% $B_0$



## Diagrama de fases de explotación

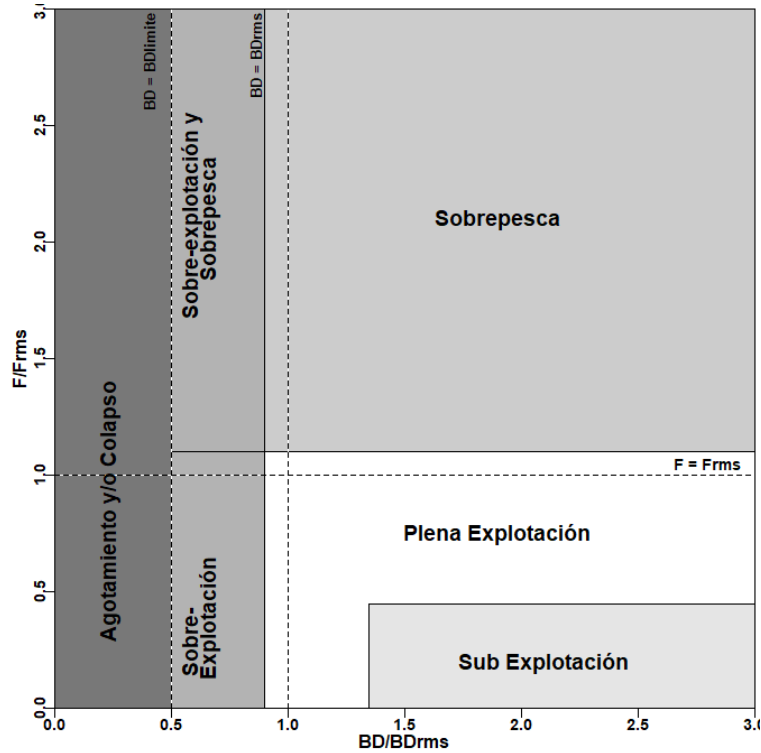
El estado del recurso se estableció en base a la posición relativa de la mortalidad por pesca y biomasa desovante versus los puntos biológicos de referencia basado en el rendimiento máximo sostenible (RMS), tales como,  $F_{RMS}$  y  $BD_{RMS}$ . De este modo se obtienen los indicadores del estatus ( $F/F_{RMS}$  y  $BD/BD_{RMS}$ ) que permiten construir un diagrama de fase, donde los puntos de referencia biológicos se muestran en las líneas verticales y horizontales en 1. Las líneas verticales indican la biomasa desovante en el rendimiento máximo sostenible ( $BD_{RMS}$ ), bajo el cual el recurso califica en sobre-explotación y biomasa desovante límite ( $BD_{LIM}$ ) 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 ( $F_{RMS}$ ), sobre la cual el recurso califica en sobre-explotación. La **Figura 10** muestra el diagrama de fase definido por el CCT-PP para las pesquerías de pelágicos pequeños. 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,  $F_{RMS}$  no es estática, pero fluctuará alrededor de  $BD_{RMS}$ . 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. Adicionalmente, el CCT-PP incorporó el concepto de sobrepesca, precisó algunas definiciones y se pronunció respecto a la zona de plena explotación, según consta en Acta N° 5 (11-14 de noviembre de 2014). Los aspectos más relevantes son los que a continuación se describen:

**Sobrepesca:** El CCT-PP 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) exceda 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.

**Rango de Plena Explotación:** El CCT-PP recomendó por consenso los siguientes rangos que definen la condición de Plena Explotación de los recursos pelágicos, considerando los siguientes límites en biomasa y el correspondiente par ordenado en mortalidad por pesca:

- Límite bajo el objetivo de manejo = 10 % bajo  $BD_{RMS}$ . Este criterio tiene como propósito el establecimiento de una banda estrecha en torno al RMS, que genere un área no deseada pequeña que en lo posible sea menor o igual al área de incertidumbre total del sistema, donde la biomasa está bajo la biomasa objetivo y a su vez, la mortalidad por pesca es mayor a la mortalidad por pesca objetivo. En consecuencia, el CCT-PP considera las numerosas recomendaciones en ciencia pesquera, respecto al riesgo de llevar a los stocks a una condición de sobreexplotación cuando se utiliza el RMS como objetivo de manejo, utiliza el concepto conforme al marco legal vigente y simultáneamente lo deja operando en la práctica, como un punto biológico de referencia límite.
- Límite sobre el objetivo de manejo = 75 %  $BD_0$  (ó 35 % sobre  $BD_{RMS}$ ): Para estos efectos el Comité rescató elementos del enfoque ecosistémico en especies de forraje, planteado por Pikitch *et al.* (2012).



**Figura 10.** Diagrama de fase definido por el CCT-PP para las pesquerías de pelágicos pequeños. En el eje X se presenta la razón entre el nivel de reducción de la biomasa desovante (BD) estimada en la evaluación de stock respecto de la biomasa objetivo ( $B_{RMS}$ ), la cual define el estatus de sub-explotación, plena explotación y sobreexplotación. El eje Y representa la razón entre la mortalidad por pesca proveniente de la evaluación respecto del  $F_{60\%}$  considerado objetivo para alcanzar el RMS (proxy), sobre la línea continua ( $F/F_{RMS} > 1, 1$ ), se define la condición de sobrepesca.

### 3.3. Objetivo específico 3:

*“Determinar niveles de Captura Biológicamente Aceptable (CBA) que lleven y/o mantenga la pesquería en torno al Rendimiento Máximo Sostenible (RMS), a partir de un análisis de riesgo en condiciones de incertidumbre de no alcanzar los objetivos de conservación y sostenibilidad conforme lo establece la LGPA y contenidos en el Plan de Manejo y/o en el Programa de Recuperación respectivo, según corresponda.”*

#### 3.3.1. Captura biológicamente aceptable (CBA)

##### Descripción del proceso de cálculo de CBA para cada etapa del proceso de asesoría

La anchoveta de la unidad de pesquería centro-norte ha sido manejada históricamente a través de cuotas globales de captura estimadas a partir de una evaluación de stock monoespecífica, considerando la incertidumbre asociada. El objetivo de manejo establece mantener un nivel de biomasa desovante equivalente al 55%BD0 (biomasa desovante sin explotación), el cual es considerado un proxy del RMS. Para alcanzar este objetivo de manejo, se define como estrategia de explotación aquel nivel de mortalidad pesca que permite alcanzar dicho objetivo ( $F_{RMS}$ ), el cual ha sido definido por el CCT-PP como  $F_{60\%BDPR}$ , para resguardar la incertidumbre en el éxito de la clase anual que reclutaría a la pesquería (Informe Técnico CCT-PP N°01/2015). Este nivel de remoción por pesca (F) es constante para todo el período de proyección, por lo tanto, proporcional a los cambios de abundancia del stock.



El ciclo de manejo de la pesquería de la anchoveta centro-norte comprende las siguientes etapas:

1. Determinación de un CBA inicial (septiembre 2021) para el año siguiente, que tiene el carácter de preliminar ya que se encuentra sustentada en la evaluación de stock llevada a cabo durante el mismo año de ejecución del proyecto, la cual incluye información del crucero hidroacústico del año en curso (biomasa y composición de tallas), datos de la composición de tallas en las capturas a junio del año en curso (parcial), una serie de cpue estimada con información hasta el año anterior de ejecución del proyecto (2020) y el desembarque total para el año anterior (2020). Se asume un valor de captura para el año en curso igual a la cuota global establecida.
2. La estimación de una CBA final (abril 2022), que se basa en una actualización del modelo presentado en el primer informe de estatus con información completa del año anterior (2021), esto es: desembarques, composición de tallas en las capturas y en el crucero hidroacústico y la cpue y el valor de la biomasa desovante proveniente del crucero MPDH. Además, se incorpora la biomasa y composición de tallas estimadas por el crucero de evaluación directa realizado en el mismo año (2022).

La información disponible en cada etapa de estimación de cuota se resume en la **Tabla 12** en la que se aprecia que la estimación de CBA inicial cuenta con información parcial del año 2021, mientras que en la estimación de CBA final, la información es completa para el año anterior y además se incorpora la información del crucero RECLAN 2022.

**Tabla 12.** Información relevante para el cálculo de CBA 2022 en cada una de las fases de estimación

Datos de entrada al modelo	CBA INICIAL Septiembre 2021	CBA FINAL Abril 2022
Estructura temporal	1985-2021	1985-2022
Desembarques	1985 - 2020 + Supuesto de captura 2021	1985 - 2021 + Supuesto de captura 2022 (Cuota inicial 2022)
CPUE Industrial	1985 - 2010	1985 - 2010
CPUE Artesanal	1998 - 2020	1998 - 2021
Biomasa Crucero hidroacústicos	2006 - 2021	2006 - 2022
Composición de tallas flota	1995 - 2021*	1995 - 2021
Composición de tallas Cruceros	2006 - 2021	2006 - 2022
Biomasa Cruceros MPDH	2015 - 2020	2015 - 2021
Pesos medios a la talla	Constante	Constante
Madurez sexual a la talla	Constante	Constante
Mortalidad natural	Constante	Constante
Proyección del reclutamiento	1 año calendario	No se proyecta

\*Parcial

El proceso de cálculo de la CBA 2022 para las dos etapas del ciclo de manejo de anchoveta centro-norte consiste en los siguientes pasos:

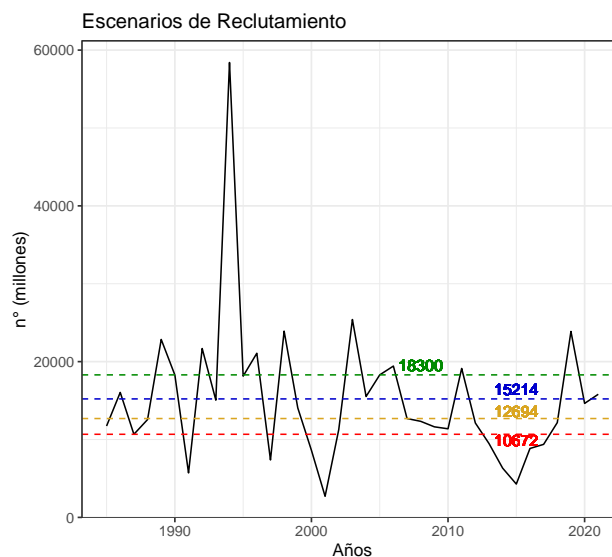
- Paso 1: Estimación de la captura al RMS proyectada ( $Y_{pRMS}$ ) para el año siguiente ( $t+1$ )
  - Escenarios de reclutamiento proyectado
- Paso 2: Revisión de la estimación de la captura al RMS ( $Y_{RMS}$ ) para el año 2022.
  - Niveles de riesgo de exceder el objetivo de manejo  $F_{RMS} = F_{60\%BDPR}$

## Estimación de la Captura Biológicamente Aceptable (CBA)

### Escenarios de proyección basada en distintos niveles de reclutamiento

La ecuación que gobierna la dinámica de la población proyectada para analizar la productividad del stock y sus posibilidades de explotación corresponde a la misma utilizada para describir la dinámica para todo el período de modelamiento y evaluación del stock, descritas en el capítulo 3.1. La simulación se realiza en escala anual y bajo un horizonte de proyección de mediano plazo (5 años) y considera toda la incertidumbre asociada a la evaluación del stock.

En el primer proceso de asesoría (septiembre de cada año) se realizan análisis de escenarios sobre el supuesto de reclutamiento proyectado (estados de la naturaleza) sobre el cual se estima la CBA para el año siguiente, dada la naturaleza altamente variable de este tipo de recursos. En reunión del CCT-PP realizada los días 6 y 7 de julio (Acta de Sesión N°04/2017), se solicitó explorar alternativas de distintos estados de la naturaleza. En particular, la anchoveta de la zona centro norte presenta reclutamientos con una alta variabilidad interanual, sin una clara distinción de períodos de baja o alta productividad, exceptuando los años 1993 y 1994, que parecen ser más bien anómalos **Figura 11**. Por tal motivo, se proponen escenarios que consideran valores asociados a los cuartiles de distribución de los reclutamientos históricos.

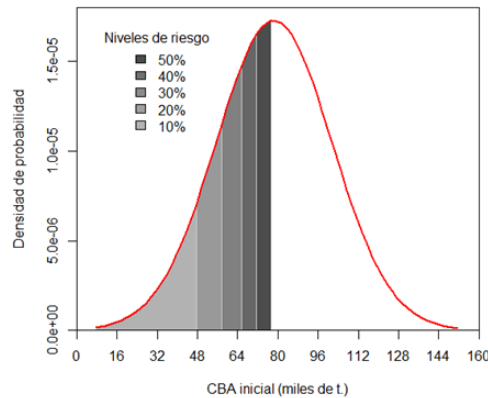


**Figura 11.** Serie de reclutamientos históricos de la anchoveta centro-norte. Las líneas horizontales segmentadas muestran los cuartiles de distribución (Asesoría sept 2021).

### Análisis de riesgo basado en los percentiles de probabilidad

Se considera el establecimiento de un nivel de riesgo de sobrepasar el objetivo de manejo igual al  $F_{RMS}$  a partir del percentil del 10 % al 50 % de la CBA. El percentil corresponde a una distribución de probabilidad acumulada y representa la probabilidad de estar en sobrepesca (**Figura 12**).

El CCT-PP determina el rango de CBA seleccionado el percentil de probabilidad y escenario de reclutamiento proyectado. Dado la alta incertidumbre existente en el momento de definir la CBA inicial, el CCT-PP ha seleccionado escenario de reclutamiento medio y un percentil de probabilidad entre 10 % y 30 %. Este percentil de probabilidad es equivalente a un nivel de resguardo que se calcula a partir de la captura estimada para cada percentil de probabilidad y la captura al RMS, de este modo, se tiene un nivel de referencia de cuanto se está resguardando considerando el hito de revisión de CBA o condición del recurso.



**Figura 12.** Esquema de CBA inicial ante distintos niveles de riesgo de exceder la estrategia de explotación y bajo un escenario de reclutamiento histórico.

$$Resguardo = 1 - \frac{Captura(i)}{Captura_{RMS}}, i = \text{percentil.de.captura}(10\% \dots 50\%)$$

Donde la Captura(i) es la captura estimada para cada percentil de probabilidad (10% - 50%) y Captura<sub>RMS</sub> corresponde a la media (50% probabilidad).

### Incorporación del descarte en la CBA

La actual Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA, N° 18.892) tiene como fin la conservación y el uso sustentable de los recursos pesqueros mediante la aplicación del enfoque precautorio y ecosistémico, garantizando el resguardo de los ecosistemas marinos. En este contexto, el Artículo 7°B de la LGPA indica que no podrá realizarse el descarte de individuos de una especie objetivo, cualquiera sea su régimen de acceso, y su fauna acompañante, salvo que i) haya fijado una cuota global anual de captura para la especie objetivo y, ii) que en el proceso de establecimiento de la cuota global anual de captura se haya considerado el descarte, entre otras restricciones indicadas por el citado artículo.

Para dar cumplimiento a esta normativa se estima una CBA<sub>total</sub> que da cuenta de toda la mortalidad por pesca incluido el descarte. El CCT-PP debe establecer el rango de CBA que se construye a partir de una CBA máxima (CBA<sub>max</sub>), es decir, el rango por ley es  $[0,8 * CBA_{max}; CBA_{max}]$ . Esta CBA<sub>max</sub>, deberá estimarse a partir de la CBA<sub>total</sub> descontando la proporción del descarte (pd) supuesto para el año 2022 y que deberá ser descontado de la CBA<sub>total</sub> para establecer la CBA<sub>max</sub>.

$$CBA_{max} = CBA_{total} - pd * CBA_{total}$$



### 3.4. Objetivo específico 4:

*“Informar el avance del Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad en la Asesoría Científica (PMCCAC) realizado durante el presente estudio, respecto al cumplimiento de recomendaciones formuladas en procesos de RPEI y priorizadas por el CCT, cuando corresponda.”*

Para el cumplimiento de este objetivo, se informan los avances alcanzados durante el desarrollo del estudio, conforme al Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría Científica (PMCCAC), elaborado por recurso y/o pesquería. Este PMCCAC se enfoca en las brechas de datos, información y conocimiento, en relación con la situación general de la pesquería y acorde con los requerimientos de asesoría solicitados por la administración pesquera. Sobre la base de lo anterior, se evalúa el desempeño logrado y se proponen las acciones, actividades, metas, plazos y condiciones consideradas necesarias para lograr disminuir las brechas identificadas y los requerimientos para alcanzar los estándares de asesoría previamente definidos.

En el contexto del desarrollo metodológico del trabajo, se realiza un listado de comprobación en el que se da cuenta de todas las recomendaciones emanadas de los revisores expertos, con el propósito de verificar el cumplimiento de cada uno de las observaciones, correcciones y recomendaciones.

A continuación, se detalla el contenido presentado la Sección 4.4 de este informe:

- I. Esquema de trabajo y plan de actividades acordado con SUBPESCA desde 2017.
- II. Mejoras realizadas al modelo de evaluación de stock actual, donde se describen los cambios realizados en el tiempo y que llevaron al modelo base actual.
- III. Avance en la reducción de brechas, basado en las recomendaciones realizadas por los revisores expertos, CCT-PP e IFOP, propiamente tal. El nivel de priorización de las actividades es consensuado al interior del CCTPP.



## 4. RESULTADOS

### 4.1. Objetivo específico 1:

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

#### 4.1.1. Información y datos de entrada al modelo de evaluación de stock

La estructura temporal del actual modelo de evaluación (abril 2022) abarca el período 1985-2022. Los índices que ajustan el modelo corresponden a la información de desembarques más descarte, captura por unidad de esfuerzo estandarizada industrial (CPUE Ind) y artesanal (CPUE Art), biomasa del crucero acústico (Bcru) y biomasa desovante estimada por el MDPH (BD mpdh)(**Tabla 13 y Tabla 14**).

**Tabla 13.** Desembarque, descarte y captura (t) de anchoveta de la zona centro norte.

Año	Desembarque (t)	% descarte	Captura descartada (t)	Captura total (t)
1985	9.841	2,01 %	198	10.039
1986	51.192	2,01 %	1.029	52.221
1987	33.627	2,01 %	676	34.303
1988	46.441	2,01 %	933	47.374
1989	66.976	2,01 %	1.346	68.322
1990	83.730	2,01 %	1.683	85.413
1991	62.028	2,01 %	1.247	63.275
1992	33.103	2,01 %	665	33.768
1993	99.139	2,01 %	1.993	101.132
1994	111.778	2,01 %	2.247	114.025
1995	216.424	2,01 %	4.350	220.774
1996	95.185	2,01 %	1.913	97.098
1997	75.264	2,01 %	1.513	76.777
1998	99.877	2,01 %	2.008	101.885
1999	61.210	2,01 %	1.230	62.440
2000	52.195	2,01 %	1.049	53.244
2001	17.593	2,01 %	354	17.947
2002	12.788	2,01 %	257	13.045
2003	74.948	2,01 %	1.506	76.454
2004	83.521	2,01 %	1.679	85.200
2005	78.660	2,01 %	1.581	80.241
2006	72.918	2,01 %	1.466	74.384
2007	54.326	2,01 %	1.092	55.418
2008	56.795	2,01 %	1.142	57.937
2009	44.399	2,01 %	892	45.291
2010	52.593	2,01 %	1.056	53.599
2011	63.053	2,01 %	1.267	64.320
2012	42.172	2,01 %	848	43.020
2013	34.777	2,01 %	699	35.476
2014	32.946	2,01 %	662	33.608
2015	20.086	2,01 %	404	20.490
2016	20.811	2,01 %	418	21.229
2017	16.565	2,01 %	333	16.898
2018	38.841	2,01 %	781	39.622
2019	60.528	1,7 %	1.029	61.557
2020	59.825	2,29 %	1.370	61.195
2021	48.859	2,01 %	982	49.841
2022	51.287*	2,01 %	1.031	52.318

\*Supuesto de desembarque = Cuota establecida

**Tabla 14.** Índices usados en la evaluación de stock de anchoveta centro norte.

Años	CPUE <sub>IND</sub> (t/vcp)	CPUE <sub>ART</sub> (t/vcp)	B <sub>CRU</sub> (t)	BD <sub>MPDH</sub> (t)
1985	42,76			
1986	65,04			
1987	86,63			
1988	56,13			
1989	56,92			
1990	75,16			
1991	51,91			
1992	41,66			
1993	56,11			
1994	75,91			
1995	93,15			
1996	50,71			
1997	41,03			
1998	31,79	16,18		
1999	40,68	26,24		
2000	46,49	28,05		
2001	54,90	29,03		
2002	24,26	24,26		
2003	65,56	27,89		
2004	69,75	34,08		
2005	48,85	34,01		
2006	68,89	34,05	356.940	
2007	55,40	37,81	228.270	
2008	55,06	38,29	217.950	
2009	83,35	34,96	79.057	
2010	62,38	36,61	155.000	
2011		39,48	276.864	
2012		34,24	246.937	
2013		27,39	262.084	
2014		30,46	107.828	
2015		30,47	75.201	34.547
2016		26,36	146.467	43.844
2017		24,25	174.857	67.228
2018		31,26	181.022	74.747
2019		34,74	603.178	126.984
2020		33,16	322.792	134.856
2021		36,17	216.021	77.288
2022			275.775	

#### Datos actualizados

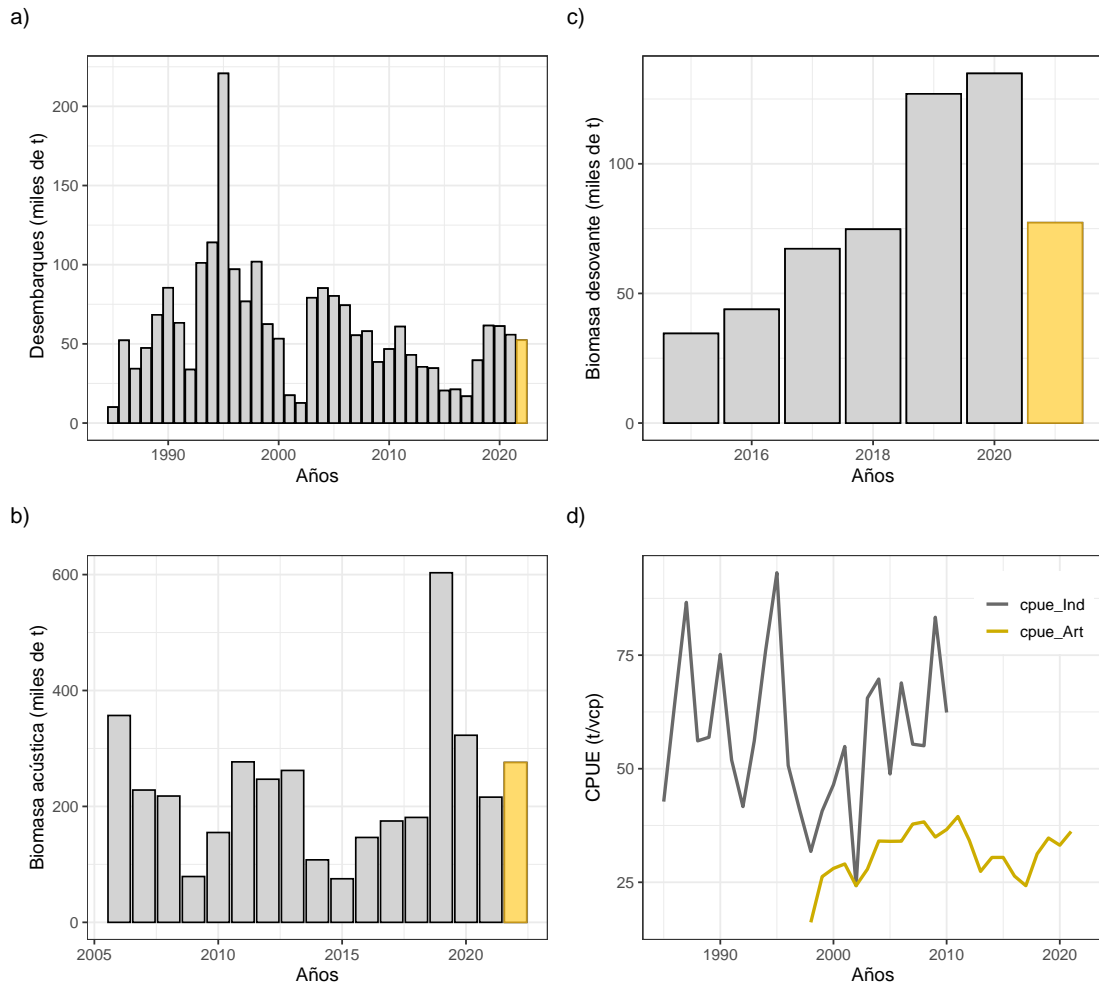
- Desembarques: Se utiliza la serie de desembarques ocurridos en el período 1985 - 2021. Durante el 2021 se capturaron 48,9 mil t. Con la incorporación del descarte la captura es de 49,8 mil t, un 18 % menor que la captura del año previo (2020) y equivalente a un 69 % de la cuota establecida. Además, la captura 2021 es un 11 % inferior al supuesto utilizado en el proceso previo de asesoría (**Figura 13**).
- CPUE: Se utiliza la serie de captura por unidad de esfuerzo estandarizada para 2 índices independientes para la flota industrial (período 1985 - 2010) y artesanal (período 1998-2021) (**Figura 13**). Se destaca que ambos índices son, en términos de tendencia, similares para el período 2000-2010. Así como los desembarques, el rendimiento artesanal muestra un cambio positivo a partir del 2018, respecto de la tendencia observada entre 2012 y 2017. Durante el año 2021, el rendimiento de la flota artesanal fue levemente superior (9 %) al observado durante el 2020.



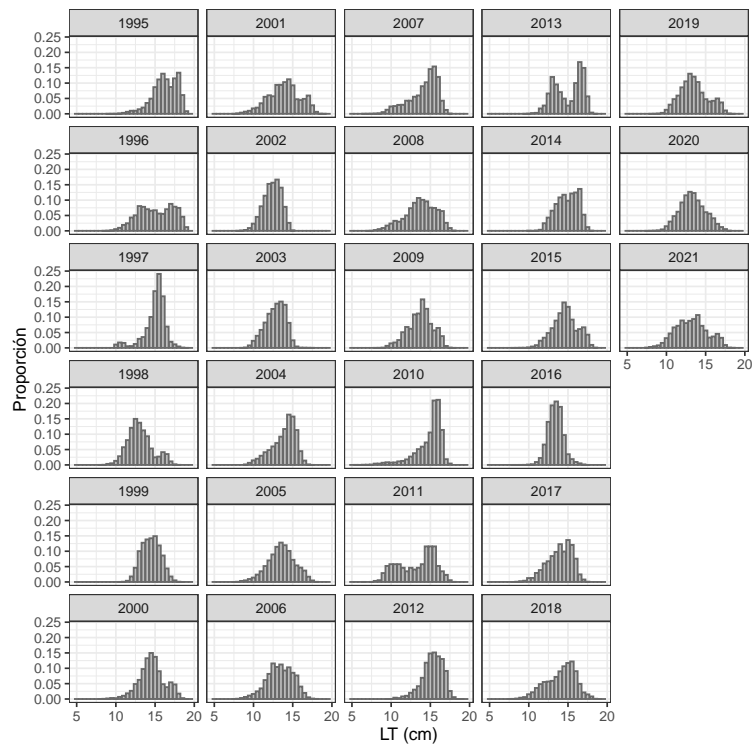
- **Biomasa de cruceros acústicos:** Se utiliza la serie de biomasa estimada por el crucero de evaluación hidroacústica que se realiza en febrero de cada año (período 2006–2022, **Figura 13**). A partir del año 2016 se observa un cambio positivo en la tendencia de este índice. El valor de biomasa estimada en el crucero 2022 alcanzó las 275 mil t, cifra 28 % superior respecto del año previo (2021) y un 19 % mayor que la media histórica.
- **Biomasa desovante de cruceros MPDH:** Se incorpora la biomasa estimada por el crucero de evaluación del stock desovante por el Método de Producción Diaria de Huevos año 2021, que presenta una importante disminución respecto del año previo (**Figura 13**). Este índice cuenta con 7 años de observaciones (2015-2021), mostrando una tendencia creciente de la población desovante de la anchoveta centro-norte, hasta el año 2020. No obstante, durante el año 2021 el stock desovante fue estimado en 77,3 mil t lo que significa una disminución del 43 % de la fracción desovante respecto del año 2020.
- **Composición de tallas flota y cruceros:** Se actualiza la estructura de tallas observadas por la flota comercial durante todo el 2021. La moda principal se encuentra en 14 cm de LT. La composición de tallas del crucero RECLAN 2022 presentó un rango de distribución de ejemplares entre 5,5 y 17,5 cm de LT, estructura multimodal con moda principal en 10 cm de LT. Modas secundarias se observan en los 15 y 13,5 cm de LT (**Figura 14** y **Figura 15**).

#### Datos Supuestos

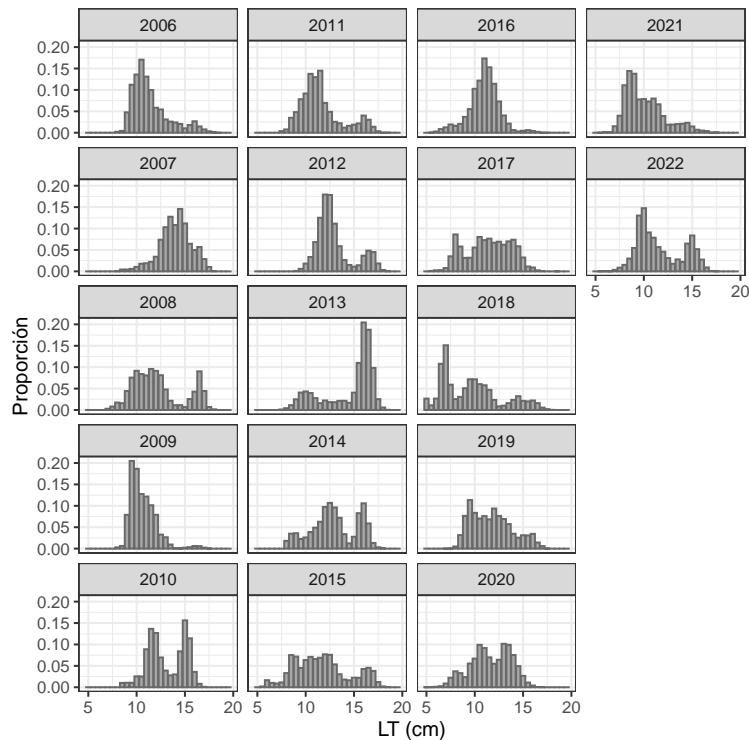
- **Desembarques (t):** Se asume una captura para el año  $t = 2022$  igual a la cuota global de captura establecida ( $\sim 51$  mil t). A este valor se incorpora el descarte igual a 2,01 %, estableciendo un supuesto de captura 2022 de 52.318 t.
- **CPUE (t/vcp):** Según acuerdo tomado por el CCT-PP para este y otros recursos pelágicos, no se considera un valor supuesto de los índices de CPUE para el año  $t$  en curso (Acta de Reunión N°6/2016).



**Figura 13.** Índices utilizados en la evaluación del stock de la anchoveta centro norte. a) Captura período 1985-2021 y la barra amarilla corresponde al supuesto de captura 2022. b) Biomasa acústica (miles de t) estimadas por el crucero de evaluación hidroacústica), periodo 2006-2022. La barra amarilla corresponde al último valor actualizado de la serie estimada por el crucero RECLAN 2022. c) Biomasa desovante (miles de t) estimada por el crucero MPDH realizado en agosto período 2015-2021. La barra amarilla corresponde al último valor actualizado de la serie a partir del crucero MPDH 2021. d) Captura por unidad de esfuerzo estandarizada (t/vcp) para la flota industrial (1985-2010) y flota artesanal (1998-2021). La línea amarilla corresponde a la serie artesanal, actualizada al año 2021.



**Figura 14.** Composición de tallas provenientes de la captura utilizadas en la evaluación de stock de anchoveta de la zona centro-norte, período 1995-2021



**Figura 15.** Composición de tallas provenientes del crucero de evaluación directa (RECLAN) utilizados en la evaluación de stock de anchoveta de la zona centro-norte, período 2006-2022.

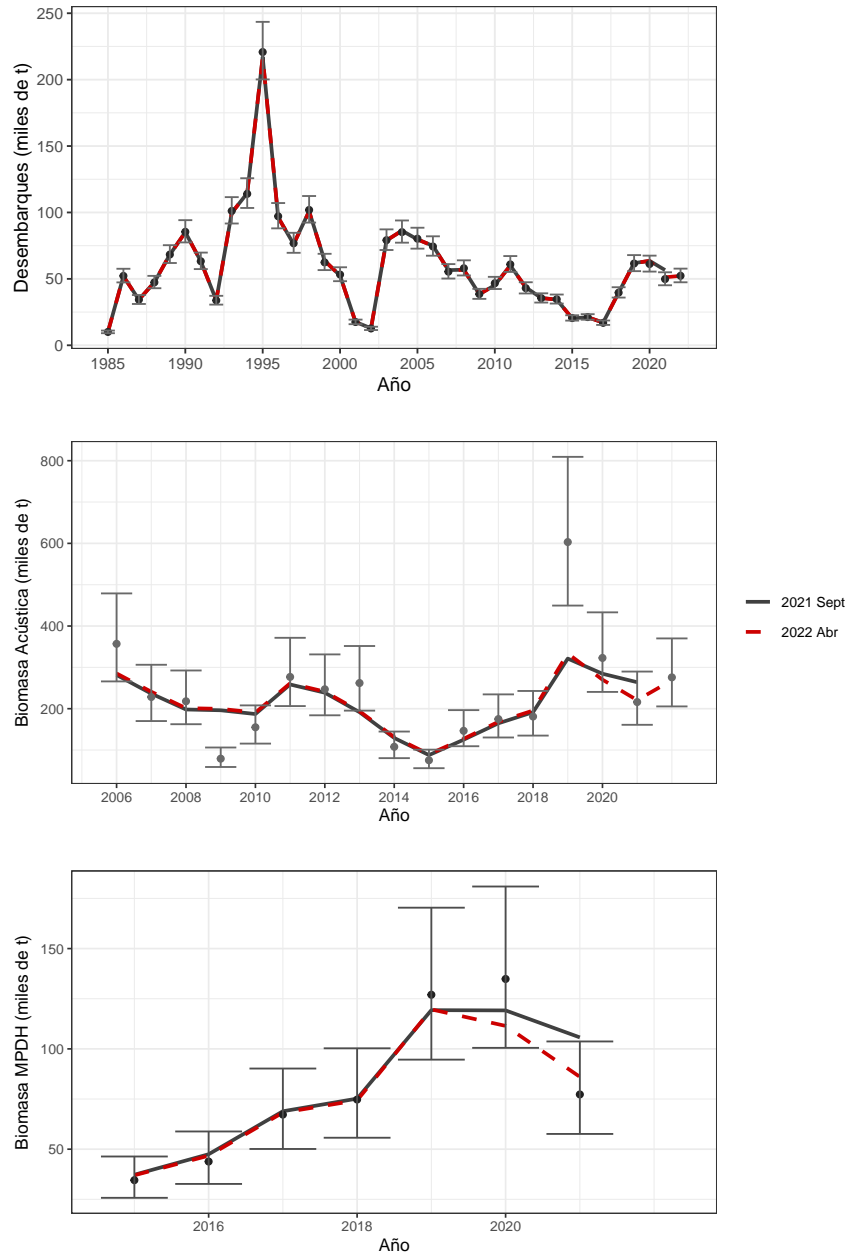
#### Parámetros de historia de vida

Los parámetros de historia de vida, utilizados en la evaluación del stock de la anchoveta de la zona centro-norte son descritos en capítulo 3.1.2. *Datos de entrada al modelo de evaluación de stock, sección Parámetros de Historia de Vida*. Los parámetros de crecimiento individual corresponden a  $L_{\infty} = 18,75$  cm de LT,  $k = 0,91 \text{ año}^{-1}$  y  $t_0 = -0,01$  y mortalidad natural  $M = 1,3 \text{ año}^{-1}$  estimados por Canales y Leal (2009). La longitud media de madurez corresponde a  $L_{50\%} = 12$  cm de LT (Martínez *et al.*, 2004).

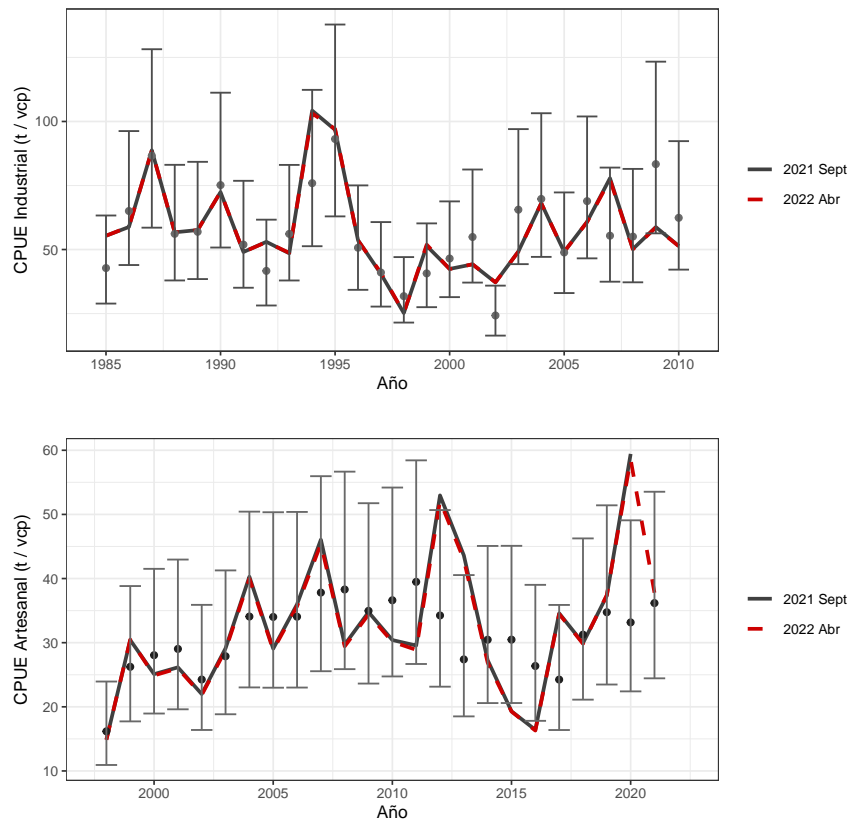
#### 4.1.2. Diagnóstico del modelo de evaluación de stock

##### Ajuste del modelo a los datos y análisis de residuos

Los resultados muestran que el modelo base actual recoge la variabilidad general de las señales poblacionales. El modelo tiene la capacidad de reproducir satisfactoriamente la serie de desembarques, lo que es consistente con el peso relativo asignado a esta pieza de información ( $cv = 0,05$ ). La biomasa de los cruceros se ajusta adecuadamente, aunque no alcanza la brusca caída del año 2009. Para el año 2019 el modelo sugiere que el crucero acústico sobreestimó el nivel de biomasa a inicios de año, mientras sigue las estimaciones para los 3 años más recientes. En tanto, el modelo ajusta satisfactoriamente las observaciones de biomasa desovante estimadas por el método MPDH (**Figura 16**). Para la CPUE industrial, se observa un ajuste satisfactorio, exceptuando el año 2002, cuando el modelo indica que el rendimiento observado es inferior al estimado. En el caso de la CPUE artesanal, el ajuste está contenido dentro del intervalo de confianza de las observaciones, exceptuando los años 2012, 2014-2015 y 2020. Este último año en particular destaca la sobreestimación del índice por sobre el valor observado. Sin embargo, para el 2021 el ajuste es satisfactorio (**Figura 17**).

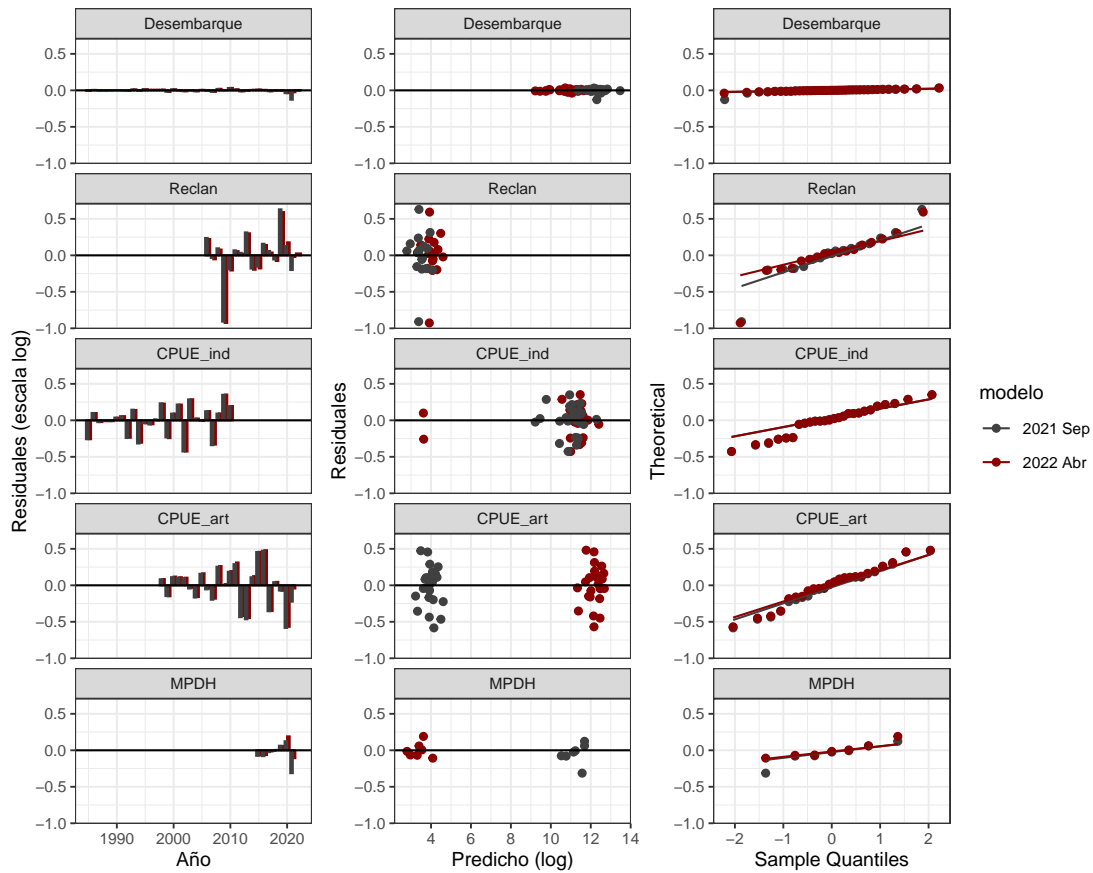


**Figura 16.** Ajuste del modelo a la serie de a) Capturas, b) Biomasa del crucero acústico y c) Biomasa desovante del crucero MPDH para la anchoveta de la zona centro norte. Los círculos representan los datos observados y la línea vertical sobre los puntos corresponde al error de las observaciones.



**Figura 17.** Ajuste del índice de CPUE industrial y CPUE artesanal de anchoveta de la zona centro norte. Los círculos representan los datos observados y la línea vertical sobre los puntos corresponde al error de las observaciones.

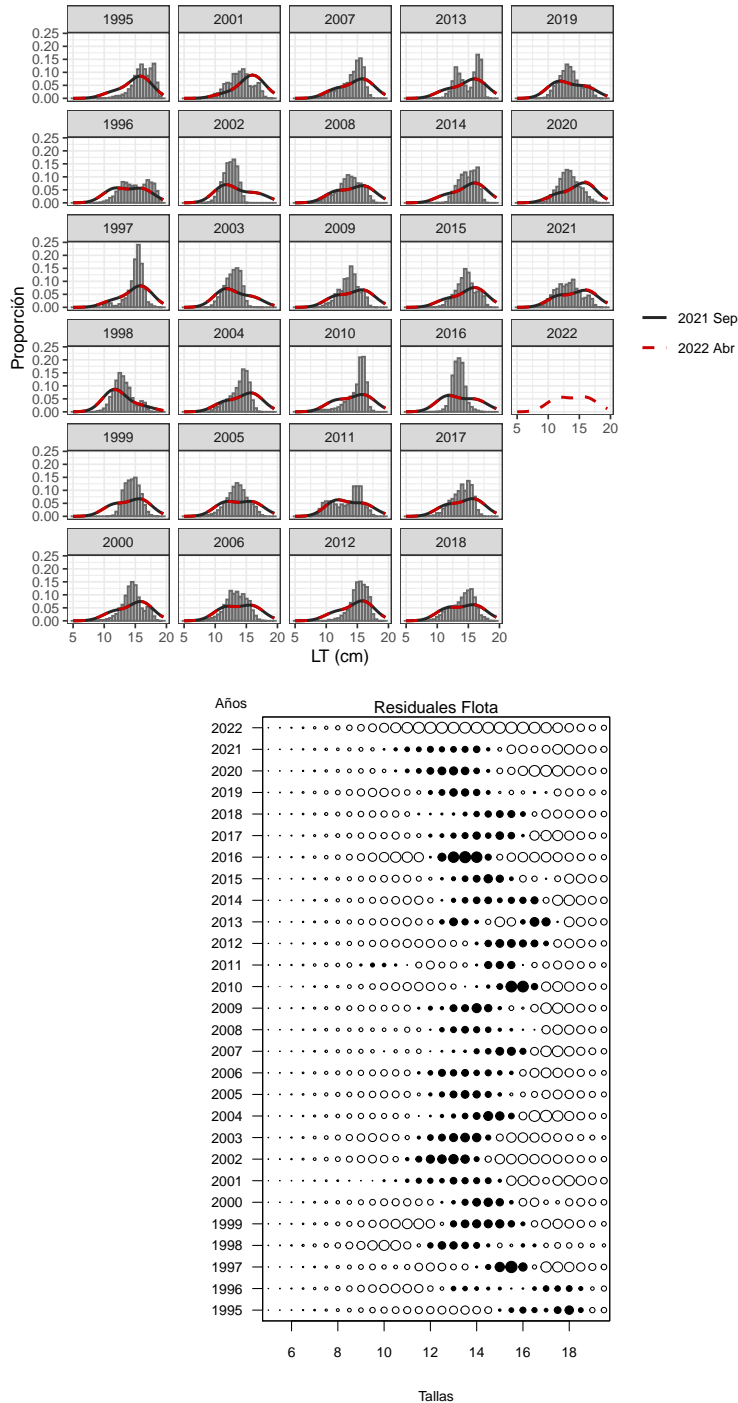
Junto a los ajustes de cada pieza de información se presentan los gráficos de residuales y diagrama qqplot de los valores observados y predichos, los que son utilizados para evaluar la bondad/calidad del ajuste del modelo (**Figura 18**). Estas figuras permiten evaluar dos distribuciones de probabilidades, que en este caso corresponden a la teórica (modelo) versus la empírica (los datos). Si el set de datos proviene de la distribución teórica, entonces los puntos debieran ubicarse en las proximidades de una línea recta. Esto significa que el supuesto de normalidad y varianza es adecuado para los datos analizados. El análisis de los residuales del modelo no sugiere tendencias en su distribución. En general, en todas las fuentes principales de información (Desembarques, CPUE por flota, Biomasa acústica y desovante), los residuos se encuentran distribuidos en torno al valor cero. El diagrama QQ en tanto, indica una linealidad general en escala log de los cinco índices. No obstante, se aprecia en las series de CPUE e índice acústico una mayor variabilidad respecto del valor teórico, dejando de manifiesto el menor nivel de ajuste en comparación con el desembarque. Lo anterior, se relaciona directamente con valor del coeficiente de variación (cv) asignado a cada índice.



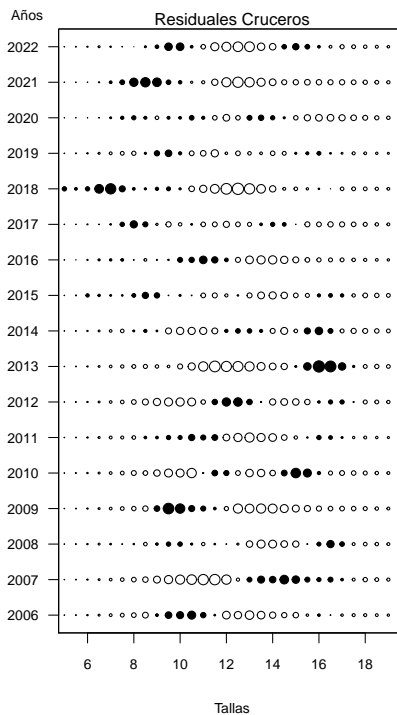
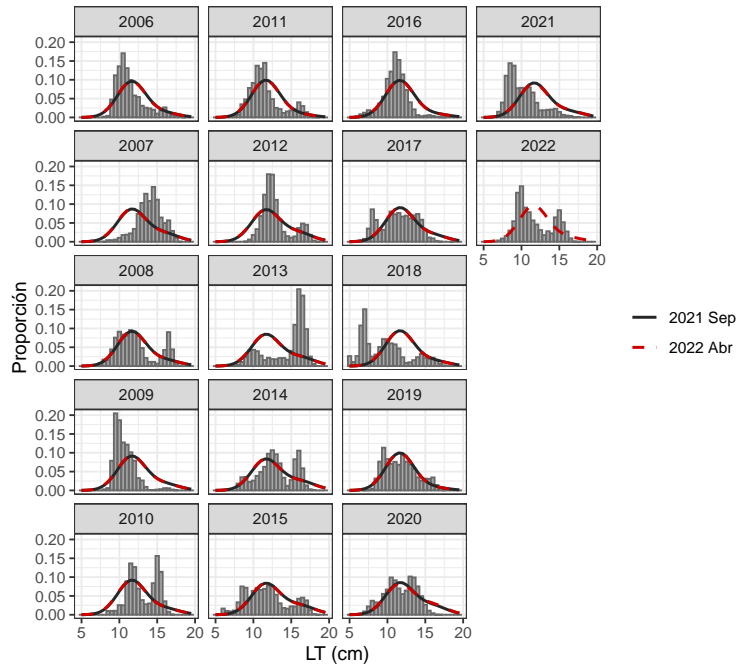
**Figura 18.** Análisis de residuales y diagrama Q-Q para los ajustes a la información de desembarques, CPUE y cruceros de evaluación directa.

### Ajuste de las composiciones de longitudes

El modelo estructurado a la edad, intenta reproducir las composiciones de tallas de la flota, no obstante, presenta una sobreestimación de ejemplares de tallas mayores (**Figura 19**). La estructura de longitudes de los cruceros también es reproducida de manera general, teniendo en cuenta la dificultad que representa reproducir composiciones de tallas bimodales (**Figura 20**).



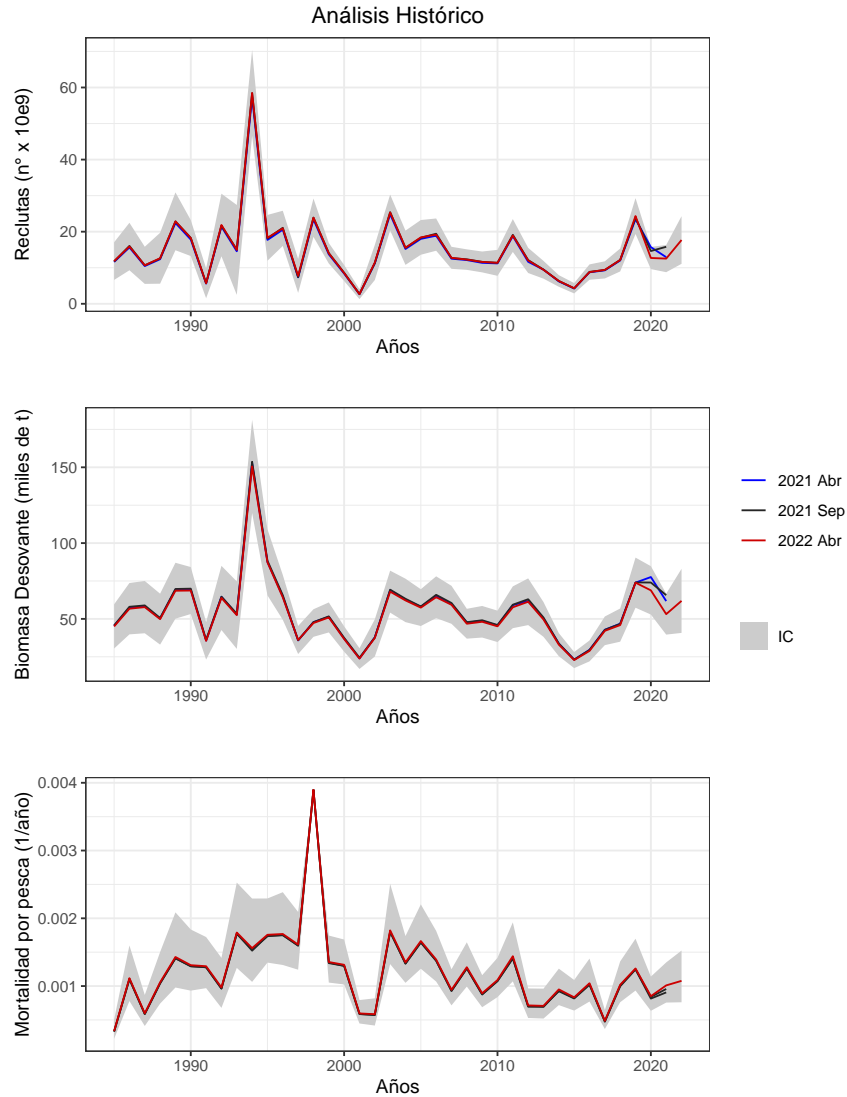
**Figura 19.** Panel superior: ajuste del modelo a las composiciones de tallas de las capturas; Panel inferior: Residuales, los círculos negros representan subestimaciones y los círculos blancos sobreestimaciones, el tamaño del globo indica la magnitud relativa del error; ancho-veta centro-norte, período 1995 a 2021.



**Figura 20.** Panel superior: ajuste del modelo MAET a las composiciones de tallas de los cruceros. Panel inferior: Residuales, los círculos negros representan subestimaciones y los círculos blancos sobreestimaciones, el tamaño del globo indica la magnitud relativa del error; anchoveta centro-norte, período 1995-2022.

## Análisis histórico

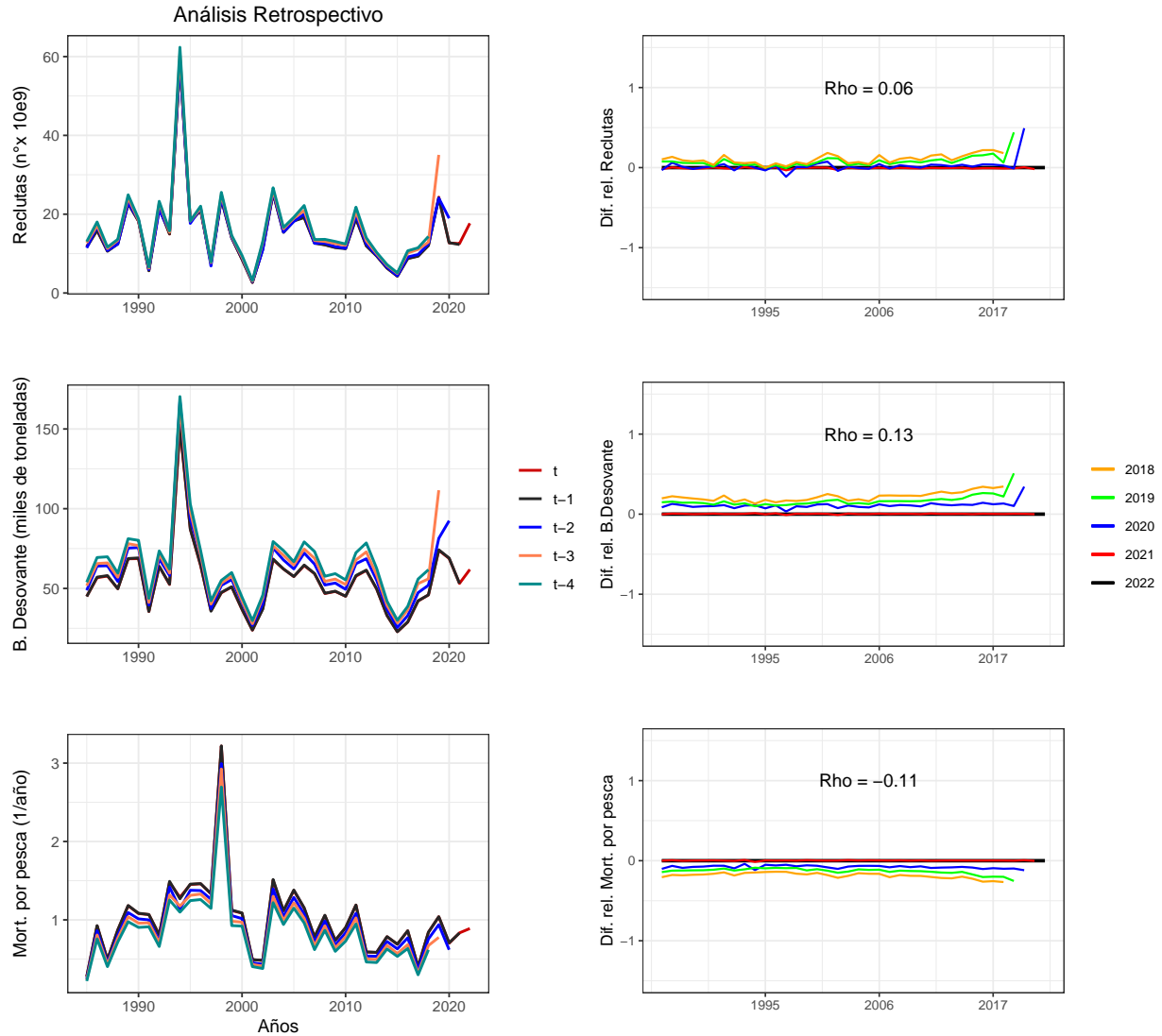
Se presentan los resultados de los principales indicadores de estado para el modelo edad estructurado con su equivalente para asesorías previas (septiembre 2021 y abril 2021) para evaluar la consistencia histórica. El desempeño se ilustra en la **Figura 21**, en las cuales se observa un adecuado nivel de convergencia. En esta evaluación, se distinguen 3 procesos que explican leves diferencias en la series históricas estimadas: i) los supuestos de desembarque para el último año utilizados en cada hito, ii) La estimación de los tamaños de muestra para la flota y cruceros y, iii) Incorporación del descarte a la serie de desembarque.



**Figura 21.** Análisis histórico de los reclutas, biomasa desovante y mortalidad por pesca de la anchoveta en la UP centro-norte

### Análisis retrospectivo

En la **Figura 22** se presenta el análisis retrospectivo de los reclutamientos, biomasa desovante y de la mortalidad por pesca de anchoveta centro-norte. El resultado muestra que la reducción de un año de información presenta un patrón en la estimación de la serie histórica de las variables de estado. En términos de rho (promedio de anomalías retrospectivas), el patrón observado muestra una sobreestimación del reclutamiento igual a  $\rho = 0,06$  y de la biomasa desovante de  $\rho = 0,13$ ; con una subestimación de la mortalidad por pesca de  $\rho = -0,11$ .



**Figura 22.** Patrón retrospectivo del modelo de evaluación base para el reclutamiento, biomasa desovante y mortalidad por pesca



## 4.2. Objetivo específico 2:

*“Establecer el estatus actualizado de anchoveta y sardina española, sobre la base de sus principales indicadores estandarizados de estado y flujo, propagando para estos efectos todas las fuentes de incertidumbre subyacente a la pesquería.”*

### 4.2.1. Indicadores del stock

#### Reclutamientos

El reclutamiento de la anchoveta centro-norte presenta una importante variación interanual observada en toda la serie analizada, lo que impacta en términos del tamaño de la población por la presencia de cohortes fuertes o débiles. Luego de una disminución sistemática de los reclutamientos observados en el período 2012-2015, se observa a partir del 2016, el ingreso de clases anuales en torno al reclutamiento medio estimado por el modelo. Se destaca el ingreso de juveniles durante el 2019, superior en un 60 % al reclutamiento medio histórico. Para el año 2021 el reclutamiento estimado es un 17 % inferior al reclutamiento promedio y un 20 % menor que el estimado para el mismo año en el proceso de asesoría previo (septiembre 2021). El reclutamiento 2022 se estimó en 17,7 mil millones de ejemplares lo que significa un aumento respecto del año previo de un 41 % y de un 16 % respecto del reclutamiento promedio histórico (**Figura 23 y Tabla 15**).

#### Biomosas

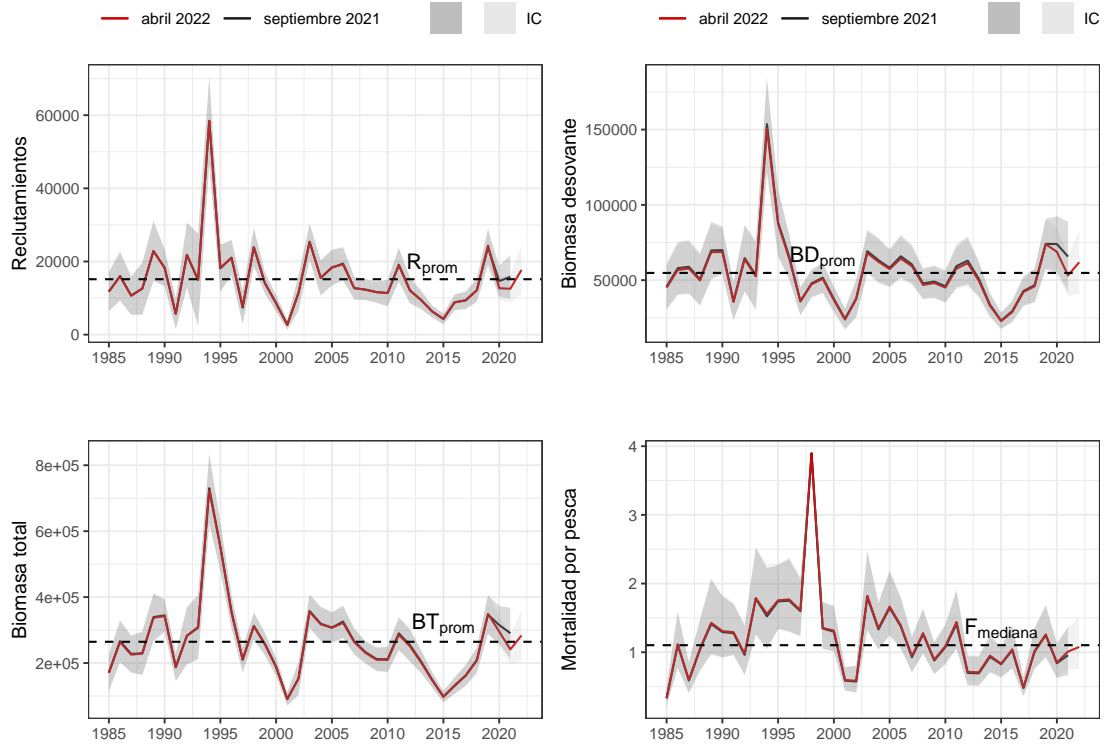
Consecuentemente con los niveles de reclutamiento observados, los niveles poblacionales presentan alta variabilidad en las tendencias y estimaciones de biomasa. Luego del decaimiento de la población observado hasta el año 2015, la población crece durante los 4 años siguientes. Los resultados de este estudio, indican que la anchoveta de la zona centro-norte presentaría a inicios del año 2022 un valor central de biomasa total y desovante en torno a las 284 mil y 62 mil toneladas, respectivamente. Estos niveles indican un aumento del 18 % de la biomasa total y de 17 % de la biomasa desovante, respecto del año anterior, manteniéndose por sobre el promedio histórico en un 7 % y 13 %, respectivamente (**Figura 23 y Tabla 15**).

#### Mortalidad por pesca

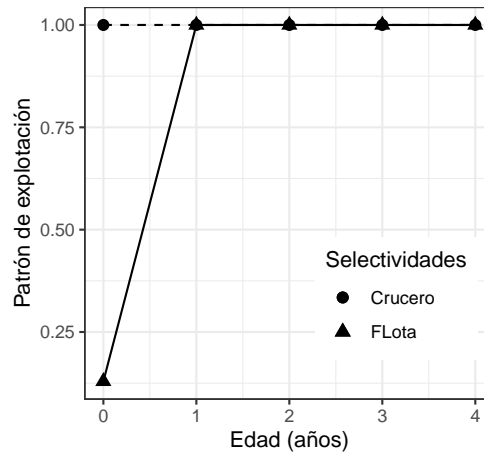
Para el período 2006-2017, las mortalidades por pesca ( $F$ ) mostraron una significativa tendencia decreciente por efecto de la reducción de las capturas, en parte por la sostenida reducción de la biomasa de anchoveta en la zona de estudio (**Figura 23 y Tabla 15**). La mortalidad por pesca para el año 2021 se estimó en  $F=1,01 \text{ año}^{-1}$ , mientras que para el 2022, la mortalidad por pesca se estimó en  $F= 1,077 \text{ año}^{-1}$ : No obstante, se debe tener en cuenta que este valor es proyectado en base al supuesto de captura basada en la cuota global establecida para este año y por lo tanto, es de carácter preliminar.

#### Selectividad

La selectividad de la flota indica que el reclutamiento a la pesquería es completo para la anchoveta de un año de edad, mientras que los individuos menores son vulnerados en un 13 %. En el crucero acústico los ejemplares son completamente retenidos por el arte de pesca en todas sus edades (**Figura 24**).



**Figura 23.** Estimaciones medias de los reclutamientos, biomasa total, biomasa desovante y mortalidad por pesca y su respectivo Intervalo de Confianza (IC). La línea gris corresponde al resultado de la asesoría previa (sept 2021) y la roja asesoría actual (abril 2022).



**Figura 24.** Patrón de explotación o selectividad de la flota y de los cruceros acústicos de la anchoveta centro-norte, estimada en la asesoría actual (abril 2022).

**Tabla 15.** Variables poblacionales estimadas en la evaluación anterior (septiembre 2021) y actual (abril 2022), para la anchoveta de la zona centro norte.

<b>Año</b>	<b>BDsep</b>	<b>BDabr</b>	<b>BTsep</b>	<b>BTabr</b>	<b>Rsep</b>	<b>Rabr</b>	<b>Fsep</b>	<b>Fabr</b>
1985	45.674	45.019	171.150	170.360	11.733	11.832	0.328	0.335
1986	57.980	56.727	266.570	263.460	16.048	15.884	1.104	1.116
1987	58.883	57.772	227.550	225.230	10.672	10.670	0.587	0.597
1988	50.575	49.825	229.800	228.690	12.564	12.633	1.04	1.055
1989	69.733	68.579	339.320	337.390	22.850	22.874	1.411	1.429
1990	69.936	68.707	344.570	342.070	18.280	18.229	1.294	1.308
1991	36.164	35.504	188.220	186.740	5.714	5.686	1.278	1.292
1992	64.680	63.817	282.980	282.250	21.685	21.857	0.962	0.98
1993	53.418	52.467	308.930	306.790	15.054	14.937	1.779	1.79
1994	153.650	150.570	730.350	724.790	58.406	58.491	1.523	1.56
1995	88.341	87.322	552.530	551.480	18.137	18.295	1.741	1.757
1996	65.579	64.192	355.790	352.610	21.077	20.925	1,750	1,768
1997	35.879	36.091	209.600	211.770	7.378	7.742	1,599	1,612
1998	47.860	47.263	312.620	311.820	23.917	23.881	3,896	3,896
1999	51.659	50.955	257.400	256.230	14.057	14.013	1,347	1,355
2000	37.509	36.734	188.840	186.980	8.611	8.542	1,299	1,314
2001	24.332	23.817	91.248	89.966	2.713	2.677	0,587	0,596
2002	37.745	37.406	152.530	152.770	11.273	11.446	0,574	0,585
2003	69.275	67.981	357.970	355.360	25.408	25.324	1,803	1,822
2004	63.250	62.194	319.380	317.500	15.523	15.542	1,332	1,350
2005	58.190	57.428	307.620	306.820	18.300	18.420	1,644	1,664
2006	65.868	64.312	325.800	321.780	19.431	19.194	1,376	1,391
2007	60.479	59.284	266.070	263.830	12.694	12.754	0,927	0,945
2008	47.809	46.810	233.380	230.990	12.336	12.258	1,263	1,278
2009	49.096	48.108	212.050	209.940	11.630	11.609	0,879	0,893
2010	45.955	45.087	211.310	209.460	11.376	11.361	1,074	1,089
2011	59.357	57.658	290.100	285.750	19.127	18.937	1,410	1,440
2012	62.958	61.315	254.400	250.450	12.124	12.026	0,699	0,714
2013	50.885	49.621	204.690	201.730	9.484	9.433	0,692	0,707
2014	33.721	32.989	148.920	147.350	6.323	6.328	0,933	0,951
2015	23.128	22.841	97.857	97.425	4.280	4.313	0,825	0,834
2016	29.479	28.867	131.770	130.350	8.851	8.795	1,028	1,041
2017	42.777	42.134	162.570	161.470	9.378	9.407	0,480	0,487
2018	46.690	45.902	209.430	207.800	12.174	12.147	1,008	1,019
2019	74.066	73.898	346.830	349.020	23.877	24.335	1,248	1,259
2020	73.989	68.818	315.310	295.630	14.637	12.704	0,840	0,851
2021	65.637	53.141	290.580	241.160	15.809	12.535	0,957	1,010
2022	-	61.884	-	283.570	-	17.692	-	1,077



#### 4.2.2. Estado de explotación

##### Puntos biológicos de referencia (PBR)

Los PBRs fueron estimados a partir de un análisis de rendimiento y biomasa por recluta, dado el patrón de selectividad de la flota, pesos medios y madurez sexual a la edad, se estima el nivel de mortalidad por pesca ( $F_{RMS}$ ) asociado a la proporción de la Biomasa Desovante virginal ( $BD_0$ ) considerada objetivo o un proxy basado en la literatura (Clark, 1993; Mace y Sissenwine, 1993). Cabe señalar que la biomasa desovante se calcula al mes de agosto y considera el efecto edad específico de la mortalidad (natural y por pesca). En este análisis se identifica el nivel de referencia biológico 60%BDPR que se supone debería minimizar el impacto de la pesca sobre el stock, permitiendo el escape en torno al 55% de  $BD_0$ , valor que existiría en ausencia de explotación pesquera. Considerando el actual escenario de modelación y la base de datos hasta el presente informe, la biomasa desovante virginal ( $BD_0$ ) es estimada en un valor de ~95 mil t y la biomasa desovante objetivo ( $BD_{RMS}$ ), se estima en 52 mil t (**Tabla 17**).

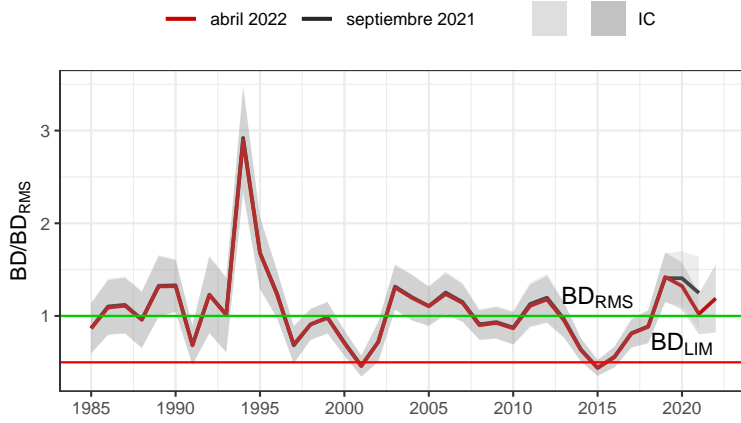
##### Indicadores del estado del stock

En la **Figura 25a**, se presenta el nivel de reducción de la biomasa desovante anual estimada por el modelo junto a la incertidumbre asociada, en función de la biomasa objetivo. Se destaca que el recurso se ha mantenido en torno o por sobre el objetivo de manejo (55%BD<sub>0</sub>) en la mayor parte de la serie analizada, exceptuando tres períodos: i) Durante los años 1991 y 1997 al 2002, asociados a altos niveles de mortalidad por pesca y clases anuales débiles; ii) Entre 2008 y 2010, años en que los niveles de remoción excedieron el nivel objetivo y reclutamientos bajo la media histórica y iii) 2014-2016, debido al efecto de la disminución sostenida del reclutamiento (**Figura 23 y Tabla 15**). Desde el año 2019, el stock se situaría sobre el objetivo de manejo alcanzando el 2021 un valor en torno a un 56% de la biomasa virginal. Se estima para el año 2022, que la biomasa desovante se mantendría en un 65% de la condición sin pesca.

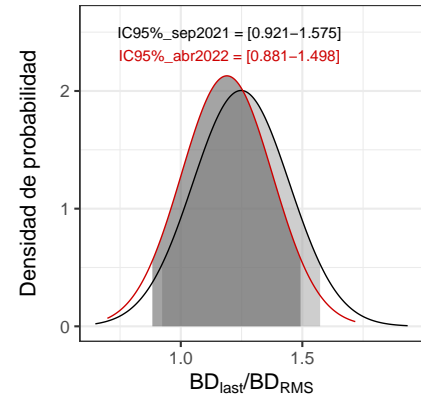
Los niveles de captura del recurso, habrían excedido el PBR  $F_{RMS}$  desde el inicio de la serie, alcanzando un valor máximo de 1,6 veces el  $F_{RMS}$  el año 1998. A mediados de los años 2000, las mortalidades por pesca ( $F$ ) mostraron una significativa tendencia decreciente por efecto de la reducción de las capturas, dada la sostenida reducción de la biomasa de anchoveta en la zona de estudio. Durante la última década, junto con la recuperación de los niveles poblacionales y exceptuando algunos años (2011, 2016, 2018 y 2019), los niveles de extracción se mantienen en torno a la estrategia de explotación objetivo (**Figura 25c**). En el 2021 la  $F$  estimada corresponde con el nivel de explotación que permite alcanzar el RMS. Para el 2022, la mortalidad por pesca se estimó por sobre el  $F_{RMS}$  pero se debe recordar que esta condición es de carácter preliminar dado el supuesto de captura para este año.



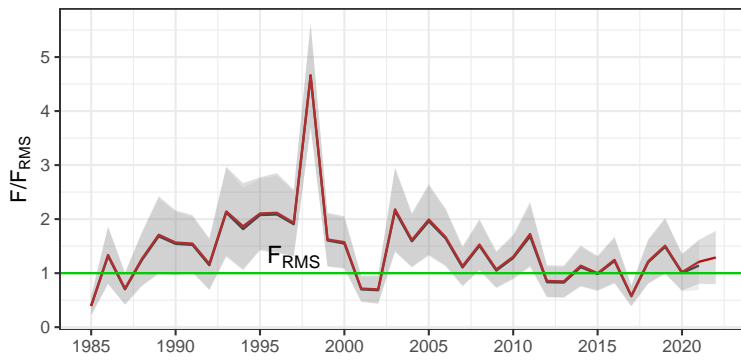
a)



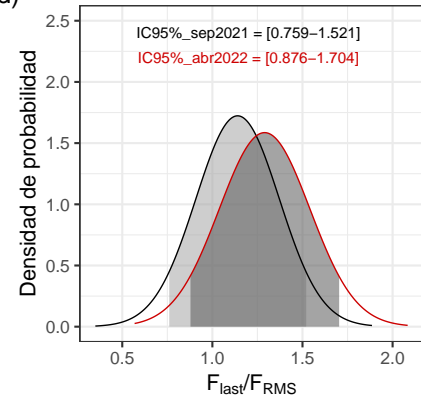
b)



c)



d)



**Figura 25.** a) razón  $BD/BD_{RMS}$ , b) distribución de probabilidad de  $BD_{last}/BD_{RMS}$ , c) razón  $F/F_{RMS}$  y d) distribución de probabilidad  $F_{last}/F_{RMS}$ .



**Tabla 16.** Índices de reducción anual de F respecto de  $F_{RMS}$  ( $F/F_{RMS}$ ), BD respecto de  $BD_{RMS}$  ( $BD/BD_{RMS}$ ), tasas de explotación anual referidos a la biomasa ( $Y/BT$ ) de la anchoveta centro-norte, septiembre 2021 (sept) y abril 2022 (abr).

Año	$F/FRMS$ sept	$F/FRMS$ abr	$BD/BDRMS$ sept	$BD/BDRMS$ abr	$Y/BT$ sept	$Y/BT$ abr
1985	0,391	0,401	0,869	0,865	0,060	0,060
1986	1,316	1,337	1,102	1,090	0,200	0,200
1987	0,700	0,716	1,120	1,111	0,150	0,150
1988	1,240	1,264	0,962	0,958	0,210	0,210
1989	1,681	1,712	1,326	1,318	0,200	0,200
1990	1,542	1,567	1,330	1,321	0,250	0,250
1991	1,523	1,548	0,688	0,682	0,340	0,340
1992	1,147	1,174	1,230	1,227	0,120	0,120
1993	2,120	2,144	1,016	1,009	0,330	0,330
1994	1,814	1,868	2,922	2,894	0,160	0,160
1995	2,075	2,104	1,680	1,679	0,400	0,400
1996	2,085	2,118	1,247	1,234	0,270	0,280
1997	1,905	1,931	0,682	0,694	0,370	0,360
1998	4,643	4,666	0,910	0,909	0,330	0,330
1999	1,605	1,622	0,982	0,980	0,240	0,240
2000	1,548	1,574	0,713	0,706	0,280	0,280
2001	0,700	0,714	0,463	0,458	0,190	0,190
2002	0,684	0,700	0,718	0,719	0,080	0,080
2003	2,149	2,182	1,317	1,307	0,220	0,220
2004	1,588	1,616	1,203	1,196	0,270	0,270
2005	1,960	1,993	1,106	1,104	0,260	0,260
2006	1,640	1,666	1,252	1,236	0,230	0,230
2007	1,105	1,132	1,150	1,140	0,210	0,210
2008	1,505	1,531	0,909	0,900	0,250	0,250
2009	1,047	1,070	0,934	0,925	0,180	0,180
2010	1,280	1,304	0,874	0,867	0,220	0,220
2011	1,681	1,725	1,129	1,108	0,210	0,210
2012	0,833	0,856	1,197	1,179	0,170	0,170
2013	0,825	0,847	0,968	0,954	0,170	0,180
2014	1,112	1,138	0,641	0,634	0,230	0,240
2015	0,983	0,999	0,440	0,439	0,210	0,210
2016	1,226	1,247	0,561	0,555	0,160	0,160
2017	0,572	0,583	0,813	0,810	0,100	0,100
2018	1,202	1,220	0,888	0,882	0,190	0,190
2019	1,488	1,508	1,408	1,421	0,180	0,180
2020	1,002	1,019	1,407	1,323	0,190	0,210
2021	1,140	1,210	1,248	1,022	0,190	0,210
2022	-	1,290	-	1,190	-	0,180

### Diagrama de fases de explotación

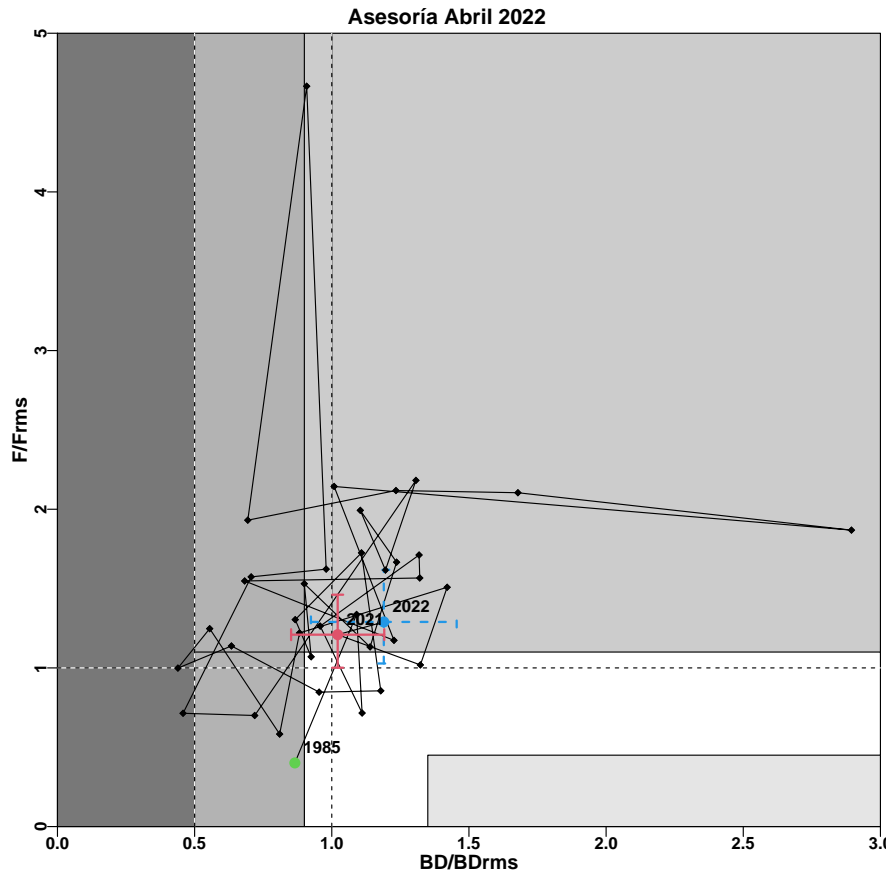
El índice de reducción del stock desovante ( $BD/BD_{RMS}$ ) para la anchoveta de la zona centro norte, muestra una baja probabilidad (16%) de encontrarse, durante el año en curso, por debajo del objetivo de manejo, un 6% de probabilidad de sobreexplotación y 0% de probabilidad de colapso. La biomasa desovante del año 2022 alcanzó un valor de 62 mil t, lo que equivale a  $1,19 \times BD_{RMS}$ . Esto indica una condición positiva del stock, ya que se encuentra fuera de la zona de riesgo para la sustentabilidad de la pesquería. En tanto, el nivel de F respecto al objetivo de manejo se estimó en  $F/F_{RMS} = 1,29$  con una probabilidad de  $p(F_{2022} > F_{RMS}) = 0,77$ . No obstante, este valor representa el supuesto de remoción y por tanto, es de carácter preliminar (**Tabla 17**)



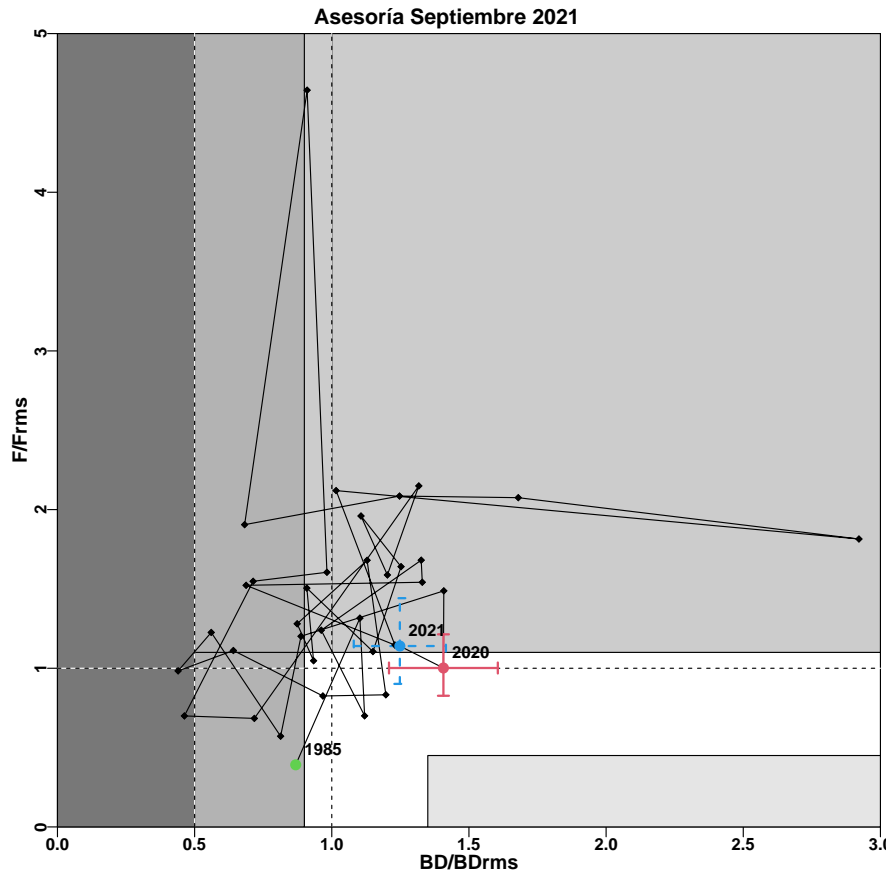
Para el año 2021, cuando la información es completa, la condición del stock de la anchoveta de la zona centro norte es saludable en términos de biomasa ( $BD_{2021}/BD_{RMS}=1,02$ ) pero en sobrepesca ( $F_{2021}/F_{RMS}=1,21$ ), mientras que el estatus proyectado para el año en curso, en caso de cumplirse el supuesto de captura 2022, indica una alta probabilidad (77 %) de estar en sobrepesca (**Figura 27**).

**Tabla 17.** Puntos Biológicos de referencia (PBRs), probabilidades de estar bajo  $BD_{RMS}$  y sobre  $F_{RMS}$ , en sobreexplotación, sobrepesca o colapsado.

	Abril 2022	Septiembre 2021
Año	2022	2021
$F_{RMS}$	0,83	0,84
$BD_0$ (mil t)	94,6	95,6
$BD_{RMS}$ (mil t)	52	52,6
$BD_{LIM}$ (mil t)	26	26,3
$p(BD_{2021} < BD_{RMS})$	0,16	0,11
$p(F_{2021} > F_{RMS})$	0,88	0,73
$p(\text{sobre} - \text{explotación})$	0,06	0,04
$p(\text{agotado/colapsado})$	0	0
$p(\text{sobrepesca})$	0,77	0,57



**Figura 26.** Diagrama de fases de explotación de la asesoría de abril 2022. Los ejes están estandarizados a los valores que generan el RMS proxy. La cruz corresponde a los intervalos de confianza de la razón  $BD/BD_{RMS}$  y  $F/F_{RMS}$ . El año con cruz roja continua corresponde a "Estatus completo" y la cruz azul con línea discontinua a "Estatus preliminar".



**Figura 27.** Diagrama de fases de explotación de la asesoría de septiembre 2021. Los ejes están estandarizados a los valores que generan el RMS proxy. La cruz corresponde a los intervalos de confianza de la razón  $BD/BD_{RMS}$  y  $F/F_{RMS}$ . El año con cruz roja continua corresponde a "Estatus completo" y la cruz azul con línea discontinua a "Estatus preliminar".

### 4.3. Objetivo específico 3:

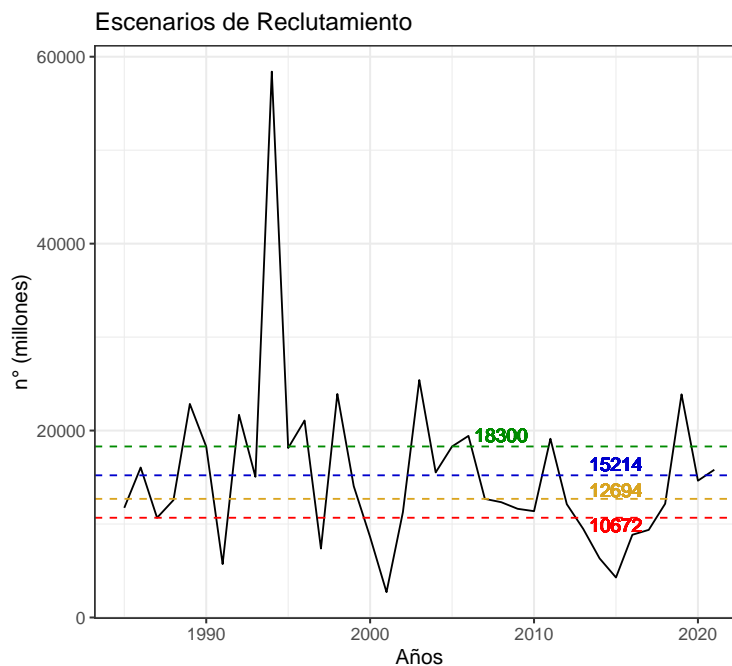
“Determinar niveles de Captura Biológicamente Aceptable (CBA) que lleven y/o mantenga la pesquería en torno al Rendimiento Máximo Sostenible (RMS), a partir de un análisis de riesgo en condiciones de incertidumbre de no alcanzar los objetivos de conservación y sostenibilidad conforme lo establece la LGPA y contenidos en el Plan de Manejo y/o en el Programa de Recuperación respectivo, según corresponda.”

#### 4.3.1. Primer proceso de asesoría: CBA inicial 2022 (septiembre 2021)

A partir del modelo conceptual de la dinámica del stock de la anchoveta centro norte se desarrolló el enfoque y modelo de evaluación que permitió asesorar al Comité Científico Técnico de Pesquerías de Pelágicos Pequeños (CCT-PP) en el análisis de las posibilidades de explotación del stock, considerando los parámetros e indicadores estimados por el modelo de evaluación y su incertidumbre asociada.

En el proceso de asesoría inicial (septiembre 2021), la simulación para todos los escenarios, se realizó en escala anual bajo un horizonte de proyección de corto plazo. La ecuación que gobierna la dinámica de la población es la misma que la utilizada en el período de modelamientos del stock. La estrategia de explotación corresponde al nivel referencial de mortalidad por pesca constantes  $F=F_{RMS}$  para la cual se presentaron las capturas asociadas y los percentiles de riesgo (10 % al 50 %) de exceder el nivel de explotación evaluado. La mortalidad por pesca de referencia es aquella que permite alcanzar el rendimiento máximo sostenido, consistente con los puntos biológicos de referencia ( $F_{60\%}$ ).

De este modo, se estimó la CBA inicial para el año 2022. Debido a que los reclutamientos de anchoveta presentan alta variabilidad interanual, se proyecta en base a una variedad de posibles estados de la naturaleza, representados por escenarios asociados a los cuartiles de distribución de los reclutamientos históricos estimados por el modelo de evaluación (**Figura 28**).



**Figura 28.** Serie de reclutamientos históricos de la anchoveta centro-norte (septiembre 2021). Las líneas horizontales paralelas al eje x corresponden a los posibles escenarios de reclutamiento 2022, supuestos para la proyección de la población i) rojo: corresponde al 1er Cuartil de la distribución histórica de los reclutamientos; ii) amarilla: Mediana; iii) azul: Media, iv) verde: 3er Cuartil.



La captura biológicamente aceptable para el 2022, bajo el criterio  $F_{RMS}$  y cuatro escenarios de reclutamiento, estimadas en la evaluación de septiembre 2021, con sus percentiles de distribución y el resguardo asociado a la captura se presentan en la **Tabla 18** y **Tabla 19**. El valor de CBA esperado se situó entre 37 mil y 62 mil toneladas. Descontando el porcentaje de descarte supuesto para el año 2022 de un 2,01 %, los rangos de captura bajo todos los escenarios de reclutamiento se encuentran entre los 36 mil t y los 61 mil t (**Tabla 20**).

**Tabla 18.** CBA (t) inicial 2022 para la pesquería de anchoveta de la zona centro norte, considerando distintos estados de la naturaleza y bajo diferentes percentiles de captura (asesoría septiembre 2021).

	1er Cuartil	Mediana	Media	3er Cuartil
mean	42.184	47.387	55.036	62.281
std	4.080	4.507	5.144	5.754
10 %	36.955	41.611	48.444	54.906
20 %	38.750	43.594	50.707	57.438
30 %	40.044	45.024	52.339	59.263
40 %	41.150	46.245	53.733	60.823
50 %	42.184	47.387	55.036	62.281

**Tabla 19.** Resguardo de la Captura al RMS.

	1er Cuartil	Mediana	Media	3er Cuartil
10 %	0,12	0,12	0,12	0,12
20 %	0,08	0,08	0,08	0,08
30 %	0,05	0,05	0,05	0,05
40 %	0,02	0,02	0,02	0,02
50 %	0,00	0,00	0,00	0,00

**Tabla 20.** CBA (t) inicial 2022 incorpora descuento por descarte (septiembre 2021).

	1er Cuartil	Mediana	Media	3er Cuartil
10 %	36.212	40.775	47.470	53.803
20 %	37.971	42.718	49.688	56.283
30 %	39.240	44.119	51.287	58.072
40 %	40.323	45.316	52.653	59.601
50 %	41.336	46.435	53.930	61.029

#### 4.3.2. Segundo proceso de asesoría: CBA final 2022 (abril 2022)

En esta etapa del proceso de asesoría se realizó la revisión de la CBA 2022 sobre la base de información pesquera actualizada al 2021, la incorporación de la biomasa desovante estimada por el crucero MPDH realizado en agosto de 2021 y la biomasa estimada por el crucero de evaluación hidroacústica RECLAN 2022. Se consideró el criterio de explotación  $F_{RMS}$ , sujeto a niveles de riesgo entre el 10 % y el 50 % de sobrepasar dicho criterio. Los resultados de esta revisión actualizaron la CBA 2022 a valores entre las 42 mil t y 51 mil t, con niveles de resguardo máximo del 17 % para el percentil más bajo (10 %). Descontando el 2,01 % asumido como descarte, la CBA 2022 fue estimada entre 41 mil t y 50 mil t. Si se considera el mismo criterio usado en la toma de decisión previa, esto es 30 % de riesgo (para escenario de reclutamiento medio), la CBA actualizada es un 10 % menor que la CBA inicial (**Tabla 21**).



**Tabla 21.** CBA (t) final 2022 incorpora descuento por descarte (abril 2022).

<b>Percentil</b>	<b>CBA</b>	<b>Resguardo</b>	<b>CBA - % descarte</b>
10 %	41.972	0,17	41.128
20 %	45.004	0,11	44.099
30 %	47.190	0,07	46.241
40 %	49.058	0,03	48.072
50 %	50.804	0,00	49.783



#### 4.4. Objetivo específico 4:

*“Informar el avance del Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad en la Asesoría Científica (PMCCAC) realizado durante el presente estudio, respecto al cumplimiento de recomendaciones formuladas en procesos de RPEI y priorizadas por el CCT, cuando corresponda.”*

##### 4.4.1. Esquema de trabajo y plan de actividades 2018-2022

Los procesos de evaluación de stock son de carácter dinámico e involucran un mejoramiento continuo tendiente a facilitar la administración de los recursos pesqueros explotables. En este sentido, el Instituto de Fomento Pesquero, específicamente el Departamento de Evaluación de Recursos (DER), mantiene un ánimo de colaboración con la administración pesquera que da espacio para la discusión de mejoras analíticas y técnicas, como también, la detección de brechas de investigación. Es en este marco, y en coherencia con los requerimientos indicados en los Términos Técnicos de Referencia (TTR) del proyecto “Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales”, años 2017 a 2020, que el DER ha reconocido un conjunto de actividades que pueden ser desarrolladas y abordadas, las cuales han sido discutidas e implementadas durante este período. Además de los correspondientes informes técnicos, se han identificado una serie de aspectos a ser abordados en el marco de la evaluación de stock. Para ello se propone el esquema de trabajo presentado en la **Figura 29**.

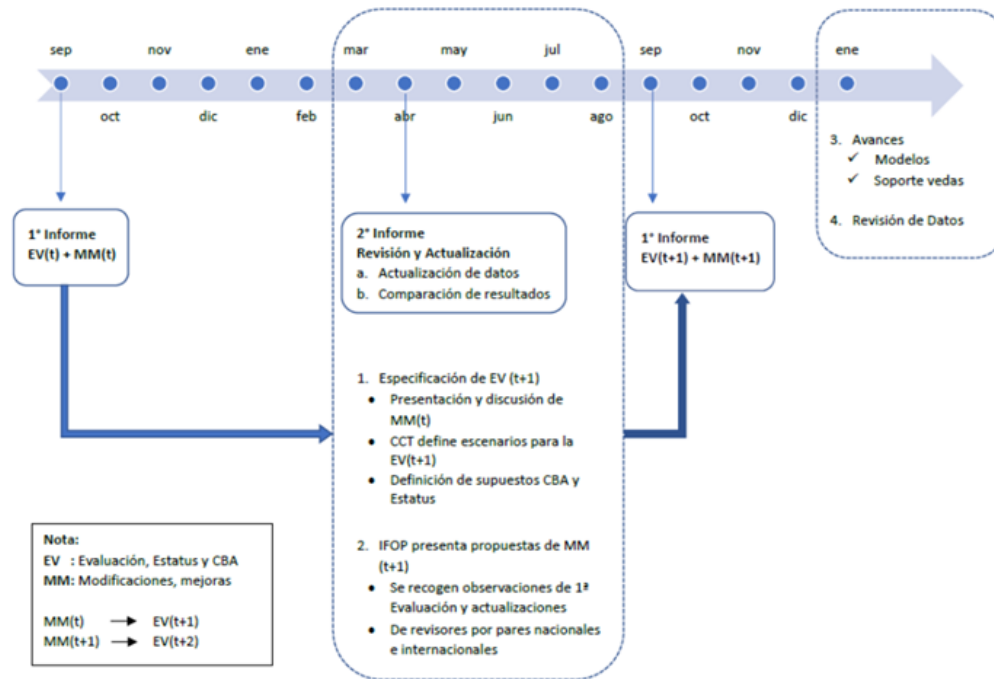
El esquema de trabajo de datos y modelos consiste en los siguientes pasos:

- I. Especificación de  $EV(t+1)$  (septiembre) sobre la base de las  $MM(t)$  presentadas en la asesoría anterior,  $EV(t)$  las cuales fueron presentadas y discutidas con el CCT-PP para la definición del caso base,  $EV(t+1)$ , utilizado para establecer el estatus y CBA del año  $t+1$ .
- II. Revisión de datos y Modelo, IFOP presenta propuestas de  $MM(t+1)$  para trabajar durante el desarrollo de este proyecto que recogerán algunas de las observaciones a la  $EV(t)$  de revisores por pares (RPP) nacionales, CCT-PP y SSPA, junto a recomendaciones de la RPP internacional realizadas a especies pelágicas.
- III. IFOP presenta propuesta de especificaciones del modelo de evaluación cuyos avances son presentados en sesión anual del CCT-PP.
- IV. Finalmente, en la etapa de revisión y actualización de la  $EV(t+2)$  a realizarse en mayo de 2022, también se comparará con los resultados de la  $EV(t+1)$  y  $t+2$ ) correspondiente a las asesorías previas.

##### 4.4.2. Avances en reducción de brechas

En la ejecución de este objetivo se contemplan las consideraciones emanadas del taller de revisión de datos y modelo de evaluación para las pesquerías de pelágicos pequeños. El primero de ellos se llevó a cabo en el contexto del CCT- PP, durante los días 11 - 13 de mayo del año 2016, en dependencias de la Subsecretaría de Pesca (Bucarey *et al.*, 2018 **ANEXO VI**). Este taller cumplió con el propósito de identificar las fortalezas y debilidades de la información y modelos empleados en el análisis, con el objeto de priorizar las acciones dentro del programa de mejoramiento continuo de la asesoría. Además, se consideraron las recomendaciones emanadas por el evaluador externo del proyecto, que también son incorporadas en el plan de actividades. De este modo, se inicia un proceso de revisión anual en el que se analizan los principales temas y nivel de prioridad que originan el plan de trabajo para cada año que permite dar el cumplimiento del programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría Científica (PMCCAC).

Durante el desarrollo del proyecto Estatus 2019 se abordaron parte importante de las observaciones propuestas para el corto plazo por medio de análisis de escenarios (Bucarey *et al.*, 2018 **ANEXO V**). El análisis y discusión de los casos presentados y la pertinencia de incorporar algunos de éstos en el modelo base fueron discutidos en la 3ª Reunión del CCT-PP, realizada en mayo de 2018 en dependencias de la SSPA, en el contexto del Taller anual de revisión de datos y modelo de la anchoveta centro-norte, quedando establecida la configuración del modelo base, a partir del cual se hace la recomendación para el año 2019 y en adelante (CCT-PP, Acta de Reunión 03/2018). En resumen, las modificaciones al modelo base han sido las siguientes:



**Figura 29.** Esquema de trabajo de Datos y Modelos propuesto por SSPA e IFOP para la implementación de mejoras y modificaciones (MM) a la evaluación de stock (EV) durante el desarrollo del Proyecto de Estatus y CBA de las pesquerías de Pelágicos.

- A partir del año 2016 se incorpora como fuente de información al modelo el valor estimado de biomasa desovante obtenida por el crucero MPDH realizado en agosto de cada año. No obstante, este nuevo índice es explorado como un escenario de análisis, ya que al ser una serie con pocos datos no tiene impactos en los resultados.
- En ese mismo año, según acuerdo tomado por el CCT-PP para este y otros recursos pelágicos, no se considera un valor supuesto de CPUE para el último año de la serie temporal del modelo (Acta de Reunión N°6 de 2016). De la misma forma, no se utilizan supuestos de composiciones de tallas.
- Durante el año 2017, se simuló cohortes previas al inicio del período de modelación, de modo tal de contar con un reclutamiento inicial más estable. Esta modificación al modelo base se realizó para corregir un patrón de sobreestimación, que se extendía hasta los inicios de la serie de tiempo, de las principales variables poblacionales estimadas por el modelo entre una evaluación y la siguiente. Para ello, se revisaron los parámetros estimados entre evaluaciones, descartando la incorporación de nuevas piezas de información como origen de un escalamiento, mientras que se determinó una inestabilidad en la estimación de los desvíos del reclutamiento al inicio del período de modelación. Dicha inestabilidad, aumenta la incertidumbre en la estimación de la biomasa virginal, la cual se re-escala a niveles mayores con la reducción de información.

A partir del proyecto Estatus 2019, se establecen las siguientes consideraciones para el modelo base:

- **Ponderadores:** Se utilizará la metodología propuesta por McAllister y Ianelli (1997) con media armónica para la estimación del tamaño de muestra.
- **Procesos pesqueros:** Se sugiere mantener el supuesto de selectividad de la flota constante para todo el período de evaluación, dada la falta de antecedentes que sustenten un cambio en el patrón de explotación o disponibilidad del recurso.
- **Procesos Poblacionales:** Se incorpora la biomasa desovante estimada por el crucero MPDH como



fuelle de información al modelo de evaluación de stock. Así también, utilizan índices independientes de la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) para cada flota, ya que de este modo el índice estaría dando cuenta de flotas que se comportan distinto en términos de capacidad de pesca como áreas de operación, entre otros.

### **Modelo anual estructurado a la edad con información en tallas**

Se avanzó en la codificación de un **Modelo** de evaluación complementario, en escala **Anual** estructurado a la **Edad** y con información en **Tallas (MAET)**, desarrollado en la plataforma ADMB. Los primeros resultados fueron presentados al CCT-PP en la primera sesión del año 2018 (Acta 01/2018), según el esquema del plan de trabajo presentado en la **Figura 29**.

Una de las actividades consideradas prioritarias en el plan de trabajo 2020, consistió en la implementación del modelo con dinámica en edad y, por lo tanto, una de las primeras tareas del año consistió en la actualización de la estructura del primer modelo MAET, de forma tal que las mejoras realizadas en el modelo base sean incorporadas. Estas mejoras permiten además, que ambos modelos sean comparables entre sí. Los primeros resultados fueron presentados al CCT-PP en la primera sesión de marzo de 2020. Posteriormente, en el contexto de Taller de datos y Modelo realizado en julio de 2020, se presentó una comparación del modelo base y el modelo alternativo en su versión final de sintonización. Las variables poblacionales presentaron magnitudes y tendencias similares, disminuyendo la sobreestimación de la biomasa del último año. Los avances presentados permitieron la aprobación del modelo con dinámica en edad para dar paso a la siguiente fase, consistente en el análisis de la sensibilidad asociada a la toma de decisiones; supuestos de la proyección de CBA en los distintos hitos de evaluación y consistencia con el PBR (Acta N° 4 07/2020), los cuales fueron presentados al comité en la sesión siguiente. Luego de la revisión de estos análisis, el CCT-PP adopta el modelo con dinámica en edad y acuerda iniciar una fase de transición, por el período de un año, hacia la toma de decisión con el mismo (Acta N° 5 08/2020).

Los análisis comparativos entre ambos modelos que fueron presentados al CCT-PP en las Sesiones Cuarta y Quinta del año en curso, se materializan en un reporte adjunto en Bucarey *et al.* (2021), **ANEXO III**. En Julio 2021, el modelo de evaluación es presentado al Comité de Manejo de Anchoqueta y Sardina española Regiones Atacama y Coquimbo (Acta Sesión N°4, 2021), de esta forma se cumple con el proceso de sociabilización a los usuarios y se adopta el nuevo enfoque de modelación para la estimación de CBA 2022.

### **Esquema de trabajo y plan de actividades 2018-2022 específicas para la anchoqueta de las regiones de Atacama y Coquimbo**

En esta sección se revisa el estado de avance respecto de todas las recomendaciones realizadas en los talleres de revisión de datos y del modelo de evaluación para la anchoqueta centro-norte. Se incorporan las últimas recomendaciones provenientes del Informe de evaluación técnica de proyectos del programa de investigación básica o permanente para la regulación pesquera y acuicultura.

Como fue mencionado en el punto anterior, se da cumplimiento a una de las tareas prioritarias correspondiente a la implementación de un modelo con dinámica en edad. También en términos de implementación del modelo, se prioriza la incorporación de selectividades por flota, tarea que ha sido relevada por el equipo de pelágicos de IFOP, CCT-PP. Sobre este punto, se ha avanzado en materia de datos y estructura del código en términos de incorporar composiciones de tallas observadas, mortalidades, selectividad, entre otros. El modelado se encuentra en etapa de sintonización y estimación de parámetros. Avances son presentados en el **ANEXO III**.

Se incorporan al plan de actividades las recomendaciones realizadas por el evaluador del proyecto relativas a sensibilizar la clave talla edad simulada, por medio de restricciones a la talla media como también al coeficiente de variación, lo que podría impactar en los ajustes a las estructuras de tallas así como también en el nivel de biomasa estimado. Esta tarea es incorporada como prioritaria en el plan de trabajo 2022 para ser presentado en al CCT-PP en el próximo taller de datos y Modelo y de este modo evaluar su implementación en el próximo período (Estatus y CBA 2023). Por otro lado, sobre la estandarización de



la CPUE, se recomienda estimar un índice que utilice directamente el barco como factor fijo en el GLM propuesto, entre otras alternativas que permitan sensibilizar la categorización actualmente usada.

En la **Tabla 22**, se presenta y actualiza la lista de tareas que forman parte del PMCCAC, que incorpora sugerencias realizadas al interior del CCT-PP, provenientes del proceso de evaluación técnica de proyectos del programa de investigación básica o permanente y líneas de investigación de IFOP.



**Tabla 22.** Recomendaciones para la evaluación de stock de anchoveta centro norte (PMC-CAC). Se propone una escala de prioridad de 1 (mayor) a 3 (menor), na = no aplica.

Recomendación	Observación	Alcance temporal	Prioridad
<b>Enfoque de Modelación</b>			
Explorar un modelo edad estructurado	Modelo adoptado por el CCT-PP y Comité de Manejo. Implementado en el actual proyecto	2020 - 2021	Finalizado
Explorar un modelo en escala intra-anual	En diciembre 2019 se realizó un taller de modelación en SS3 (Bucarey et al. 2020, Anexo V).	2019	3
<b>Parámetros y datos</b>			
Análisis de sensibilidad de la clave talla edad	Incorporar restricciones en la talla media y coeficiente de variación	2022	1
<b>Parámetros de Historia de Vida</b>			
Mortalidad Natural	Explorar escenarios para diferentes M Escenarios analizados (Bucarey et al., 2018 Anexo V).	2018	3
	Explorar escenarios que incorporen la incertidumbre de M.	Corto plazo	2
Parámetros de Crecimiento	Proyecto FIPA 2016-38 aborda el tema sin resultados concluyentes. Se reincorpora como necesidad de abordar en Plan de investigación.	Mediano Plazo *	1
Ojiva de Madurez	Revisar impacto de ojiva de Madurez estimada por Canales y Leal (2009). Este escenario fue analizado en Bucarey et al., 2018 Anexo V), y recientemente en Taller de Datos y Modelo 2021 A retomar cuando se cuente con resultados concluyentes de estudios de Ojivas de Madurez basada en análisis histológico	2018 2021	<i>statu quo</i>
<b>Indices y Ponderación</b>			
Cruceros Acústicos	Se exploraron cambios en CV y cambios en $q$ en año que se incorpora sesgo de orilla. No se observó impacto en los resultados. No se descartan nuevos análisis con enfoques diferentes.	2020 - 2021	3
CPUE	Se exploró el efecto de utilizar tipo de flota como variables predictoras e índices independientes y diferentes ponderaciones. Se adopta el uso de índices separados con igual ponderación.	2017-2018	Finalizado
	Análisis discriminante de los factores usados en la estandarización. Análisis del barco como factor fijo	Anual 2022-2023	2
	Bajar ponderación de la CPUE artesanal.	2021	<i>statu quo</i>
Crucero MPDH	Aumentar ponderación del índice	2021	Implementado
<b>Implementación del Modelo de Evaluación</b>			
Selectividad	Incorporación de bloques de selectividad. Se realizó análisis de escenarios (Bucarey et al., 2018 Anexo V). Se mantiene el supuesto de selectividad constante. No se descartan futuros análisis.	2017 - 2018	
	Incorporar selectividades por flota. Esta actividad está en fase de codificación en el modelo edad estructurado.	2021 - 2022	1
	Sensibilizar forma de la selectividad	2023	2
<b>Representación de la incertidumbre en las estimaciones del modelo de evaluación de stock</b>			
Proyección del stock	Se incorporan supuestos de reclutamiento y captura en el proceso de asesoría inicial y de captura en el final.	Anual	Implementado
<b>Marco Biológico de Referencia</b>			
Puntos Biológicos de Referencia	Revisar puntos biológicos de referencia y su pertinencia para recursos altamente variables. Estudio parte de licitado (FIPA) que abarca la revisión de PBR pelágicos.	*	na

■ = Propuesta para futuros estudios (no necesariamente como parte del proyecto en ejecución).



#### 4.4.3. Taller de Datos y Modelo 2021 (julio 2021)

##### Escenarios de análisis de sensibilidad

###### Configuración de los escenarios

Según las recomendaciones presentadas en la sección anterior (**Tabla 22**), se proponen el siguiente esquema de trabajo para el proyecto en curso con el fin de abordar la incertidumbre estructural del modelo ante cambios en parámetros y supuestos considerados conocidos. Se presenta un conjunto de hipótesis asociados a procesos poblacionales de la anchoveta, al uso de ponderadores y procesos asociados a la implementación del Modelo (**Tabla 23**). También, se aborda una propuesta de procedimiento transitorio de incorporación del descarte en la evaluación del stock y en la proyección de la CBA para la pesquería de la anchoveta de la zona centro-norte de Chile.

**Tabla 23.** Escenarios propuestos para el análisis de la incertidumbre en la evaluación de stock anchoveta centro-norte.

Proceso	Configuración	Alcance temporal
<b>Ponderación de los índices de abundancia</b>		
Disminuir ponderación cpue artesanal	cv cpue = 0.30	Corto plazo
Ponderación cpue artesanal variable entre años	cv cpue = cv anuales basado en datos observados	Corto plazo
Aumentar ponderación MPDH	cv mpdh = 0.15	Corto plazo
Ponderación MPDH variable entre años	cv mpdh = cv anual estimado en el crucero	Corto plazo
<b>Población</b>		
Madurez sexual	Ojiva de Madurez de Canales y Leal (2009)	Corto plazo
<b>Implementación del Modelo</b>		
Incorporación del Descarte	Propuesta de procedimiento transitorio	Corto plazo
Selectividad	Incorporar selectividades por flota	Mediano plazo
Ajuste de composiciones de tallas	Sensibilizar la selectividad del crucero	Mediano plazo

###### Desempeño del modelo para los escenarios analizados

En términos del ajuste del modelo a los índices se observa un comportamiento muy similar bajo todos las configuraciones analizadas (**Figura 30**). En general, se reproduce satisfactoriamente: i) la serie de desembarques, lo que es consistente con el peso relativo asignado ( $cv = 0,05$ ); ii) la biomasa de los cruceros acústicos, exceptuando la brusca caída del año 2009 y el año 2019 con su fuerte incremento de la población y; iii) la biomasa desovante estimada por el método MPDH. En relación con el ajuste a la serie estandarizada de las tasas de captura industrial, el ajuste es en general adecuado para todo el período. En el caso de la CPUE artesanal, el ajuste está contenido dentro del intervalo de confianza de las observaciones en la mayoría de los años, con excepción de los años 2012-2013, cuando el modelo tiende a estimar rendimientos más altos, aunque las observaciones sean consistentes con otros índices (desembarque y Reclan). Además, se destaca que la estimación se aleja del valor observado en el último año de la serie. Estas diferencias entre observación y estimación se ven acentuadas, bajo el escenario que considera una menor ponderación del índice. Los resultados sugieren buscar otras alternativas que permitan al modelo explicar de mejor forma este cambio de escala observado entre los años 2013 y 2017, distinto al ponderador de la serie (por ejemplo un cambio en el  $q$ ).

En consistencia con los ajustes, el análisis de los residuales del modelo para todos los escenarios analizados no muestran tendencias importantes en su distribución. En todas las fuentes principales de información (Desembarques, CPUE por flota, Biomasa acústica y desovante), los residuos se encuentran distribuidos en torno al valor cero. El diagrama QQ en tanto, indica una linealidad general en escala log de los cinco índices (**Figuras 31, 32 y 33**).

En la **Tabla 23** se presentan los resultados de la verosimilitud para los casos analizados. Es importante tener en cuenta que, en términos de la verosimilitud total, no todos los casos son comparables entre sí, dado los cambios en la configuración del modelo base. Se destaca que el cambio de ponderación en

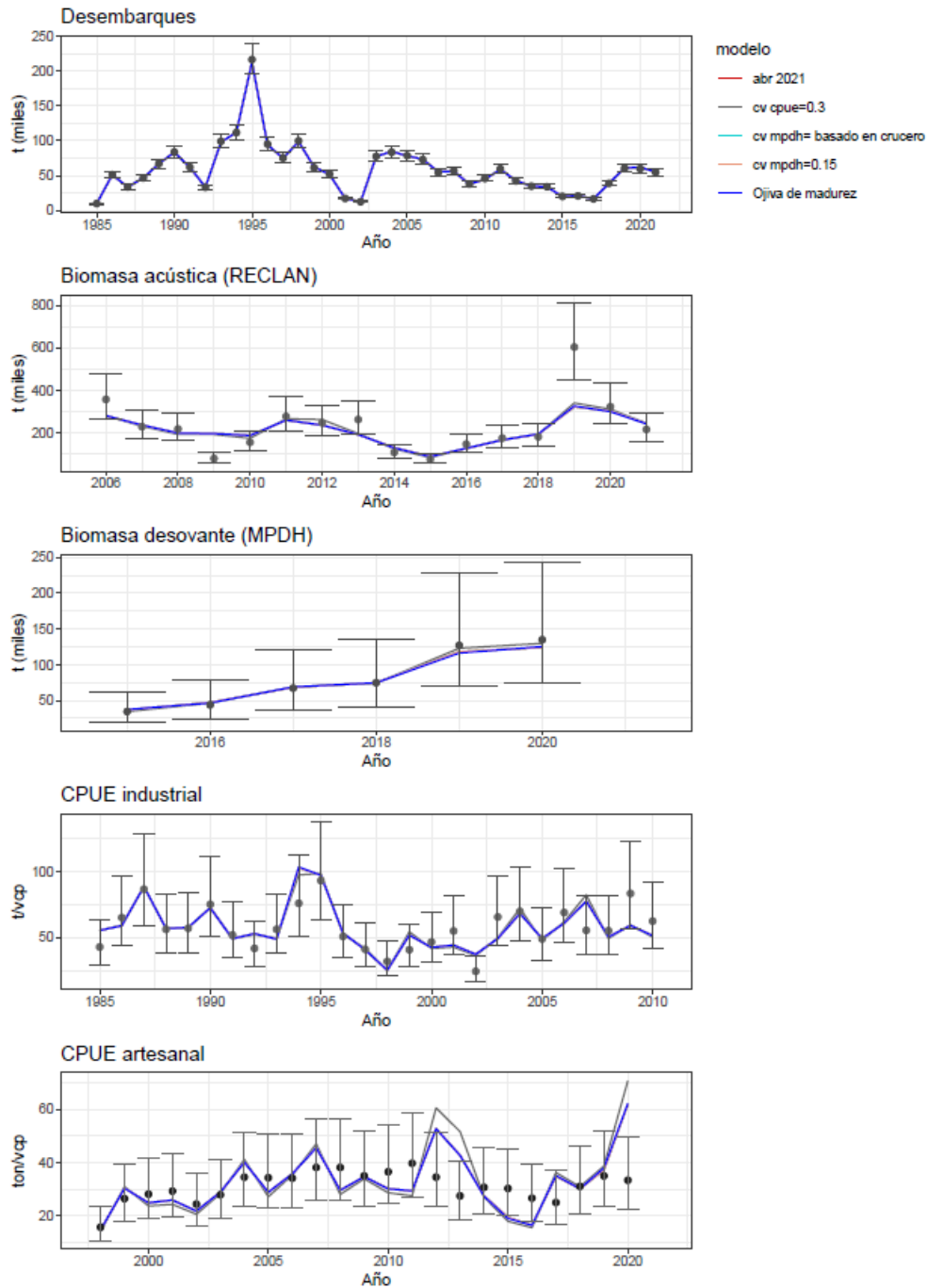


el índice de biomasa desovante (mpdh) no presenta diferencias con respecto al escenario base y cada pieza de información mantiene el mismo aporte a la verosimilitud total. Ante iguales resultados, se sugiere utilizar el coeficiente de variación que proviene de la estimación del índice observado (basado en datos). El escenario que considera una menor ponderación del índice de cpue artesanal resulta en estimaciones menores de las componentes, con excepción de la cpue industrial y la proporción de la flota, aún así, es menor términos de la verosimilitud total. Sin embargo, pierde calidad de ajuste del mismo índice. Aquí queda por revisar un peso estadístico basado en datos y como fue mencionado, explorar otras alternativas que conduzcan a una mejor reproducción del índice.

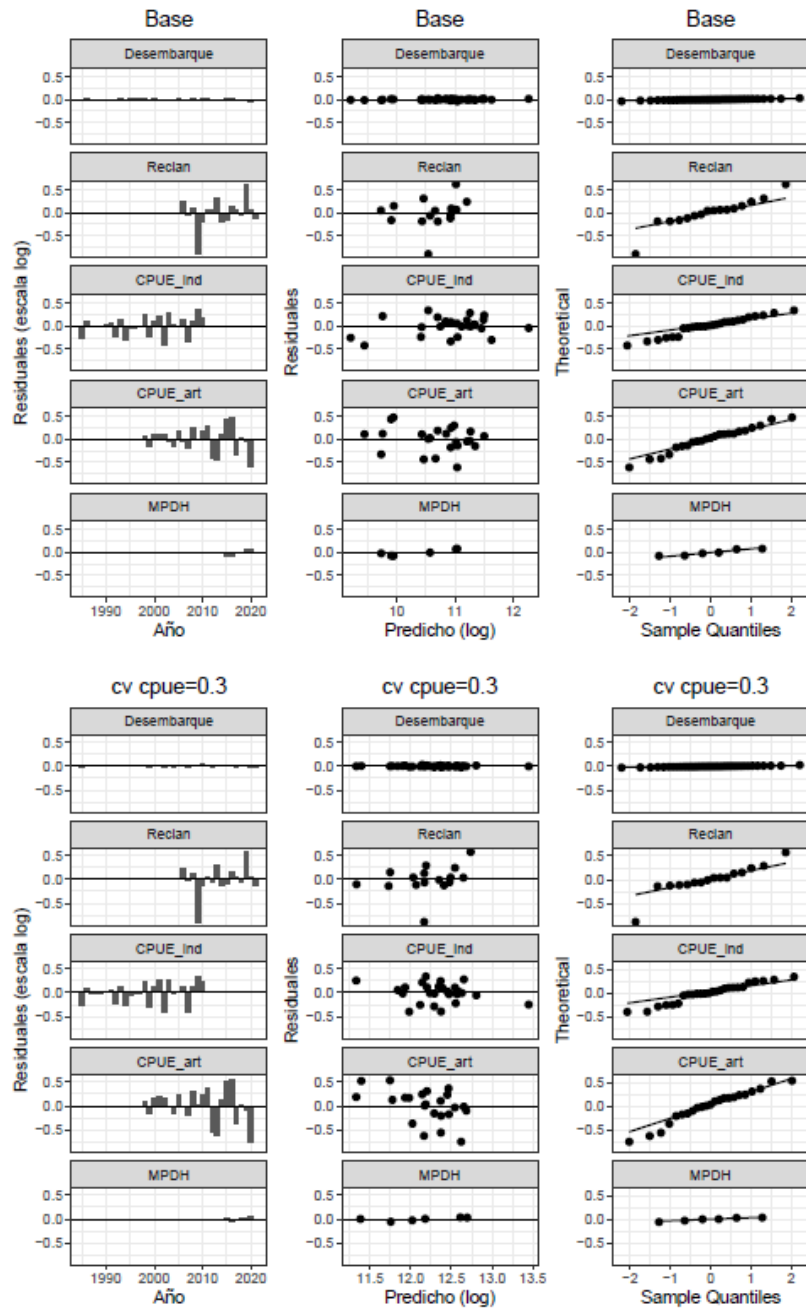
La Ojiva de Madurez estimada por Canales y Leal (2009) no presenta diferencias significativas con el escenario base, sin embargo, al desplazarse hacia ejemplares de talla mayor (ver **Figura 8**), como es esperable, significa una leve disminución del nivel de biomasa desovante.

**Tabla 24.** Componentes de verosimilitud para los escenarios analizados.

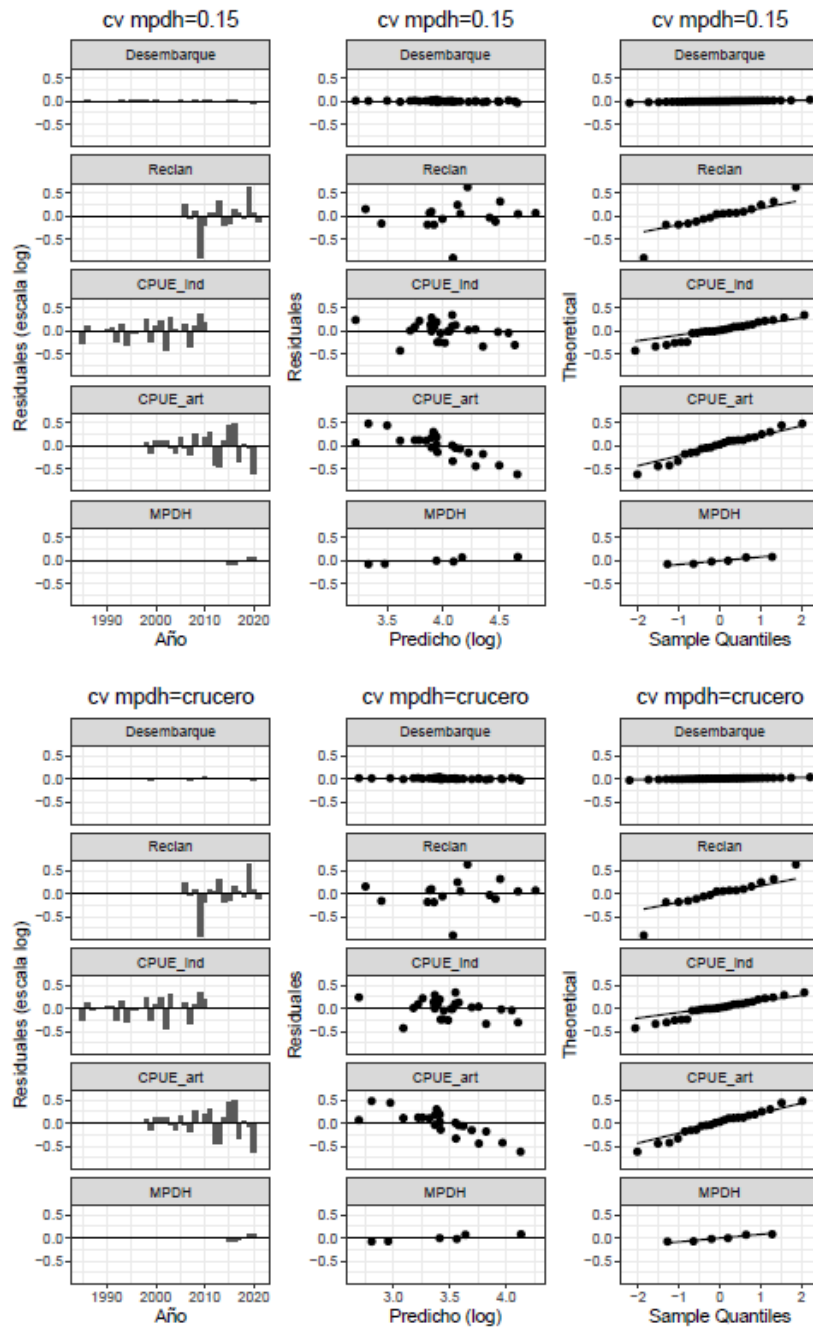
CPUE Ind	CPUE Art	Bcru	MPDH	Desemb	propFlo	propcru	Total	Caso
12,28	20,58	34,07	1,13	1,18	2.313	1.323	3705,2	Base
12,60	14,06	30,36	0,31	0,89	2.315	1.317	3690,6	cv cpue=0,3
12,28	20,58	34,07	1,13	1,18	2.313	1.323	3705,2	cv mpdh=0,15
12,28	20,58	34,07	1,13	1,18	2.313	1.323	3705,2	cv mpdh=basado en datos
12,31	20,93	33,59	1,20	1,18	2.313	1.323	3705,3	Ojiva de Madurez



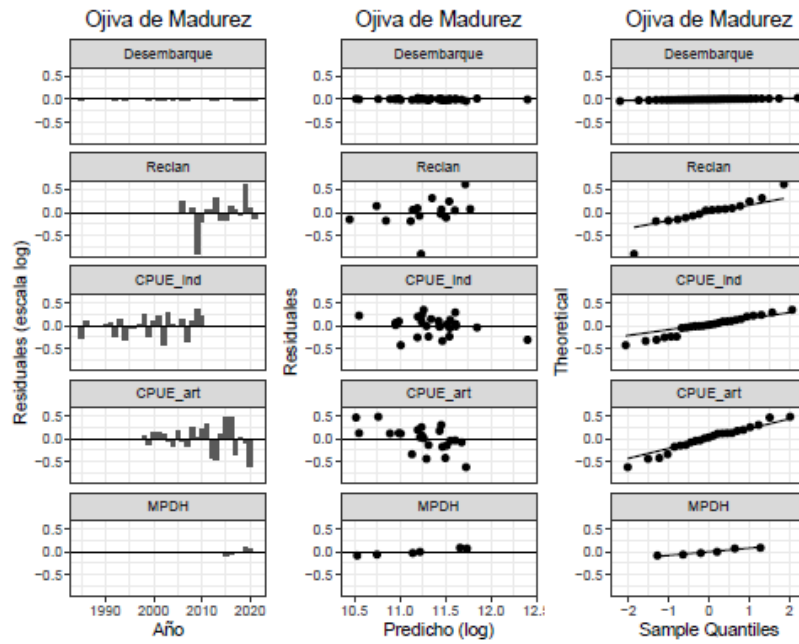
**Figura 30.** Desempeño del modelo a los índices utilizados en la evaluación de stock de la anchoveta centro-norte. Los puntos corresponden a las observaciones, las líneas al ajuste para los escenarios analizados. Se presentan los intervalos de confianza de las observaciones.



**Figura 31.** Comparación gráfica (escala log) entre residuales de los valores observados y predichos, residuales en función de los valores predichos y distribución teórica y empírica de los residuos, para el modelo base y escenario de mayor ponderación para la cpue.



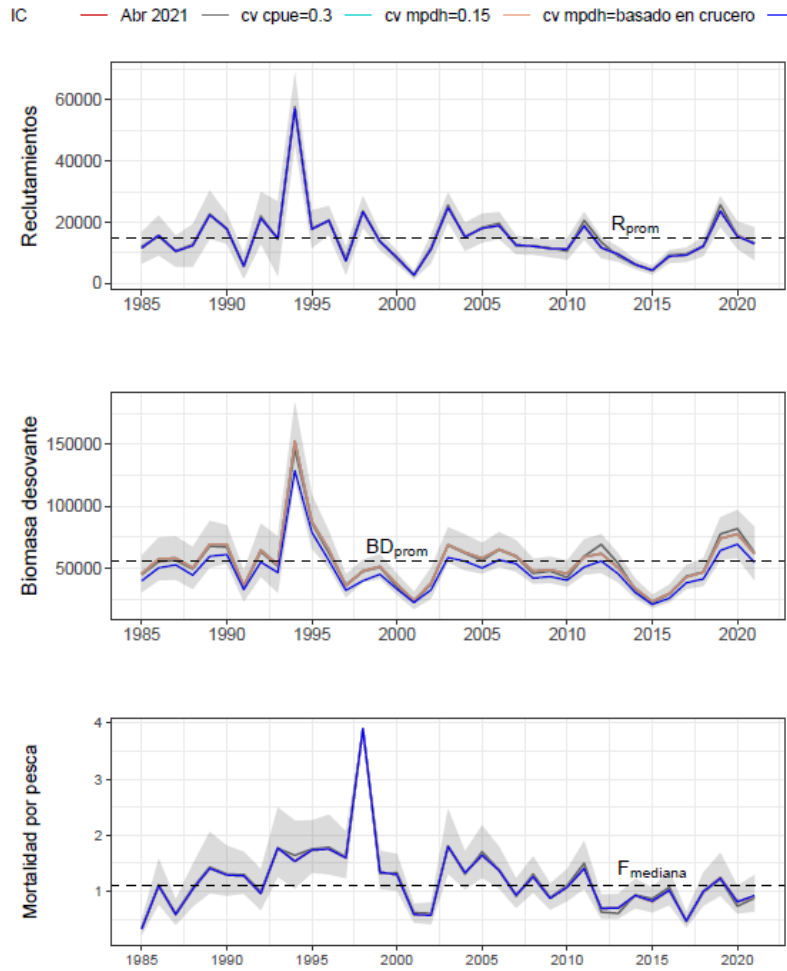
**Figura 32.** Comparación gráfica (escala log) entre residuales de los valores observados y predichos, residuales en función de los valores predichos y distribución teórica y empírica de los residuos, para los escenarios de ponderación del crucero mpdh analizados.



**Figura 33.** Comparación gráfica (escala log) entre residuales de los valores observados y predichos, residuales en función de los valores predichos y distribución teórica y empírica de los residuos, para la ojiva de madurez.

#### Variables poblacionales e indicadores del stock

En consistencia con el desempeño del modelo, los resultados de las variables poblacionales son similares en términos de tendencia y magnitud. Cambios en la ponderación del crucero de biomasa desovante no produce cambios en los niveles poblacionales respecto del escenario base. Por su parte, una menor peso estadístico de la cpue artesanal tiende a elevar la estimación en aquellos años en aquellos años que el índice se aleja del valor observado, mientras que la ojiva de madurez genera una leve disminución de la fracción desovante (**Figura 34**).

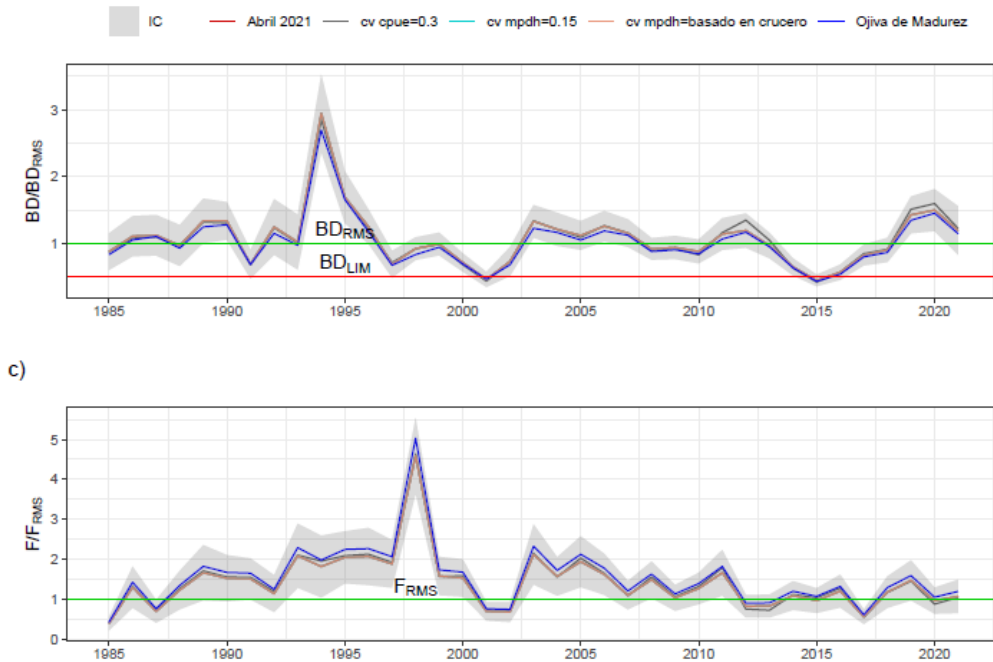


**Figura 34.** Trayectoria de las principales variables de estado estimadas para la anchoveta de la zona centro-norte bajo el caso base y los escenarios de análisis. En gris se presenta la incertidumbre del escenario base.

**Tabla 25.** Puntos Biológicos de referencia (PBRs), probabilidad que la BD del año más reciente sea menor a  $BD_{RMS}$   $p(BD < BD_{RMS})$  y la probabilidad que la  $F_t$  del año más reciente sea menor a  $F_{RMS}$   $p(F > F_{RMS})$  estimados en la evaluación de stock bajo los distintos escenarios de análisis.

	Base	cv cpue=0,3	cv mpdh=0,15	cv mpdh=datos	Ojiva M
FRMS	0,85	0,84	0,85	0,85	0,77
BDRMS (mil t)	52	51	51	51	51
BDLIM (mil t)	26	26	26	26	24
$p(BD_{last} < BDRMS)$	0,15	0,13	0,15	0,15	0,21
$p(F_{last} > FRMS)$	0,62	0,58	0,62	0,62	0,79
p(sobre-explotación)	0,06	0,05	0,06	0,06	0,09
p(agotado/colapsado)	0	0	0	0	0
p(sobrepesca)	0,44	0,4	0,44	0,44	0,65

- $p(BD_{last} < BD_{RMS})$  = Probabilidad de que BD del año más reciente sea menor a  $BD_{RMS}$
- $p(F_{last} > F_{RMS})$  = Probabilidad que la  $F_t$  del año más reciente sea menor a  $F_{RMS}$
- Probabilidad de estar en sobreexplotación =  $p(BD_{last} < 0,9BD_{RMS})$
- Probabilidad de estar en colapso =  $p(BD_{last} < BD_{LIM})$
- Probabilidad de estar en sobrepesca =  $p(F_{last} > 1,1F_{RMS})$



**Figura 35.** Indicadores del estatus ( $BD/BD_{RMS}$  y  $F/F_{RMS}$ ) para la anchoveta de la zona centro-norte bajo el caso base y los escenarios de análisis. En gris se presenta la incertidumbre del escenario base.

### Procedimiento transitorio de incorporación del descarte en la evaluación de stock y descuento en la proyección de la CBA de la anchoveta centro norte.

En el marco del proceso de asesoría 2022 de anchoveta centro norte, se requiere adoptar un procedimiento transitorio para incorporar el descarte en la evaluación del stock y CBA. Este procedimiento es necesario dada la incertidumbre que presentan las estimaciones obtenidas a la fecha por el programa de Descarte en la pesquería de anchoveta centro-norte. Dicho programa comenzó el año 2018, sin embargo, no fue posible estimar capturas retenidas y descartadas para la flota debido a que los tamaños de muestra fueron muy reducidos. La información disponible a la fecha es semestral para los años 2019 y 2020 para la flota artesanal. Las dificultades observadas para obtener una cobertura de muestreo adecuada se relaciona con un bajo apoyo al estudio en la Región de Atacama, donde tampoco se aplica el RAE, por lo tanto, los datos provienen principalmente de la Región de Coquimbo. Otra de las limitaciones de muestreo tiene relación con la baja habitabilidad de las embarcaciones menores a 15 metros de eslora. IFOP tiene una política de seguridad que indica que los observadores científicos se embarquen en naves sobre los 15 metros de eslora. Una posibilidad de incrementar el porcentaje de cobertura de estas embarcaciones menores podría ser la entrega de bitácoras de autoreporte por parte de los pescadores. Respecto de las estimaciones de capturas totales y descartadas, en general, durante el segundo semestre de cada año no hay registros de captura, producto del cierre de las plantas de proceso, por lo tanto, en esta zona la operación de las plantas de proceso determina la operación de la flota (**Tabla 26**). En este sentido, el número de viajes totales realizados por la flota artesanal disminuye durante el segundo semestre. El número de viajes totales realizados por la flota artesanal fluctúa entre 843 y 1181 en el primer semestre, mientras que en el segundo se realizaron entre 31 y 167 viajes. Por lo tanto, el porcentaje de cobertura de los viajes muestreados es bajo, menos del 5% de los viajes realizados por la flota artesanal son muestreados por observadores científicos, con excepción del segundo semestre del año 2020, cuando la significativa reducción de viajes totales (31) incrementó el % de cobertura a un 45%.

El programa de estudio del descarte para esta zona terminó el 2020, por lo tanto, para la asesoría de septiembre 2021 se espera comenzar a incorporar esta información a la evaluación de stock (**Tabla 27**). El modelo de evaluación de stock de anchoveta centro-norte utiliza información anual, por lo tanto, se requie-



ren datos de descarte anuales para la flota artesanal para ser incorporados a la serie de desembarques. Para los años en que no se cuente con información se debe utilizar un supuesto. Adicionalmente, el CCT-PP debe descontar un % de descarte a la CBA, por lo tanto también se debe contar con un supuesto de descarte proyectado. Inicialmente, se propone considerar para el año 2022, un promedio de descarte que considere los años 2019 al 2020 (dos años). Estos supuestos serán revisados y consensuados previamente con el CCT-PP en el próximo taller de datos y modelo.

**Tabla 26.** Estimaciones de captura total (CT), retenida (CR) y descartada (CD) en toneladas, porcentaje de descarte, tamaños de muestra de los viajes muestreados y totales y porcentaje de cobertura para el período 2018 al 2020 por semestre para la pesquería de anchoveta de la zona centro-norte.

Año	Semestre	Flota	Captura total	Captura retenida	Captura descartada	% descarte	Nº viajes muestreados	Nº Viajes totales	% cobertura
2018	1	Artesanal					5	843	0.6
2018	1	Industrial							
2018	2	Artesanal					2	167	1.2
2018	2	Industrial							
2019	1	Artesanal	29462	29205	257	0.9	48	1028	4.7
2019	1	Industrial							
2019	2	Artesanal	1506	1238	268	17.8	11	164	6.7
2019	2	Industrial							
2020	1	Artesanal	32651	31985	666	2.0	63	1181	5.3
2020	1	Industrial							
2020	2	Artesanal	1443	1326	116	8.1	14	31	45.2
2020	2	Industrial							

**Tabla 27.** Captura total (CT) y descartada (CD) para corrección de desembarques años 2019 y 2020. Para obtener el % de descarte a utilizar en el supuesto 1 (desembarque 2021). Para el supuesto 2 (proyección de CBA año 2022) se utiliza la captura total y descartada promedio del año 2019 y 2020. Supuestos para asesoría de septiembre 2021 de anchoveta centro-norte.

Criterios	Año	Captura total (t)	Captura descartada (t)	% descarte
Corrección de desembarques	2019	30968	525	1.70
2019 y 2020	2020	34094	782	2.29
Supuestos				
1. Corrección de desembarque	2021	32531	654	2.01
2. Proyección de CBA	2022	32531	654	2.01



## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La ejecución del proyecto Estatus y CBA, contempla la continuación de las actividades y tareas recomendadas en los talleres de revisión de datos y modelo de evaluación realizados, desde el año 2017, en conjunto con el CCT-PP. Además, son consideradas las recomendaciones realizadas por expertos nacionales a través de los Informes de Evaluación Técnica de proyectos del programa de investigación básica o permanente para la regulación pesquera y de acuicultura. De este modo, representantes de la comunidad científica son partícipes del proceso de análisis de la información de entrada al modelo y del modelo propiamente tal, lo que permite dar cumplimiento al propósito de procedimiento de trabajo científico e inclusivo. Además, la discusión generada permite vincular las brechas del conocimiento con el programa de mejoramiento continuo de la calidad de la asesoría científica (PMCCAC), a través de la definición de lineamientos y prioridades de investigación asociados a este proyecto u otros, orientados a mejorar el nivel de conocimiento de los pequeños pelágicos y en particular de la anchoveta de la zona centro-norte.

En este contexto, durante el año 2020 se priorizó el desarrollo de un modelo estructurado a la edad, bajo la misma configuración del modelo usado hasta el proceso de asesoría anterior. Los resultados evidenciaron que ambos modelos son similares en términos de diagnóstico (ajuste de los índices, análisis de residuales y análisis retrospectivo histórico y empírico). También, ambos modelos presentaron similares tendencias y magnitudes con resultados consistentes en términos del estatus (Bucarey *et al.*, 2021, ANEXO III). Sin embargo, el modelo en edad presenta ciertas ventajas técnicas, en tanto facilita la interpretación de los procesos que modelan la dinámica del recurso, disminuyendo la confusión en la estimación de parámetros al no permitir discernir entre cohortes (Punt, *et al.*, 2013). A su vez, facilita la comprensión de los procesos para todos los usuarios de la pesquería. Otra ventaja del modelo en edad se relaciona con una menor variación en la estimación de los reclutamientos del último año, permitiendo una menor incertidumbre entre hitos de asesoría y consistencia en la condición del stock. Por todo lo anterior, en la sesión N°5 del mismo año, el CCT-PP adopta el nuevo enfoque de modelación para la anchoveta de las Regiones Atacama y Coquimbo, previamente aprobado en el Acta N°4/2020, y acuerda iniciar una fase de transición, por el período de un año, hacia la toma de decisión con el mismo. Siguiendo con el proceso de comunicación a los usuarios, en Julio 2021, este nuevo enfoque de modelación a utilizar en la determinación de CBA 2022, es presentado al Comité de Manejo de Anchoveta y Sardina española Regiones Atacama y Coquimbo (Acta Sesión N°4, 2021; **ANEXO II**). Luego, el proceso de transición se da por finalizado y el modelo con dinámica en edad es el enfoque usado en la asesoría 2022.

### Sobre la información utilizada en el modelo de evaluación

Un supuesto básico sobre el cual se sustentan los modelos de evaluación de stock, es que la población es cerrada y por lo tanto las pérdidas se explican por captura y mortalidad natural. Este supuesto, muchas veces es escasamente contrastable. En el caso de la Unidad de pesquería de la anchoveta centro-norte, los estudios presentados (Braun *et al.*, 2005; Valle-Levinson y Moraga, 2006; Canales y Leal, 2009; Mujica *et al.*, 2016; Niklitschek *et al.*, 2018) aportan antecedentes que sugieren cierto nivel de independencia de la unidad poblacional ubicada al norte de los 25°00' LS, dando soporte a la modelación de la población como unidad de stock independiente de las anchovetas del norte y centro-sur del país.

De los índices que calibran el modelo de evaluación, la CPUE es utilizada con un coeficiente de variación alto debido a las documentadas complejidades para su uso en pesquerías de pequeños pelágicos. Maunder *et al.* (2006), indican que el índice de abundancia relativo basado en el análisis de la CPUE debe ser usado con cautela, ya que podría no reflejar eficazmente los cambios de abundancia en el tiempo y en un espacio determinado. Por ejemplo, la agregación del stock de peces por distintos factores (preferencia por un determinado hábitat, reproducción) podría incrementar su capturabilidad aun cuando la abundancia total dentro de un área es la misma o incluso menor. De esta manera la CPUE es incorporada con un peso estadístico relativo menor a los desembarques e índice acústico. La CPUE es estandarizada por flota, conformando dos índices independientes que permitan dar cuenta de las diferencias en el comportamiento de ambas, tales como la capacidad de pesca, períodos y áreas de operación de modo que sean manifiestas en el modelo de evaluación.

A partir del año 2019, se incorpora al modelo de evaluación un índice de biomasa desovante proveniente



del proyecto “Evaluación del stock desovante de anchoveta en la III y IV Regiones” estimada a través del Método de Producción Diaria de Huevos (MPDH). Este método presenta en términos generales las siguientes ventajas: a) proporciona una estimación de la biomasa desovante, b) sus fuentes de error están identificadas, siendo factible estimar fácilmente la precisión de cada una de ellas, c) proporciona información biológica anexa (fecundidad, tasa de mortalidad de huevos, proporción de peces maduros, distribución espacial del desove, etc.) de utilidad para evaluar la condición del stock y el reclutamiento potencial, y d) constituye una fuente de información auxiliar para calibrar las evaluaciones indirectas (Reyes *et al.*, 2018). Se destaca que la serie de 7 años del índice, presenta un buen desempeño dentro del modelo de evaluación. Por lo anterior, en el último Taller de datos y Modelos realizado junto al CCT-PP en julio de 2021, fue presentado un análisis de sensibilidad sobre el coeficiente de variación del índice y se acordó aumentar el ponderador a un  $cv=0,15$ ; otorgando un mayor peso relativo a esta pieza de información.

En cuanto a los parámetros de historia de vida usados en el modelo de evaluación, Plaza *et al.* (2012), han realizado análisis de crecimiento basado en el análisis de microincrementos en otolitos, sugiriendo una dinámica más alta en las tasas de crecimiento de la anchoveta del norte de Chile. Esto también podría ser válido para la anchoveta en las otras zonas del país, incluida la unidad de pesquería centro-norte, en cuyo caso, las implicancias en la evaluación de stock son relevantes y requieren ser estudiadas, en el marco de un estudio específico para este fin.

Otro aspecto que se releva en la implementación del modelo con dinámica a la edad, es el uso de una Clave talla edad que permite transformar la información, que comúnmente esta disponible en la forma de composiciones de tallas, a la edad de los individuos de forma tal, que permita la comprensión del paso de las cohortes a través de los años. En este sentido, una de las primeras tareas a ser abordadas en el marco del PMCCAC, se refiere a la sensibilización de la clave talla edad que actualmente presenta estimaciones de  $cv$  demasiado altos, lo que podría estar influyendo en la sobreestimación de ejemplares de tallas mayores y por ende, en el nivel de biomasa desovante. Esta tarea ha sido incorporada como prioritaria en el PMCCAC formando parte del plan de trabajo 2022-2023.

Otra fuente de incertidumbre se refiere a la ojiva de madurez utilizada para separar la fracción madura de la población. Las estimaciones basadas en estados histológicos de desarrollo, suponen mayor precisión y por lo tanto son seleccionadas por sobre las aproximaciones macroscópicas. En este sentido, el modelo supone entonces que el proceso de madurez gonadal en relación a la longitud de la anchoveta de la zona centro-norte es idéntica al stock del norte de Chile, utilizando la ojiva de madurez descrita para la anchoveta del norte de Chile (Martínez *et al.*, 2004). Cabe señalar que este supuesto de madurez fue ratificado por el CCT-PP en julio de este año en el marco del Taller de Revisión de Datos y Modelos de anchoveta centro norte (Acta Sesión N°4/2021), en tanto no se disponga de un análisis basado en estudios histológicos.

El hecho de que la varianza estadística de estos indicadores tienda a aumentar en los últimos años de la serie y además presente un patrón de sobreestimación de los reclutamientos, genera estimaciones menos confiables para medidas de manejo. El patrón retrospectivo observado indica, según Hurtado-Ferro *et al.* (2015), que podrían existir procesos variables en el tiempo no explicados en la evaluación (es decir, falta de especificación del modelo) o posiblemente datos incompletos.

En síntesis, a pesar de contar con un adecuado volumen de datos para ser incorporados en un modelo de evaluación de stock, la falta de mayor conocimiento de algunos procesos dinámicos espacio-temporales, se traduce en datos e indicadores poblacionales sujetos a una considerable incertidumbre. De esta manera, el estándar de la información para establecer el diagnóstico del recurso puede ser considerado como incompleto y en consecuencia, sugiere tener en cuenta en particular durante el proceso de asesoría inicial.

### Sobre el Modelo Base de Evaluación de Stock

Los resultados del análisis estadístico usado para modelar la dinámica de la anchoveta en la UP centro-norte, muestra importantes fluctuaciones de los niveles poblacionales propias de las poblaciones de peces pelágicos que habitan ecosistemas de surgencia (Bakun y Parrish, 1982; Cushing, 1990; Cubillos *et al.*, 2001). Estas fluctuaciones se asocian al éxito del reclutamiento, cuyo proceso, aunque depende del stock parental, serían los factores ambientales a través de mecanismos denso-independientes los que deter-



minarían en gran medida la variabilidad en la fuerza de la clase anual reclutada (Cole y MacGlade, 1998; Rothschild, 2000). Es decir, estas poblaciones, poseen una amplia incertidumbre en la relación stock-recluta y por lo tanto en las proyecciones que se realizan a partir del stock desovante. En este sentido, la incertidumbre asociada a los niveles de reclutamiento sugiere mantener niveles de remoción precautorios, en particular en el proceso inicial de recomendación de cuotas de captura (CBA inicial).

En la última década, la anchoveta de la zona centro-norte presentó una disminución sostenida de la abundancia que la mantuvo en zona de sobreexplotación en los años 2014-2016. Posteriormente, se observó una recuperación de sus niveles poblacionales explicada por el ingreso de clases anuales en torno a la media histórica, lo que, sumado a las bajas remociones por pesca, permitieron un incremento de sus niveles poblacionales y el tránsito hacia una condición de plena explotación. La intensa actividad de la flota artesanal observada el 2019 fue consistente con estos resultados. En efecto, al mes de marzo, la flota artesanal de la Región de Atacama había superado la cuota inicial asignada en un 6 %, mientras que la flota de Coquimbo se encontraba a un 4 % de completarla. A su vez, los traspasos de cuotas del sector industrial hacia el sector artesanal habían superado las 17 mil t (Fuente: SUBPESCA). En mayo, tras la actualización de la evaluación del stock, el CCT-PP recomendó incrementar la cuota global inicial en un 88 %. Sin embargo, el proceso de actualización 2020, que incorporó información completa para el año 2019 y del crucero acústico 2020, resultó en una sobreestimación de los reclutamientos del año previo (2019) y por lo tanto una sobreestimación de la abundancia vulnerable y cuota de captura. Si bien, la anchoveta se mantuvo en el rango de plena explotación se evidenció sobrepesca para los años 2018 y 2019.

En el proceso de asesoría inicial (septiembre 2021) se consolida el estatus 2020, con una población desovante por sobre el objetivo de manejo ( $BD_{2020}/BD_{RMS} = 1,41$ ) y con un nivel de remoción igual al RMS. La condición proyectada para el año 2021 en ese entonces fue de ( $BD_{2021}/BD_{RMS} = 1,25$ ) con una baja probabilidad de sobre-explotación (4 %), lo que indicaba una condición positiva del stock. En tanto, el nivel de F respecto al objetivo de manejo se estimó en  $F_{2021}/F_{RMS} = 1,14$  con una probabilidad de sobrepesca de  $p(F_{2021} > F_{RMS}) = 0,57$ . En la presente evaluación (abril 2022), se observó una disminución de los niveles poblacionales estimados para el año 2021, confirmando el estatus en una condición en torno al objetivo de manejo ( $BD_{2021}/BD_{RMS} = 1,02$ ), pero con sobrepesca ( $F_{2021}/F_{RMS} = 1,21$ ). Para el año 2022, la población se proyecta saludable en términos de biomasa ( $BD_{2022}/BD_{RMS} = 1,19$ ), aunque con una alta probabilidad  $p(F_{2022} > F_{RMS}) = 0,77$  de mantener un nivel de sobrepesca ( $F_{2022}/F_{RMS} = 1,29$ ).

En esta revisión, la Captura Biológicamente Aceptable (CBA) final para el año 2022, bajo el criterio de explotación ( $F_{RMS}$ ) y percentiles de riesgo entre el 10 % y 50 % de sobrepasar el criterio, la CBA 2022 fue actualizada a valores entre las 42 mil t y 51 mil t, con niveles de resguardo máximo del 17 % para el percentil más bajo (10 %). Descontando el 2,01 % asumido como descarte, la CBA 2022 fue estimada entre 41 mil t y 50 mil t. Si se considera el mismo percentil de riesgo usado en la asesoría inicial, la CBA 2022 actualizada es un 10 % menor que la CBA inicial.



## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alheit, J., Ñiquen, M. (2004). *Regime shift in the Humboldt Current ecosystem*. Progress in Oceanography, 60:201-202.
- Bakun, A., Parrish, R.H. (1982). *Turbulence, transport, and pelagic fish in the California and Peru current systems*. CALCOFI Rep., 23:99-112.
- Barría, P., y Serra, R. (2001). *Evaluación del stock y captura total permisible de sardina y anchoveta de la III y IV Región*. (Informe Final. SUBPESCA). Instituto de Fomento Pesquero.
- Blanco, J.L., Carr, M.E., Thomas, A.C., Strub, P.T. (2002). *Hydrographic conditions off northern Chile during the 1996-1998 La Niña and El Niño events*. Journal of Geophysical Research, 107(C3), 3017. <https://doi.org/10.1029/2001JC001002>
- Böhm, M.G., Hernández, C., Díaz, E., Pérez, G., Ojeda, R., Cerna, F. [et al.]. (2017). *Pesquería pelágicas de la zona norte de Chile XV-IV regiones año 2016*. (Informe Final. Convenio de Desempeño 2016 Subsecretaría de Economía y EMT). Instituto de Fomento Pesquero.
- Braun, M., Valenzuela, V., Claramunt, G., Reyes, H., Pizarro, M., Catasti, V., Herrera, G., Moreno, P., Gaspar C., Díaz, E. (2005). *Evaluación del stock desovante de anchoveta I y II Regiones Año 2005*. (Informe Final FIP N 2005-03: 1-55). Instituto de Fomento Pesquero.
- Bucarey, D. (2017). *Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2017. Anchoveta III-IV Regiones, 2017*. (Informe 2 de Estatus. Convenio de Desempeño 2016 Subsecretaría de Economía y EMT). Instituto de Fomento Pesquero.
- Bucarey, D., Zúñiga M.J., Leal, E., Espíndola, F., Quiroz, J.C. (2018). *Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2018. Anchoveta III-IV Regiones, 2018*. (Informe 2 de Estatus. Convenio de Desempeño 2017 Subsecretaría de Economía y EMT). Instituto de Fomento Pesquero.
- Bucarey, D., Zúñiga, M.J., Leal, E., Espíndola, F., Quiroz, J.C. (2019). *Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2019. Anchoveta III-IV Regiones, 2019*. (Informe 2 de Estatus. Convenio de Desempeño 2018 Subsecretaría de Economía y EMT). Instituto de Fomento Pesquero.
- Bucarey, D., Zúñiga, M.J., Quiroz, J.C. (2020). *Estatus y posibilidades de explotación de las principales pesquerías nacionales, año 2020. Anchoveta y Sardina española Regiones Atacama a Coquimbo*. (Segundo Informe. Convenio de Desempeño 2019 Subsecretaría de Economía y EMT). Instituto de Fomento Pesquero.
- Bucarey, D., Zúñiga, M.J., Quiroz, J.C. (2021). *Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2021. Anchoveta y Sardina española Región de Atacama a Región de Coquimbo*. (Segundo Informe. Convenio de Desempeño 2020 Subsecretaría de Economía y EMT). Instituto de Fomento Pesquero.
- Bucarey, D., Zúñiga, M.J., Quiroz, J.C. (2021b). *Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentable de Anchoveta y Sardina española, Región de Atacama a la Región de Coquimbo, año 2022*. (Primer Informe. Convenio de Desempeño 2021 Subsecretaría de Economía y EMT). Instituto de Fomento Pesquero.
- Cadigan, N.G., Farrell, P.J. (2005). *Local influence diagnostics for the retrospective problem in sequential population analysis*. ICES Journal of Marine Science, 62: 256-265.
- Cadrin, S.X., Vaughn, D.S. (1997). *Retrospective analysis of virtual population estimates for Atlantic menhaden stock assessment*. U.S. National Marine Fisheries Service Fishery Bulletin, 95: 445-455.



- Canales, T.M., Saavedra, J.C., Böhm M.G., Martínez, C. (2004). *Investigación Captura Total Permissible Sardina y Anchoqueta, III-IV Región, 2004*. (Informe Final. SUBPESCA). Instituto de Fomento Pesquero.
- Canales, T.M., Canales, C. (2005). *Investigación CTP Anchoqueta y Sardina Española III y IV Región 2005, FASE II*. (Informe Final. SUBPESCA). Instituto de Fomento Pesquero.
- Canales, T.M., Canales, C. (2006). *Investigación Evaluación de Stock CTP Anchoqueta y Sardina Española III - IV Regiones, 2006*. (Informe Final BIP N 30033830-0. SUBPESCA). Instituto de Fomento Pesquero.
- Canales, T.M. (2007). *Investigación Evaluación de stock de anchoqueta y sardina española 2007*. (Informe Final. SUBPESCA). Instituto de Fomento Pesquero.
- Canales, T.M., Leal, E. (2009). *Parámetros de historia de vida de la anchoqueta *Engraulis ringens* Jenyns, 1842, distribuida en la zona centro norte de Chile*. Revista de Biología Marina y Ecología, 44(1): 173-179.
- Castro, L.R., Salinas, G.R., Hernández, E.H. (2000). *Environmental influences on winter spawning of the anchoqueta *Engraulis ringens* off central Chile*. Marine Ecology Progress Series, 197: 247-258. <https://doi.org/10.3354/meps197247>
- Castro, L.R., Claramunt, G., Krautz, M.C., Llanos-Rivera, A., Moreno, P. (2009). *Egg trait variation in anchoqueta *Engraulis ringens*: A maternal response to changing environmental conditions in contrasting spawning habitats*. Marine Ecology Progress Series, 381: 237-248. <https://doi.org/10.3354/meps07922>
- Cerna, F., Plaza, G. (2016). *Daily growth patterns of juveniles and adults of the Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) in northern Chile*. Marine and Freshwater Research, 67: 899-912 <http://dx.doi.org/10.1071/MF15032>.
- Chavez, F., Ryan, J., Llunch-Cota, S., Ñiquen, M. (2003). *From anchovies to sardines and back: Multidecadal change in the Pacific Ocean*. Science, 299(5604): 217-221. <https://doi.org/10.1126/science.1075880>
- Cifuentes, U., Berguer, T., Claramunt, G., Moreno, P., Azócar, C., Herrera, G. (2021). *Evaluación del stock desovante de anchoqueta entre las regiones de Atacama y Coquimbo, año 2020*. (Informe Final. Convenio de desempeño 2020 Subsecretaría Economía y EMT). Instituto de Fomento Pesquero.
- Cole, J., Mc Glade., J. (1998). *Clupeoid population variability, the environment and satellite imagery in coastal upwelling systems*. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 8: 445-471.
- Cubillos L., Canales. T.M., Bucarey, D., Rojas, A., Alarcón, R. (1999). *Época reproductiva y talla media de primera madurez de *Strangomera bentincki*, y *Engraulis ringens* en el período 1993-1997 en la zona centro sur de Chile*. Investigaciones Marinas 27: 73-85.
- Cubillos L., Arcos, D., Bucarey, M., Canales, M. (2001). *Seasonal growth of small pelagic fish off Talcahuano, Chile (37°S, 73°W): a consequence of their reproductive strategy to seasonal upwelling?*. Aquatic Living Resources, 14: 115-124.
- Cubillos L., Arcos, D. (2002). *Recruitment of common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off central-south Chile in the 1990s and the impact of the 1997–1998 El Niño*. Aquatic Living Resources, 15(2): 87-94.
- Cubillos L.A., Castro, L., Claramunt, G. (2011). *Evaluación del stock desovante de anchoqueta y sardina común en la zona centro-sur, año 2010*. (Informe Final FIP N 2010-02). Universidad de Concepción.
- Cushing, D.H. (1990). *Plankton Production and Year-class Strength in Fish Populations: an Update of the Match/Mismatch Hypothesis*. Advances in Marine Biology, 26: 249-293.
- FAO. (1996). *Precautionary approach to capture fisheries and species introductions*. Elaborated by the Technical Consultation on the Precautionary Approach to Capture Fisheries (Including Species Introductions). (6-13 June 1995, Lysekil, Sweden), FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 2. Rome. FAO.



- Francis, R.I.C.C. (2011). *Data weighting in statistical fisheries stock assessment models*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 68: 1124-1138. <https://doi.org/10.1139/f2011-025>
- Fournier, D.A., H.J. Skaug, H.J., Ancheta, J., Ianelli, J., Magnusson, A., Maunder, M.N., Nielsen, A., Sibert, J. (2012). *AD Model Builder: using automatic differentiation for statistical inference of highly parameterized complex nonlinear models*. Optimization Methods and Software. 27:233-249. <https://doi.org/10.1080/10556788.2011.597854>
- Hernández, E.H., Castro, L.R. (2000). *Larval growth of the anchoveta *Engraulis ringens* during the winter spawning season off central Chile*. Fishery Bulletin, 98: 704-710.
- Hewitt, D.A., Hoenig, J.M. (2005). *Comparison of two approaches for estimating natural mortality based on longevity*. VIMS articles. 566. Virginia Institute of Marine Science
- Hoenig, J.M. (1983). *Empirical Use of Longevity Data to Estimate Mortality Rates*. Fishery Bulletin, 82: 898-903.
- Hormazabal, S., Shaffer, G., Letelier, J., Ulloa, O. (2001). *Local and remote forcing of sea surface temperature in the coastal upwelling system off Chile*. Journal of Geophysical Research: Oceans, 106(C8), 16657-16671. <https://doi.org/10.1029/2001JC900008>
- Hutchings, L., Barange, M., Bloomer, S.F., Boyd, A.J., Crawford, R.J.M., Huggett, J.A., Kertsan, M., Korrûbel, J.L., de Oliveira, J.A.A., Painting, S.J., Richardson, A.J., Shannon, L.J., Shûlein, F.H., van der Lingen, C.D., Verheye, H.M. (1998). *Multiple factors affecting South African anchovy recruitment in the spawning, transport and nursery areas*. South African Journal of Marine Science. 19:211-225. <https://doi.org/10.2989/025776198784126908>
- Leal, E., Canales, M. (2008). *Investigación Evaluación de stock y CTP anchoveta y sardina española III - IV Regiones, 2008*. (Informe Final BIP N°30066333-0. SUBPESCA). Instituto de Fomento Pesquero.
- Leal, E., Bucarey, D. (2009). *Investigación Evaluación del Stock y CTP Anchoveta y Sardina española III y IV Región, 2009*. (INFORME FINAL. SUBPESCA). Instituto de Fomento Pesquero.
- Leal, E. (2010). *Investigación del estatus y evaluación de estrategias de explotación sustentables en anchoveta y sardina española, regiones III-IV, 2010*. (Informe Final. SUBPESCA). Instituto de Fomento Pesquero.
- Leal, E., Canales, C. (2014). *Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, 2014. Proyecto 2.4: Investigación del estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables en Anchoveta III-IV Regiones, 2014*. (Tercer Informe Final. Subsecretaría de Economía Y EMT). Instituto de Fomento Pesquero.
- Leal, E., Canales, C. (2015). *Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, 2015: Anchoveta III-IV Regiones, 2015*. (Documento Técnico N 2. Convenio de Desempeño 2014 Subsecretaría de Economía Y EMT) Instituto de Fomento Pesquero.
- Leal, E., Canales, C., Bucarey, D. (2016). *Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, 2016: Anchoveta III-IV Regiones, 2016*. (Segundo Informe de Estatus. Convenio de Desempeño 2015 Subsecretaría de Economía). Instituto de Fomento Pesquero.
- Leiva Dietz, F., Sanchez, F., Grendi, C., Bustamante, A., Cifuentes, U. (2020). *Evaluación hidroacústica del reclutamiento anchoveta entre las Regiones de Atacama y Coquimbo, año 2020*. (Informe de Avance. Convenio de Desempeño 2019 Subsecretaría de Economía). Instituto de Fomento Pesquero.
- Llanos-Rivera, A., y Castro, L.R. (2006). *Inter-population differences in temperature effects on *Engraulis ringens* yolk-sac larvae*. Marine Ecology Progress Series, 312: 245-253. <https://doi.org/10.3354/meps312245>
- McAllister, M.K., Ianelli, J.N. (1997). *Bayesian stock assessment using catch-age data and the sampling-importance resampling algorithm*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 54: 284-300.



McCullagh, P., Nelder, J.A. (1989). *Generalized linear models*. Chapman and Hill, London.

Martínez, C., Böhm, G., Caballero, L., Aranis, A., Díaz, E., Cerna, F., Bocic, V., Muñoz, L., López, A., Canales, C., Young, Z., Nilo, M., Palta, E. (2004). *Investigación situación pesquería pelágica Zona Norte, 2003*. (Informe Final. SUBPESCA). Instituto de Fomento Pesquero.

Mohn, R. (1999). *The retrospective problem in sequential population analysis: An investigation using cod fishery and simulated data*. ICES Journal of Marine Science, 56: 473-488.

Mujica A., Nava, M.L., Matsuda, K., Vargas, A. (2016). *Distribution and abundance of *Engraulis ringens* eggs along the north-central Chilean coastline (25.0-31.5°S) during February 2008 to 2014*. Latin American Journal of Aquatic Research, 44(1): 65-75.

Niklitschek, E., Garcés, C., Toledo, P., (Eds). (2018). *Determinación de Unidades Poblacionales de anchoveta (*Engraulis ringens*) en Chile*. (Informe Pre-Final. Proyecto FIPA N 2015-22). Universidad de Los Lagos.

Ortiz, M., Arocha, F. (2004). *Alternative error distribution models for the standardization of catch rates of non-target species from a pelagic longline fishery: billfish species in the Venezuelan tuna longline fishery*. Fisheries Research, 70: 275-297.

Pauly, D. (1980). *On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks*. Journal du Conseil international pour l'Exploration de la Mer, 39(3):175-192.

Pikitch, E., Boersma, P.D., Boyd, I.L., Conover, D.O., Cury, P., Essington, T., Heppell, S.S., Houde, E.D., Mangel, M., Pauly, D., Plaganyi, E., Sainsbury, K., Steneck, R.S. (2012). *Little Fish, Big Impact: Managing a Crucial Link in Ocean Food Webs*. Lenfest Ocean Program. Washington, DC. 108 pp.

Parrish, R.H., Bakun, A., Husby, D.M. Nelson, C.S. (1983). *Comparative climatology of selected environmental process in relation to Eastern boundary current pelagic fish reproduction*. In: Sharp, G.D. and J. Csirke (Eds.). *Proceeding of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources*. FAO Fish Rep., 291, 3: 731-777.

Payá, I., Canales, C., Bucarey, D., Canales, M., Contreras, F., Leal, L., Tascheri, R., Yáñez, A., Zúñiga, M.J. (2014). *Revisión de los puntos biológicos de referencia (Rendimiento Máximo Sostenible) en las pesquerías nacionales. Convenio II: Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales año 2014*. (Informe Final. Subsecretaría de Economía y EMT). Instituto de Fomento Pesquero.

Pennington, M. (1983). *Efficient estimators of abundance for fish and plankton surveys*. Biometrics, 39:281-286.

Punt A.E., Huang, T., y Maunder, M.N. (2013). *Review of integrated size-structured models for stock assessment of hard-to-age crustaceans and mollusk species*. ICES Journal of Marine Science, 70(1): 16-33.

Reyes, H., Angulo, J., Valenzuela, V., Pizarro, M., Moreno, P., Azócar, C., Cifuentes, U., Mora, G., Pávez, J., Claramunt, G., Herrera, G., Díaz, E., Böhm, M.G., Saavedra, J.C., Catasti, V. (2015). *Evaluación del stock desovante de anchoveta en la III y IV Regiones, año 2014*. (Informe de Final. Convenio Desempeño 2014 Subsecretaría de Economía y EMT). Instituto de Fomento Pesquero.

Reyes, H., Pizarro, M., Grendi, C., Massoti, I., Bustamante, A., Herrera, L., Jaque, J., Díaz, E., Böhm, M.G., Claramunt, G., Herrera, G., Moreno, P., Azócar, C., Saavedra, J.C., Angulo, J., Bonicelli, J., Cifuentes, U., Salinas, C. (2018). *Evaluación del stock desovante de anchoveta en la III y IV Regiones, año 2017*. (Informe de Final. Convenio Desempeño 2017). Instituto de Fomento Pesquero.

Rickhter, V.A., Efanov, V.N. (1976). *On one of the approaches to estimation of natural mortality of fish populations*. International Commission for the Northwest Atlantic Fisheries Res. Doc. 76/VI/8:12 pp



Rojas, O., Mujica, A., Labra, M., Lederman, G., Miles, H. (1983). *Estimación de la abundancia relativa de huevos y larvas de peces*. Instituto de Fomento Pesquero, AP 83-31.

Rothschild, B.J. (2000). "Fish stocks and recruitment": the past thirty years. *ICES Journal of Marine Science*, 57: 191–201.

Roy, C., Fréon, P., Van der Lingen, C.D. (2000). *An empirical model of anchovy recruitment variability in the southern Benguela*. Small pelagic Fishes and Climate Change Programme, 52.

Silva C., Leiva, F., Lastra, J. (2018). *Predicting the current and future suitable habitat distributions of the anchovy (Engraulis ringens) using the Maxent model in the coastal areas off central-northern Chile*. *Fisheries Oceanography*, 28(2): 171-182. <https://doi.org/10.1111/fog.12400>.

Valle-Levinson, A., Moraga-Opazo, J. (2006). *Observations of bipolar residual circulation in two equatorward-facing semiarid bays*. *Continental Shelf Research* 26: 179-193

**A N E X O S**

---

# **A N E X O I**

---

Análisis de las tasas de captura y esfuerzo de pesca

# Análisis de las tasas de captura y esfuerzo de pesca de la anchoveta centro-norte

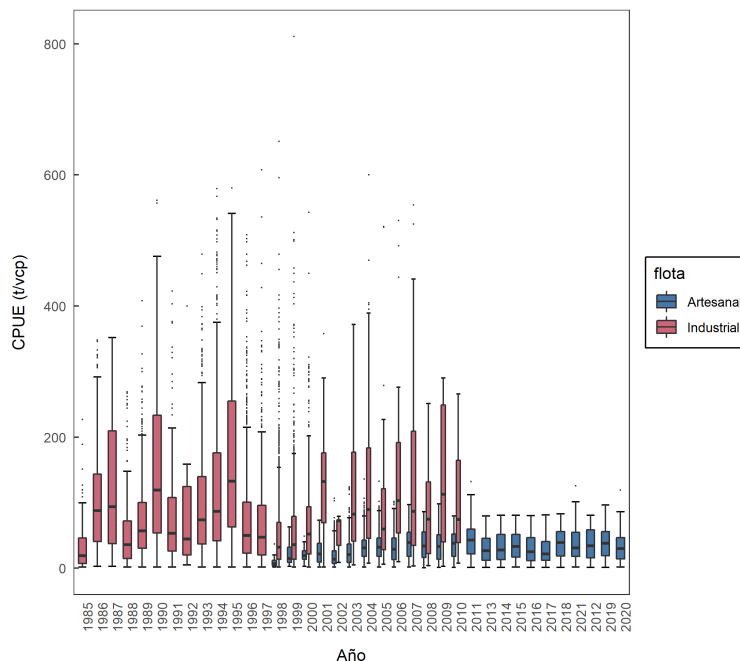
## 1. Antecedentes

La unidad de pesquería de la anchoveta centro-norte (*Engraulis ringens*) se desarrolló en la década de los ochenta frente a las costas de los puertos de Caldera y Coquimbo (25° 00'-32° 10' LS). En 1996, la pesquería es declarada en estado y régimen de plena explotación (D.S. N° 493, D.O. 13/08/1996) y en consecuencia con la entrada en vigencia del régimen LMCA (DFL N° 19.713, 25/01/2001) ha sido administrada bajo sistema de cuotas globales de capturas, para lo cual se requiere conocer los niveles de abundancia e identificación de cambios en las tendencias poblacionales, estimadas a través de modelos de evaluación de stock. Uno de los índices de abundancia comúnmente utilizado en estos modelos se basa en datos de captura y esfuerzo provenientes de la actividad pesquera. La información utilizada en el análisis de captura por unidad de esfuerzo (CPUE) proviene de los registros de bitácoras recopiladas entre los años 1985 y 2021. El esfuerzo de pesca es evaluado como aquellos viajes que efectivamente obtuvieron capturas (viajes con pesca), ya que en esta pesquería es difícil realizar un seguimiento eficaz o confiable de los viajes con captura cero u obtener registros de captura al lance, dada la dificultad de contar con observadores a bordo en naves artesanales cuya habitabilidad es limitada (G. Böhm *com. Pers.*).

En términos de captura, en la pesquería de anchoveta de la zona centro-norte se identifican tres períodos:

- 1985-2000, con un evidente predominio de la flota industrial, el desembarque más alto observado en 1995 y un promedio en torno a las 75 mil t,
- 2001-2012, período en que la actividad se desarrolla principalmente por la flota artesanal y el desembarque promedio alcanza las 54 mil t y,
- 2013-2021, actividad artesanal con desembarques promedio en torno a las 37 mil t.

Los rendimientos de pesca nominales presentados en la **Figura 1** muestran claramente las diferencias entre flotas, donde la flota industrial muestra rendimientos medios más altos (97 t/vcp) que la flota artesanal (30 t/vcp), aunque con una mayor variabilidad.



**Figura 1.** Variabilidad de los rendimientos de pesca nominales obtenidos por la flota industrial y artesanal que operó sobre anchoveta en la Unidad de pesquería centro-norte, entre los años 1985 y 2021.

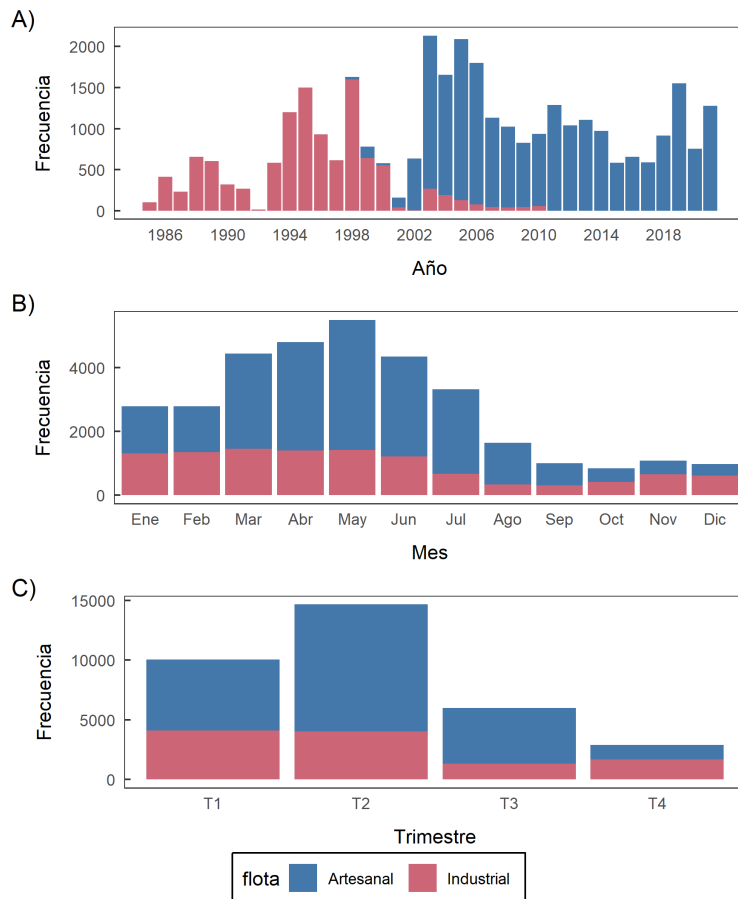


Los rendimientos de pesca nominales representan un índice de abundancia relativo (CPUE) cuando las variaciones asociadas a factores diferentes a los temporales son removidas de la tendencia central, ya que estos factores exógenos podrían estar afectando la capturabilidad (Maunder y Punt, 2004).

Por lo anterior, una primera etapa en el análisis de las tasas de captura fue la exploración de los rendimientos nominales con objeto de definir agregaciones que permitan visualizar tendencias, así como la identificación y análisis de los factores (o predictores) que modelan las tasas de captura e interactúan con estas agregaciones.

La **Figura 2** muestra el número de registros de viajes con pesca (vcp) utilizados para la construcción del índice de CPUE. Las mayores variaciones temporales se registran bajo una agregación anual. En cuanto a su variabilidad intra-anual, el análisis de la información agrupada en escala mensual y trimestral, indica que los viajes se concentran entre enero y julio, en particular en el segundo trimestre, disminuyendo de manera importante a partir de agosto. Otro factor implementado en el análisis fue la variabilidad espacial, ya que el recurso podría mostrar diferencias temporales en el patrón de agregación por área.

En la **Figura 3**, se presenta el número de vcp y CPUE para las zonas de pesca de Caldera y Coquimbo por flota y año, donde la variabilidad entre área es mayor que los cambios interanuales para cada región en específico.

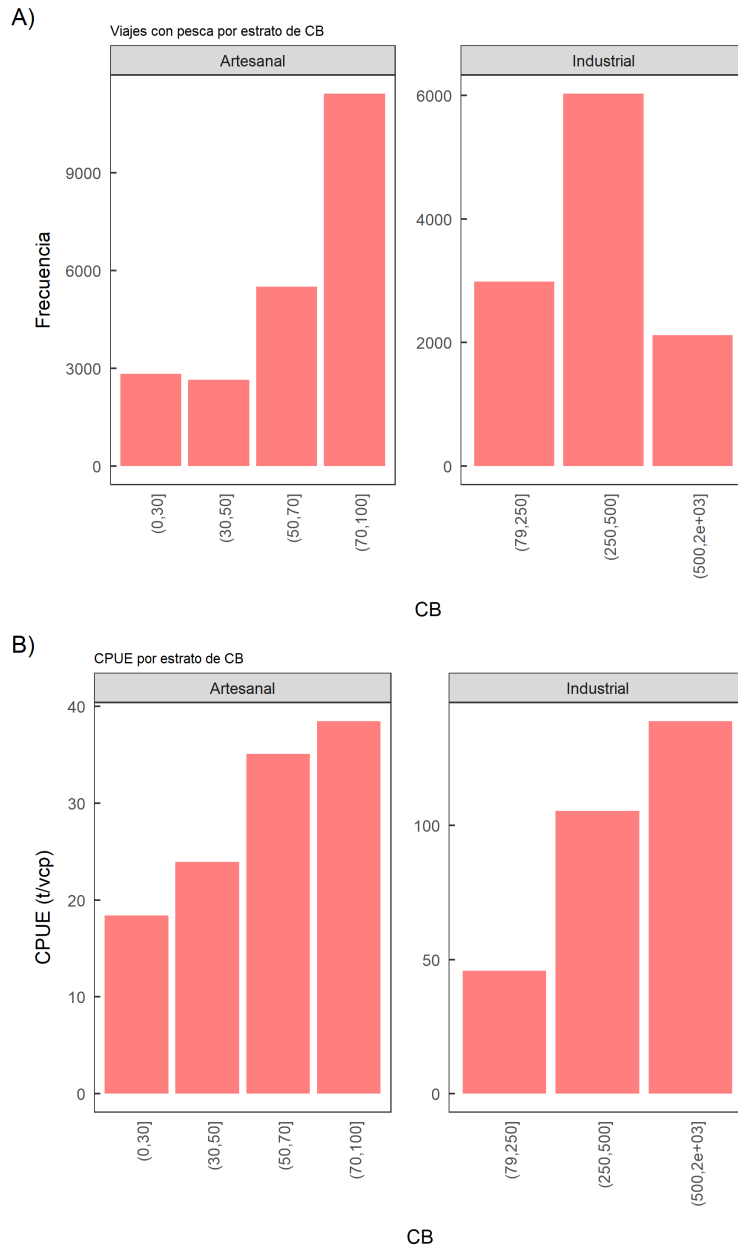


**Figura 2.** Variabilidad en el número de viajes con pesca (vcp) registrados, en la pesquería de anchoveta centro norte entre los años 1985 y 2021, en escala temporal anual, mensual y trimestral.



**Figura 3.** Variabilidad en el número de viajes con pesca (vcp) y rendimientos nominales registrados (t/vcp), en la pesquería de anchoveta de la zona centro-norte por zona de pesca y por flota, para el período 1985 - 2021.

La **Figura 4** muestra el esfuerzo (vcp) y CPUE por tipo de flota como función de los niveles de capacidad de bodega (CB). Es evidente que existe un comportamiento diferencial entre flotas. La flota artesanal muestra un grado de correspondencia entre el nivel de esfuerzo y la CPUE a medida que aumenta el tamaño de la embarcación. En contraste, este patrón no es evidente en los registros de la flota industrial, indicando que la separación de los índices de abundancia por flota pueden ser una opción adecuada.



**Figura 4.** Número de viajes con pesca y rendimiento nominal por flota industrial (1985-2010) y artesanal (1998-2021). Se presentan rangos de capacidad de bodega: Industriales: <math><250^3</math> de CB, 251 - 500  $m^3$  y > 500  $m^3$ ; artesanales: se identifican: 1-30  $m^3$ , 31-50  $m^3$ , 51-70 $m^3$  y >70  $m^3$ .

Por lo tanto, teniendo en cuenta que los rendimientos de la pesquería presentan variaciones por tipo de flota, cambios asociados a comportamientos temporales y espaciales, es necesario excluir factores explicativos de la varianza asociados a la capacidad de bodega, zonas de pesca y estacionalidad de la pesquería.



## 2. Metodología

Si la tasa de captura ( $x$ ) es una variable aleatoria  $x$ , con  $x \neq 0$  y positiva, la función de distribución acumulada de la captura  $x$ , estará dada por:

$$Pr\{X \leq x\} = G(x), x > 0$$

donde,  $G(x)$  es una distribución continua que describe los valores positivos.

El análisis estadístico de las tasas de capturas se realizó por medio de los modelos lineales generalizados (GLM), las que constan de tres componentes:

1. Componente aleatorio: sea  $y$  una variable aleatoria independiente con distribución perteneciente a la familia exponencial.
2. Componente sistemático: sea  $x_1, x_2, x_p$  covariables que producen un predictor lineal  $\eta_1$  dados por la siguiente expresión:

$$\eta_i = x_{i1}\beta_1 + x_{i2}\beta_2 + \dots + x_{ip}\beta_p$$

3. Función de enlace: vincula el componente aleatorio al sistemático por:

$$g(u_i) = x_{i1}\beta_1 + x_{i2}\beta_2 + \dots + x_{ip}\beta_p = \eta_i$$

donde,  $g(u_i) = \eta_i$  es una función diferenciable y monótona, la cual se elige en base al parámetro natural de la distribución particular de la variable respuesta (McCulland y Nelder, 1989).

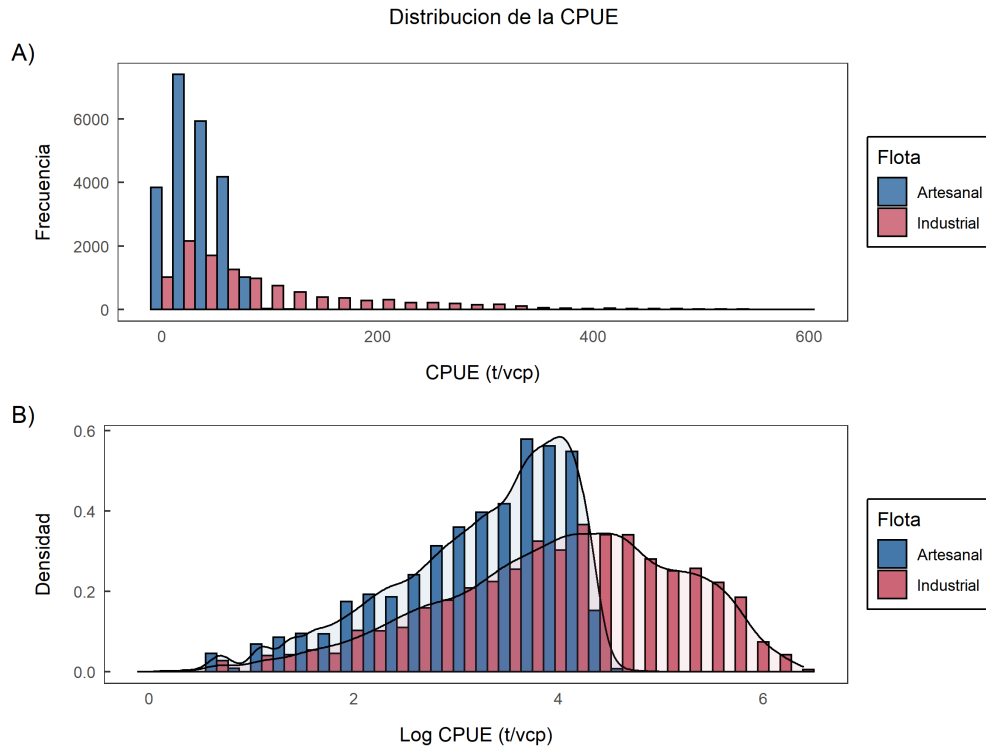
El modelo de regresión general a considerar en esta estandarización corresponde a:

$$CPUE_{i,j,k,l} = \mu_i + \alpha_j + \beta_k + \delta_l + \gamma_m + \varepsilon$$

donde,  $\mu$  corresponde a la media general o intercepto,  $\alpha$  es el factor año,  $\beta$  el factor trimestre,  $\delta$  el factor zona,  $\gamma$  el factor rango de capacidad de bodega y  $\varepsilon$  el error aleatorio.

## 3. Estandarización de las tasas de captura (CPUE)

El análisis gráfico preliminar muestra que la CPUE transformada en escala logarítmica se aleja de una distribución de tipo normal (**Figura 5**), principalmente en el caso de la flota artesanal. Es por esto que se asume una distribución de probabilidad de la variable respuesta tipo Gamma, ya que su estructura, permite una mayor independencia que la distribución normal en escala Log y mantiene la consistencia con análisis previos.



**Figura 5.** Distribución de frecuencia de la CPUE en escala real y logarítmica.

Basado en la exploración preliminar de los rendimientos de pesca, los modelos empleados en estandarización de la CPUE integraron los predictores con mayor descripción (visual o analítica) de varianza, los cuales mediante una secuencia de integración (conocida como discriminación de devianza) fueron seleccionados para conformar el modelo con mayor capacidad explicativa de la varianza. Finalmente, se implementó un modelo con distribución Gamma con función link “log”. Como en años anteriores, para la anchoveta de la zona centro-norte se utilizó como base de estandarización un modelo linealizado con factores año, trimestre, zonas (Caldera y Coquimbo), y la Categoría de Capacidad de bodega (cb).

El análisis de estandarización de la CPUE fue realizado en forma independiente para cada flota. Un primer índice que da cuenta de la actividad desarrollada por la flota industrial a partir del año 1985 al año 2010 y un segundo índice se construye para el período 1998-2021, que da cuenta de la actividad de la flota artesanal.

En la estandarización de ambos índices de CPUE se utilizó un modelo que utiliza como variables explicativas el Año, Trimestre (Trim), Zona, Capacidad de Bodega (CB), junto a las interacciones Zona:CB, Trim:Zona y Trim:CB. El análisis preliminar indica que para ambos índices las variables Año, CB y Trim son altamente significativas.

Al analizar ambos índices, la serie industrial es más robusta en términos de devianza explicada, con un poder de explicación de 26,1% en contraste con un 14,9% de la flota artesanal. En el caso de la flota industrial (**Tabla 1**), el factor Año es el que explica el mayor porcentaje de variabilidad de los rendimientos (54%), seguido de la capacidad de bodega (28,8%).

**Tabla 1.**

Tabla de devianza explicada por los factores usados en el modelo de estandarización, flota Industrial. La devianza explicada (Dev. Expl.) es relativa a la explicación total del modelo.

	Df	Deviance	Res.Df	Res.Dev	Pr(>Chi)	Dev.Exp	Dev.Tot
Nulo (Media)			11132	12146.1			26.1
Año	25	1718.9	11107	10427.3	< 0.001	54.0	14.2
Trim	3	78.3	11104	10349.0	< 0.001	2.5	0.6
Zona	1	405.9	11103	9943.0	< 0.001	12.8	3.3
CB	2	915.4	11101	9027.6	< 0.001	28.8	7.5
Zona:CB	2	63.7	11099	8963.9	< 0.001	2.0	0.5

Para la flota artesanal (**Tabla 2**), el predictor que mejor describe la variabilidad de la CPUE fue la capacidad de bodega (54%), seguido del predictor anual (29,6%).

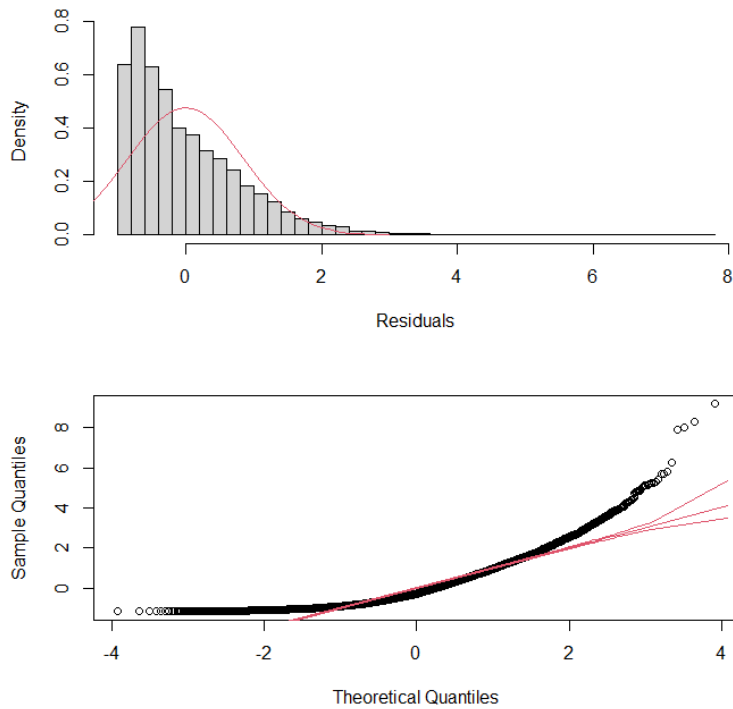
**Tabla 2.**

Tabla de devianza explicada por los factores usados en el modelo de estandarización, flota Industrial. La devianza explicada (Dev. Expl.) es relativa a la explicación total del modelo.

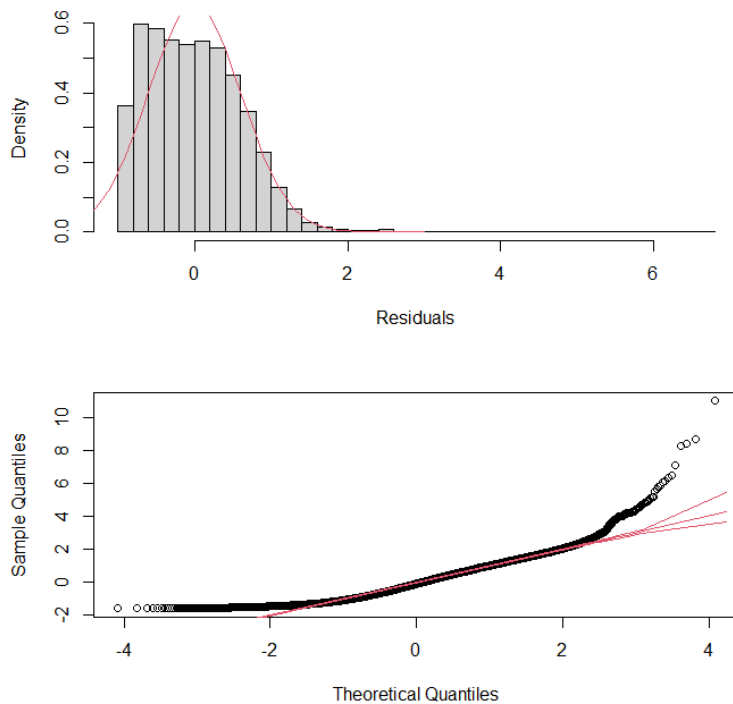
	Df	Deviance	Res.Df	Res.Dev	Pr(>Chi)	Dev.Exp	Dev.Tot
Nulo (Media)			22417	12995.5			15.2
Año	23	558.8	22394	12436.7	< 0.001	28.2	4.3
Trim	3	201.3	22391	12235.4	< 0.001	10.1	1.5
Zona	1	21.4	22390	12213.9	< 0.001	1.1	0.2
CB	3	1106.9	22387	11107.0	< 0.001	55.8	8.5
Zona:CB	3	56.1	22384	11050.9	< 0.001	2.8	0.4
Trim:Zona	3	39.4	22381	11011.5	< 0.001	2.0	0.3

Esta diferencia en la importancia de los predictores principales en ambas flotas fue visible desde el análisis exploratorio, donde se reflejaba una relación lineal entre el esfuerzo de pesca y la CPUE para los diferentes estratos de capacidad de bodega (ver **Figura 4**), y una mayor variación interanual en los rendimientos de pesca de la flota industrial (ver **Figura 1**).

En la **Figura 6** y **Figura 7**, se presenta el análisis de la distribución de los residuos. Se observa un adecuado nivel de convergencia entre la distribución esperada y la observada tanto para el índice que define el período de actividad de la flota industrial y el período de actividad de la flota artesanal.]



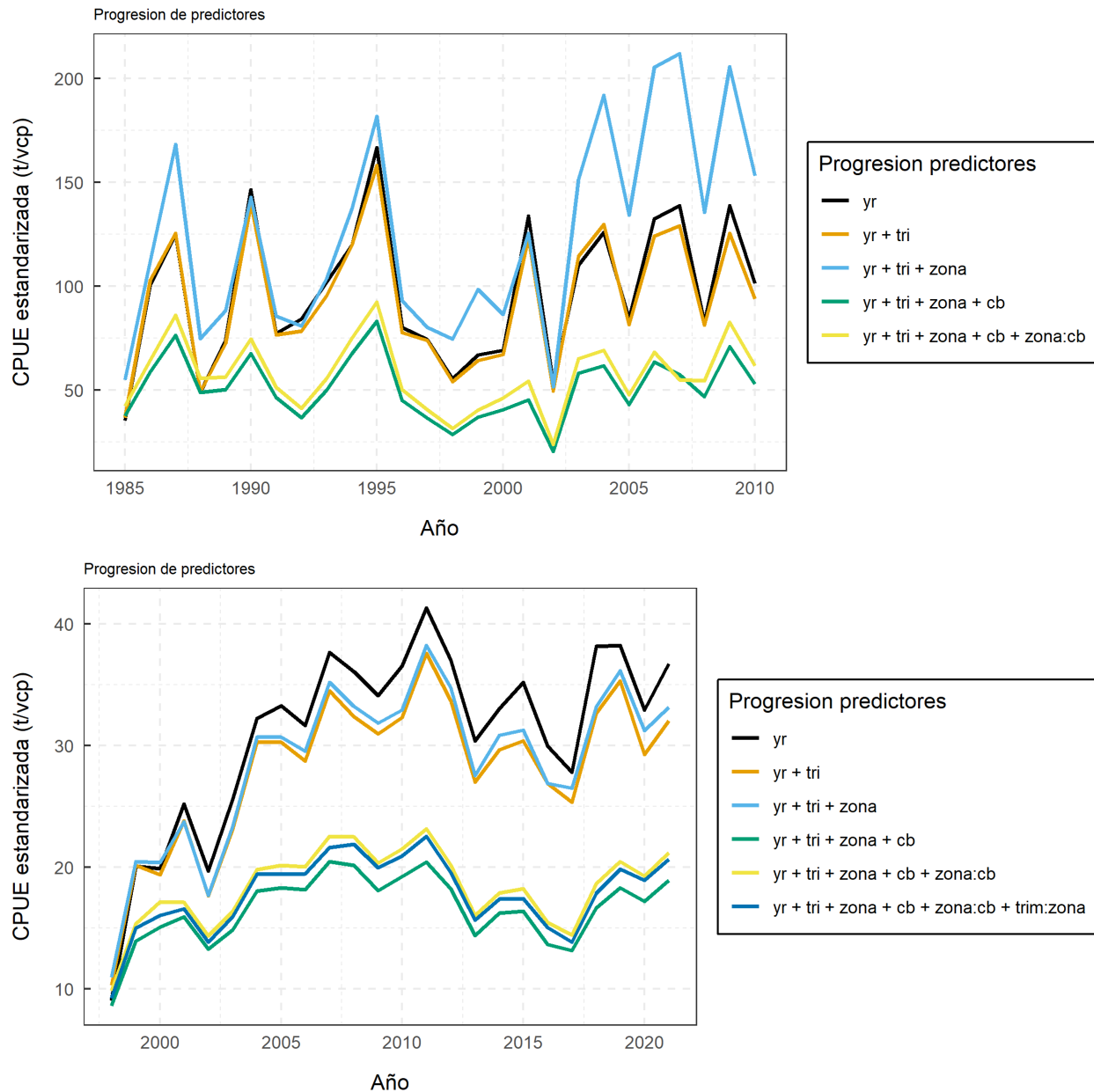
**Figura 6.** Análisis de bondad del ajuste a través de los residuos en la estandarización de la CPUE para la Flota Industrial.



**Figura 7.** Análisis de bondad del ajuste a través de los residuos en la estandarización de la CPUE para la Flota Artesanal.

Las series estandarizadas incorporan en forma secuencial los predictores identificados en cada flota. En general, en la flota industrial (**Figura 8**, panel superior) se observa coherencia entre los niveles de los índices anuales para todas las combinaciones de predictores, excepto en la incorporación del predictor zona. Esto indica que los cambios interanuales de la CPUE tienen un patrón diferencial entre zonas y son independientes de la capacidad de bodega.

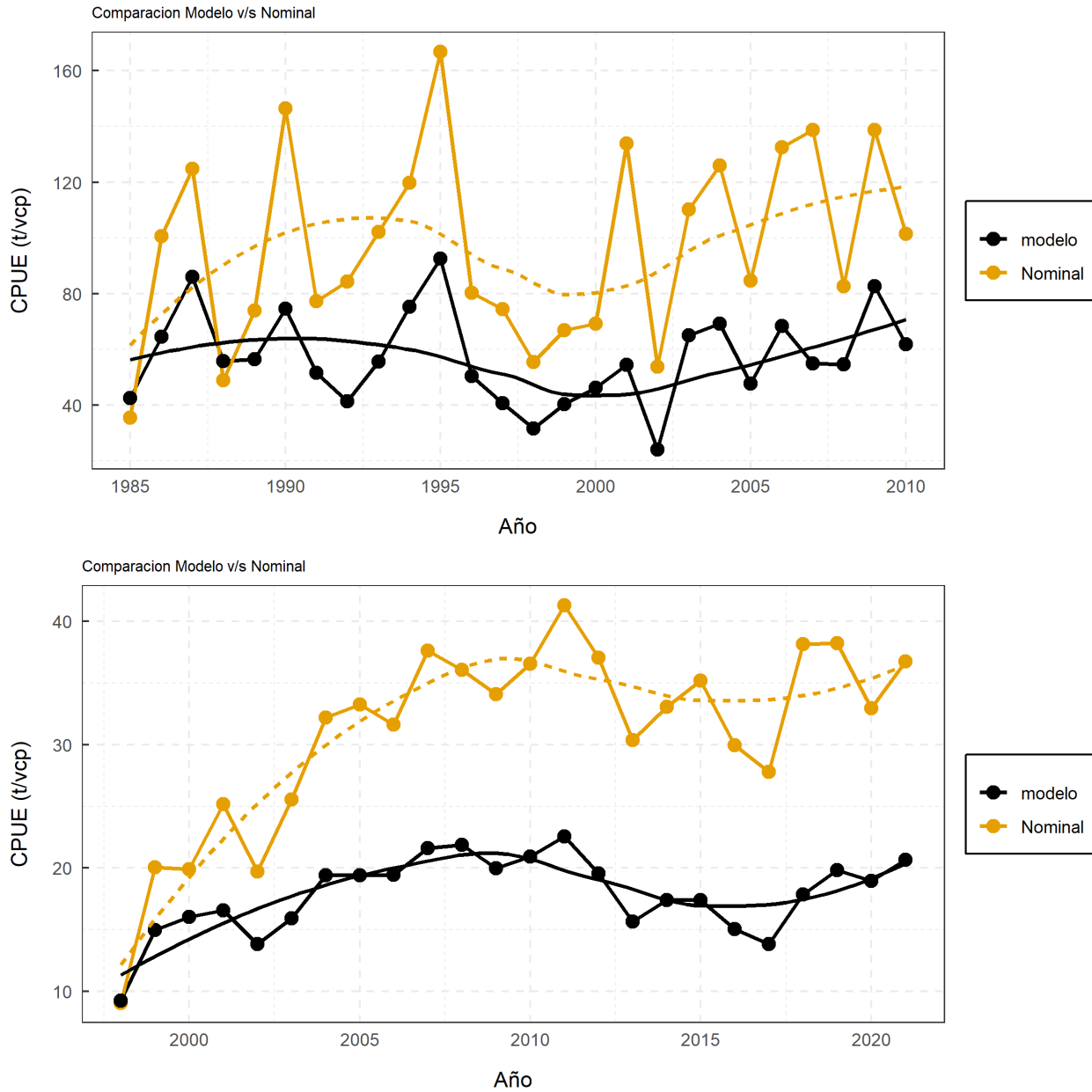
En el caso de la flota artesanal (**Figura 8**, panel inferior), la interacción de la CPUE con la capacidad de bodega y el trimestre impactan de forma importante los niveles de CPUE estandarizada, sugiriendo que la selección de agregaciones por capacidad de bodega y trimestre son adecuados.



**Figura 8.** Progresión del índice estandarizado de la CPUE bajo la incorporación de las variables predictoras usadas en el análisis. Flota industrial (arriba), período 1985-2010 y flota artesanal (abajo), período 1998-2021.



Las series estandarizadas muestran, una tendencia positiva del índice de abundancia en el periodo 2000-2010. En el caso de la flota artesanal, se observa una leve reducción para los últimos 5 años (**Figura 9**).



**Figura 9.** Índices estandarizados de la CPUE independientes para la flota industrial (arriba), período 1985-2010 y flota artesanal (abajo), período 1998-2021. Pesquería de anchoveta centro-norte. Se comparan ambas series con el rendimiento nominal.

## **A N E X O II**

---

Presentación del Modelo Edad Estructurado al Comité de Manejo (julio 2021)



## Presentación Comité de Manejo Anchoqueta y Sardina Española Regiones Atacama y Coquimbo

¿Por qué un nuevo modelo para la pesquería de anchoqueta centro-norte?

Doris Bucarey S.  
Departamento de Evaluación de Recursos

Julio 08, 2021



### Temas

1. Contexto
2. Partes que componen un Modelo
3. Cambios en el Modelo
4. Ventajas de estos cambios
5. Resultados



# 1 Contexto



I N S T I T U T O D E F O M E N T O P E S Q U E R O



## 1.1. Contexto

- **Objetivo 4:**  
Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría Científica (PMCCAC)

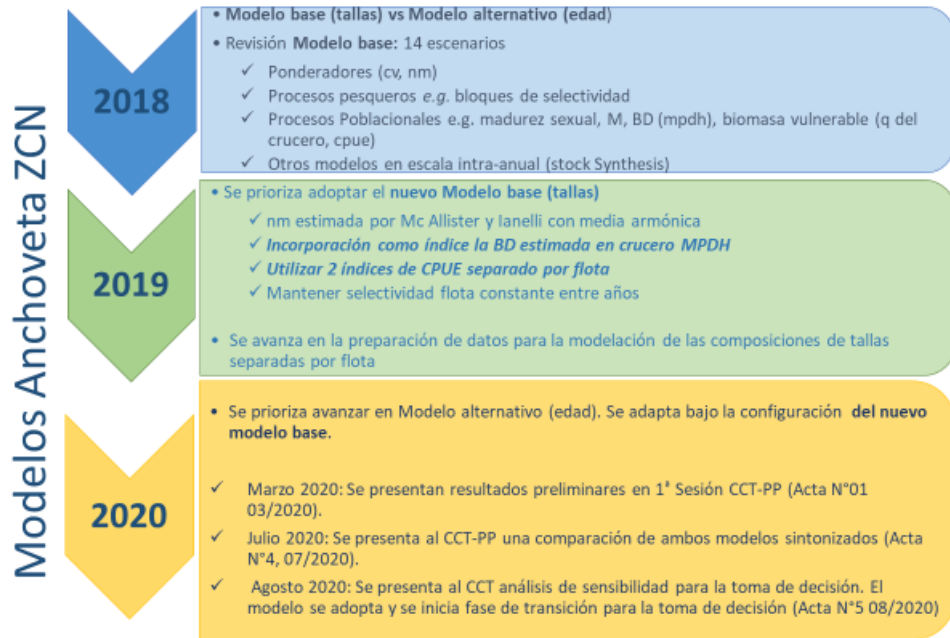
### Fuente de las Recomendaciones

- 1) RPEI
- 2) Talleres de Revisión de Datos y Modelos (CCT - PP)
- 3) Recomendaciones del CCT-PP en el proceso de evaluación
- 4) Recomendaciones Evaluador nacional
- 5) Líneas de Investigación propiamente tal (IFOP-SSP)

### Plan de Mejoras

- Transversales PP
- Específicas por recurso

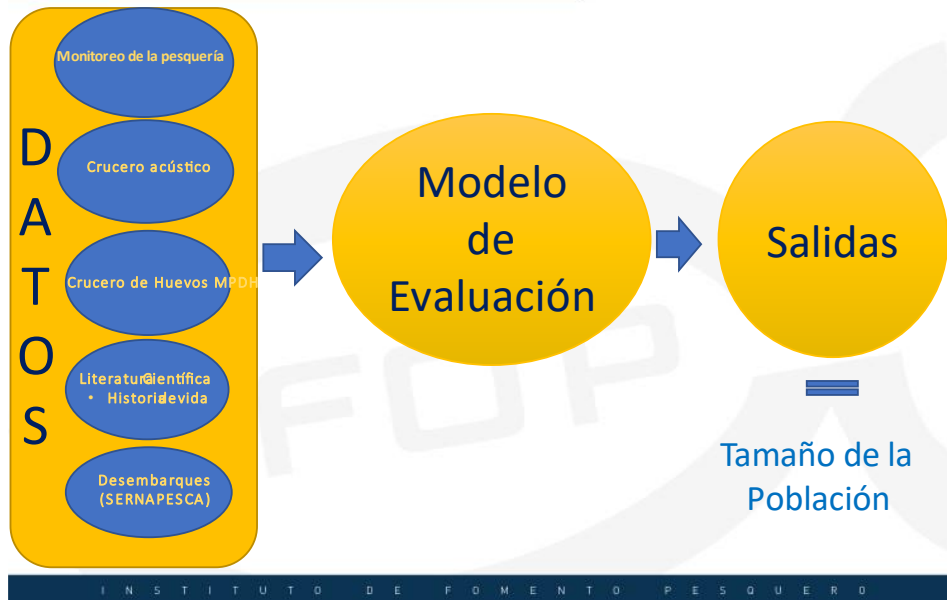
I N S T I T U T O D E F O M E N T O P E S Q U E R O



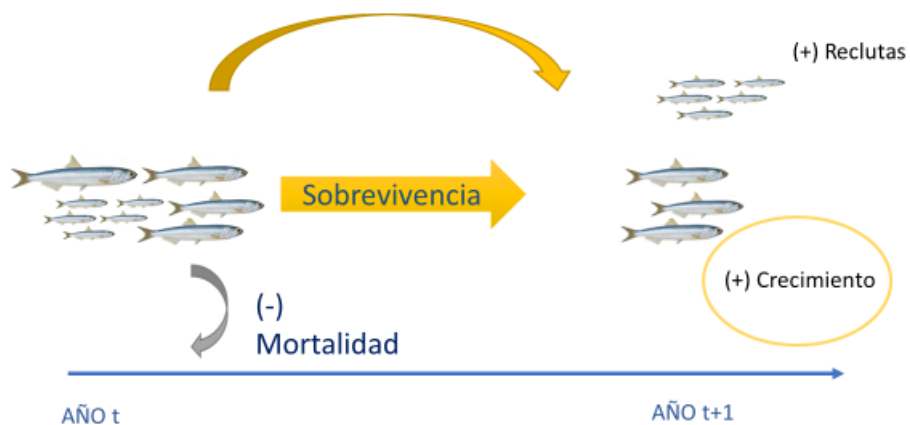
# 2 Partes de un modelo



## 2.1. Partes de un modelo



## 2.2. Modelo - Tamaño de la población





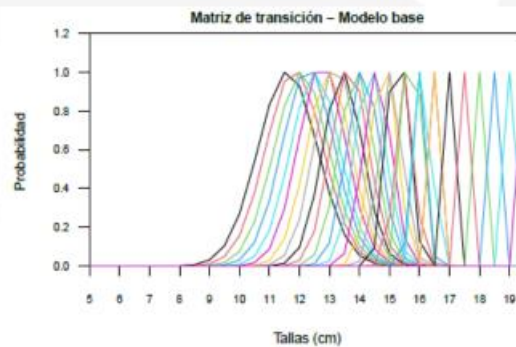
# 3 Cambios en el modelo

I N S T I T U T O D E F O M E N T O P E S Q U E R O



## 3.1. Modelo de Crecimiento Actual

- Rango de tallas 5 cm – 19 cm
- Se calcula la probabilidad que la talla  $l$  pase a la talla  $l+1$
- Matriz de probabilidad Talla-Talla



I N S T I T U T O D E F O M E N T O P E S Q U E R O



## 3.2. Modelo de Crecimiento nuevo



- Los ejemplares crecen de una edad a la próxima
- Se utiliza una clave Talla – Edad.

Año t	Año t+1
$N_{1,t-1}$	$R_t$
$N_{2,t-1}$	$N_{2,t}$
$N_{3,t-1}$	$N_{3,t}$
$N_{4,t-1}$	$N_{4,t}$
$N_{5,t-1}$	$N_{5,t}$

I N S T I T U T O D E F O M E N T O P E S Q U E R O



# 4 Ventajas del cambio

I N S T I T U T O D E F O M E N T O P E S Q U E R O



## 4.1. Ventajas

1. Técnicas (menos complejo).
2. Disminuye la incertidumbre asociada a la estimación de reclutas.
3. Facilita la comprensión de los procesos.
4. Estandariza los modelos usados en pelágicos.

I N S T I T U T O D E F O M E N T O P E S Q U E R O

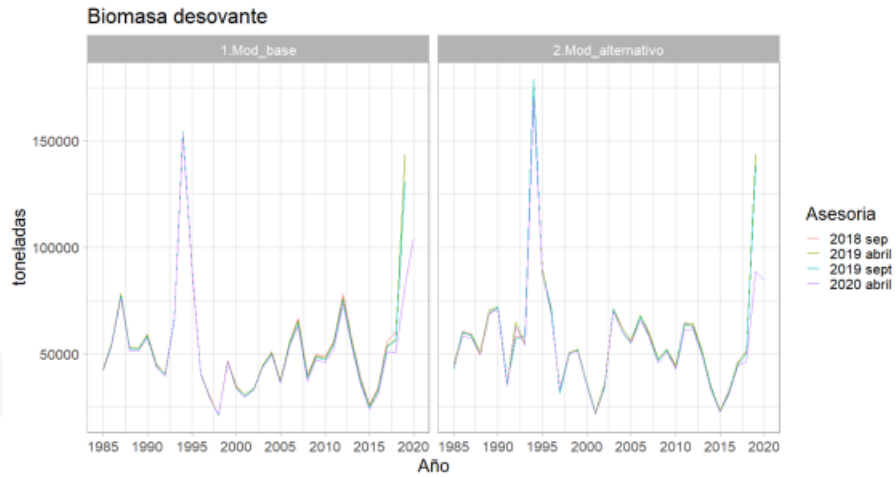


# 5 Resultados

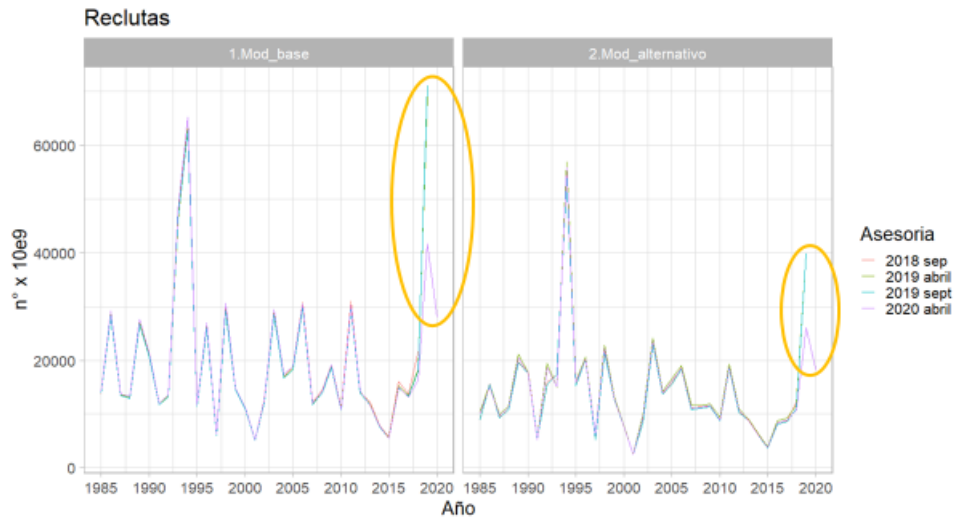
I N S T I T U T O D E F O M E N T O P E S Q U E R O



## 5.1. Resultados

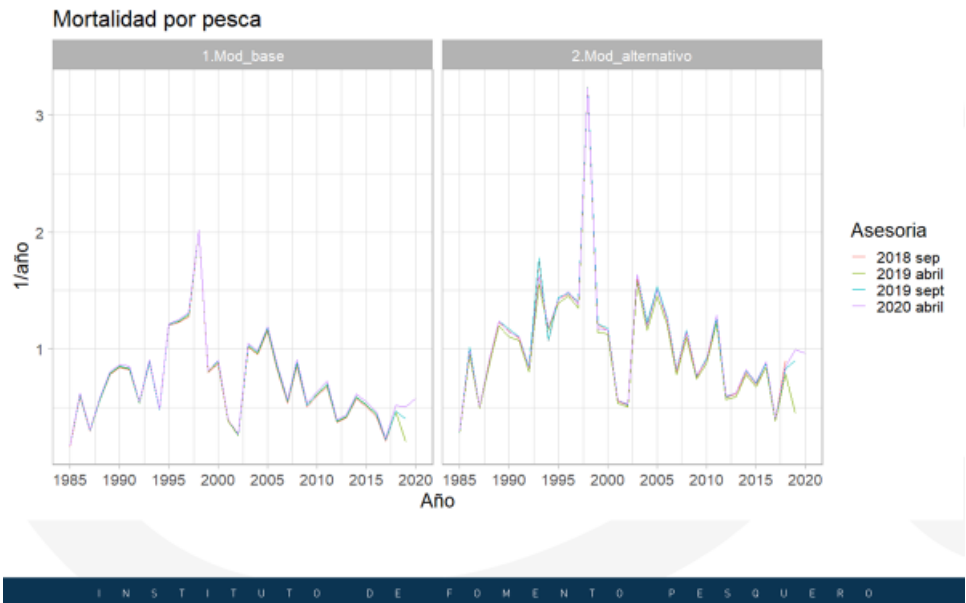


## 5.2. Resultados

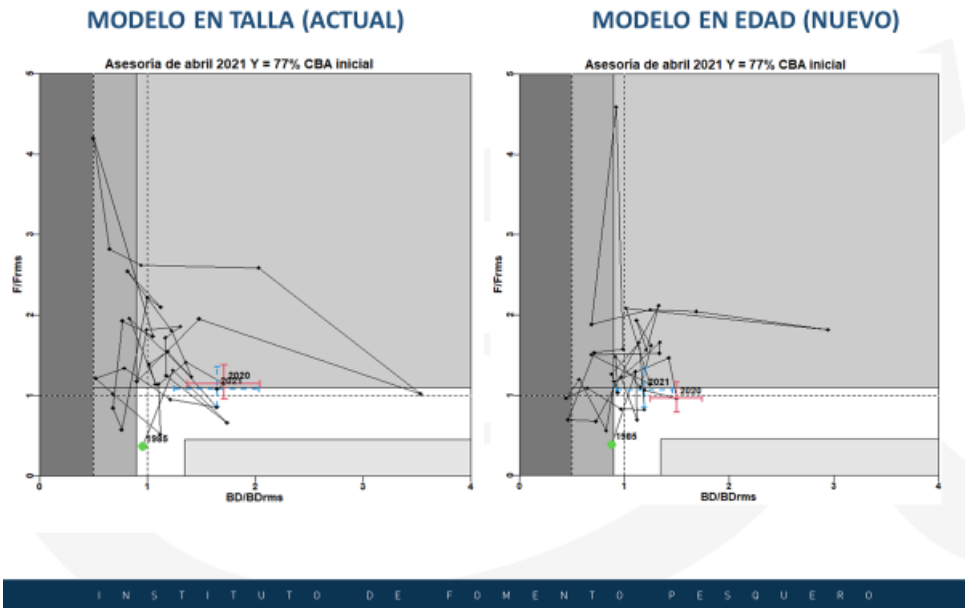




## 5.3. Resultados



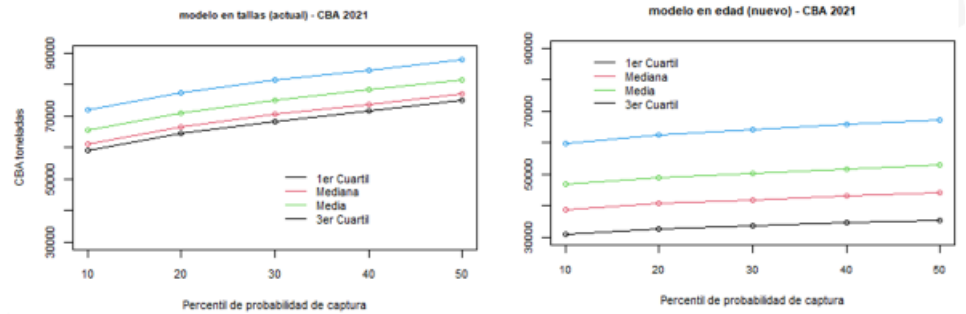
## 5.4. Resultados





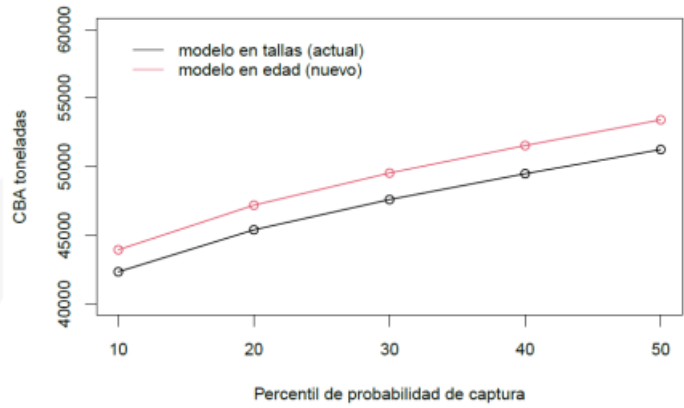
## 5.5 . Resultados

### Hito 1: CBA INICIAL - OCTUBRE 2020



## 5.6 . Resultados

### Hito 2: ACTUALIZACIÓN CBA - MAYO 2021





## Cuotas de captura y desembarques (t)

AÑO	CBA INICIAL HITO 1: OCTUBRE	REVISIÓN CBA HITO 2: MAYO	DESEMBARQUE	Des/Cuota
2016	25.650	34.600	20.811	60%
2017	50.700	<i>statu quo</i>	16.565	33%
2018	40.000	45.144	38.841	86%
2019	40.520	75.982	60.528	80%
2020	91.927	<i>statu quo</i>	59.824	65%
2021	70.987	<i>statu quo</i>	-	

2017 Recomendación Hito 2 = [37.443 – 44.520]

2020 Recomendación Hito 2 = [66.027 – 79.324]

2021 Recomendación Hito 2 = [42.345 – 51.256]

I N S T I T U T O D E F O M E N T O P E S Q U E R O

## Comentarios Finales

Ambos modelos cuentan con los mismos datos, estructura temporal y configuración. La diferencia es como se modelo el crecimiento (talla vs edad). Por lo tanto,

- ✓ Ambos modelos son similares en términos de diagnóstico (ajustes, residuales, retrospectivo).
- ✓ Ambos modelos presentan similares tendencias.
- ✓ Ambos modelos son similares en magnitud.

I N S T I T U T O D E F O M E N T O P E S Q U E R O



## Comentarios Finales

### Ventajas del MODELO CON DINÁMICA EN EDAD (NUEVO)

- ✓ Técnicas .
- ✓ Facilita la comprensi3n.
- ✓ Estandarizaci3n en modelo de pelágicos.
- ✓ Presenta menos variaci3n en los reclutamientos.
  
- ✓ Menor incertidumbre entre hitos de asesoría.
- ✓ Consistencia en el estatus (condici3n) del stock.
  
- ❖ Se recomienda transitar a un nuevo modelo base con dinámica en edad y continuar el desarrollo de mejoras bajo este enfoque.

# **A N E X O III**

---

PMCCAC - Avances



## Índice

<b>1. ANTECEDENTES</b>	<b>2</b>
<b>2. METODOLOGÍA</b>	<b>2</b>
2.1. Información de Entrada . . . . .	2
2.2 Descripción del modelo . . . . .	3
Selectividad . . . . .	6
Capturabilidad de los cruceros . . . . .	6
Ponderadores de la Información . . . . .	6
<b>3. Estado de Avance (Resultados Preliminares)</b>	<b>7</b>
<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>15</b>



## 1. ANTECEDENTES

En el contexto del Programa de Mejoramiento Continuo de la Calidad de la Asesoría Científica (PMCCAC) y en conjunto con las recomendaciones emanadas de los procesos de revisión por pares nacionales y los talleres de revisión de datos y modelo realizadas con el Comité Científico Técnico de Pequeños Pelágicos (CCT-PP), se han especificado el conjunto de datos, parámetros y supuestos que configuran el modelo de evaluación de stock. A partir del año 2019, la CPUE es un índice independiente por tipo de flota y se incorpora como índice de abundancia la serie de biomasa desovante estimada por los cruceros MPDH realizados en agosto desde el año 2015 (Acta Sesión N°3 10-11/05/2018). Durante el año 2020 y siguiendo con el PMCCAC, se priorizó el desarrollo de un modelo estructurado a la edad, bajo la misma configuración del modelo base (tallas), cambiando sólo la forma en que el crecimiento es modelado. Los resultados dieron cuenta de la similitud de ambos modelos en términos del diagnóstico, mientras que las estimaciones de las principales variables poblacionales también presentaron tendencias y magnitudes similares con resultados consistentes en términos del estatus (Bucarey *et al.*, 2021 **ANEXO III**). En la sesión N°5 del mismo año, el CCT-PP adopta el modelo edad estructurado y acuerda iniciar una fase de transición, por el periodo de un año, hacia la toma de decisión con el mismo. En Julio 2021, el nuevo enfoque es presentado al Comité de Manejo de Anchoqueta y Sardina española Regiones Atacama y Coquimbo (Acta Sesión N°4, 2021), dando por finalizado el proceso de transición y siendo aceptado por los usuarios para su implementación en el proceso de asesoría 2022.

Como fue mencionado, el modelo con dinámica en edad se desarrolló con los mismos datos, estructura y configuración que el modelo previo, con el fin de facilitar la transición entre ambos enfoques. En este sentido, algunas actividades que son parte del PMCCAC continúan siendo validas como recomendaciones de mejora bajo el nuevo enfoque. En esta línea se enmarca la tarea de incorporar selectividades independientes por flota, artesanal e industrial, que permita la construcción de variables que luego serán contrastados con las observaciones de modo consistente y rescatando la actividad de la flota en cada período. El presente documento presenta un estado de avance sobre este objetivo.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Información de Entrada

La serie de datos utilizados en la evaluación abarca el período 1985 a 2021 y considera información en escala anual (**Tabla 1**). Los datos de entrada al modelo corresponden a los desembarques de anchoqueta provenientes de la operación de la flota industrial en el período 1985-2011 y la flota artesanal para el período 1985-2021. Igualmente, se utilizan las composiciones de tallas provenientes de las capturas de ambas flotas. Al igual que en el modelo base, se utilizan las series de CPUE estandarizadas por flota y los índices biomasa provenientes del crucero de evaluación acústica y del crucero de evaluación del stock desovante. La información proveniente del proyecto de descarte, junto a los supuestos establecidos en el procedimiento transitorio de incorporación del descarte (CCT-PP, Acta Sesión N°4/2021) son utilizados para corregir la serie de desembarque.

**Tabla 1.** Información utilizada en el modelo de evaluación anual, estructurado a la edad con información de desembarques y composición de tallas separado por flotas

Datos de Entrada	Período	Fuente de Información
Desembarque flota artesanal	1985-2021	Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura
Desembarque flota industrial	1985-2011	Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura
CPUE estandarizada artesanal	1998-2021	Programa de Seguimiento de Pesquerías Pelágicas zona norte (IFOP)
CPUE estandarizada industrial	1985-2010	Programa de Seguimiento de Pesquerías Pelágicas zona norte (IFOP)
Biomasa acústica	2006-2022	Evaluaciones Hidroacústicas de pequeños pelágicos en las regiones de Atacama y Coquimbo (IFOP)
Biomasa Desovante	2015-2021	Evaluación del stock desovante de anchoveta entre las regiones de Atacama y Coquimbo (IFOP)
Composición de tallas flota artesanal	1996-2021	Programa de Seguimiento de Pesquerías Pelágicas zona norte (IFOP)
Composición de tallas flota industrial	1995-2011	Programa de Seguimiento de Pesquerías Pelágicas zona norte (IFOP)
Composición de tallas crucero acústico	2006-2022	Evaluaciones Hidroacústicas de pequeños pelágicos en las regiones de Atacama y Coquimbo (IFOP)
Madurez a la talla	constante	Martínez <i>et al.</i> , 2004
Parámetros de crecimiento	constante	Canales y Leal, 2009
Mortalidad Natural	constante	Canales y Leal, 2009
Descarte	2017-2019	Programa de investigación y monitoreo del descarte en pesquería pelágicas (IFOP)

## 2.2 Descripción del modelo

El modelo de evaluación de stock se basa en un análisis estadístico de la dinámica del recurso estructurada a la edad en escala, incorporando información biológica y pesquera agregada en año calendario. El modelo de evaluación de stock, se compone de: 1) un modelo de la dinámica poblacional estructurado a la edad, donde la mortalidad natural y por pesca actúan de manera conjunta sobre la abundancia, 2) un modelo de las observaciones, correspondiente a los modelos de los datos de entrada y 3) un proceso de estimación de parámetros a partir de una función objetivo, donde se contrastan estadísticamente las observaciones y estimaciones del modelo mediante máxima verosimilitud. Se utiliza como plataforma de estimación la herramienta estadística ADMB (Fournier *et al.*, 2012).

Dado que el modelo base es edad-estructurado, es necesario transformar las estructuras de tallas a edades a partir de los parámetros de crecimiento de von Bertalanffy. Para ello se utiliza una clave edad-talla modelo basada, en la que la desviación estándar de la longitud a la edad ( $\sigma$ ) se supone proporcional a la talla media a la edad ( $a$ ), a través del coeficiente edad-invariante. La talla media para cada grupo etario se estima a partir de los parámetros de crecimiento y de la talla media del primer grupo de edad ( $l_0$ ). De esta forma, la probabilidad de que un individuo pertenezca a un rango de tallas ( $l$ ), dado que pertenece al grupo de edad ( $a$ ), es modelada a través de una distribución de probabilidad normal con media  $l_a$  y desviación  $\sigma_a$  sobre el rango de tallas observado en la matriz de captura a la talla.

$$l_a = l_\infty (1 - e^{-k}) + e^{-k} l_{a-1}$$

$$\sigma_a = cv l_a$$

$$P_{l,a}(l_a, \sigma_a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_a^2}} e^{-\frac{(l-l_a)^2}{2\sigma_a^2}}$$

donde  $P_{l,a}$  representa la matriz de distribución de probabilidad por talla  $l$  a la edad  $a$ . Y  $\sigma_a$  corresponde a la desviación estándar de la talla media para la edad  $a$ .



$$\hat{C}_{l,t} = P_{l,a} C_{a,t}$$

Donde  $C_{a,t}$  corresponde a las capturas en número observadas a la talla provenientes de los monitoreos de la pesquería y cruceros acústicos.

La abundancia  $N_{a,t}$  de los ejemplares de edad  $a$ , a comienzos del año  $t$ , queda entonces representada por:

$$N_{a,t} = N_{a,t-1} \exp(-Z_{a,t-1}),$$

Donde,  $N_{a,t-1}$  corresponde al número de peces de edad  $a$ , en el año  $t - 1$ ,  $Z_{a,t-1}$  es mortalidad total para peces de edad  $a$  en el año  $t - 1$ .

La mortalidad por pesca se descompone en el producto de un coeficiente edad específico  $S_a$  y una tasa de mortalidad por pesca anual  $F_t$  según:

$$F_{a,t} = S_{a,f} F_t,$$

El coeficiente  $S_a$  se construye a la edad, donde  $a_{50\%}$  corresponde al parámetro de posición, donde el 50 % de los peces son retenidos por el arte de pesca y  $\Delta$  es la dispersión que determina la pendiente de la curva.

$$S_a = \left( 1 + \exp \left[ -\ln 19 \frac{(a - a_{50\%})}{\Delta} \right] \right)^{-1},$$

El método empleado bajo un enfoque estructurado a la edad utiliza información en tallas agrupada en año calendario, siendo el desove establecido en agosto (0,67 año). El método considera supuestos resumidos en la **Tabla 2** e incorpora los siguientes elementos:

- Modelo de dinámica poblacional estructurada por edad.
- Modelos de las observaciones que permiten relacionar el modelo de dinámica con las observaciones **Tabla 3**.
- Identificación de la estructura del error a través de funciones de log-verosimilitud negativas **Tabla 4**.
- Proceso de estimación de los parámetros desconocidos del modelo de dinámica a través de un algoritmo que minimiza la función objetivo total, contrastando las observaciones con las estimaciones deducidas del modelo de dinámica.



**Tabla 2.** Resumen de los principales supuestos del modelo de evaluación asociados a los datos observados.

Datos observados	Símbolo	Supuestos
Desembarque anual por flota	$Y_t^f$	Representa la captura del año $t$ y flota $f$ . Se considera continua al interior del año. Desviación estándar supuesto como error de observación $\sigma_f = 0,05$
Captura por unidad de esfuerzo por flota	$CPUE_t^f$	Índice relativo de la biomasa media vulnerable a mitad de año por flota. Desviación estándar supuesto como error de observación $\sigma_{cru} = 0,20$
Biomasa del crucero acústico	$B_t^{cru}$	Representa a la biomasa que ocurre en el período del año en que se realiza el crucero $dt^{cru}$ . Desviación estándar supuesto como error de observación $\sigma_{cru} = 0,15$
Proporción de la abundancia a la talla del crucero	$P_{l,t}^{cru}$	Representa la distribución en talla de los ejemplares que están presentes en la captura del crucero. Tamaño de muestra efectivo supuesto como error de observación $n^c = 29$
Proporción de la abundancia a la talla de la flota	$P_{l,t}^f$	Representa la distribución en talla de los ejemplares que están presentes en la captura comercial por flota. Tamaño de muestra efectivo supuesto como error de observación $n^f = 30$
Peso medio anual	$\hat{W}_l$	El peso teórico es obtenido desde la relación alométrica $\hat{W}_l = aL^b$ con $a$ y $b$ parámetros a estimar desde los muestreos biológicos
Ojiva de madurez sexual	$O_l$	Describe la probabilidad de que un individuo maduro sexualmente pertenezca a la talla $l$ y se asume conocida.

**Tabla 3.** Modelo de las observaciones del Modelo Anual con información en tallas.

Variable	Ecuación	Descripción
Captura estimada en número a la edad y flota	$\hat{C}_{a,t}^f = \frac{F_{a,t}^f}{Z_{a,t}^f} N_{a,t} (1 - S_{a,t}^f)$	$\hat{C}_{a,t}^f$ Captura en número por flota estimada a la edad $a$ y en el año $t$
Desembarques por flota en peso	$\hat{Y}_t^f = \sum_l (P_{l,a}^f \hat{C}_{a,t}^f) w_l$	$w_l$ es el peso medio a la longitud $l$
Proporción de la captura a la longitud de la flota	$\hat{p}_{l,t}^f = \frac{(P_{l,a}^f \hat{C}_{a,t}^f)}{\sum_l (P_{l,a}^f \hat{C}_{a,t}^f)}$	$\hat{C}_{a,t}^f$ Captura en número estimada a la edad $a$
Selectividad de la flota	$S_a^f = \left( 1 + \exp \left[ -\ln 19 \frac{(a - a_{50\%}^f)}{\Delta^f} \right] \right)^{-1}$	$a_{50\%}^f$ edad al 50 % $\Delta^f$ rango entre la edad al 95 % y 50 %
Abundancia a la edad del crucero	$\hat{N}_{a,t}^c = N_{a,t} e^{-dt^c Z_{a,t}^c} S_a^c$	$dt^c$ es la fracción del año en la que se realiza el crucero
Selectividad del crucero	$S_a^c = \left( 1 + \exp \left[ -\ln 19 \frac{(a - a_{50\%}^c)}{\Delta^c} \right] \right)^{-1}$	$a_{50\%}^c$ edad al 50 % $\Delta^c$ rango entre la edad al 95 % y 50 %
Biomasa crucero acústico	$\hat{B}_t^c = q^c \sum_l (P_{l,a} \hat{N}_{a,t}^c) w_l$	$w_l$ es el peso medio a la longitud $q^c$ es la capturabilidad/ disponibilidad del crucero
Biomasa desovante MPDH	$\hat{BD}_t^{c2} = q^{c2} \sum_l (P_{l,a} \hat{N}_{a,t}^c * \exp^{-dt^{c2} Z_{a,t}^c}) * O_l w_l$	$O_l$ es la madurez a la longitud $q^{c2}$ es la capturabilidad/disponibilidad del crucero MPDH $dt^{c2} Z_{l,t}$ fracción del año en la que se realiza el crucero
Captura por Unidad de esfuerzo	$CPUE_t^f = \frac{Y_t^f}{\sum_l P_{l,a} (S_{a,t} N_{a,t} \exp(-Z_{a,t})) w_l}$	$q^f$ es el coeficiente de capturabilidad por flota



**Tabla 4.** Modelo de los errores del Modelo Anual con información en tallas.

Variable	Error	Ecuación	Descripción
Desembarques por flota	Lognormal	$L = -\frac{0,5}{\sigma_y^2} \sum_t \left( \ln \frac{Y_t^f}{\hat{Y}_t^f} \right)^2$	$Y_t^f$ : Captura por flota para el año $t$ . $\hat{Y}_t$ : captura predicha por flota para el año $t$ . $\sigma_y$ es la desviación estándar
Biomasa Crucero	Lognormal	$L = -\frac{0,5}{\sigma_{Bc}^2} \sum_t \left( \ln \frac{B_{ct}}{\hat{B}_{ct}} \right)^2$	$B_{ct}$ : Biomasa crucero $\hat{B}_{ct}$ : Biomasa crucero predicha $\sigma_{Bc}$ es la desviación estándar
CPUE	Lognormal	$L = -\frac{0,5}{\sigma_{cpue}^2} \sum_t \left( \ln \frac{CPUE_t}{\hat{CPUE}_t} \right)^2$	$CPUE_t^f$ : Captura por unidad de esfuerzo estandarizada $\hat{CPUE}_t^f$ : Captura por unidad de esfuerzo predicha $\sigma_{cpue}$ es la desviación estándar
Proporción de la captura a la talla de la flota y crucero	Multinomial	$L = -n \sum_l \sum_t p_{l,t}^f * \ln(\hat{p}_{l,t}^f)$	$p_{l,t}^f$ corresponde a la captura a la talla de la flota $f$ $n$ es el tamaño de muestra efectivo

### Selectividad

El patrón de explotación por flota es asintótico y se considera constante entre años tanto a nivel de parámetros de posición (talla al 50 % de explotación) como de dispersión (pendiente de la curvatura). Las justificaciones para este escenario se basan esencialmente a que en esta pesquería no se conocen procesos de escape significativos de individuos más longevos fuera de la zona donde opera la pesquería, lo que pudiera sugerir un modelo tipo “domo”. En el caso de los cruceros de biomasa acústica, el patrón de explotación se supone igualmente logístico, pero se estima independiente al de la flota.

### Capturabilidad de los cruceros

La capturabilidad del crucero de evaluación hidroacústico es un parámetro estimado por el modelo, pero asume un valor de referencia inicial  $q= 0,65$  con un  $cv=0,2$ . En el taller de revisión de datos se discutió sobre los problemas asociados con la corrección de orilla, la composición de especies, frecuencia de talla, cardúmenes no detectados y corrección de superficie y costa, etc. de los cruceros acústicos. Existe la posibilidad de dar lugar a estimaciones menores o mayores que la abundancia real. En base a esto, no existiría una razón a priori para asumir que  $q$  debería ser más cercano a 1 en uno u otro crucero.

### Ponderadores de la Información

- Tamaño de muestra Efectivo

El tamaño de muestra corresponde a una expresión inversamente proporcional con la incertidumbre/error de observación que tienen las composiciones de tallas empleadas en la evaluación de stock. En base a los antecedentes presentados en el taller sobre ponderación de datos organizado por el “Center for the advancement of population Assessment Methodology” (CAPAM), se propone el método de estimación propuesto por McAllister y Ianelli (1997), a través de la aplicación de un proceso iterativo que considera el promedio armónico según:



$$nm = \frac{\sum_l \hat{p}_{l,t}(1 - \hat{p}_{l,t})}{\sum_l (p_{l,t} - \hat{p}_{l,t})^2}$$

Donde  $p_{(l,t)}$  es la proporción de talla  $l$  de la captura en el año  $t$ . El proceso se inicia con un valor arbitrario de tamaños de muestra para luego de repetidos ajustes del modelo, llegar a valores estables que son los empleados en esta evaluación de stock. A menudo es deseable verificar estas estimaciones cuando en el modelo se van integrando nuevas composiciones de tallas o como estos valores pueden variar dependiendo de cambios en los supuestos del modelo.

#### ■ Coeficiente de variación

Los coeficientes de variación que son empleados en los distintos índices de abundancia y capturas miden el nivel de desviación que el analista supone tienen los datos respecto del valor central verdadero como parte del error de observación. El coeficiente de variación tiene relevancia en las estimaciones pues es inversamente proporcional con el peso que tiene una determinada fuente de datos en la verosimilitud total (**Tabla 5**).

**Tabla 5.** Resumen de los principales ponderadores usadas a las piezas de información de entrada al modelo base de evaluación.

Índice	Valor del ponderador
cv Desembarque anual por flota	0,05
cv CPUE industrial y artesanal	0,2
cv Biomasa acústica (RECLAN)	0,15
cv Biomasa desovante MPDH	0,15

### 3. Estado de Avance (Resultados Preliminares)

La primera etapa de este análisis se relaciona con la revisión de información de desembarques por flota y la construcción de las composiciones de tallas por flota. Para esto último se desarrolló un trabajo conjunto con el equipo de seguimiento de la pesquería que consistió en: - Revisión de la información disponible para el período de estudio, usando el sistema de cálculo de indicadores (SCI). - Información disponible a partir de nueva rutina de cálculo en RStudio. - Validación de la información.

**Tabla 6.** Desembarque (Des.) y Captura (Capt.) en toneladas por flota (Art=artesanal e Ind=industrial). Se indica además el descarte (desc.) en %, anchoveta de la zona centro norte.

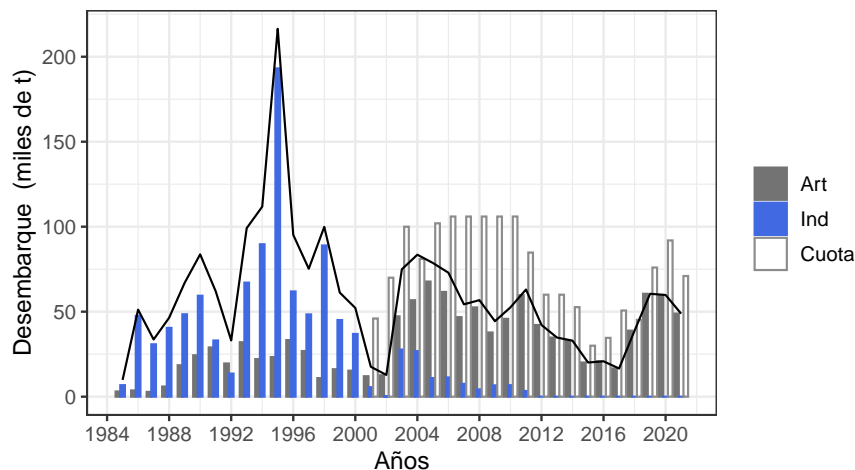
Año	descarte (%)	Des. Art. (t)	Capt. desc. Art. (t)	Capt. Art. (t)	Des. Ind. (t)	Capt. desc. Ind. (t)	Capt. Ind. (t)
1985	2,01 %	3.073	62	3.135	6.768	6.904	6.904
1986	2,01 %	3.676	74	3.750	47.516	48.471	48.471
1987	2,01 %	2.814	57	2.871	30.813	31.432	31.432
1988	2,01 %	5.975	120	6.095	40.466	41.279	41.279
1989	2,01 %	18.499	372	18.871	48.477	49.451	49.451
1990	2,01 %	24.350	489	24.839	59.380	60.574	60.574
1991	2,01 %	28.967	582	29.549	33.061	33.726	33.726
1992	2,01 %	19.521	392	19.913	13.582	13.855	13.855
1993	2,01 %	32.035	644	32.679	67.104	68.453	68.453
1994	2,01 %	22.116	445	22.561	89.662	91.464	91.464
1995	2,01 %	23.296	468	23.764	193.128	197.010	197.010
1996	2,01 %	33.280	669	33.949	61.905	63.149	63.149
1997	2,01 %	26.863	540	27.403	48.401	49.374	49.374
1998	2,01 %	10.924	220	11.144	88.953	90.741	90.741
1999	2,01 %	16.142	324	16.466	45.068	45.974	45.974
2000	2,01 %	15.305	308	15.613	36.890	37.631	37.631
2001	2,01 %	12.023	242	12.265	5.570	5.682	5.682
2002	2,01 %	12.586	253	12.839	202	206	206
2003	2,01 %	47.262	950	48.212	27.686	28.242	28.242
2004	2,01 %	56.740	1.140	57.880	26.781	27.319	27.319
2005	2,01 %	67.721	1.361	69.082	10.939	11.159	11.159
2006	2,01 %	61.612	1.238	62.850	11.306	11.533	11.533
2007	2,01 %	46.781	940	47.721	7.545	7.697	7.697
2008	2,01 %	52.520	1.056	53.576	4.275	4.361	4.361
2009	2,01 %	37.756	759	38.515	6.643	6.777	6.777
2010	2,01 %	45.789	920	46.709	6.754	6.890	6.890
2011	2,01 %	59.704	1.200	60.904	3.349	3.416	3.416
2012	2,01 %	42.172	848	43.020	-	-	-
2013	2,01 %	34.777	699	35.476	-	-	-
2014	2,01 %	32.946	662	33.608	-	-	-
2015	2,01 %	20.086	404	20.490	-	-	-
2016	2,01 %	20.811	418	21.229	-	-	-
2017	2,01 %	16.565	333	16.898	-	-	-
2018	2,01 %	38.841	781	39.622	-	-	-
2019	1,7 %	60.528	1.029	61.557	-	-	-
2020	2,29 %	59.825	1.370	61.195	-	-	-
2021	2,01 %	48.859	982	49.841	-	-	-

**Tabla 7.** Índices usados en la evaluación de stock de anchoveta centro norte.

Años	CPUE <sub>IND</sub> (t/vcp)	CPUE <sub>ART</sub> (t/vcp)	B <sub>CRU</sub> (t)	BD <sub>M<sub>MPDH</sub></sub> (t)
1985	42,76			
1986	65,04			
1987	86,63			
1988	56,13			
1989	56,92			
1990	75,16			
1991	51,91			
1992	41,66			
1993	56,11			
1994	75,91			
1995	93,15			
1996	50,71			
1997	41,03			
1998	31,79	16,18		
1999	40,68	26,24		
2000	46,49	28,05		
2001	54,90	29,03		
2002	24,26	24,26		
2003	65,56	27,89		
2004	69,75	34,08		
2005	48,85	34,01		
2006	68,89	34,05	356.940	
2007	55,40	37,81	228.270	
2008	55,06	38,29	217.950	
2009	83,35	34,96	79.057	
2010	62,38	36,61	155.000	
2011		39,48	276.864	
2012		34,24	246.937	
2013		27,39	262.084	
2014		30,46	107.828	
2015		30,47	75.201	34.547
2016		26,36	146.467	43.844
2017		24,25	174.857	67.228
2018		31,26	181.022	74.747
2019		34,74	603.178	126.984
2020		33,16	322.792	134.856
2021		36,17	216.021	77.288

### Información de entrada

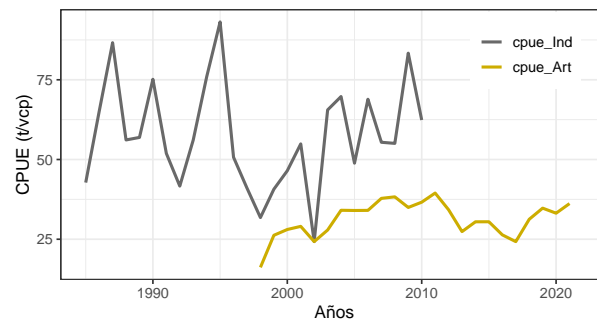
- **Desembarques:** Se utiliza la serie de desembarques ocurridos en el período 1985 - 2021. Durante el 2021 se capturaron 48,9 mil t provenientes de la flota artesanal (**Figura 1**).
- **CPUE:** Se utiliza la serie de captura por unidad de esfuerzo estandarizada para 2 índices independientes para la flota industrial (período 1985 - 2010) y artesanal (período 1998-2021) (**Figura 2**). Se destaca que ambos índices son, en términos de tendencia, similares para el período 2000-2010. Así como los desembarques, el rendimiento artesanal muestra un cambio positivo a partir del 2018, respecto de la tendencia observada entre 2012 y 2017. Durante el año 2021, el rendimiento de la flota artesanal fue levemente superior (9 %) al observado durante el 2020.
- **Biomasa de cruceros acústicos:** Se utiliza la serie de biomasa estimada por el crucero de evaluación hidroacústica que se realiza en febrero de cada año (período 2006–2022, **Figura 2**). A partir del año 2016 se observa un cambio positivo en la tendencia de este índice. El valor de biomasa estimada en el crucero 2022 alcanzó las 275 mil t, cifra 28 % superior respecto del año previo (2021) y un 19 % mayor que la media histórica.
- **Biomasa desovante de cruceros MPDH:** Se incorpora la biomasa estimada por el crucero de evaluación del stock desovante por el Método de Producción Diaria de Huevos año 2021, que presenta una importante disminución respecto del año previo (**Figura 2**). Este índice cuenta con 7 años de observaciones (2015-2021), mostrando una tendencia creciente de la población desovante de la anchoveta centro-norte, hasta el año 2020. No obstante, durante el año 2021 el stock desovante fue estimado en 77,3 mil t lo que significa una disminución del 43 % de la fracción desovante respecto del año 2020.
- **Composición de tallas por flota:** estructura flota industrial (1995-2011) y flota artesanal (1996-2021). Se actualiza la estructura de tallas observadas por la flota comercial durante el 2021 proveniente de la flota en su totalidad. La moda principal se encuentra en 14 cm de LT (**Figura 3**).
- **Composición de tallas crucero acústico:** período 2006-2022. La composición de tallas del crucero RECLAN 2022 presentó un rango de distribución de ejemplares entre 5,5 y 17,5 cm de LT, estructura multimodal con moda principal en 10 cm de LT. Modas secundarias se observan en los 15 y 13,5 cm de LT (**Figura 4**).



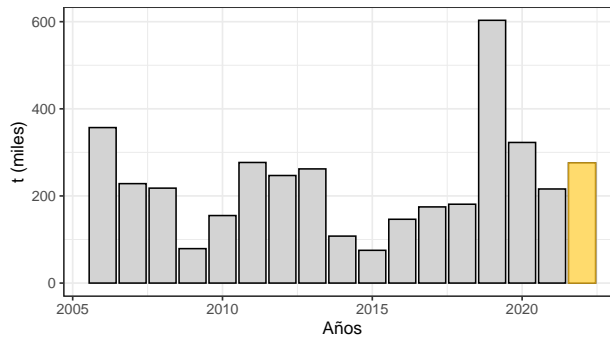
**Figura 1.** Desembarque artesanal, industrial y total de anchoveta de la zona centro norte en el período 1985-2021. Se presentan las cuotas de captura establecidas. La línea negra representa el desembarque total.



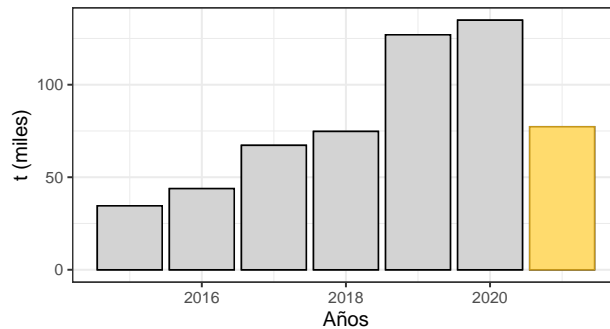
d)



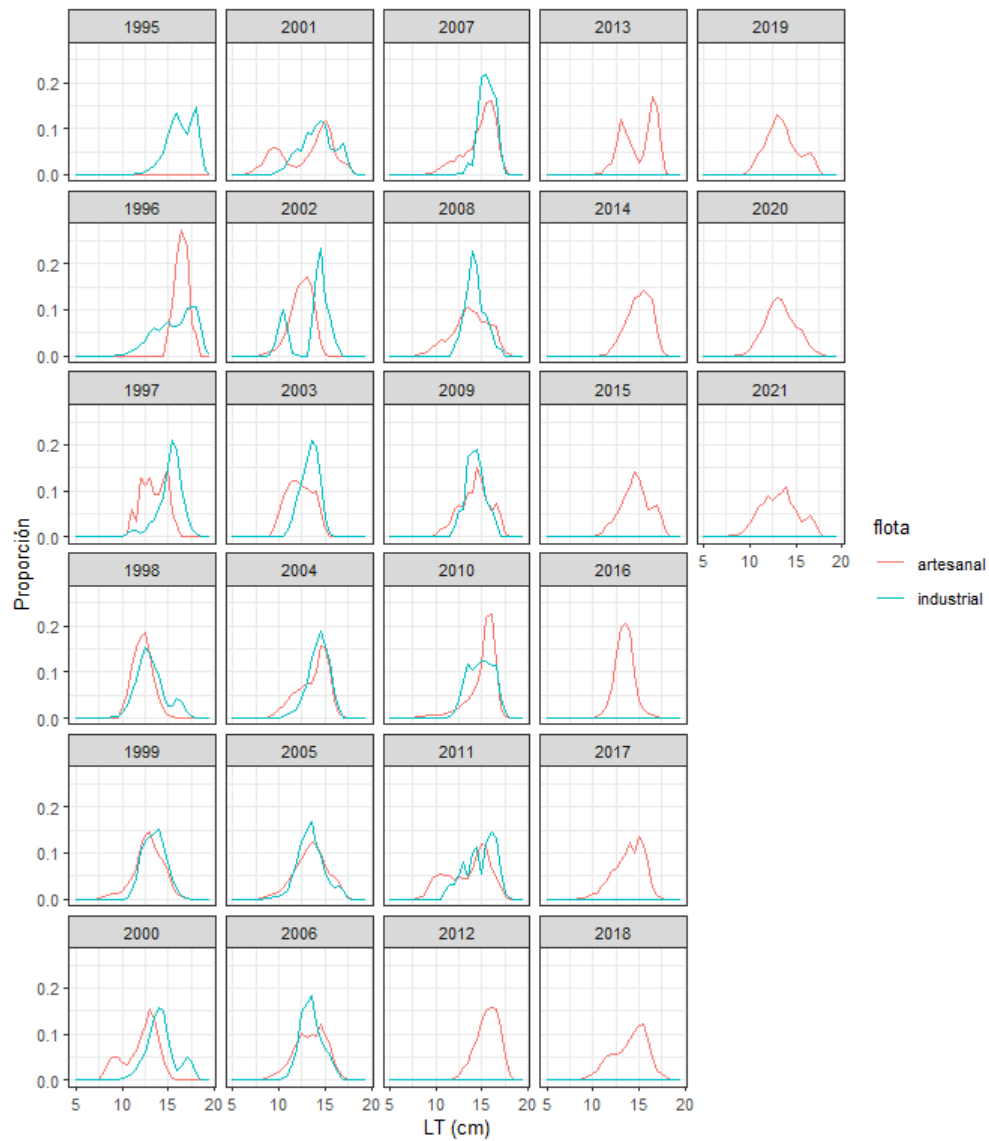
Biomasa Crucero Acústico



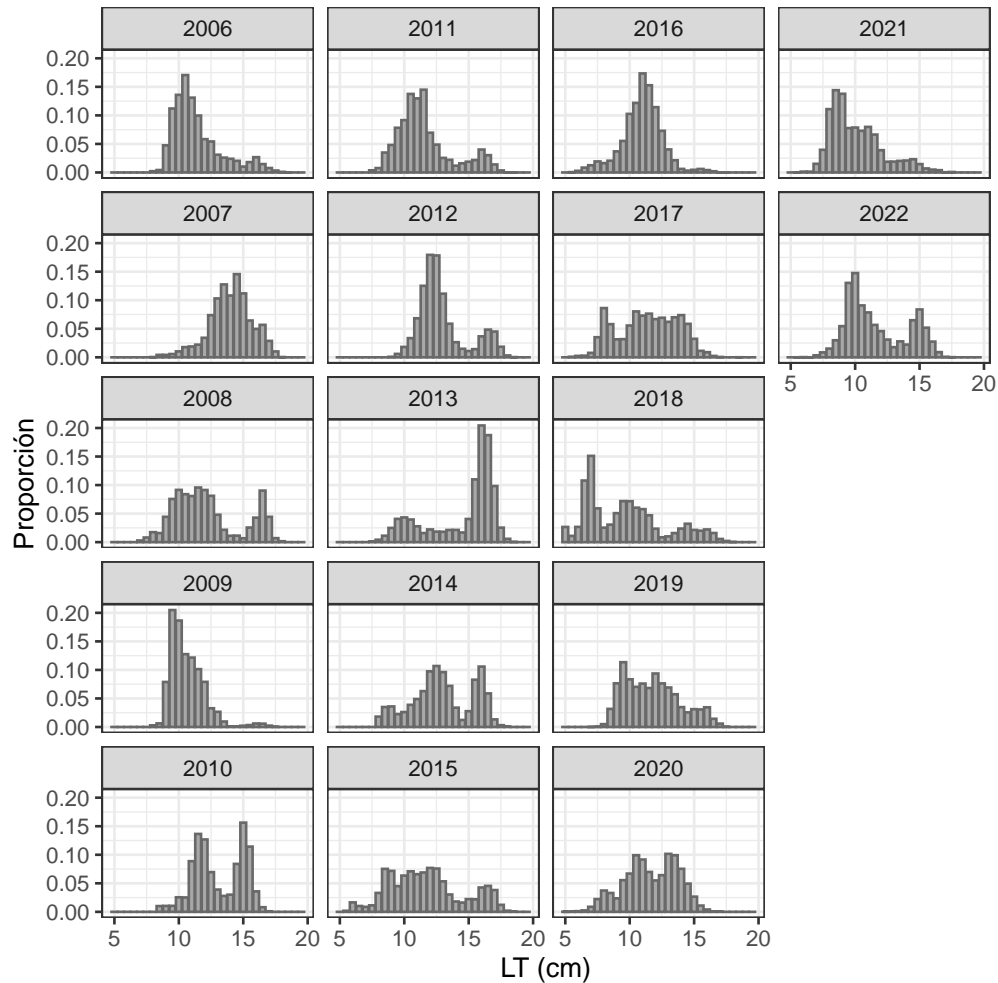
Biomasa crucero MPDH



**Figura 2.** Arriba: series de captura por unidad de esfuerzo estandarizada (t/vcp) para la flota industrial (1985-2010) y flota artesanal (1998-2021); centro: Serie de biomasa acústica (2006-2022); abajo: biomasa desovante crucero mpdh (2015-2021).



**Figura 3.** Composición de tamaños provenientes de la captura industrial (1995-2011) y flota artesanal (1996-2021).



**Figura 4.** Composición de tamaños provenientes del crucero acústico RECLAN período (2006-2022)

La segunda etapa del presente análisis se relaciona con la configuración del modelo base:

- Configuración del archivo de datos y control (\*.dat): incorporación de desembarques, composiciones de tallas por flota y tamaño de muestra de las composiciones.
- Estructura del Modelo (\*.tpl): Codificación de las selectividades, Mortalidad por pesca, Supervivencia, estimación de biomásas, verosimilitud, etc (**Figura 5**).

```

549 //-----
550 FUNCTION Eval_sellectividad
551 //-----
552 //-----
553 //-----
554 //-----
555 //-----
556 //-----
557 //-----
558 //-----
559 //-----
560 //-----
561 //-----
562 //-----
563 //-----
564 //-----
565 //-----
566 //-----
567 //-----
568 //-----
569 //-----
570 //-----
571 //-----
572 //-----
573 //-----
574 //-----
575 //-----
576 //-----
577 //-----
578 //-----
579 //-----
580 //-----
581 //-----
582 //-----
583 //-----
584 //-----
585 //-----
586 //-----
587 //-----
588 //-----
589 //-----
590 //-----
591 //-----
592 //-----
593 //-----
594 //-----
595 //-----
596 //-----
597 //-----
598 //-----
599 //-----
600 //-----
601 //-----
602 //-----
603 //-----
604 //-----
605 //-----
606 //-----
607 //-----
608 //-----
609 //-----
610 //-----
611 //-----
612 //-----
613 //-----
614 //-----
615 //-----
616 //-----
617 //-----
618 //-----
619 //-----
620 //-----
621 //-----
622 //-----
623 //-----
624 //-----
625 //-----
626 //-----
627 //-----
628 //-----
629 //-----
630 //-----
631 //-----
632 //-----
633 //-----
634 //-----
635 //-----
636 //-----
637 //-----
638 //-----
639 //-----
640 //-----
641 //-----
642 //-----
643 //-----
644 //-----
645 //-----
646 //-----
647 //-----
648 //-----
649 //-----
650 //-----
651 //-----
652 //-----
653 //-----
654 //-----
655 //-----
656 //-----
657 //-----
658 //-----
659 //-----
660 //-----
661 //-----
662 //-----
663 //-----
664 //-----
665 //-----
666 //-----
667 //-----
668 //-----
669 //-----
670 //-----
671 //-----
672 //-----
673 //-----
674 //-----
675 //-----
676 //-----
677 //-----
678 //-----
679 //-----
680 //-----
681 //-----
682 //-----
683 //-----
684 //-----
685 //-----
686 //-----
687 //-----
688 //-----
689 //-----
690 //-----
691 //-----
692 //-----
693 //-----
694 //-----
695 //-----
696 //-----
697 //-----
698 //-----
699 //-----
700 //-----
701 //-----
702 //-----
703 //-----
704 //-----
705 //-----
706 //-----
707 //-----
708 //-----
709 //-----
710 //-----
711 //-----
712 //-----
713 //-----
714 //-----
715 //-----
716 //-----
717 //-----
718 //-----
719 //-----
720 //-----
721 //-----
722 //-----
723 //-----
724 //-----
725 //-----
726 //-----
727 //-----
728 //-----
729 //-----
730 //-----
731 //-----
732 //-----
733 //-----
734 //-----
735 //-----
736 //-----
737 //-----
738 //-----
739 //-----
740 //-----
741 //-----
742 //-----
743 //-----
744 //-----
745 //-----
746 //-----
747 //-----
748 //-----
749 //-----
750 //-----
751 //-----
752 //-----
753 //-----
754 //-----
755 //-----
756 //-----
757 //-----
758 //-----
759 //-----
760 //-----
761 //-----
762 //-----
763 //-----
764 //-----
765 //-----
766 //-----
767 //-----
768 //-----
769 //-----
770 //-----
771 //-----
772 //-----
773 //-----
774 //-----
775 //-----
776 //-----
777 //-----
778 //-----
779 //-----
780 //-----
781 //-----
782 //-----
783 //-----
784 //-----
785 //-----
786 //-----
787 //-----
788 //-----
789 //-----
790 //-----
791 //-----
792 //-----
793 //-----
794 //-----
795 //-----
796 //-----
797 //-----
798 //-----
799 //-----
800 //-----
801 //-----
802 //-----
803 //-----
804 //-----
805 //-----
806 //-----
807 //-----
808 //-----
809 //-----
810 //-----
811 //-----
812 //-----
813 //-----
814 //-----
815 //-----
816 //-----
817 //-----
818 //-----
819 //-----
820 //-----
821 //-----
822 //-----
823 //-----
824 //-----
825 //-----
826 //-----
827 //-----
828 //-----
829 //-----
830 //-----
831 //-----
832 //-----
833 //-----
834 //-----
835 //-----
836 //-----
837 //-----
838 //-----
839 //-----
840 //-----
841 //-----
842 //-----
843 //-----
844 //-----
845 //-----
846 //-----
847 //-----
848 //-----
849 //-----
850 //-----
851 //-----
852 //-----
853 //-----
854 //-----
855 //-----
856 //-----
857 //-----
858 //-----
859 //-----
860 //-----
861 //-----
862 //-----
863 //-----
864 //-----
865 //-----
866 //-----
867 //-----
868 //-----
869 //-----
870 //-----
871 //-----
872 //-----
873 //-----
874 //-----
875 //-----
876 //-----
877 //-----
878 //-----
879 //-----
880 //-----
881 //-----
882 //-----
883 //-----
884 //-----
885 //-----
886 //-----
887 //-----
888 //-----
889 //-----
890 //-----
891 //-----
892 //-----
893 //-----
894 //-----
895 //-----
896 //-----
897 //-----
898 //-----
899 //-----
900 //-----
901 //-----
902 //-----
903 //-----
904 //-----
905 //-----
906 //-----
907 //-----
908 //-----
909 //-----
910 //-----
911 //-----
912 //-----
913 //-----
914 //-----
915 //-----
916 //-----
917 //-----
918 //-----
919 //-----
920 //-----
921 //-----
922 //-----
923 //-----
924 //-----
925 //-----
926 //-----
927 //-----
928 //-----
929 //-----
930 //-----
931 //-----
932 //-----
933 //-----
934 //-----
935 //-----
936 //-----
937 //-----
938 //-----
939 //-----
940 //-----
941 //-----
942 //-----
943 //-----
944 //-----
945 //-----
946 //-----
947 //-----
948 //-----
949 //-----
950 //-----
951 //-----
952 //-----
953 //-----
954 //-----
955 //-----
956 //-----
957 //-----
958 //-----
959 //-----
960 //-----
961 //-----
962 //-----
963 //-----
964 //-----
965 //-----
966 //-----
967 //-----
968 //-----
969 //-----
970 //-----
971 //-----
972 //-----
973 //-----
974 //-----
975 //-----
976 //-----
977 //-----
978 //-----
979 //-----
980 //-----
981 //-----
982 //-----
983 //-----
984 //-----
985 //-----
986 //-----
987 //-----
988 //-----
989 //-----
990 //-----
991 //-----
992 //-----
993 //-----
994 //-----
995 //-----
996 //-----
997 //-----
998 //-----
999 //-----
1000 //-----

```

Figura 5. Modelo evaluación de stock edad estructurado separado por flotas. Código ADMB (Fournier *et al.*, 2012)

Tareas futuras

- Sintonización del Modelo con dinámica en edad separado por flotas.
- Diagnóstico del modelo
- Impacto en las principales variables de estado (comparación con modelo base)
- Revisión del Estatus y CBA



## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bucarey, D., Zúñiga, M.J., Quiroz, J.C. (2021). *Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentable de Anchoqueta y Sardina española, Región de Atacama a la Región de Coquimbo, año 2021*. (Segundo Informe. Convenio de Desempeño 2020 Subsecretaría de Economía y EMT). Instituto de Fomento Pesquero.

Fournier, D.A., H.J. Skaug, H.J., Ancheta, J., Ianelli, J., Magnusson, A., Maunder, M.N., Nielsen, A., Sibert, J. (2012). *AD Model Builder: using automatic differentiation for statistical inference of highly parameterized complex nonlinear models*. Optimization Methods and Software. 27:233-249. <https://doi.org/10.1080/10556788.2011.597854>



---

**INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO**

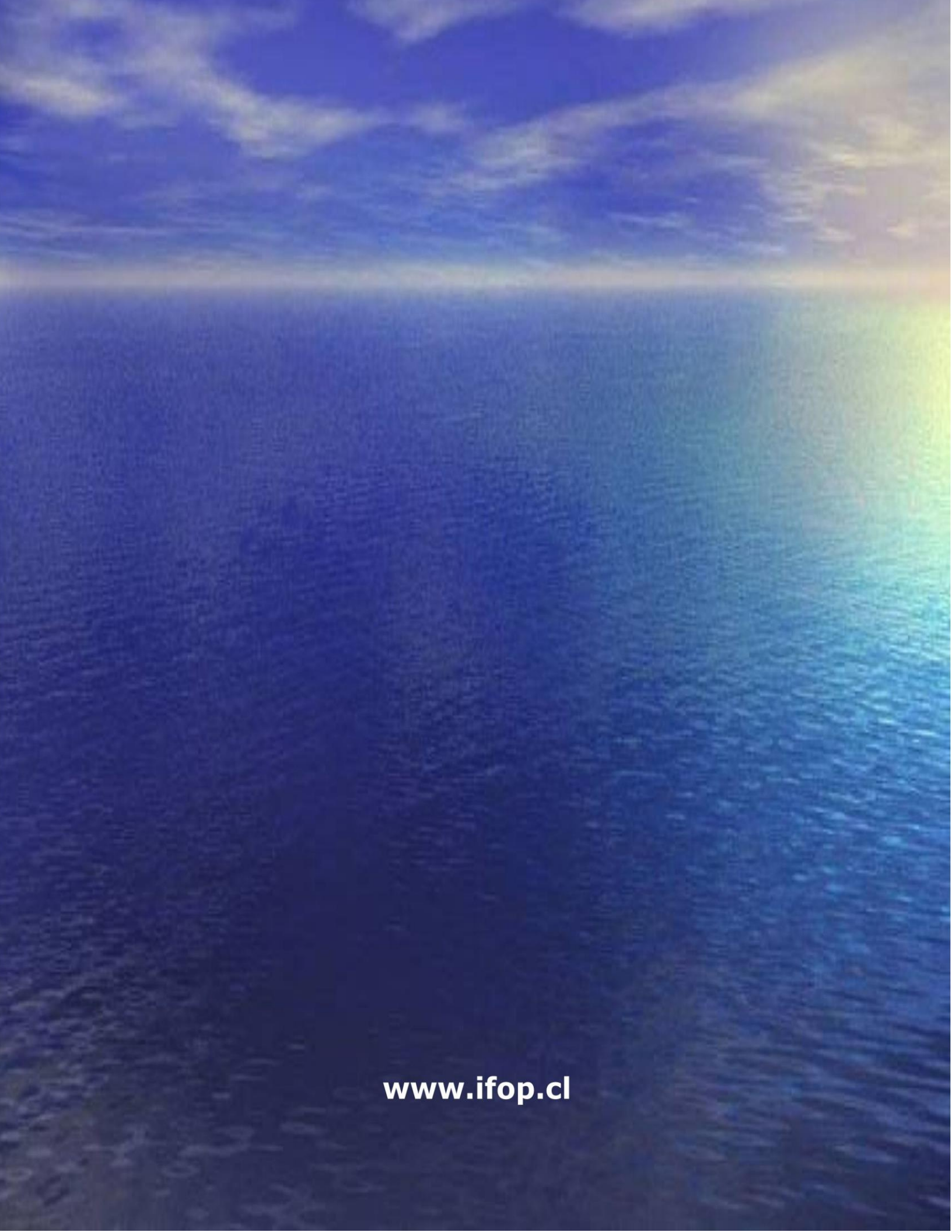
Almte, Manuel Blanco Encalada 839

Fono 56-32-2151500

Valparaíso, Chile

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

---



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