

EVUALUACIÓN EXPLORATORIA DE MERLUZA DEL PACÍFICO

Impacto de las capturas comerciales y descartes

Elaborado por:

Juan-Carlos Quiroz, PhD
jcquiroz@facilevisual.com

Mandante:

Environmental Defense Fund (EDF)
México

Noviembre, 2024

Este reporte describe las actividades llevadas a cabo para implementar un proceso de evaluación de la pesquería de Merluza del Pacífico en el Golfo de California, México, con un enfoque en la sostenibilidad y la gestión pesquera. El objetivo principal fue analizar el impacto biológico de diversos escenarios de regulación de descartes y pesca incidental, con el fin de proporcionar información valiosa para la toma de decisiones en la gestión pesquera. Este reporte proporciona una revisión de las actividades realizadas, basándose en los insumos y datos proporcionados por EDF México. Se abordan las limitaciones temporales y operativas que han influido en la recopilación de datos, ya que la falta de datos confiables puede conducir a decisiones de gestión ineficaces. La evaluación del stock de merluza, que incluye un análisis de datos históricos y la creación de un esquema de evaluación, se presenta bajo distintos escenarios de evaluación de stock, además de un análisis de los impactos asociados con los descartes históricos potenciales en la pesquería. Los resultados se presentan mediante gráficos y figuras que ilustran los datos y resultados de los análisis. Estos hallazgos son esenciales para comprender la dinámica de la pesquería e informar las decisiones de gestión. Se realizaron varios análisis complementarios solicitados por EDF que pueden ser útiles para la discusión sobre posibles planes de investigación de esta pesquería, aunque se destaca que los tiempos de implementación de estos estudios son limitados. Esto subraya la necesidad de un enfoque ágil y efectivo para enfrentar los desafíos actuales en la investigación de esta pesquería. Se ofrecen algunas recomendaciones para futuras investigaciones y la necesidad de un monitoreo continuo de la pesquería, destacando la importancia de la colaboración entre diferentes actores, incluidos pescadores, científicos y gestores.

Tabla de contenidos

1	Contexto	5
1.1	Alcance	5
1.2	Descripción de actividades	6
1.3	Difusión de resultados	6
2	Actividades	8
2.1	Evaluación de stock	8
2.1.1	Análisis de datos	8
2.1.2	Esquema de evaluación	11
2.1.3	Escenarios de evaluación de stock	12
2.2	Escenarios de captura comercial y descartada	13
2.2.1	Descartes históricos y proyecciones poblacionales	14
2.3	Impactos económicos	15
3	Análisis de resultados	21
3.1	Crecimiento	21
3.2	Selectividades	23
3.3	Reclutamientos	24
3.4	Calidad y confiabilidad de las series de datos	26

Listado de Figuras

1.1	Sitio web conteniendo las diferentes etapas de análisis y resultados obtenidos.	7
2.1	Valores de predictores lineales Mes y Año para la Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) basada en desembarques (ton). La línea horizontales representan la incertidumbre en las estimación.	9
2.2	Índices de abundancia obtenidos por área barrida entre los años 2005 y 2023. La línea continua muestra un suavizador B-spline de orden 3.	10
2.3	Tipo de captura registrada durante el programa de observadores abordó entre los años 2015 y 2023.	11
2.4	Estructura de tamaño de merluza del pacífico agrupadas por sexo para el período 2015 - 2023, diferenciando la fracción descartada y comercial de la captura.	17
2.5	Series de datos utilizadas en el modelo de evaluación (puntos) y estimaciones del modelo (línea) para el período 2000 - 2023. Los resultados de un escenario de evaluación se presentan únicamente con el propósito de informar sobre la tendencia de las series de datos.	18
2.6	Repositorio público de recursos sobre la evaluación de la merluza del Pacífico en el Golfo de California, México.	19
2.7	Reducción de la biomasa desovante (arriba) y reclutamientos a las edad 1 (abajo) para el periodo 2000-2023, zona achurada representa intervalos al 90%. Línea segmentada en el panel superior representa un 40% de reducción de la biomasa en equilibrio sin pesca, mientras que en el panel inferior representa el reclutamiento en equilibrio sin pesca. Resultados obtenidos desde el modelo implementado en la <i>Etapa Descartes</i> .	20
3.1	Distribución de tallas en los grupos de edad (1-15) utilizados en el modelo de evaluación utilizados en la Etapa Crucero y Etapa Descartes.	22
3.2	Ojivas de selectividad de la flota para los períodos 2000-2019 y 2020-2023. Línea segmentada corresponde al 50% de selectividad.	24

1.0 Contexto

1.1 Alcance

Se realizó una evaluación del stock de la Merluza del Pacífico (*Merluccius productus*) en el Golfo de California, México, con el objetivo de facilitar presentaciones y debates sobre la capacidad productiva del stock en relación con las estrategias de pesca, que contemplan el descarte de peces juveniles.

Los elementos principales incluidos en los análisis provienen de datos biológicos y pesqueros recopilados por el programa de observadores científicos de Environmental Defense Fund (EDF) entre 2015 y 2023, con énfasis en la captura comercial (es decir, retenida) y descartada. También se consideraron diversos documentos de antecedentes y publicaciones, junto con datos pesqueros oficiales publicados por el gobierno de México. Considerando la información disponible sobre la dinámica de la captura descartada, la disponibilidad de datos estructurados y los supuestos del modelo, se llevó a cabo la evaluación de la Merluza del Pacífico (en adelante, merluza) bajo la premisa de que la gestión se efectúa como una única unidad de manejo. Todos los datos utilizados en la evaluación de stock corresponden a esta estructura de stock hipotética.

Este informe expone las observaciones y recomendaciones del autor fundamentadas en los resultados de la evaluación del stock de merluza. Se identificaron significativas variaciones intra-anales en el tipo de captura (comercial frente a descartada), así como fluctuaciones en los niveles de remociones a lo largo del tiempo, lo que sugiere que la dinámica de las capturas es un factor crucial en la gestión de la pesquería y la sostenibilidad de la población.

Las estimaciones de abundancia obtenidas a través de cruceros de área barrida han sido empleadas para recomendar un límite de captura que no exceda el 15% de la biomasa evaluada. En los últimos años, estas estimaciones han mostrado una tendencia decreciente, mientras que los desembarques han aumentado de un promedio de aproximadamente 2,500 toneladas entre 2018 y 2019 a 18,000 toneladas entre 2022 y 2023. Por consiguiente, una evaluación del stock de merluza es especialmente crucial en este momento, ya que proporciona información para implementar medidas de gestión adecuadas que influirán no solo en el futuro de este recurso, sino también en la creciente actividad pesquera.

1.2 Descripción de actividades

La evaluación de la merluza incluyó diversas fases, entre las cuales se destacan la revisión de datos biológicos y pesqueros, la construcción e implementación de un modelo de evaluación de stock, el análisis de los supuestos más importantes que afectan el modelo, y finalmente, la divulgación de los resultados. Estas fases fueron debatidas en reuniones de trabajo virtuales con el equipo de EDF.

El autor recibió una considerable cantidad de material de lectura sobre diversos temas clave y sus derivaciones, los datos de entrada del modelo (en particular los relacionados con el tipo de captura recopilada durante el programa de observadores científicos y los registros históricos de la pesquería), así como informes de resultados de los cruceros de área barrida. Los documentos y datos fueron suministrados por correo electrónico antes de la elaboración del modelo de evaluación. Los Términos de Referencia se encuentran en el Apéndice 1 y son los siguientes:

Servicios:

- Elaborar un informe técnico que presente opciones para la gestión de descartes en la pesca de merluza en el Golfo de California.

Entregables:

- Llevar a cabo una evaluación del stock de merluza teniendo en cuenta todas las fuentes de mortalidad por pesca conocidas, abarcando capturas de la flota artesanal y descartes de la flota industrial en la región del Golfo de California.
- Calcular un volumen aceptable de descartes y pesca incidental para la pesquería, basado en el estado de la población, las características de la pesquería y sus objetivos de gestión.
- Simular el impacto económico y biológico potencial de diferentes escenarios de regulación de descartes y pesca incidental.

1.3 Difusión de resultados

Se desarrolló un sitio web (<https://jcquiroz.github.io/hake-assessment/>) con el objetivo de difundir los resultados de las distintas fases de exploración de datos y análisis realizadas para implementar el modelo de evaluación de la merluza.

Los análisis y hallazgos se organizaron en tres secciones del sitio web accedidas por medio del menú superior (Figura 1.1). La sección **Datos** contiene los procesos y análisis realizados sobre los datos pesqueros y biológicos disponibles, con fines de construir los datos de entrada

para los modelos de evaluación de la merluza. La sección **Modelos** presenta los escenarios implementados y los supuestos adoptados. Por último, el menú **Resultados** describe las estimaciones de las variables de estado (por ejemplo, biomاسas) y las cantidades de manejo (es decir, mortalidades por pesca) para los distintos escenarios evaluados.

Cada sección ofrece material y resultados que se pueden [explorar en línea](#) o descargar en formato pdf.



Evaluación de la Merluza del Pacífico Datos Modelos Resultados  

Evaluación exploratoria de la Merluza del Pacífico

Dinámica pesquera y del descarte

Análisis basado en edades ajustado a la dinámica de tallas y calibrado por la CPUE, estimaciones de biomasa por cruceros de área barrida y escenarios de captura descartada.



Este es el sitio web del proyecto “Merluza del Golfo de California”. Acá se alojan todos los análisis de insumos proporcionados por el mandante, como también, los materiales de difusión (e.g., reportes, scripts) y análisis de datos.

Consultor
 [Dr. Juan-Carlos Quiroz](#)
 [jcquiroz](#)
 [LinkedIn](#)
 [GitHub](#)

Asesoría
 Analítica y Modelamiento
 Sep - Oct, 2024
 free-lance
 México

Reportes
 [Datos modelo](#)
 [Reporte](#)

License

Este sitio web ha sido construido bajo una licencia [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International](#). Visite [aquí](#) para detalles sobre este tipo de licencia.

Figura 1.1 – Sitio web conteniendo las diferentes etapas de análisis y resultados obtenidos.

2.0 Actividades

Se llevaron a cabo diversas actividades para cumplir con los entregables especificados en los términos de referencia. Estas actividades incluyen la revisión de información y datos pesqueros/biológicos, la construcción de datos de entrada para el modelo de evaluación y la identificación de submodelos conceptuales como el crecimiento, la mortalidad, el reclutamiento y los patrones de explotación por la flota. Esta sección describe los métodos y la secuencia aplicados para llevar a cabo estas actividades¹.

2.1 Evaluación de stock

Entregable 1

Llevar a cabo una evaluación del stock de merluza teniendo en cuenta todas las fuentes de mortalidad por pesca conocidas, abarcando capturas de la flota artesanal y descartes de la flota industrial en la región del Golfo de California.

Esta actividad fue primordial para cumplir con todos los entregables e incluyó tres sub-actividades fundamentales. **La primera** sub-actividad implicó la revisión y análisis de la información y datos pesqueros/biológicos disponibles. **La segunda** permitió establecer un enfoque de evaluación y seleccionar la plataforma de análisis, teniendo en cuenta los supuestos biológicos y poblacionales pertinentes según el conocimiento y los datos existentes. Finalmente, **la tercera** sub-actividad se enfocó en definir los escenarios de evaluación del stock de merluza relevantes para analizar el impacto de la captura comercial y descartada.

2.1.1 Análisis de datos

Se revisaron cuatro (4) conjuntos de datos:

¹En varias secciones de este informe se incluyen enlaces al [sitio web de esta consultoría](#). Para facilitar que el lector se concentre en los resultados principales, una parte significativa de los análisis y resultados no se ha detallado en este documento, pero si es posible consultarlos en el sitio web.

1. Capturas reportada por CONAPESCA entre los años 2000 y 2024, con fines de explorar la temporalidad y posibles reconstrucciones de índices de abundancia.
2. Biomazas obtenidas durante los cruceros de área barrida implementados por el gobierno de México entre los años 2005 y 2023.
3. Composiciones de tamaños y pesos medios de la captura comercial y descartada obtenidas por el programa de observadores científicos implementado por EDF entre los años 2015 y 2023.
4. Temporalidad y niveles de descartes reportados por el programa de observadores científicos implementado por EDF entre los años 2015 y 2023.

Capturas oficiales Entre los años 2000 y 2023, el gobierno de México recopiló datos de desembarques que permitieron construir una serie de capturas oficiales para su incorporación en el modelo de evaluación. Sin embargo, la información pesquera por viaje de pesca disponible para el periodo 2018 - 2024 fue especialmente relevante, ya que proporcionó una serie estandarizada de tasas de captura anual utilizada en el modelo de evaluación para calibrar la tendencia poblacional.

Mayores detalles de los análisis pueden ser consultados en la sección [Análisis de datos](#) y descargados en [pdf](#) desde el sitio web de la asesoría.

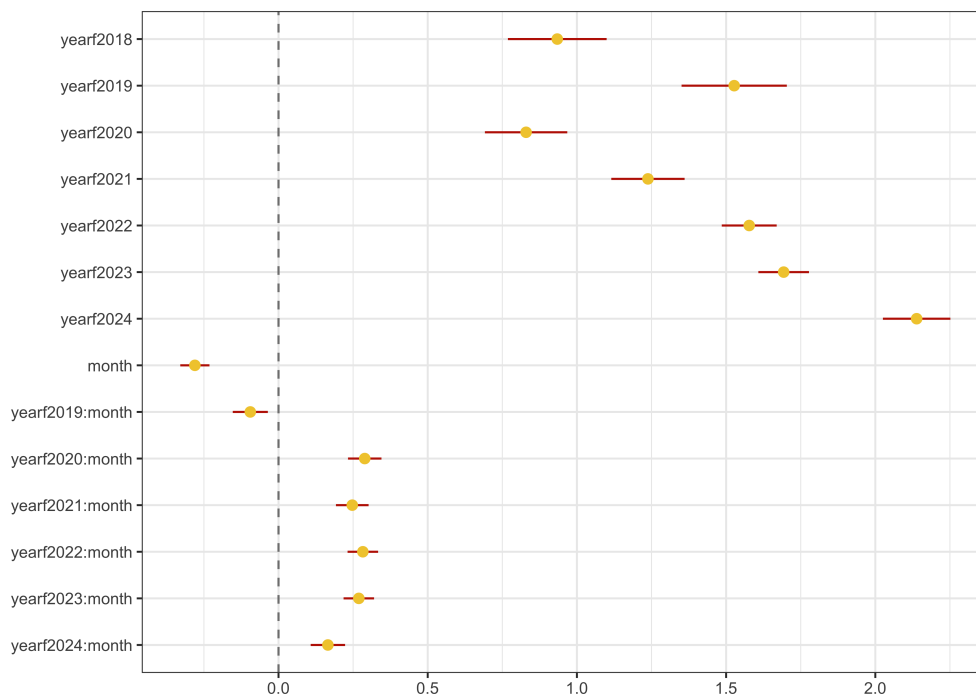


Figura 2.1 – Valores de predictores lineales Mes y Año para la Captura por unidad de esfuerzo (CPUE) basada en desembarques (ton). La línea horizontales representan la incertidumbre en las estimación.

Cruceros de área barrida Las biomases calculadas mediante el método de área barrida (Figura 2.2) proporcionaron datos valiosos para estimar los tamaños potenciales de la población (es decir, biomasa explotable) y complementaron las tasas de captura de la pesca, ayudando a sugerir tendencias en la población de merluza. Consulte la sección de [Cruceros de área barrida](#) en el sitio web para obtener detalles sobre esta información y los análisis efectuados.

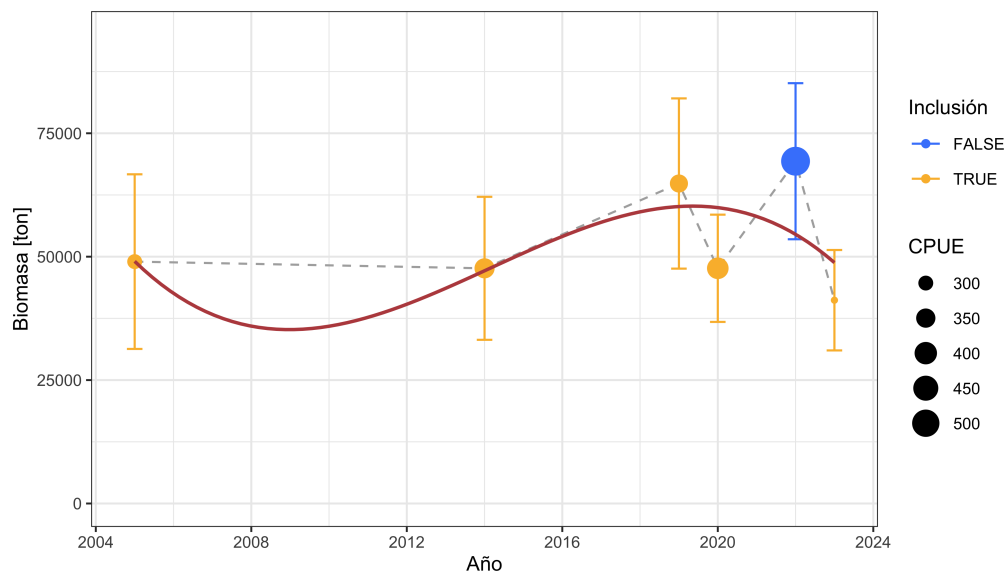


Figura 2.2 – Índices de abundancia obtenidos por área barrida entre los años 2005 y 2023. La línea continua muestra un suavizador B-spline de orden 3.

Descartes Para estimar las capturas comerciales y descartadas a partir de los desembarques oficiales reportados por el gobierno de México, se llevó a cabo un análisis temporal (inter- e intra-anual) de la proporción de descartes durante las actividades pesqueras. Aunque no se identificó un patrón en las capturas que sugiera un nivel representativo de descartes durante el periodo 2015-2023 (Figura 2.3), se pudieron respaldar varios supuestos sobre la reconstrucción histórica de las capturas.

Estructuras de tamaños El análisis de muestras de longitud de peces permitió describir los cambios anuales en tamaños y pesos de los peces tanto retenidos como descartados. Estos resultados, que se detallan en la sección sobre la [Utilidad de las estructuras de tamaños](#), se usaron para crear estructuras de tallas agrupadas por sexo (Figura 2.4). Estas estructuras formaron parte de los datos fundamentales para evaluar los escenarios de la merluza. Las composiciones de tamaños de la fracción capturada y descartada se emplearon también para analizar las curvas acumuladas que permiten estimar el tamaño de los peces en el que ocurre la selectividad en la pesquería. Estos análisis se encuentran disponibles en la sección [Selectividades](#) del sitio web.

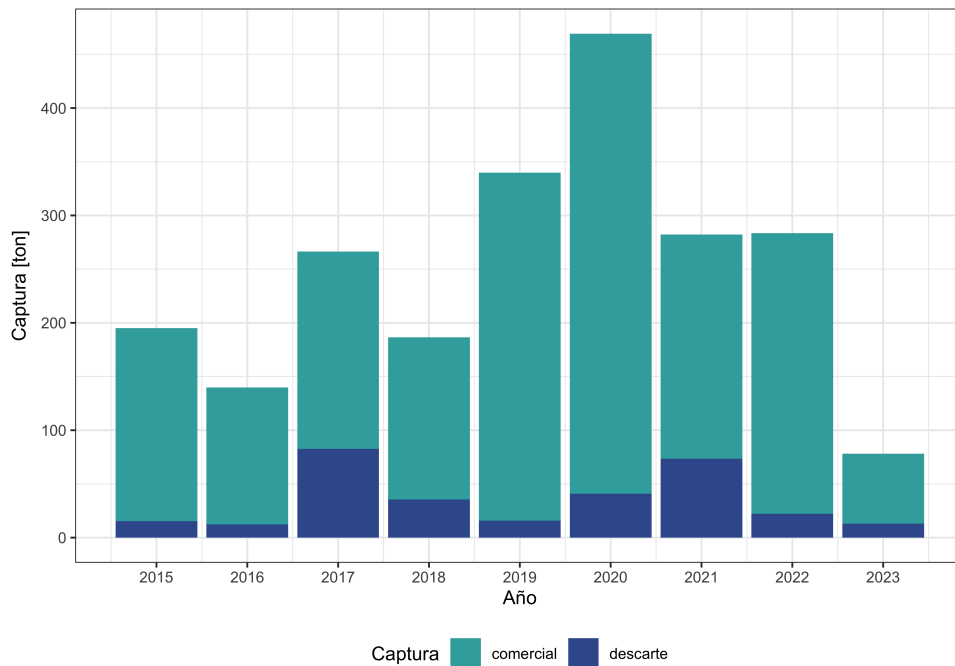


Figura 2.3 – Tipo de captura registrada durante el programa de observadores abordó entre los años 2015 y 2023.

2.1.2 Esquema de evaluación

La evaluación de la merluza en el Golfo de California, implementada para el período 2000 - 2023, utilizó como datos de entrada los desembarques pesqueros, los índices de biomasa desde cruceros de área barrida y Captura por Unidad de Esfuerzo (CPUE), las composiciones de tamaños de la captura comercial y descartada (Figura 2.5). Los datos de composición por tamaños de la pesquería fueron agregados por género (**hembras + machos**) y proporcionaron información que facilita la estimación de la fuerza relativa de las cohortes.

Enfoque de modelamiento El análisis utilizó un enfoque de estimación bayesiana para evaluar las posibles consecuencias de la incertidumbre en los parámetros, modelos estructurales alternativos y el rendimiento histórico del modelo de evaluación. Este método combina conocimiento previo sobre crecimiento, mortalidad natural, pendiente de reclutamiento y otros parámetros, con las verosimilitudes de índices de biomasa de cruceros de área barrida, CPUE y datos de composición de tamaños. La integración de la distribución posterior conjunta sobre los parámetros del modelo mediante el algoritmo de Monte Carlo de cadena de Markov (MCMC) proporciona inferencias probabilísticas sobre parámetros de modelo inciertos y pronósticos derivados de estos (Magnusson et al., 2012; Punt et al., 2014).

La sección de **Procesos poblacionales** en el sitio web ofrece información detallada sobre los parámetros de historia de vida y los supuestos incluidos en el modelo de evaluación. Se recomienda al lector consultar esta sección para enriquecer cualquier discusión

relacionada con el condicionamiento del modelo de evaluación. Varias estimaciones fueron descritas en Zamora-García et al. (2020) y Zamora-García (2021), donde se proporcionaron antecedentes de la historia de vida de la merluza, como madurez, fecundidad y crecimiento basado en longitud infinita (L_∞), tasa de crecimiento individual (k), y edad a longitud cero (t_0) para sexos conjuntos.

Plataforma de análisis Los análisis fueron realizados en la plataforma **Automatic Differentiation Model Builder (ADMB)** que permite resolver problemas de optimización no lineal (Fournier et al., 2012). ADMB es un marco de programación basado en diferenciación automática, diseñado para modelos altamente no lineales con un gran número de parámetros. Los beneficios de usar ADMB son eficiencia computacional y alta precisión numérica, ambos cruciales en la evaluación de la merluza del pacífico.

Todos los recursos, incluyendo el código fuente, los datos y los escenarios implementados, están disponibles para el dominio público en un repositorio creado por el consultor y autorizado por EDF para su distribución (Figura 2.6). Visite github.com/jcquiroz/hake-assessment para revisar o descargar este material.

Aunque el repositorio no fue diseñado específicamente para fines de reproducibilidad, es posible que un analista pueda reproducir todo el análisis, incluida la construcción de los datos de entrada para los modelos y la aplicación de los modelos en ADMB. En el sitio web, se proporcionan algunos consejos para implementar el modelo ADMB en la sección **Estructura de codificación**.

2.1.3 Escenarios de evaluación de stock

Los escenarios de evaluación abarcan diversas implementaciones de modelos bajo distintas hipótesis, tales como contrastes en la biología — diferencias en el crecimiento, percepciones sobre las estrategias de pesca — desde cambios en las selectividades hasta variaciones en la eficiencia de captura, tipos de datos y sus impactos en las cantidades de interés — biomasa y mortalidad por pesca, y suposiciones sobre los errores derivados de los datos de entrada. En esta consultoría, la implementación de los escenarios de evaluación se realizó teniendo en cuenta el objetivo principal de gestionar los descartes y su impacto en las opciones de manejo de la pesca.

Para lograr una implementación coherente y realista de los escenarios, es necesario completar una serie de etapas que garanticen que los parámetros estimados por el modelo (en los distintos escenarios) son plausibles y consistentes con las observaciones de la pesquería. Por medio de tres (3) etapas, que implicaron investigar diversas alternativas para ajustar los datos de entrada contra las estimaciones del modelo, se realizaron ajustes del modelo en forma secuencial a medida se incorporaban datos de entrada:

1. *Etapa CPUE*: tomando como referencia las capturas totales y las composiciones de tamaño anuales (sin distinguir entre comercial y descarte), se utilizó exclusivamente la CPUE de la pesquería como índice de abundancia. Este enfoque permite, en una primera etapa, estimar parámetros de escala poblacional — como el reclutamiento medio y las desviaciones de los reclutamientos anuales, las cosechas — representadas por las mortalidades por pesca total, y la estrategia de pesca — que incluye la selectividad de la flota representativa de la fracción explotada (comercial + descartes). Estos parámetros se emplean como base para el condicionamiento de escenarios posteriores. [Ver resultados en sitio web.](#)
2. *Etapa Cruceros*: Con base en los hallazgos de la *etapa CPUE*, se incorporaron las estimaciones de los cruceros de área barrida a los datos de entrada. Utilizando los parámetros que definen los procesos de escala poblacional, cosechas y mortalidades, se busca mejorar el ajuste mediante el contraste en la bondad de ajuste del modelo entre los escenarios. La bondad de ajuste para los distintos tipos de datos se describe mediante las funciones de verosimilitud. [Ver resultados en sitio web.](#)
3. *Etapa Descartes*: Se trata de descomponer las series de captura y composiciones de tamaños en sus componentes comercial y descartes. Partiendo de las cantidades estimadas en escenarios anteriores, es posible lograr una diferenciación en los parámetros que describen la cosecha de capturas comerciales y descartadas, así como en los patrones de explotación de ambas fracciones. [Ver resultados en sitio web.](#)

Específicamente la *Etapa Descartes* se emplea para identificar hipótesis sobre la dinámica de las capturas descartadas. Estos modelos son evaluados mediante simulaciones que ofrecen datos sobre cómo las diversas combinaciones de selectividad de pesca para la captura comercial y descartada influirán en los resultados de gestión, considerando la aplicación repetida de estos procedimientos a mediano plazo.

2.2 Escenarios de captura comercial y descartada

Entregable 2

Calcular un volumen aceptable de descartes y pesca incidental para la pesquería, basado en el estado de la población, las características de la pesquería y sus objetivos de gestión.

Los resultados de la *Etapa Descartes* revelaron varias particularidades, como el hecho de que la dinámica del reclutamiento está influenciada por la información proveniente de las composiciones de tamaños de la captura comercial y el descarte. Durante el período con datos de composiciones de tamaños (2015 - 2023), las desviaciones de los reclutamientos a la

edad 1 (primer grupo de edad en el modelo) proporcionan información sobre la fuerza de las clases anuales (2010 - 2018). Esto provoca que la tendencia de la biomasa para periodos sin respaldo en estructuras de tallas, como los años 2000 - 2010, muestre un declive persistente frente a bajos niveles de capturas, explicado por la ausencia en la dinámica de reclutamiento (Figura 2.7). Los resultados de la *Etapa Descartes* (incluidos en el **Anexo 1**) proporcionan una serie de recomendaciones sobre estas particularidades.

2.2.1 Descartes históricos y proyecciones poblacionales

Con base en los resultados del modelo de evaluación implementado en la *Etapa Descartes* (incluidos en el **Anexo 1**), se desarrollaron tres (3) escenarios de evaluación destinados a medir el impacto de los descartes históricos y sus proyecciones sobre las variables y cantidades de interés, específicamente las mortalidades por pesca y las biomásas.

Escenarios implementados Involucró diferentes combinaciones de supuestos sobre los descartes históricos y proyecciones.

Escenario Base: Para años previos al 2015, la proporción anual de descartes en relación con la captura total se mantuvo constante en un 14.67%. Este porcentaje refleja el promedio anual de descartes observado durante el periodo de implementación del programa de observadores científicos de EDF (2015-2023).

Escenario variable: Supone que en los años anteriores a 2015, donde no se disponen de registros de captura descartada, la fracción anual descartada fue re-muestreada aleatoriamente a partir del periodo 2015-2024.

Escenario pesimista: Durante el periodo de implementación del programa de observadores, la fracción máxima descartada se registró en el año 2017, alcanzando un 31%. Por lo tanto, este escenario asumió un descarte fijo del 31% para todos los años de la evaluación.

Supuesto en las proyecciones El gobierno de México ha decidido establecer una captura precautoria anual de merluza, basada en el método de área barrida, asegurando que los niveles de extracción pesquera no excedan el 15% de la estimación más reciente del crucero.

Basándose en esta regla de extracción, se establecieron ocho (8) supuestos de proyección en los que el porcentaje de asignación se ajustó de la siguiente manera. Se proyectó la población de merluza utilizando un conjunto de ponderadores de tal forma que $C_{proy} = \overline{BC}_{2023} * f_{pond}$, donde C_{proy} es la captura implementada para el periodo de proyección 2024-2042 (20 años), \overline{BC}_{2023} es el crucero de área barrida implementado el año 2023 y f_{pond} son ponderadores de F1=2%, F2=4, F3=6%, F4=8%, F5=10%, F6=12%, F7=15% y F8=20%.

El **Anexo 2** muestra los resultados de las proyecciones de capturas. Estos hallazgos también se encuentran disponibles en el sitio web y descarga en formato pdf.

2.3 Impactos económicos

Entregable 3

Simular el impacto económico y biológico potencial de diferentes escenarios de regulación de descartes y pesca incidental.

En el contexto de la evaluación de la viabilidad económica de la pesquería de merluza, el consultor se enfrentó a una serie de limitaciones significativas que impiden la realización de un análisis económico exhaustivo y preciso. A continuación, se detallan los principales obstáculos identificados,

1. Falta de datos económicos históricos: Actualmente, no se dispone de un registro sistemático y continuo de los precios de venta de las descargas a lo largo del tiempo. Esta carencia impide el análisis de tendencias de precios, la evaluación de la rentabilidad histórica y la proyección de escenarios futuros.
2. Desconocimiento de los costos operativos: No se cuenta con información detallada sobre los costos operativos asociados a la actividad pesquera, tales como costos de combustible, mantenimiento de embarcaciones, mano de obra y otros insumos críticos. Sin estos datos, es imposible calcular con precisión los márgenes de beneficio y la sostenibilidad económica de la pesquería.
3. Falta de comprensión de la dinámica del mercado: La dinámica del mercado en México, incluyendo la oferta y demanda, la competencia y las políticas regulatorias, no está suficientemente documentada ni comprendida. Este desconocimiento limita la capacidad para modelar adecuadamente el comportamiento del mercado y su impacto en la pesquería de merluza.
4. Limitaciones temporales: EDF México ha publicado varios estudios² que podrían ser de ayuda para aproximar un análisis como el requerido en para este entregable, sin embargo, los tiempos de implementación escapan a los disponibles para este estudio.
5. Aspectos operativos y tácticos no documentados: Existen cambios en las preferencias de pesca y en las tácticas de captura que no han sido sistemáticamente registrados ni

²Estudio de Costo Beneficio: Escenarios de Recuperación de la Pesquería de Mero en Yucatán (<https://mexico.edf.org/estudio-de-costo-beneficio-escenarios-de-recuperacion-de-la-pesqueria-de-mero-en-yucatan>)

Resultados de la implementación de un piloto de inversión de impacto para incrementar el valor de la pesquería de merluza en el norte del Golfo de California (<https://mexico.edf.org/resultados-de-la-implementacion-de-un-piloto-de-inversion-de-impacto-para-incrementar-el-valor-de>)

analizados. Estos cambios pueden tener implicaciones significativas en los aspectos económicos de la pesquería, afectando tanto los costos como los ingresos.

Ante la falta de estos aspectos y datos esenciales, cualquier análisis económico sería meramente especulativo y no cumpliría con el rigor necesario para respaldar decisiones fundamentadas en evidencia. Es crucial ampliar el alcance de este estudio, tanto en tiempo como en recursos, para permitir el desarrollo de iniciativas enfocadas en la recopilación y sistematización de la información económica y operativa antes de llevar a cabo un análisis económico exhaustivo.

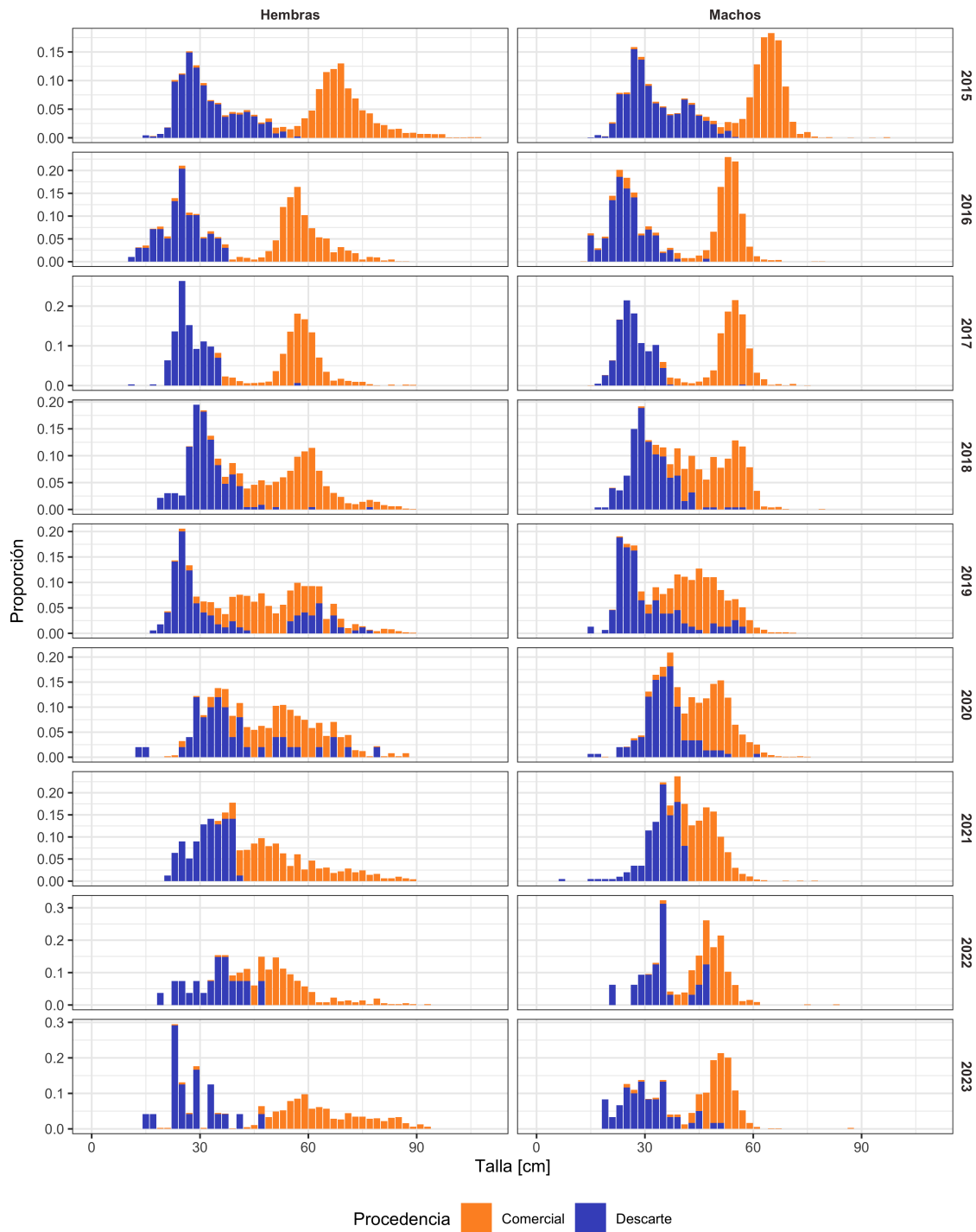
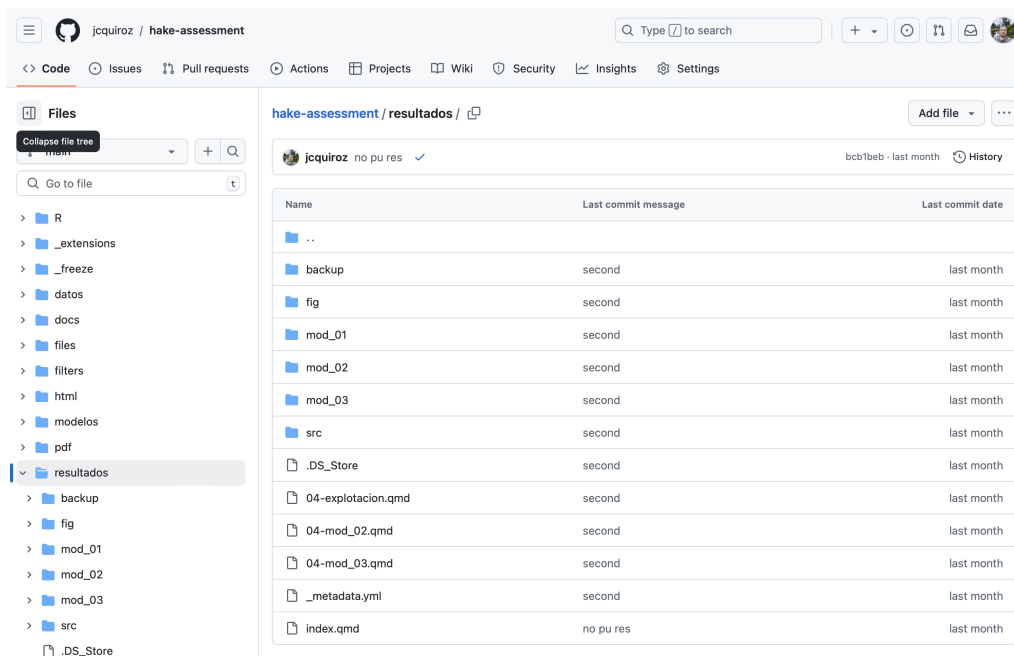


Figura 2.4 – Estructura de tamaño de merluza del pacífico agrupadas por sexo para el período 2015 - 2023, diferenciando la fracción descartada y comercial de la captura.



Figura 2.5 – Series de datos utilizadas en el modelo de evaluación (puntos) y estimaciones del modelo (línea) para el período 2000 - 2023. Los resultados de un escenario de evaluación se presentan únicamente con el propósito de informar sobre la tendencia de las series de datos.



The screenshot shows a GitHub repository interface for 'jcquiroz / hake-assessment'. The left sidebar displays a file tree with folders like 'R', '_extensions', 'freeze', 'datos', 'docs', 'files', 'filters', 'html', 'modelos', 'pdf', 'resultados', 'backup', 'fig', 'mod_01', 'mod_02', 'mod_03', 'src', and '.DS_Store'. The main content area shows the 'resultados' directory with a table of files and folders.

Name	Last commit message	Last commit date
..		
backup	second	last month
fig	second	last month
mod_01	second	last month
mod_02	second	last month
mod_03	second	last month
src	second	last month
.DS_Store	second	last month
04-explotacion.qmd	second	last month
04-mod_02.qmd	second	last month
04-mod_03.qmd	second	last month
_metadata.yml	second	last month
index.qmd	no pu res	last month

Figura 2.6 – Repositorio público de recursos sobre la evaluación de la merluza del Pacífico en el Golfo de California, México.

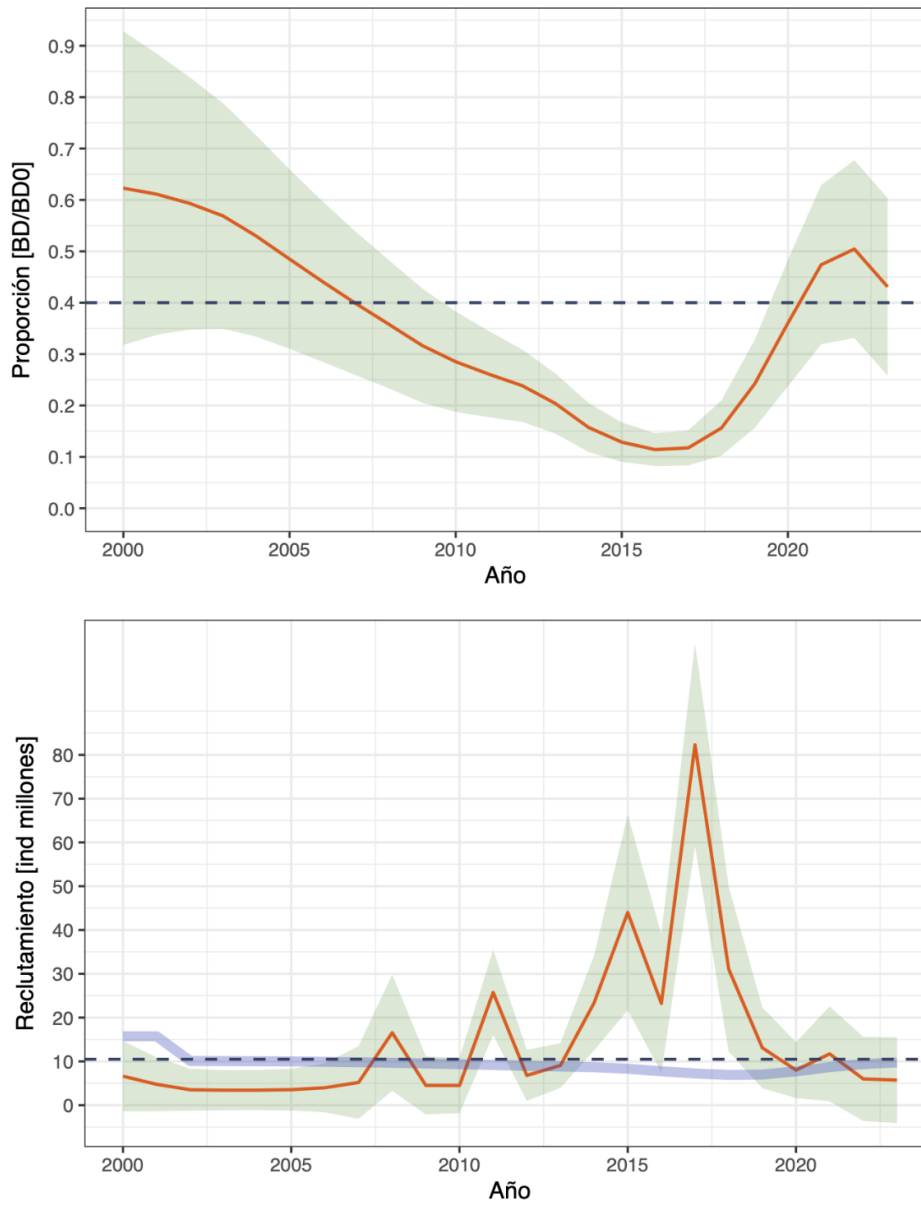


Figura 2.7 – Reducción de la biomasa desovante (arriba) y reclutamientos a las edad 1 (abajo) para el periodo 2000-2023, zona achurada representa intervalos al 90%. Línea segmentada en el panel superior representa un 40% de reducción de la biomasa en equilibrio sin pesca, mientras que en el panel inferior representa el reclutamiento en equilibrio sin pesca. Resultados obtenidos desde el modelo implementado en la *Etapa Descartes*.

3.0 Análisis de resultados

Los modelos utilizados para evaluar el estado de explotación de una especie son multidimensionales, ya que sus resultados dependen de complejas interconexiones entre la información contenida en los datos de entrada, los supuestos sobre parámetros biológicos y pesqueros, y la aplicación de sub-modelos que definen procesos como el reclutamiento, la supervivencia, el crecimiento y la verosimilitud de sus estimaciones. Por lo tanto, los resultados no representan una verdad absoluta, sino que son hallazgos que sirven para informar la toma de decisiones y proponer esquemas de mejora.

A partir de los principales resultados del modelo implementado en la [Etapa de Descarte](#) y de los escenarios que evaluaron el [impacto de los descartes históricos y proyectados](#), la evaluación de la merluza del Pacífico en el Golfo de California, México, revela diversas áreas que requieren atención. La formulación de un plan de investigación para abordar estas áreas podría constituir un elemento fundamental para desarrollar esquemas de decisiones de ordenamiento basados en modelos de evaluación. Las siguientes secciones describen algunas de estas áreas, exponiendo las dificultades y posibles líneas de acción.

3.1 Crecimiento

En las tres etapas de evaluación (CPUE, Crucero y Descarte), el modelo estimó tallas modales similares para los grupos de edad incorporados en la dinámica poblacional (15 grupos). Sin embargo, durante la Etapa Descartes se obtuvo una moda muy pequeña (~ 4 cm) para el grupo de edad 1 (Figura 3.1). Esta moda es requerida para sustentar la fracción de la población que comienza a ser vulnerada por la pesquería, y no debe ser considerada como un grupo de edad que es completamente explotado por la pesquería, sino, parte de los grupos de edad que componen el descarte (aproximadamente los primeros tres grupos de edad en la Figura 3.1).

Dado que la determinación de esta moda es un artificio del modelo para representar el rango de tamaños de los peces que conforman la fracción descartada, resulta conveniente realizar un análisis más detallado sobre dicha fracción. En la [Sección de Datos](#) del sitio web

se llevó a cabo una exploración preliminar donde se identificaron peces cercanos a los 10 cm, pero en general, la talla media de los descartes oscila alrededor de 30 cm.

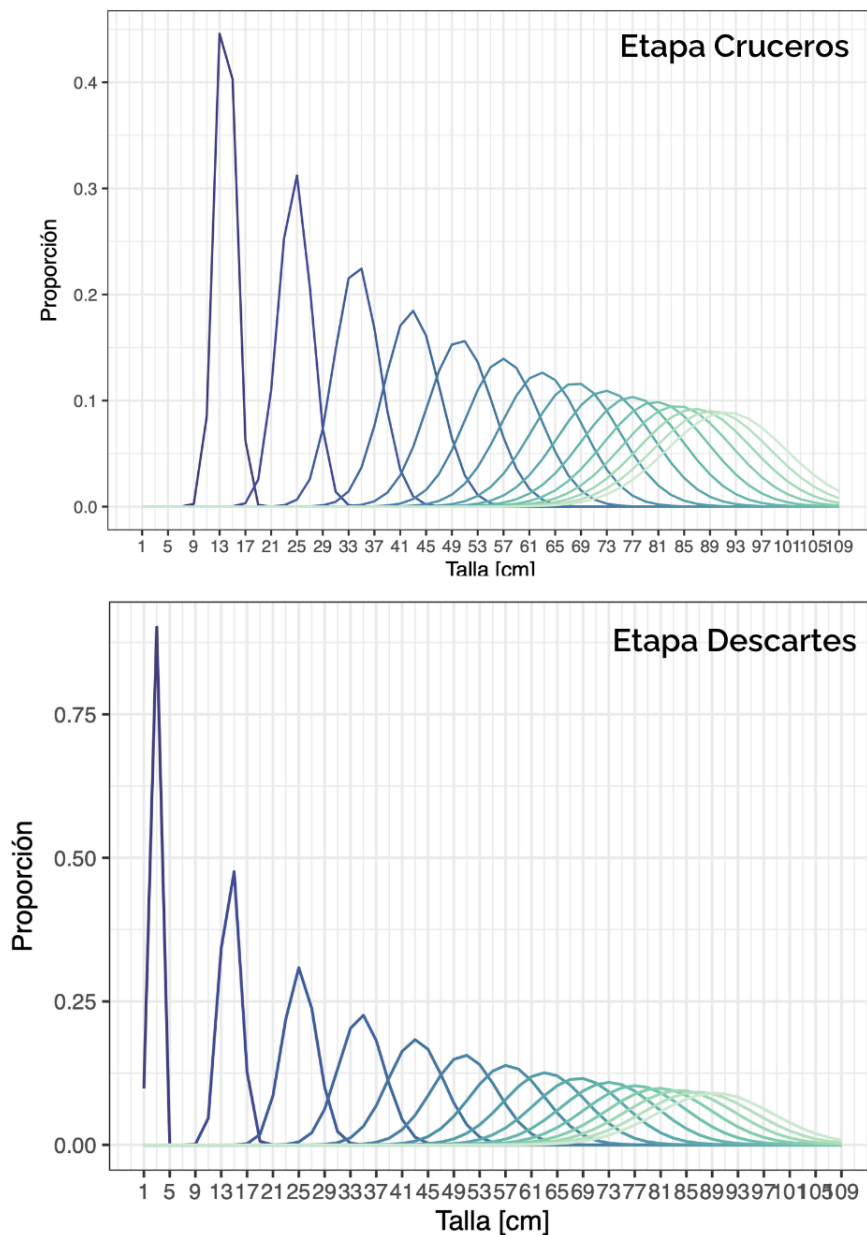


Figura 3.1 – Distribución de tallas en los grupos de edad (1-15) utilizados en el modelo de evaluación utilizados en la Etapa Crucero y Etapa Descartes.

La naturaleza multinomial de las composiciones de tamaños, que incluyen capturas comerciales y descartes, facilita la estimación de los parámetros de crecimiento. Asimismo, el crecimiento no influye en las medidas de manejo, ya que no hay restricciones relacionadas con el control del potencial biológico. Estas características deberían incentivar la realización de pruebas de sensibilidad con múltiples curvas de crecimiento, especialmente en los valores extremos, asegurando el uso de parámetros adecuados, como la mortalidad natural.

Recomendación: Llevar a cabo análisis de sensibilidad como parte estándar de la evaluación con diferentes parámetros de crecimiento

Es importante profundizar en el estudio de la persistencia de las tallas modales. ¿Se trata de una característica inherente a la merluza o está relacionada con la agrupación espacial y temporal de los datos? Resulta esencial poder diferenciar entre estas dos posibilidades. Por consiguiente, es necesario llevar a cabo un análisis espacial y temporal más detallado a una escala menor.

Recomendación: Comparar este análisis con el de los enfoques más estándares como Multifan-CL

El modelo de evaluación estima internamente la talla modal del primer grupo de edad, y en base a este valor construye la curva de crecimiento utilizando parámetros de crecimiento fijos (e.g., L_{∞} , k , t_0). Un modelo alternativo es utilizar la aproximación Multifan-CL (<http://www.multifan-cl.org/>), donde se incluye las correlaciones de los parámetros, los cuales son estimados internamente. Este es el método más apropiado dado que significa que toda la incertidumbre en el parámetro de crecimiento se traspasa directamente a la evaluación.

Recomendación: Incorporar la estimación de los parámetros de crecimiento internamente en el modelo de evaluación de stock utilizando varias combinaciones de distribuciones a priori informativas y no informativas

Otra cuestión es si la edad máxima de 15 años es adecuada. Teniendo en cuenta otras especies similares y los datos disponibles, es probable que lo sea, pero en esta evaluación no se ofrece evidencia independiente que confirme la validez de este valor crucial que influye en el crecimiento y en la selección del parámetro M .

3.2 Selectividades

Se efectuó un cambio único en el patrón de explotación que provocó diferencias significativas en las curvas de selectividad (Figura 3.2). Las artes de arrastre son de un tamaño importante y presentan un bajo nivel de selectividad de especies debido al uso de mallas pequeñas. En 2018, el gobierno de México implementó un cambio sustancial en el diseño de los paños de redes (regulación del tamaño de malla) y realizó modificaciones en la vigencia de permisos específicos. El ajuste en el patrón de explotación parece ser razonable realizarlo dos o tres años después de los cambios de reglamentación, ya que los efectos sobre la población no son inmediatos y, además, es necesario considerar el período de adaptación requerido por los pescadores.

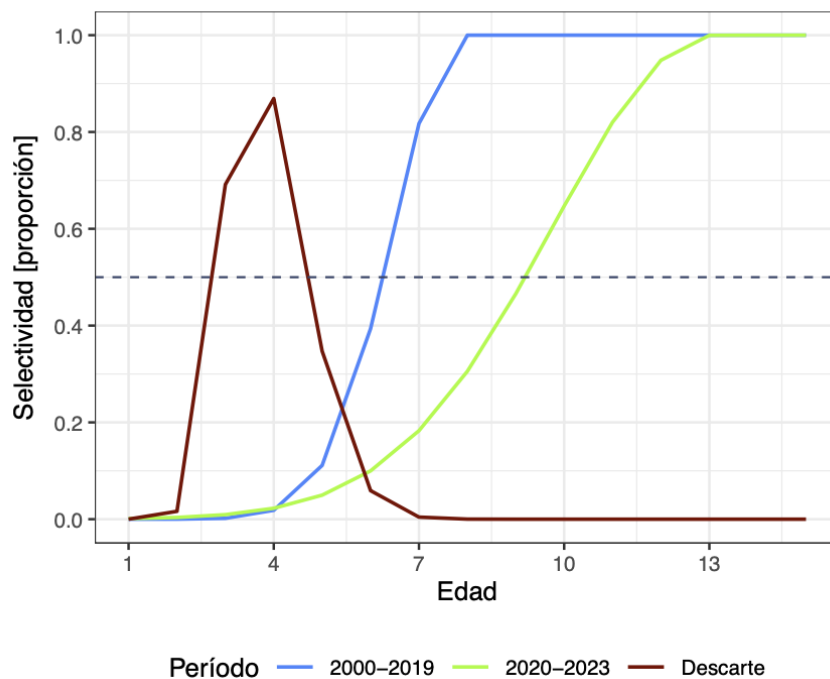


Figura 3.2 – Ojivas de selectividad de la flota para los períodos 2000-2019 y 2020-2023. Línea segmentada corresponde al 50% de selectividad.

Aun no es claro cómo estos cambios podría influir en las tasas de captura de la flota. Dado que solo hay restricciones sobre la configuración y construcción de las redes, y no sobre las artes de pesca en sí mismas, es posible que se hayan implementado diferentes métodos o tácticas de pesca en la pesquería, lo cual no se refleja claramente en los datos estructurados. Para determinar el año de cambio en las curvas de selectividad, es necesario analizar información sobre la velocidad de arrastre y otras características abióticas, como la obtenida de registros de sonares y radares.

Recomendación

Compilar datos históricos y futuros sobre la configuración y construcción de las artes de pesca, con el fin de entender el impacto de las nuevas regulaciones en las tasas de captura y selectividad. Además, si es factible, recolectar información sobre la velocidad utilizando el equipo de monitoreo de las embarcaciones.

3.3 Reclutamientos

Se revisaron varios métodos para obtener una estimación de B_0 , éstos fueron:

1. B_0 dinámico por año buscando una condición estado estable.
2. B_0 como la biomasa al inicio del periodo de evaluación perturbada por un desvío aleatorio.

3. Utilizar R_0 del modelo de evaluación de stock (cuando se ajusta una relación stock-recluta como parte del modelo de evaluación) para estimar B_0 como $SPR_0 * R_0$.
4. Utilizar el reclutamiento promedio del periodo de evaluación (no se ajusta una relación stock-recluta como parte del modelo de evaluación) para estimar B_0 como $SPR_0 * R_{promedio}$.

El método utilizado en esta evaluación fue el método 3, es decir, el modelo asumió que el año 2000 está en equilibrio bajo un estado con pesca anterior, lo que se refleja en una estructura de edades alterada desde una exponencial, tal como lo define una cohorte de la forma $N * e^{-Z * \epsilon_a}$, donde ϵ son desviaciones en cada edad a . Esto conduce a la estimación de un R_0 en equilibrio y sin pesca a partir de un modelo SPR (biomasa desovante por recluta), desde donde se esperara que los reclutamientos anuales se desvíen para describir la dinámica de las cohortes (i.e., fuerza de las clases anuales).

El principal inconveniente en esta evaluación fue que las desviaciones en los reclutamientos alrededor de R_0 fueron mínimas durante los años en los que no se disponía de composiciones de tamaños (ver Figura 2.7). Aunque bajo este esquema no se anticipa que las desviaciones de reclutamientos para los años posteriores al 2000 sean siempre positivas, se esperan variaciones para que el valor de R_0 determine la escala de la población. Es factible enfrentar esta imprecisión mediante la realización de varios análisis de sensibilidad, que, aunque requieren tiempo de análisis, podrían indicar cómo mejorar las composiciones de tamaños y qué supuestos sobre R_0 son viables, como, por ejemplo, los niveles de varianza.

Recomendación: Avanzar con el método de equilibrio SPR, ya sea estimando el agotamiento en 2000, o llevando los datos y el modelo hacia atrás a un periodo inicial y objeto de menor pesca.

La implementación es algo inusual, ya que B_0 para cada año pretérito se calcula a partir del R_0 de ese año y M aplicado a las edades restantes en ese año. Esto implica que el coeficiente de variación del reclutamiento está muy influenciado por el índice de reclutamiento de ese año. El método utilizado en otras pesquerías busca estimar la matriz completa como es habitual, con y sin mortalidad por pesca (F). Esto significa que cualquier número en la matriz de año y edad está influenciado por los valores de los números diagonales del pasado (incluyendo una serie de R_0 según la edad y el año).

Recomendación: Implementar la versión dinámica de los índices PBR utilizando un método en el cual los números del año anterior afectan la matriz $F=0$.

Este método calcula las dos matrices de abundancia (con y sin pesca) de igual forma, excepto donde F es fijo en 0. Esto reduciría la influencia de un R_0 de un año específico. También se puede utilizar el R_0 medio calculado utilizando ya sea una serie completa

de una parte de una serie de tiempo para crear un B_0 estadístico y utilizar este valor en el coeficiente.

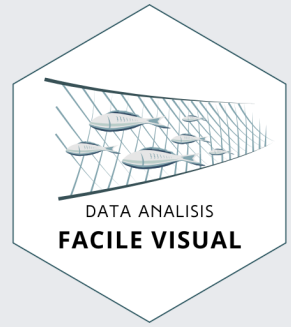
3.4 Calidad y confiabilidad de las series de datos

La pesquería de merluza ha sido beneficiada por el programa de recopilación de datos implementado por EDF, gracias a la calidad de la información registrada a bordo de las embarcaciones y las fracciones muestreadas (captura comercial y descartada). La información utilizada en esta evaluación proviene de diversas bases de datos, incluido el programa de EDF, y requiere habilidades avanzadas en el manejo de bases de datos para desarrollar series de datos coherentes y con el menor sesgo posible. En muchos aspectos, esta pesquería debería considerarse rica en datos en comparación con otras, siempre que se mantengan programas como el de EDF en el futuro.

Es fundamental señalar que existen índices de abundancia tanto dependientes como independientes de la pesquería. No obstante, dichos datos podrían ser mejor aprovechados mediante análisis más detallados, como modelos más complejos de estandarización de la CPUE y reconstrucciones de las estimaciones de cruceros para extraer información auxiliar, como las tallas medias de diferentes fracciones de la población, para el modelo. Esto implica que el equipo de evaluación debe enfrentar ciertas dificultades que requieren la creación de un entorno colaborativo entre los equipos de monitoreo, cumplimiento y evaluación, junto con la industria y los administradores. Esto facilitará una revisión exhaustiva de los datos de entrada al modelo, permitiendo investigar diferentes perspectivas y experiencias.

Referencias

- David A. Fournier, Hans J. Skaug, Johnnoel Ancheta, James Ianelli, Arni Magnusson, Mark N. Maunder, Anders Nielsen, and John Sibert. Ad model builder: using automatic differentiation for statistical inference of highly parameterized complex nonlinear models. *Optimization Methods and Software*, 27(2):233–249, 2012. ISSN 1029-4937. doi: 10.1080/10556788.2011.597854. URL <http://dx.doi.org/10.1080/10556788.2011.597854>.
- Arni Magnusson, André E Punt, and Ray Hilborn. Measuring uncertainty in fisheries stock assessment: the delta method, bootstrap, and mcmc. *Fish and Fisheries*, 14(3): 325–342, May 2012. ISSN 1467-2979. doi: 10.1111/j.1467-2979.2012.00473.x. URL <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-2979.2012.00473.x>.
- André E. Punt, Felipe Hurtado-Ferro, and Athol R. Whitten. Model selection for selectivity in fisheries stock assessments. *Fisheries Research*, 158:124–134, October 2014. ISSN 0165-7836. doi: 10.1016/j.fishres.2013.06.003. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.fishres.2013.06.003>.
- OG Zamora-García. *Ecología pesquera y dinámica poblacional de la merluza nortea Merluccius productus (Ayres, 1855) del norte del golfo de California*. PhD thesis, Tesis Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad México, 2021.
- Oscar G. Zamora-García, J. Fernando Márquez-Farías, Aristóteles Stavrinsky-Suárez, Carlos Díaz-Avalos, Noemí I. Zamora-García, and Raúl E. Lara-Mendoza. Catch rate, length, and sex ratio of pacific hake (merluccius productus) in the northern gulf of california. *Fishery Bulletin*, 118(4):365–379, December 2020. ISSN 0090-0656. doi: 10.7755/fb.118.4.6. URL <http://dx.doi.org/10.7755/FB.118.4.6>.



Anexo 1

ETAPA DESCARTE

Incorporando descartes

Elaborado por:

Juan-Carlos Quiroz, PhD
jcquiroz@facilevisual.com

Mandante:

Environmental Defense Fund (EDF)
México

Noviembre, 2024

Los datos obtenidos a través del programa de observadores científicos, implementado por el Environmental Defense Fund (EDF), demuestran la viabilidad de modelar la fracción de peces descartados. En general, es posible obtener estimaciones de la mortalidad por pesca y el patrón de vulnerabilidad según el tamaño de los descartes. Estas métricas son adecuadas para analizar los posibles impactos futuros derivados de diversos escenarios en relación con la magnitud y el rango de tamaños de los peces descartados.

Tabla de contenidos

1	Supuestos	5
2	Desempeño del modelo	6
2.1	Capturas	6
2.2	Índices de abundancia	7
2.3	Tallas medias	7
2.4	Composiciones de tallas	8
2.5	Patrones de selectividad	9
2.6	Crecimiento	9
3	VARIABLES DE ESTADO	13
3.1	Biomásas	13
3.2	Mortalidad por pesca	14
3.3	Reclutamientos	15
4	Estado de explotación	17
4.1	Diagrama de Kobe	17
4.2	Proyección biomasa desovante	18
4.3	Proyección reclutas	20
4.4	Proyección de capturas	21
5	Recomendaciones	23
5.1	Capturas versus reclutamientos	23
5.2	Datos estructurados	23
5.3	Proyecciones	24
5.4	Alcance de la evaluación	24

Listado de Figuras

2.1	Ajustes a series de captura para el período 2000 - 2023	6
2.2	Estimaciones (línea) y observaciones (puntos) de índices de abundancia. . .	7
2.3	Ajustes a series de talla anual media para el período 2000 - 2023	8
2.4	Ajustes a las estructuras de tamaños obtenidas desde la captura comercial. Años sin barras se muestra la fracción vulnerable estimada por el modelo. .	10
2.5	Ajustes a las estructuras de tamaños obtenidas desde la captura descartada. Años sin barras se muestra la fracción vulnerable estimada por el modelo. .	11
2.6	Ojivas de selectividad de la flota para los períodos 2000-2019 y 2020-2023. Línea segmentada corresponde al 50% de selectividad.	12
2.7	Distribución de tallas en los grupos de edad (1-15) utilizados en el modelo de evaluación.	12
3.1	Biomasa desovante (BD), biomasa total (BT) y biomasa vulnerable (BV) para el período 2000 - 2023	13
3.2	Reducción de la biomasa desovante, zona sombreada representa intervalos al 90%. Línea segmentada representa un 40% de reducción de la biomasa en equilibrio sin pesca	14
3.3	Mortalidad por pesca para el período 2000 - 2023. Zona sombreada representa intervalos al 90%.	15
3.4	Reclutamientos al grupo de edad 1 para el período 2000-2023, intervalos (zona sombreada) al 90%. Línea gruesa (azul) corresponde a los reclutamientos predichos por la relación stock-recluta. Línea segmentada representa el reclutamiento bajo condiciones de equilibrio sin pesca.	16
3.5	Desviaciones de los reclutamientos para el período 2000-2023. Barras de error corresponden al 90%.	16
4.1	Diagrama Kobe mostrando la trayectoria de explotación para merluza del norte.	18
4.2	Biomasa desovante para diferentes ponderadores, con proyecciones para el período 2024-2042.	19
4.3	Biomasa desovante proyectadas para ponderadores entre F1=0% y F8=20%. La zona sombreada muestra el intervalo de confianza al 90% de 300 proyec- ciones, mientras que la línea representa el promedio.	19
4.4	Reclutamientos proyectados para ponderadores entre F1=0% y F8=20%. La zona sombreada muestra el intervalo de confianza al 90% de 300 proyecciones, mientras que la línea representa el promedio. La línea segmentada representa el reclutamiento promedio durante el periodo 2013-2017.	20
4.5	Capturas comerciales proyectadas para ponderadores entre F1=0% y F8=20%.	22
4.6	Capturas descartadas proyectadas para ponderadores entre F1=0% y F8=20%.	22

1.0 Supuestos

Este escenario se basa en varios supuestos biológicos, pesqueros y de implementación, los cuales fueron respaldados por información y datos recopilados por el programa de observadores científicos de Environmental Defense Fund (EDF), México, entre los años 2015 y 2023. A continuación se describen las especificidades de los supuestos más significativos.

Captura

Para los años previo al 2015 donde no se cuenta con registros sobre captura descartada, la proporción anual de descartes respecto de la captura total fue fija e igual a 14.67%. Este porcentaje corresponde a los descartes anuales promedios observados durante la implementación del programa (ver [Datos/Descartes](#)).

Selectividad de los descartes

Utilizando los datos del muestreo biológico realizado sobre la fracción descartada, las tallas media y máxima de selectividad (ver [Datos\Estructutados](#)) se utilizaron para parametrizar la curva de selectividad tipo domo (*i.e.*, doble-normal).

Crecimiento

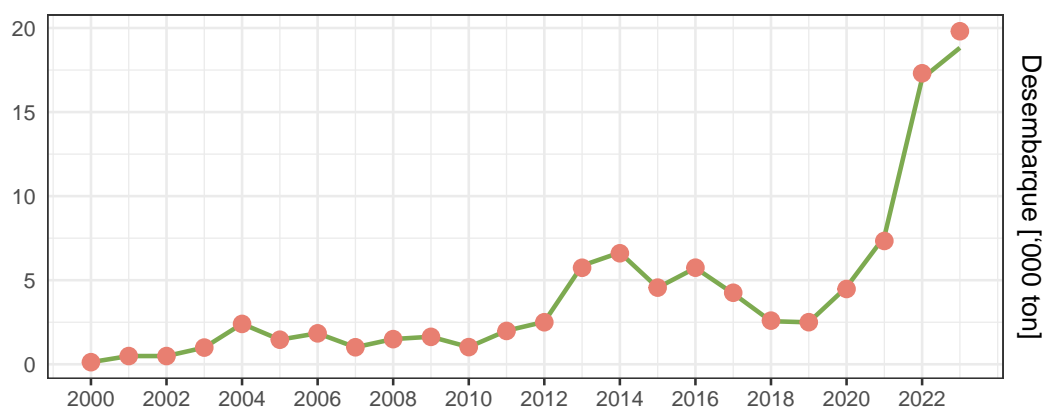
El crecimiento fue modelado en edad utilizando una clave talla-edad basada en los parámetros descritos por el método de von-Bertalanffy (VBGM) para sexos conjunto. [Zamora-García et al. \(2020\)](#) proporcionaron estimaciones de longitud infinita (L_{∞}), tasa de crecimiento individual (k), y edad a longitud cero (t_0). Especificaciones sobre los procesos poblacionales, incluyendo el crecimiento y la relación longitud-peso, se muestran en [Datos\Modelos](#).

Los análisis incorporados en este escenario de evaluación están respaldados por varios análisis complementarios o de respaldo descritos en el [sitio web](#) de esta asesoría. Se recomienda al lector visitar este sitio para comprender todos los elementos que acompañan esta evaluación.

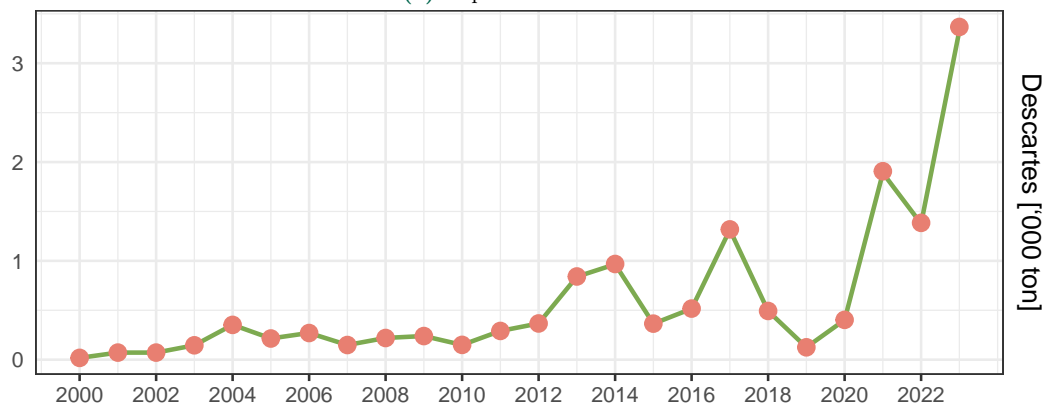
2.0 Desempeño del modelo

2.1 Capturas

Las capturas anuales de tipo comercial y descartada fueron parametrizadas para obtener estimaciones de tasas de mortalidad por pesca (ver Sección 3.2). Al representar cada año las fracciones de captura comercial y descartada mediante parámetros, se logran ajustes precisos (Figuras 2.1a y 2.1b), lo cual es muy similar a emplear datos de captura observada (Botsford et al., 2019). Los incrementos de captura en los últimos tres años son reproducidos satisfactoriamente, permitiendo evaluar el impacto en las variables de estado (ver Sección 3).



(a) Capturas comerciales



(b) Capturas descartadas

Figura 2.1 – Ajustes a series de captura para el período 2000 - 2023

2.2 Índices de abundancia

Las Figuras 2.2a y 2.2b presentan los ajustes realizados a los índices de abundancia, estandarizados a captura por día de viaje. Ambas series muestran predicciones satisfactorias, aunque se observan desviaciones menores en las estimaciones de cruceros de área barrida. En particular, la biomasa en el año 2005 resulta inviable de reproducir (Figura 2.2b), ya que varios de los parámetros del modelo, como el reclutamiento al inicio bajo condiciones sin pesca (R_0), indican una reducción sostenida de la población desde el año 2000.

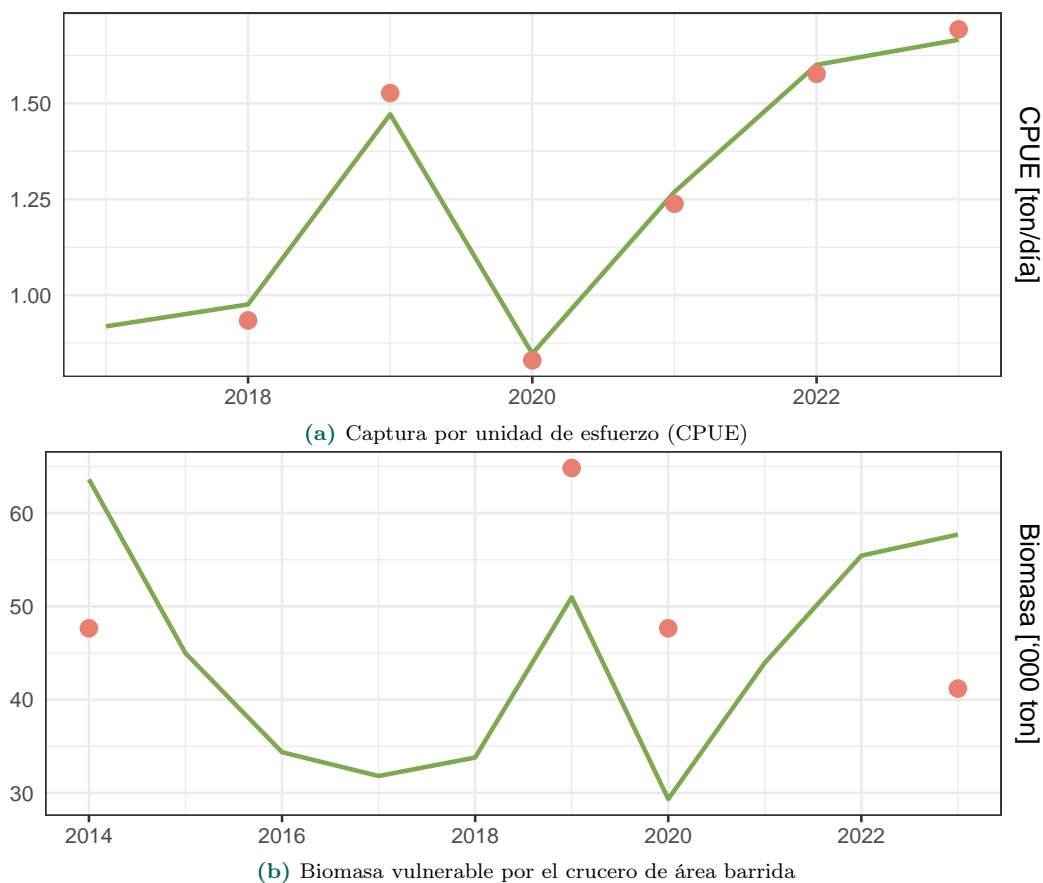


Figura 2.2 – Estimaciones (línea) y observaciones (puntos) de índices de abundancia.

2.3 Tallas medias

Una medida importante para evaluar el rendimiento del modelo en la reproducción de datos estructurados, como tallas o edades, es examinar su capacidad para replicar la talla promedio de las capturas. En general, las tallas medias estimadas reflejan las tendencias de las fracciones de peces que conforman la captura comercial (Figura 2.3a) y la descartada (Figura 2.3b). En particular, las tallas medias de los años 2016 y 2017 para la captura descartada son poco representadas, posiblemente debido a la correlación entre los reclutamientos que generaron estas cohortes y la flexibilidad del modelo para reproducir las

desviaciones del reclutamiento.

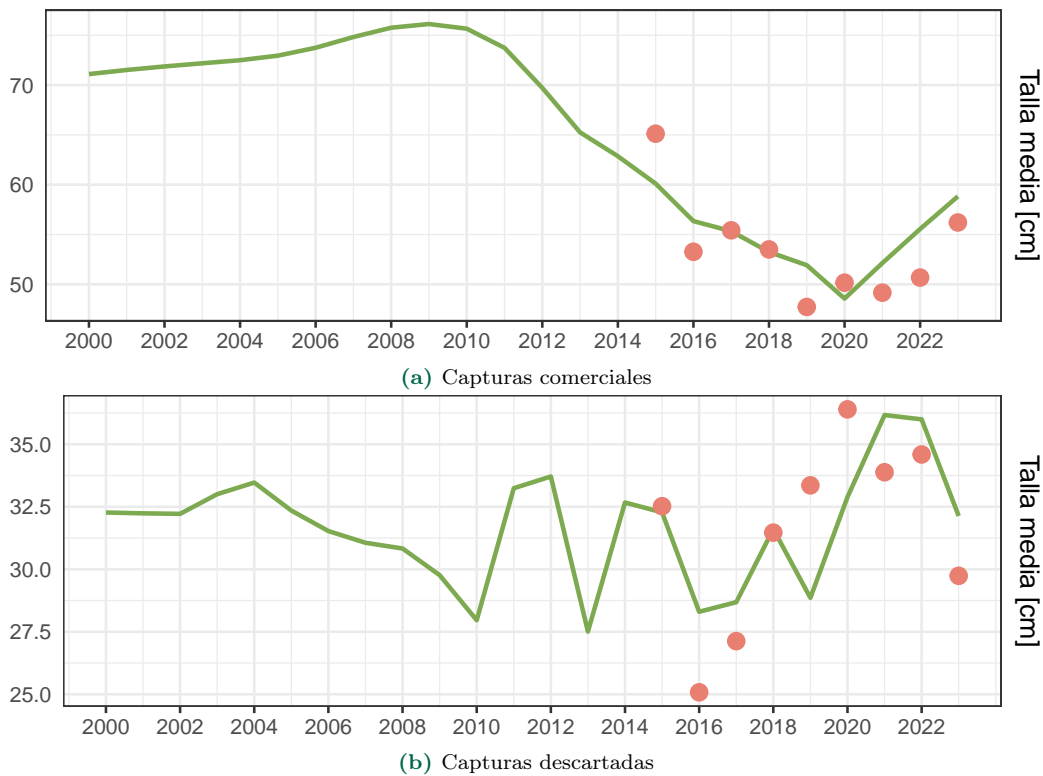


Figura 2.3 – Ajustes a series de talla anual media para el período 2000 - 2023

2.4 Composiciones de tallas

El modelo permite reproducir tanto el rango de tamaños vulnerables como la entrada de cohortes representadas en las series de composiciones de tamaños de la captura comercial y descartada (Figuras 2.4 y 2.5). En el caso de la captura comercial, se implementaron dos periodos de selectividad (con un quiebre el año 2020) debido a cambios en la estrategia de pesca detectados durante la implementación del programa de observadores científicos, como también durante las instancias de diálogo con los pescadores.

La dinámica de pesca debe adaptarse a las variaciones en las preferencias de los pescadores respecto a las áreas de pesca y los tamaños de los peces. Estas decisiones son complejas de modelar, ya que exigen análisis de datos adicionales que respalden cambios frecuentes en los patrones de selectividad. No obstante, es aconsejable desarrollar este tipo de análisis para crear escenarios de evaluación alternativos que permitan evaluar el impacto de la dinámica pesquera en las variables de estado.

2.5 Patrones de selectividad

La Figura 2.6 ilustra la forma de los patrones de selectividad para la captura comercial y los descartes. Los bloques de selectividad de la captura comercial indican una preferencia hacia peces de mayor tamaño después del año 2020. A partir de las composiciones de tamaños (Figuras 2.4 y 2.5), se observa que la progresión modal de las cohortes se manifiesta en los tamaños de los peces descartados y, en menor medida, en la estructuras de talla comercial. Por consiguiente, resulta crucial establecer bloques de selectividad que representen los cambios en las preferencias o estrategias de la flota.

El patrón de selectividad de los descartes se centra en peces pequeños de edad 4 años. Los programas de observadores científicos son fundamentales, ya que, a diferencia de las composiciones de tamaño de la flota comercial, la dinámica basada en el tamaño de los descartes es más rápida y variable que la de la fracción comercial.

2.6 Crecimiento

La dinámica de cohortes se modeló utilizando una clave talla-edad empírica fundamentada en los parámetros de crecimiento para un conjunto de 15 edades. Esta clave incluye una talla de reclutamiento que indica el tamaño promedio de los peces que empiezan a ser capturados por la pesquería. La Figura 2.7 ilustra los grupos de edad considerados en el modelo, con un primer grupo de edad en torno a 4 cm de talla media.

La variación del tamaño de los peces en cada grupo se modeló asumiendo una distribución normal con media y varianza conocidas. La evolución del tamaño medio entre los grupos se deriva del crecimiento de von Bertalanffy, mientras que la varianza es proporcional a un coeficiente de variación constante de $cv = 0.2$.

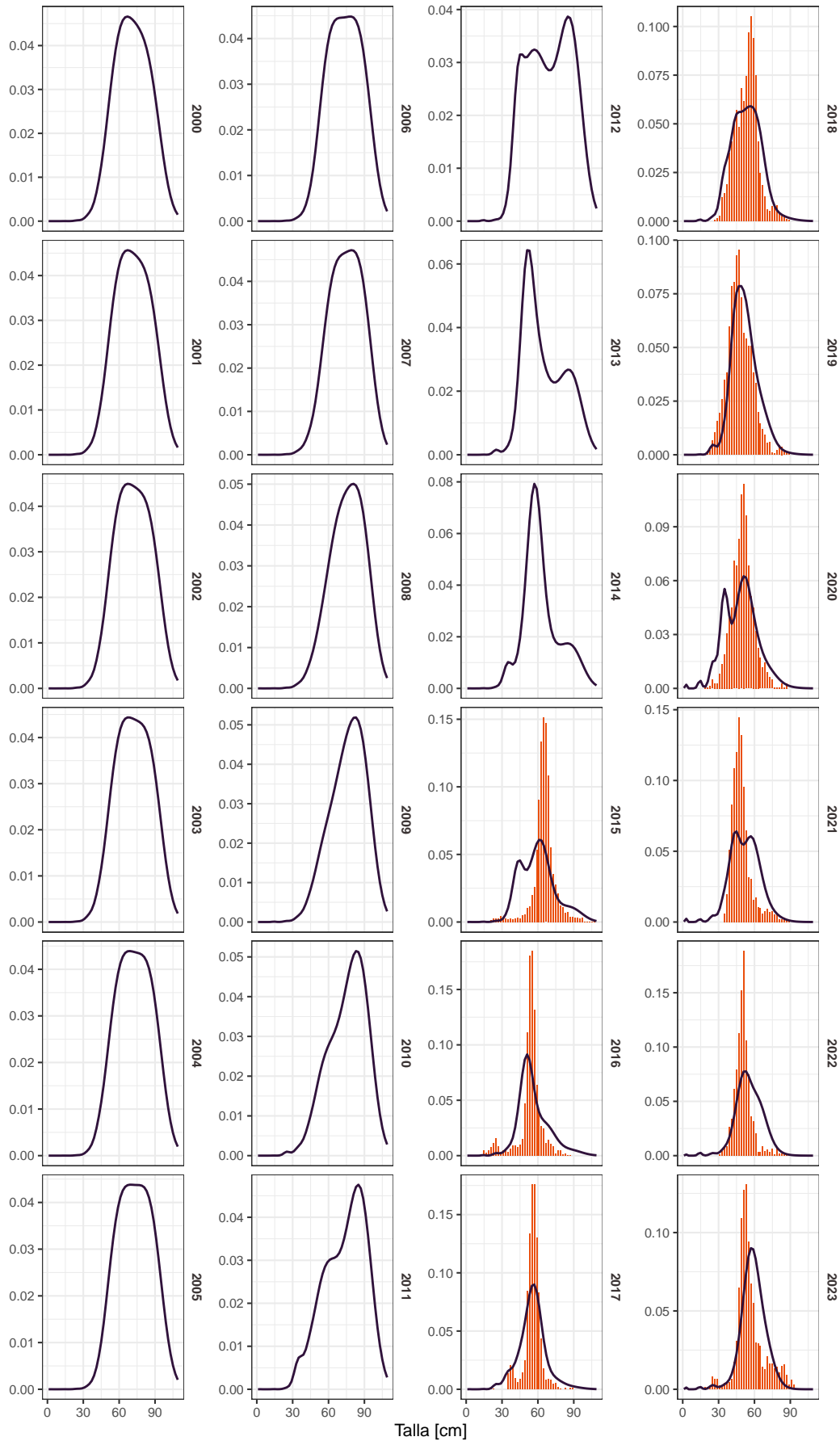


Figura 2.4 – Ajustes a las estructuras de tamaños obtenidas desde la captura comercial. Años sin barras se muestra la fracción vulnerable estimada por el modelo.

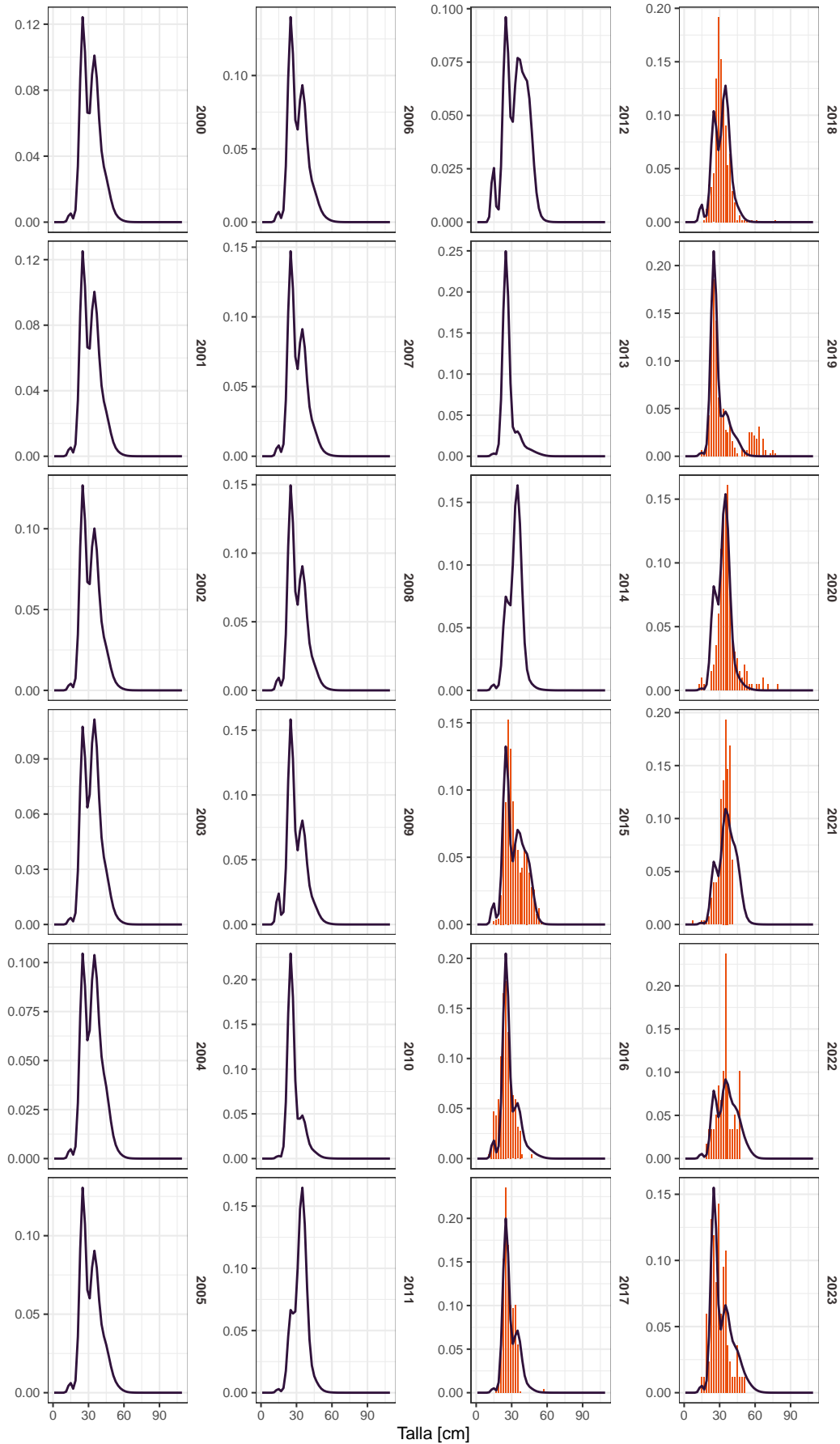


Figura 2.5 – Ajustes a las estructuras de tamaños obtenidas desde la captura descartada. Años sin barras se muestra la fracción vulnerable estimada por el modelo.

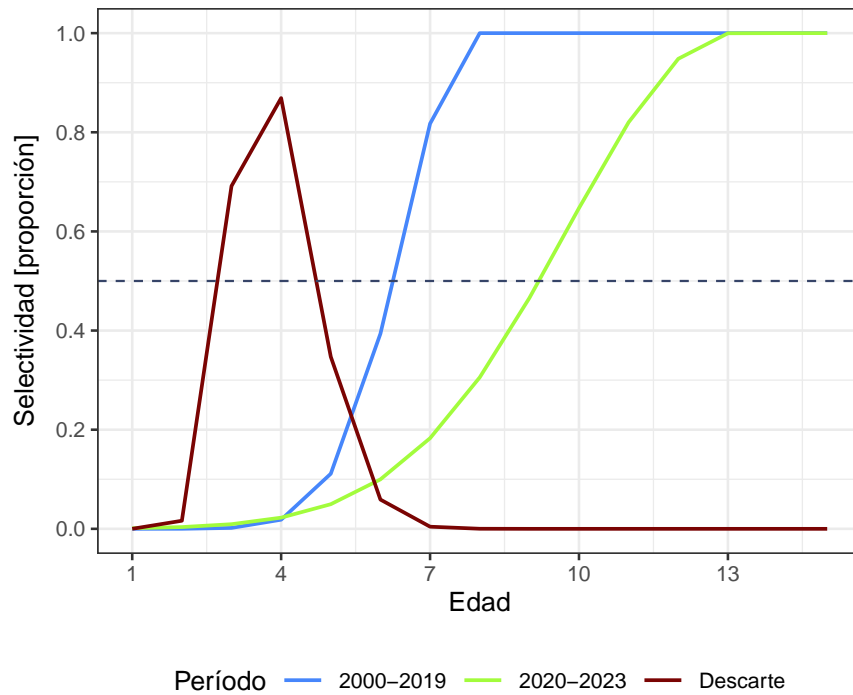


Figura 2.6 – Ojivas de selectividad de la flota para los períodos 2000-2019 y 2020-2023. Línea segmentada corresponde al 50% de selectividad.

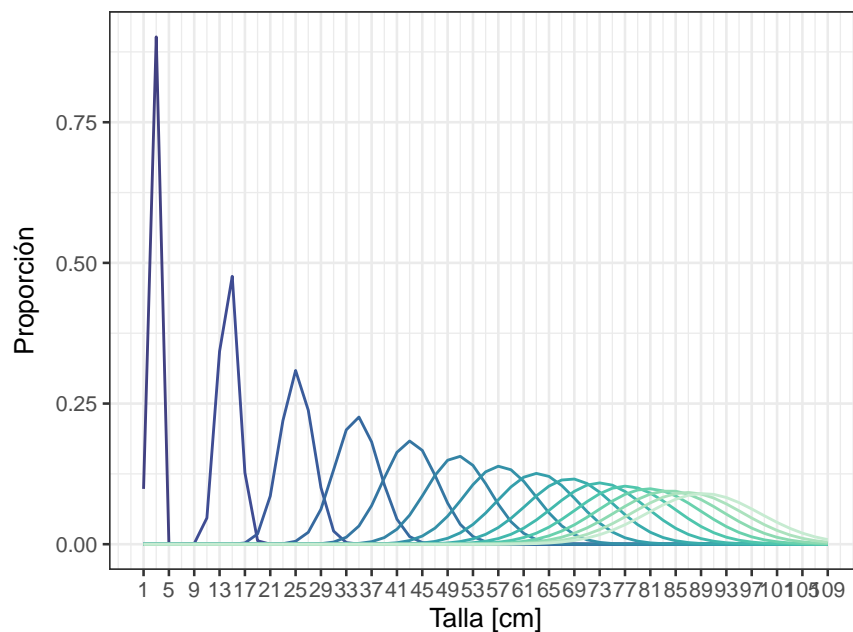


Figura 2.7 – Distribución de tallas en los grupos de edad (1-15) utilizados en el modelo de evaluación.

3.0 Variables de estado

3.1 Biomosas

Cuatro tipos de biomasa (Figura 3.1) son relevantes para deducir sobre el estado de explotación de la merluza del norte. Las biomosas poblacionales (BT, BD, BV) muestran un descenso desde el año 2000, que se estabiliza en el año 2016 principalmente debido a las altas estimaciones de reclutamiento, que se evidencian gracias a la información estructurada. En los años más recientes, se observa un crecimiento en las biomosas (Figura 3.1), probablemente reflejando los reclutamientos estimados entre 2013 y 2017 (ver Figura 3.4) que fueron estimados por encima del promedio histórico.

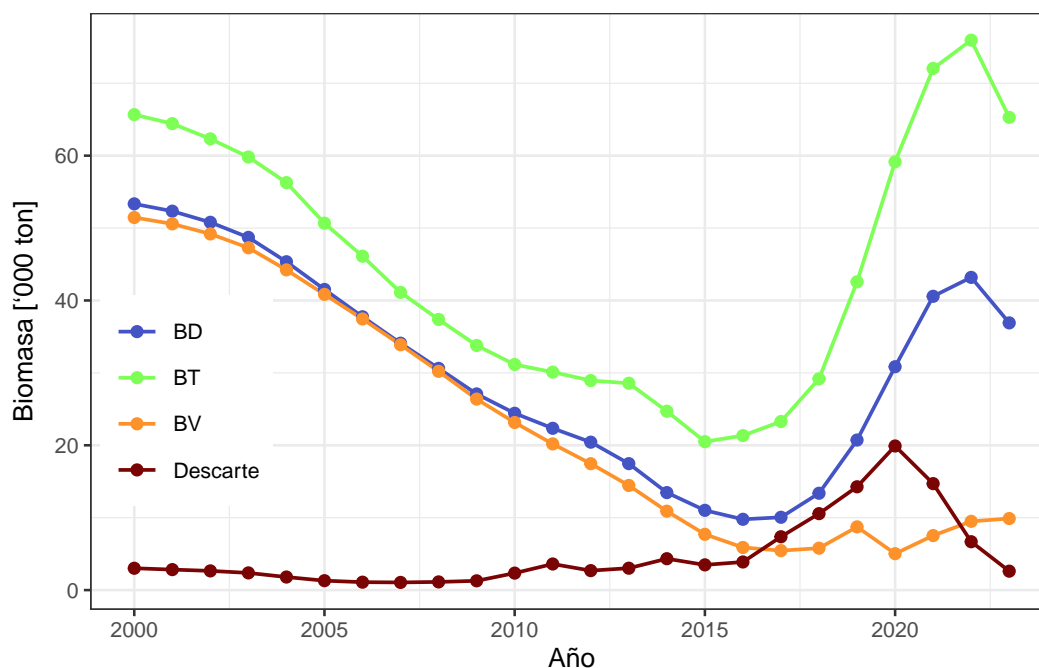


Figura 3.1 – Biomasa desovante (BD), biomasa total (BT) y biomasa vulnerable (BV) para el período 2000 - 2023

La biomasa descartada corresponde a una fracción de la biomasa total que puede ser descartada, y cuando el patrón de selectivas de la captura descarta es de tipo domo (ver Figura 2.6), refleja los porcentajes de descarte implementados (ver Sección 1). Se observan estaciones de biomasa descartada (Figura 3.1) que inician con niveles reducidos, ya que

en los primeros 10 años las capturas fueron bajas (ver Figura 2.1). Después de 2015, la magnitud del descarte aumenta porque el modelo estima reclutamientos altos, lo cual se ve reforzado por la disponibilidad de composiciones de tamaños del descarte desde 2015

Un indicador importante para definir el estado de explotación es la razón entre la biomasa desovante y la biomasa en equilibrio (sin pesca, antes del año 2000). La Figura 3.2 ilustra una reducción constante de la biomasa desovante entre los años 2000 y 2016. Posterior a un leve crecimiento, los últimos tres años (2021-2023) señalan una reducción en torno al 40%, en un rango que podría estar entre 19% y 54% (según intervalo confianza). Al comenzar el año 2000, la biomasa se había reducido al 80% debido a que las opciones integradas en el modelo indicaban que se había realizado pesca antes del año de inicio de la evaluación.

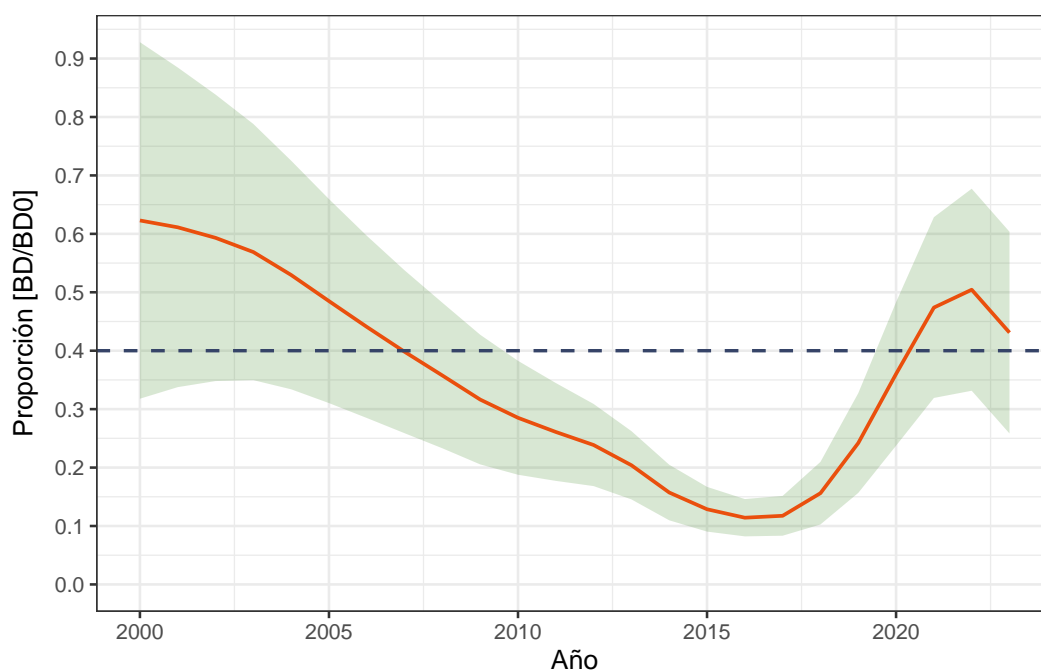


Figura 3.2 – Reducción de la biomasa desovante, zona sombreada representa intervalos al 90%. Línea segmentada representa un 40% de reducción de la biomasa en equilibrio sin pesca

3.2 Mortalidad por pesca

Después del año 2012, coincidiendo con clases anuales por sobre el promedio (ver Figura 3.5), la mortalidad por pesca resultante de la captura comercial (Figura 3.3a) y de los descartes (Figura 3.3b) incrementa como respuesta a las capturas (ver Figura 2.1). En los años anteriores al 2012, el modelo no muestra evidencia de una dinámica en la mortalidad por pesca.

La detención del crecimiento de la biomasa desovante en 2021 (ver Figura 3.2), seguida por su declive en 2023, indica un nivel significativo de mortalidad por pesca ($F > 0.5$) que debe ser considerado como referencia en los puntos biológicos de manejo. El cálculo de

puntos de referencia biológicos (PRB) no se incluye en el alcance de esta evaluación; no obstante, se deben considerar las mortalidades superiores a las registradas en el año 2020 como límites.

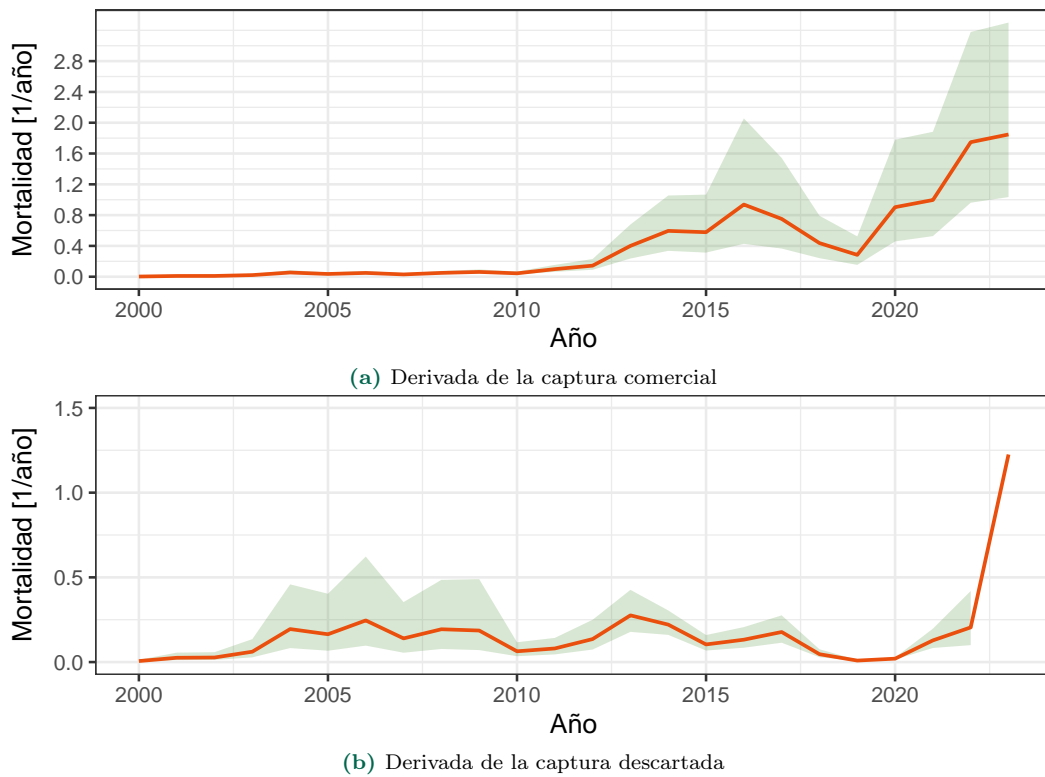


Figura 3.3 – Mortalidad por pesca para el período 2000 - 2023. Zona sombreada representa intervalos al 90%.

3.3 Reclutamientos

La dinámica de los reclutamientos es compleja (Figura 3.4). El promedio (28.6) de los reclutamientos durante los años 2011-2018, que respaldan las composiciones de tamaños de 2015-2023 (Figuras 2.4 y 2.5), sobrepasa significativamente el reclutamiento bajo condiciones de equilibrio sin pesca (11.37). Por el contrario, en los años en los que no se dispone de datos de composiciones de tamaño, el modelo tiende a estimar los reclutamientos cercanos al reclutamiento de equilibrio. Esto afecta la dinámica de las biomásas (ver Figura 3.1), que durante el período 2000-2012 evidencian un descenso con niveles de capturas reducidos (Figuras 2.1a y 2.1b).

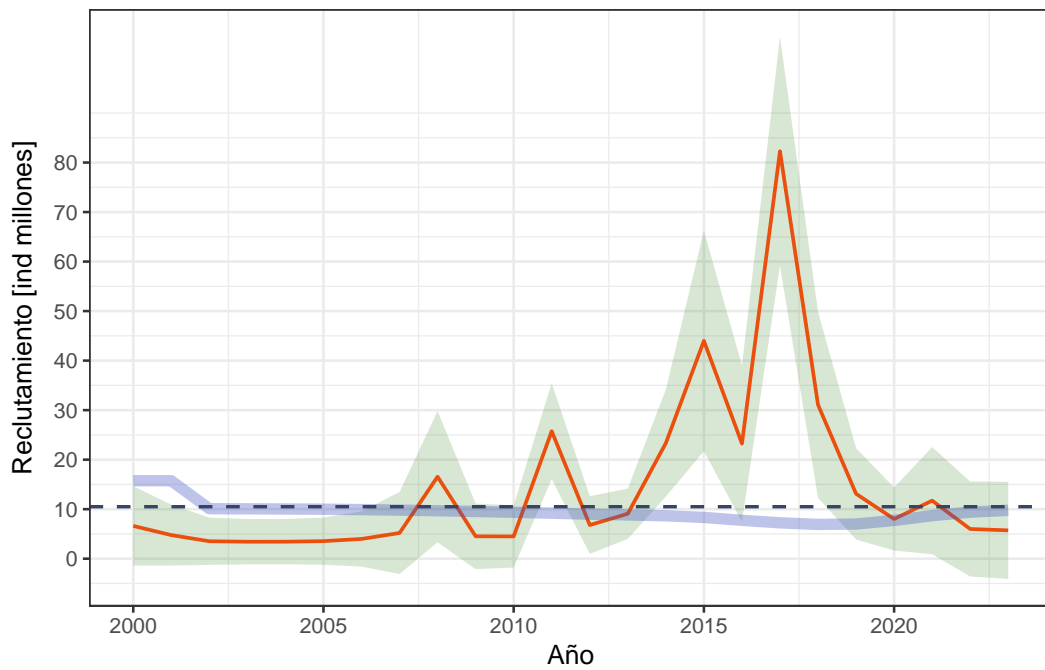


Figura 3.4 – Reclutamientos al grupo de edad 1 para el período 2000-2023, intervalos (zona sombreada) al 90%. Línea gruesa (azul) corresponde a los reclutamientos predichos por la relación stock-recluta. Línea segmentada representa el reclutamiento bajo condiciones de equilibrio sin pesca.

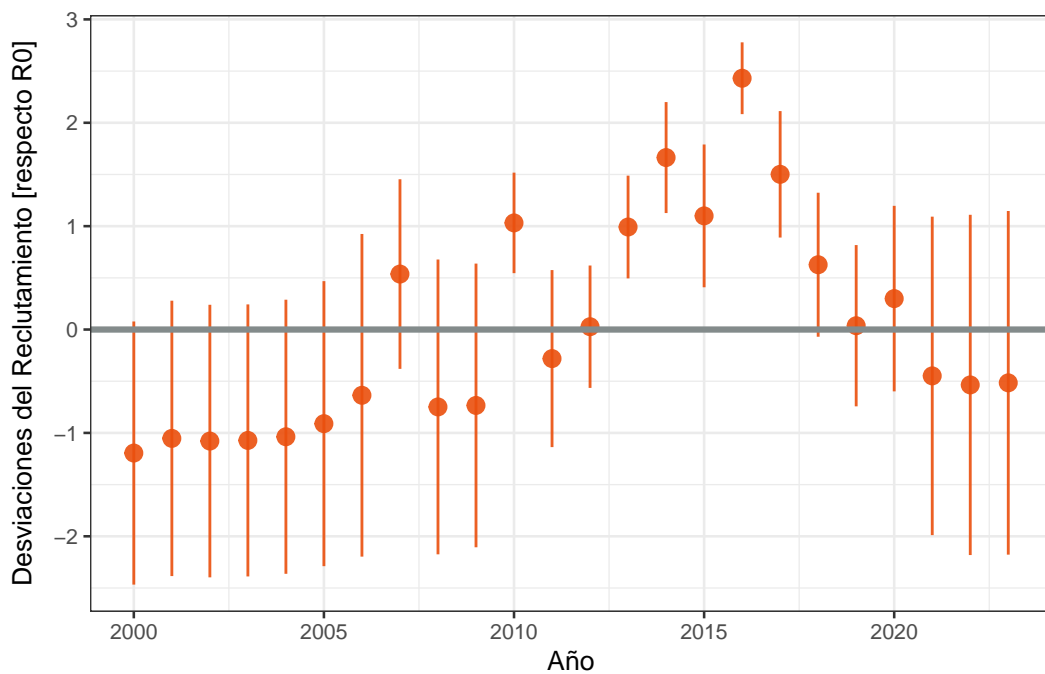


Figura 3.5 – Desviaciones de los reclutamientos para el período 2000-2023. Barras de error corresponden al 90%.

4.0 Estado de explotación

La gestión de la pesquería de merluza del norte no emplea herramientas de decisión, como una regla de captura, que integren puntos de referencia para evaluar el estado de explotación. Para aproximar el estado de explotación, se emplearon los siguientes puntos de referencia:

- Se considera que el stock de merluza del norte está sobre-explotado cuando la biomasa desovante se reduce a menos del 40% de la biomasa en equilibrio (sin pesca).
- El stock de merluza del norte se considera sobre-pescado cuando la mortalidad por pesca supera el promedio ($\bar{F} = 0.54$) de las mortalidades por pesca del período 2018-2020, derivadas de la captura comercial y descartada.

En cuanto al punto de referencia para el estado de sobre-pesca, la elección del período es arbitraria, aunque se fundamenta en los resultados del modelo que indican que al superarse este nivel de mortalidad la dinámica de la biomasa tiende a disminuir (ver Figura 3.2). El punto de referencia para la biomasa desovante se basa en los niveles de reducción observados en otros stocks de merluzas y en la relación entre el stock y el reclutamiento.

4.1 Diagrama de Kobe

Una representación sencilla del estado de explotación se lleva a cabo mediante un gráfico de fases, denominado diagrama de Kobe, en el cual la condición de explotación se refleja según el cuadrante en el que se ubica el punto (año) de interés. Este punto combina dos datos: la reducción de la biomasa desovante (*eje-x*) y el nivel de mortalidad por pesca en relación con la referencia (*eje-y*). Los cuadrantes verde y rojo indican los estados de sub-explotación y sobre-explotación/sobre-pesca, respectivamente, mientras que los cuadrantes en tonos amarillo-naranja representan etapas de transición caracterizadas por la sobre-pesca o sobre-explotación.

La Figura 4.1 muestra que entre 2008 y 2013 el stock de merluza del norte pasó a un estado de sobre-explotación bajo niveles de pesca moderados que no desencadenaron sobre-pesca. Desde 2016, el stock ha permanecido la mayor parte del tiempo en el cuadrante de sobre-explotación y sobre-pesca.

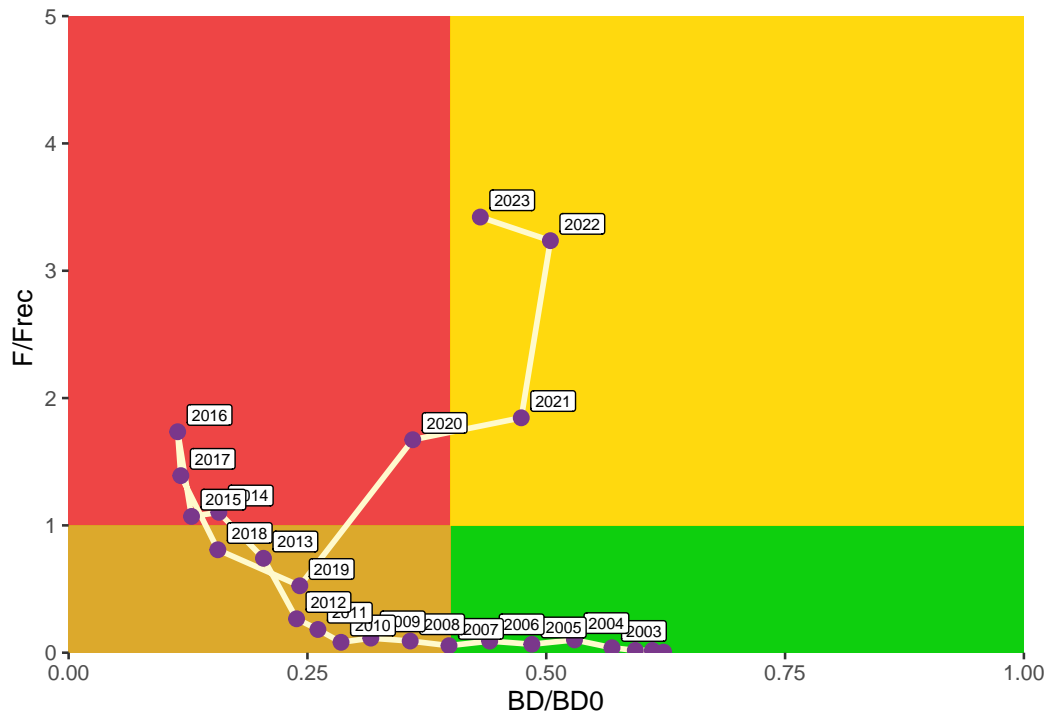


Figura 4.1 – Diagrama Kobe mostrando la trayectoria de explotación para merluza del norte.

4.2 Proyección biomasa desovante

Basado en la biomasa vulnerada por el cruce de área barrida, se proyectó la población de merluza del norte utilizando un conjunto de ponderadores de tal forma que $C_{proy} = \overline{BC}_{2023} * f_{pond}$, donde C_{proy} es la captura implementada para el periodo de proyección 2024-2042 (20 años), \overline{BC}_{2023} es el cruce de área barrida implementado el año 2023 y f_{pond} son ponderadores de F1=2%, F2=4%, F3=6%, F4=8%, F5=10%, F6=12%, F7=15% y F8=20%.

La Figura 4.2 muestra las proyecciones de la biomasa desovante bajo diferentes f_{pond} , destacando que para ponderadores menores a 12% las biomásas muestran incrementos respecto del año 2023. La Figura 4.3 presenta en paneles separados la proyección de la biomasa para cada f_{pond} , resaltando la alta sensibilidad en la recuperación de la biomasa desovante. Por ejemplo, para el ponderador F5, la recuperación de la biomasa sobrepasa tres veces la utilización del ponderador (F7 = 15%).

La incertidumbre respecto al valor central de proyección (promedio) es bastante conservadora. La ausencia de intervalos de confianza variables entre años permite la utilización de tablas de riesgo para evaluar indicadores de desempeño, como la probabilidad de superar un nivel de referencia.

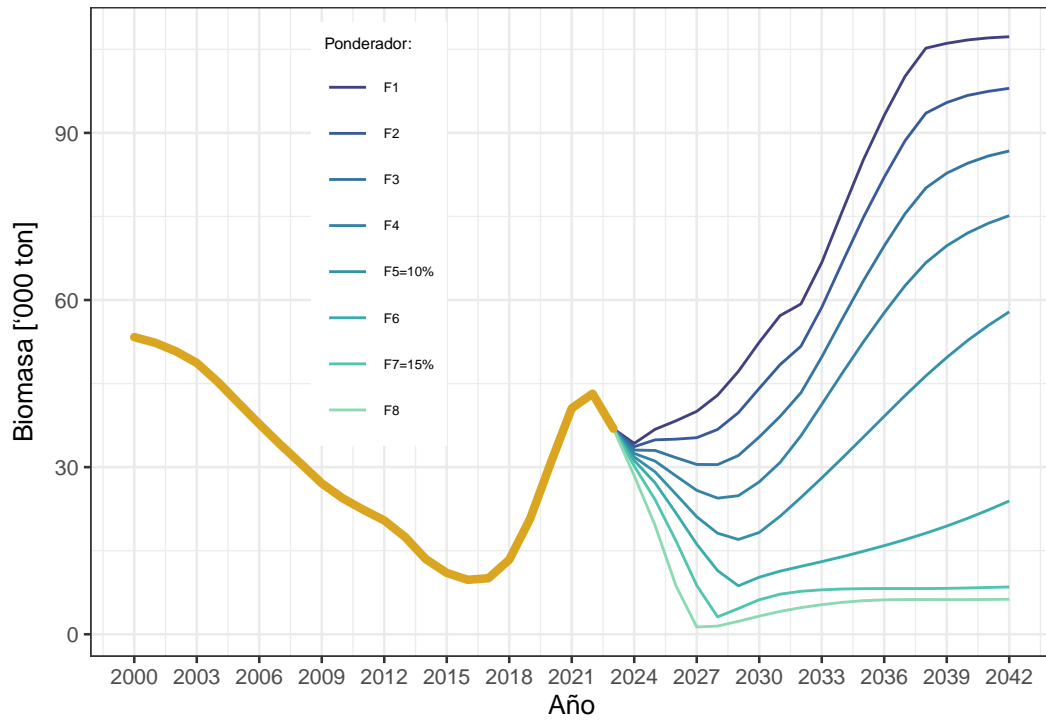


Figura 4.2 – Biomasa desovante para diferentes ponderadores, con proyecciones para el período 2024-2042.

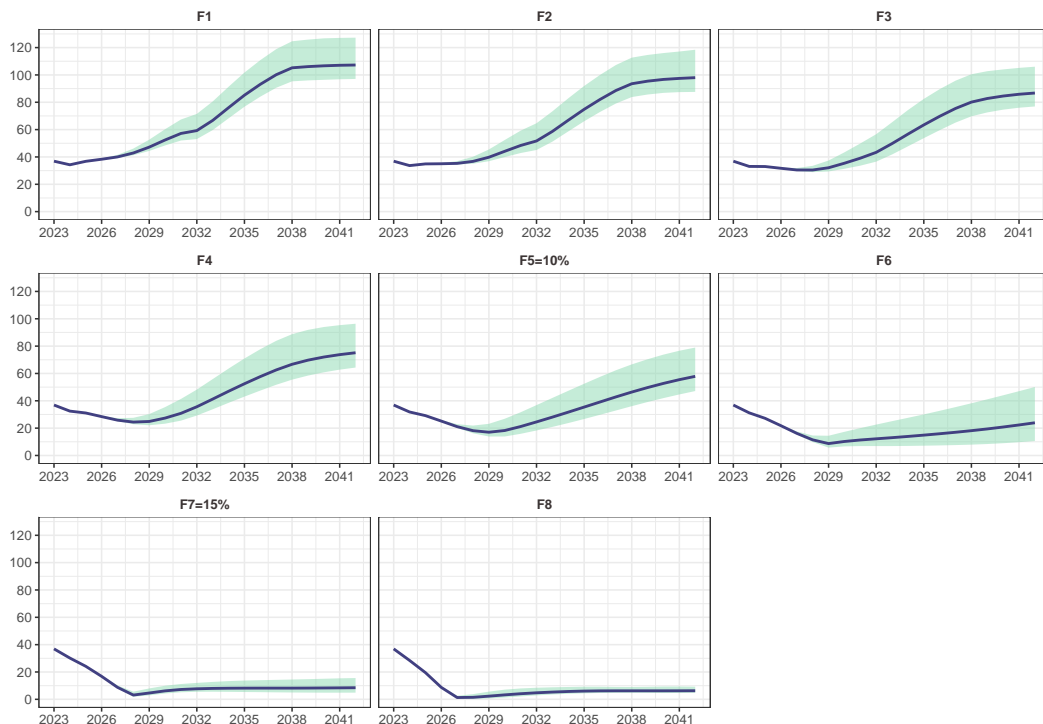


Figura 4.3 – Biomasa desovante proyectadas para ponderadores entre F1=0% y F8=20%. La zona sombreada muestra el intervalo de confianza al 90% de 300 proyecciones, mientras que la línea representa el promedio.

4.3 Proyección reclutas

Es probable que estas proyecciones contengan varios errores de implementación, como la dinámica del reclutamiento, que sin el apoyo de composiciones de tamaño podrían resultar en reclutamientos proyectados muy cercanos al reclutamiento en equilibrio (ver Sección 3.3), sin tener en cuenta que los reclutamientos en el futuro podrían ser elevados como los ocurridos durante el periodo 2013-2017 (ver Figura 3.4).

Los futuros reclutamientos se derivaron de una relación stock-recluta Beverton-Holt (con parámetros estimados en el modelo de evaluación) que incorpora un error log-normal en cada reclutamiento anual ($R * exp(\mu + \sigma/2)$), donde $\mu \sim \text{lognorm}(0, 0.25)$, posibilitando reproducir reclutamientos entorno a los niveles observados durante el periodo 2013-2017.

Las proyecciones de los reclutas bajo diferentes ponderadores (Figura 4.4), se ubicaron en la vecindad del promedio de los reclutamientos entre los años 2013 y 2017, estimado en 36.39 millones de individuos. Esto permite una proyección verosímil de los posibles niveles de reclutamiento que se deberían esperar en el futuro.

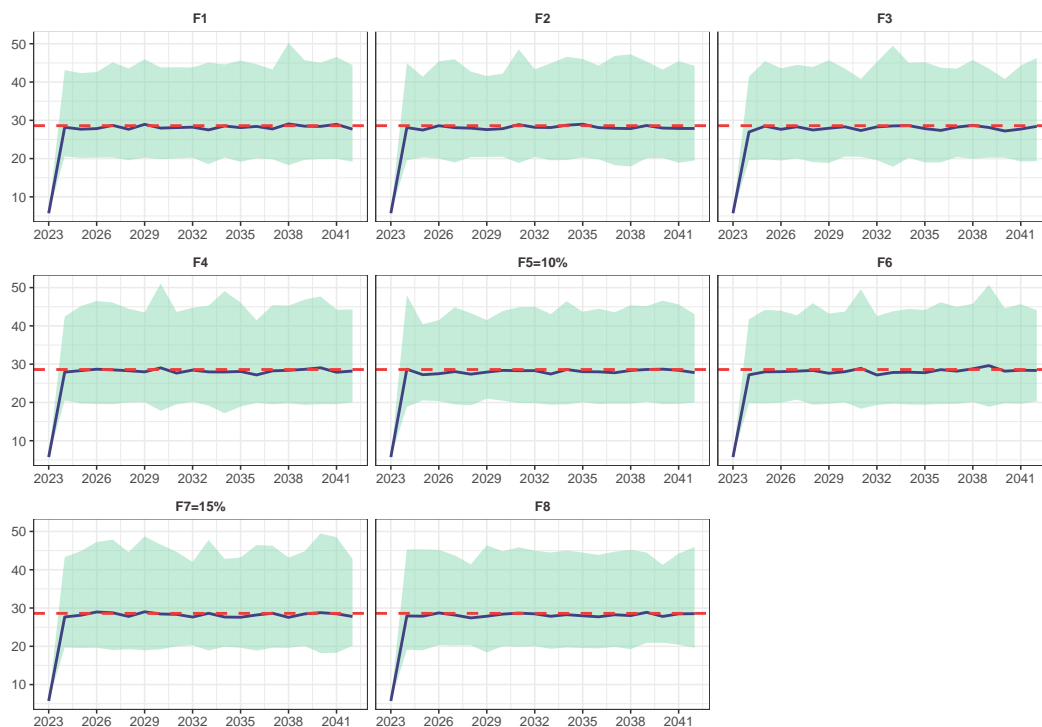


Figura 4.4 – Reclutamientos proyectados para ponderadores entre F1=0% y F8=20%. La zona sombreada muestra el intervalo de confianza al 90% de 300 proyecciones, mientras que la línea representa el promedio. La línea segmentada representa el reclutamiento promedio durante el periodo 2013-2017.

4.4 Proyección de capturas

Las capturas proyectadas en un horizonte de 20 años (2023 - 2042) bajo el supuesto que $C_{pry} \leq 15\% * \overline{BC}_{2023}$, sugieren que remociones comerciales menores a 6924 toneladas (Figura 4.5, $f_{pond} \leq F6$) y mortalidades por descartes por debajo las 1418 toneladas (Figura 4.6), podrían permitir el crecimiento de la biomasa desovante.

Considerando ambas fracciones de capturas, y bajo los supuesto de partición (ver Sección 1) y potenciales errores de implementación debido a la dinámica de reclutamientos (ver Sección 3.3), la captura total permisible bajo un ponderador $\leq F6$ debe ser menor a 8342 toneladas anuales.

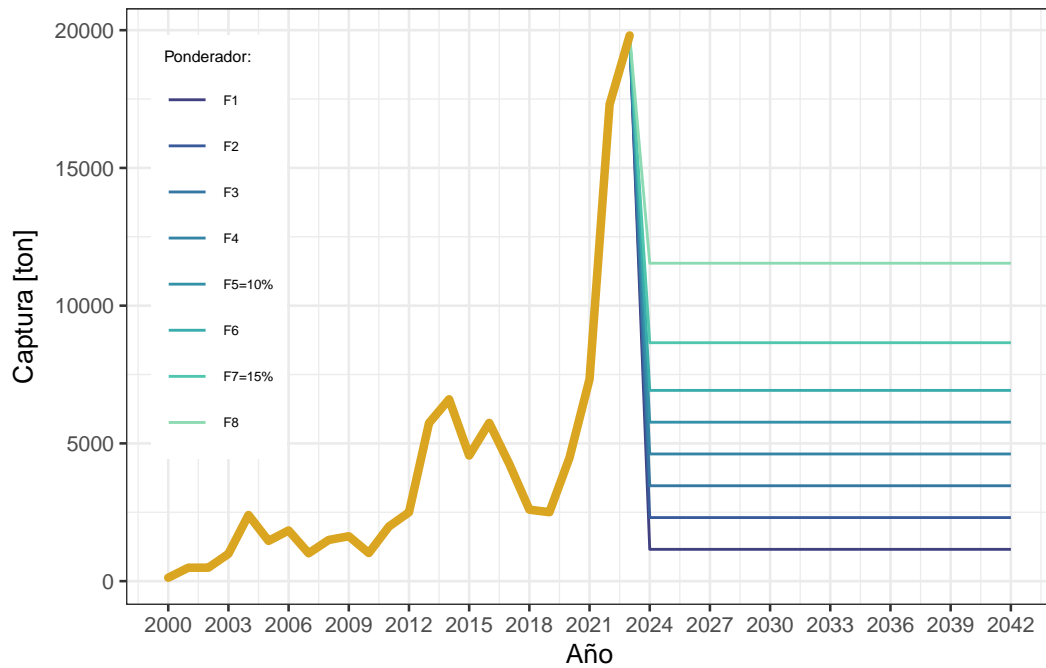


Figura 4.5 – Capturas comerciales proyectadas para ponderadores entre F1=0% y F8=20%.

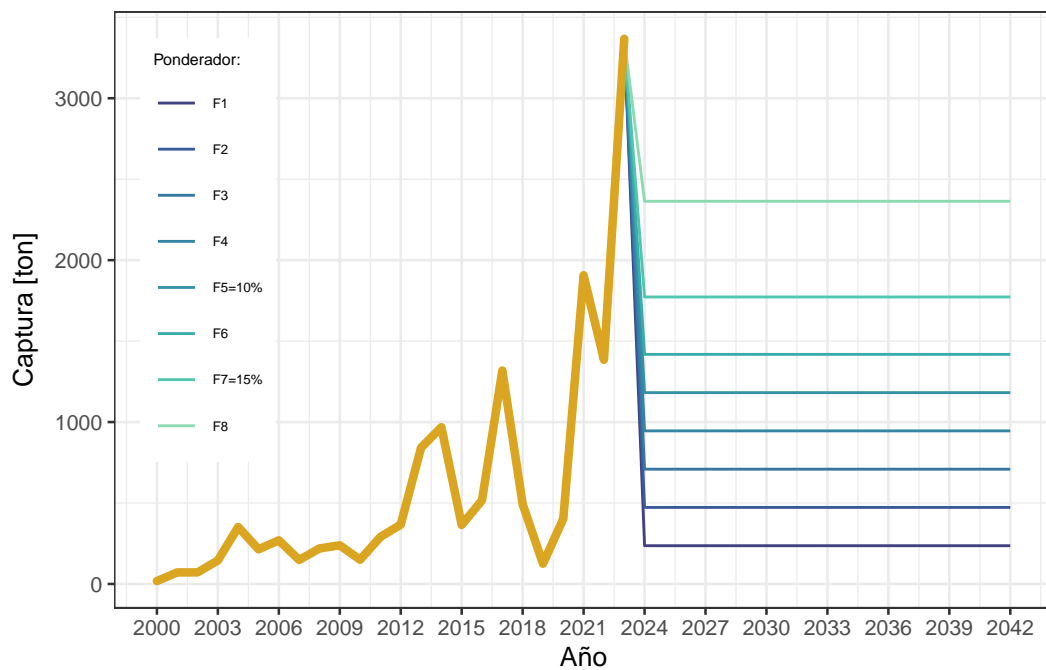


Figura 4.6 – Capturas descartadas proyectadas para ponderadores entre F1=0% y F8=20%.

5.0 Recomendaciones

5.1 Capturas versus reclutamientos

Resulta notable que entre los años 2000 y 2015 la población haya disminuido de manera continua (Figura 3.1) a pesar de los bajos niveles de capturas (Figuras 2.1a y 2.1b). Es posible que esto se deba a la dinámica de reclutamiento de este período, donde las estimaciones se mantienen estables y por debajo del nivel de equilibrio (Figura 3.4). Esto indica una alta vulnerabilidad de la población a la pesca, lo cual contrasta con el período de reclutamiento entre 2013 y 2018, que se percibe como años de alta resiliencia poblacional, capaces de soportar niveles de mortalidad por pesca superiores a los estimados antes de 2012 (Figura 3.3a).

Esta inconsistencia puede abordarse mediante diversas estrategias, como un modelo de reclutamiento revisado y penalizado¹ para responder por bloques temporales. Es probable que sea necesario modificar la condición inicial del modelo, tanto para el reclutamiento en equilibrio como para la biomasa parental inicial, si se implementan estos cambios en el modelo de reclutamiento. Realizar estos ajustes requiere dedicar tiempo a escenarios de sensibilidad, que deben desarrollarse en colaboración con científicos y usuarios de la pesquería.

5.2 Datos estructurados

La dinámica del reclutamiento (Figura 3.5) está claramente influenciada por la información derivada de las composiciones de tamaños de la captura comercial y el descarte (Figuras 2.4 y 2.5). La influencia de esta relación incide en la dinámica de las biomásas (Figura 3.1) y predice de manera inexacta la trayectoria de la pesquería. Aunque esto no altera de forma alarmante la percepción sobre el estado de explotación (el último año en el diagrama

¹Una penalización es un método numérico que modifica la función objetivo del modelo (su verosimilitud) para restringir la estimación de parámetros (e.g., desviaciones de los reclutamientos) a un dominio previamente establecido.

de Kobe, Figura 4.1), es necesario que se aborde en el condicionamiento del modelo de evaluación.

Una forma de prevenir una alta correlación entre las desviaciones de los reclutamientos y las composiciones de tamaños es proteger el dominio² de la mortalidad por pesca y las desviaciones de los reclutamientos. Esto implica considerar múltiples escenarios de sensibilidad y luego ponderar las verosimilitudes³ de las diferentes fuentes de información (capturas, índices, composiciones de tamaños).

5.3 Proyecciones

Las proyecciones son deterministas; aunque consideran la incertidumbre de los parámetros del modelo y la estocasticidad de los reclutamientos. Las capturas futuras son asumidas constantes donde se asume un fraccionamiento entre capturas comerciales y descartes (Figuras 4.5 y 4.6), condicionadas a la estimación de biomasa prospectada por el cruceo de área barrida. En este sentido, los cruceros en el futuro podrían conformar una regla de control de captura empírica, que requerirá ser evaluada en termino del desempeño.

Para tomar decisiones fundamentadas en proyecciones, es esencial considerar la selección de escenarios de pesca y las posibles proporciones de descarte futuras. Con estas preferencias en mente, se pueden llevar a cabo análisis de riesgo sobre indicadores de desempeño, como la probabilidad de reducción de la población a un nivel determinado, la variabilidad de capturas futuras y la inclusión de indicadores económicos. Estos análisis pueden presentarse en tablas de contingencia para facilitar la gestión.

5.4 Alcance de la evaluación

Es recomendable tratar esta evaluación como un análisis preliminar o exploratorio. Las diversas brechas o inexactitudes mencionadas en las secciones anteriores indican que los resultados no son adecuados para determinar el estado de explotación de la merluza del norte. Sin embargo, los análisis subyacentes en esta evaluación ofrecen una base para desarrollar un plan de investigación orientado a adoptar un esquema de evaluación para la gestión. Esto, a su vez, debería proporcionar elementos para apoyar aspectos sujetos a estándares de calidad, como la certificación de pesquerías.

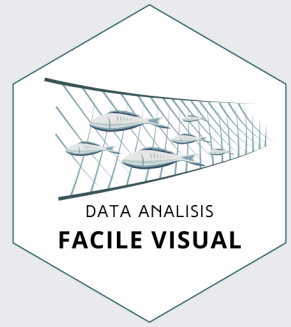
²La configuración del modelo de evaluación exige establecer un rango de valores posibles para los parámetros de mortalidad por pesca.

³Cantidad que permite elegir un valor estimado para un parámetro que presenta la mayor probabilidad de ocurrencia según las observaciones, es decir, el que es más compatible con los datos observados.

Referencias

Louis W. Botsford, J. Wilson White, and Alan Hastings. *Population Dynamics for Conservation*. Oxford University Press Oxford, September 2019. ISBN 9780191818301. doi: 10.1093/oso/9780198758365.001.0001. URL <http://dx.doi.org/10.1093/oso/9780198758365.001.0001>.

Oscar G. Zamora-García, J. Fernando Márquez-Farías, Aristóteles Stavrínaky-Suárez, Carlos Díaz-Avalos, Noemí I. Zamora-García, and Raúl E. Lara-Mendoza. Catch rate, length, and sex ratio of pacific hake (*merluccius productus*) in the northern gulf of california. *Fishery Bulletin*, 118(4):365–379, December 2020. ISSN 0090-0656. doi: 10.7755/fb.118.4.6. URL <http://dx.doi.org/10.7755/FB.118.4.6>.



Anexo 2

PROYECCIONES DE CAPTURAS

Impacto de los descartes futuros

Elaborado por:

Juan-Carlos Quiroz, PhD
jcquiroz@facilevisual.com

Mandante:

Environmental Defense Fund (EDF)
México

Noviembre, 2024

Tabla de contenidos

1	Supuestos	4
2	Desempeño del modelo	6
2.1	Capturas	6
2.2	Tallas medias	7
3	Variables de estado	9
3.1	Biomاسas	9
3.2	Reclutamientos	10
3.3	Proyecciones	11
3.3.1	Biomasa desovante	11
3.3.2	Proyección de capturas	11

Listado de Figuras

2.1	Ajustes a series de captura para el período 2000 - 2023	6
2.2	Ajustes a series de talla anual media para el período 2000 - 2023	7
2.3	Ajustes a series de talla anual media para el período 2000 - 2023	8
3.1	Estimaciones de biomazas desovante (BD), total (BT), vulnerable por la pesquería (BV) y vulnerable al descarte (BDes) durante el período 2000 - 2023	9
3.2	Reclutamientos a las edad 1 para el período 2000-2023, intervalos (zona achurada) al 90%. Línea gruesa (azul) corresponde a los reclutamientos predichos por la relación stock-recluta. Línea segmentada representa el reclutamiento bajo condiciones de equilibrio sin pesca, 11,37 millones individuos.	10
3.3	Biomasa desovante proyectada empleando ponderadores entre F1=0% y F8=20% para el período 2024 - 2042. La línea horizontal segmentada indica una recuperación del 100% en comparación con la biomasa estimada para el año 2023 según el escenario Base .	12
3.4	Mortalidades por pesca proyectada empleando ponderadores entre F1=0% y F8=20% para el período 2024 - 2042, tanto para la captura comercial (columna izquierda) y descartada (columna derecha).	13
3.5	Reclutamiento proyectado empleando ponderadores entre F1=0% y F8=20% para el período 2024 - 2042. La línea horizontal segmentada representa el reclutamiento promedio del período 2011 - 2016 conforme al escenario Base .	14
3.6	Capturas totales (Yt), comerciales (Yc) y descartadas (Yd) aplicadas con ponderadores entre F1=0% y F8=20% para el periodo 2024 - 2042. La línea horizontal segmentada indica una captura de referencia de 7500 toneladas.	15

1.0 Supuestos

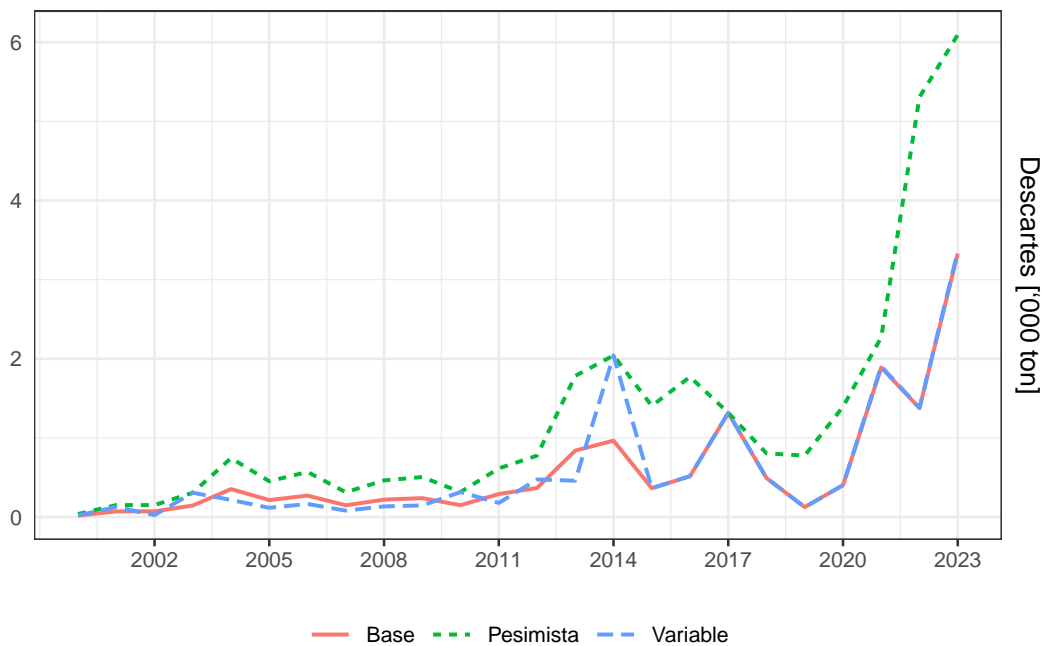
Las capturas descartadas impactan los resultados del modelo de evaluación en dos niveles. El primero afecta las variables de estado, como biomasas, reclutamiento y mortalidades por pesca, que modelan la historia de la población y la actividad pesquera. El segundo nivel se centra en las proyecciones futuras de las mortalidades por pesca, basadas en los supuestos sobre la configuración de las fracciones de captura comercial y descartada en los años proyectados.

Descarte históricos

La *Etapa Descartes* se implementó bajo la premisa de que, en los años anteriores a 2015, la proporción anual de descartes en relación con la captura total se estableció en un 14.67% (Escenario *Base*). Este porcentaje representa el promedio anual de descartes registrado durante el periodo de implementación del programa de observadores científicos de EDF (2015-2023).

De manera complementaria, se desarrollaron dos escenarios alternativos de descartes históricos para analizar su impacto en los dos niveles de resultados del modelo. El primer escenario (*Variable*) considera que en los años anteriores a 2015, donde no se cuenta con registros de captura descartada, la fracción anual descartada fue obtenida por re-muestreo a partir del periodo 2015-2024. Un segundo escenario (*Pesimista*) fue implementado bajo la premisa de un descarte máximo. Durante el periodo de implementación del programa de observadores, la fracción máxima descartada se registró en 2017, alcanzando un 31%. Por consiguiente, este escenario asumió un descarte fijo del 31% para todos los años evaluados.

Las variaciones en los niveles de descarte anual entre los escenarios son moderadas, particularmente en los escenarios **Base** y **Variable**, donde las diferencias surgen en el periodo 2000 - 2014 al remuestrear los descartes anuales desde el periodo 2015 - 2023. El escenario **Pesimista** presenta mayores proporciones de descartes en comparación con los otros escenarios, como una manera de analizar el impacto de altos niveles de capturas no reportadas en la historia de la pesca.



Los análisis presentados en este anexo están respaldos por múltiples análisis complementarios disponibles en el [sitio web de esta asesoría](#). Se aconseja al lector visitar este sitio para obtener una comprensión completa de todos los complementos que acompañan esta evaluación.

2.0 Desempeño del modelo

2.1 Capturas

Las fracciones de captura comercial y descartada se parametrizan anualmente mediante las mortalidades por pesca, lo que permite realizar ajustes precisos (Figuras 2.1a y 2.1b), de manera similar al uso de datos de captura observada (Botsford et al., 2019). Los aumentos de captura en los últimos tres años se reproducen satisfactoriamente, lo que contribuye a evaluar el impacto en las variables de estado (ver Sección 3).

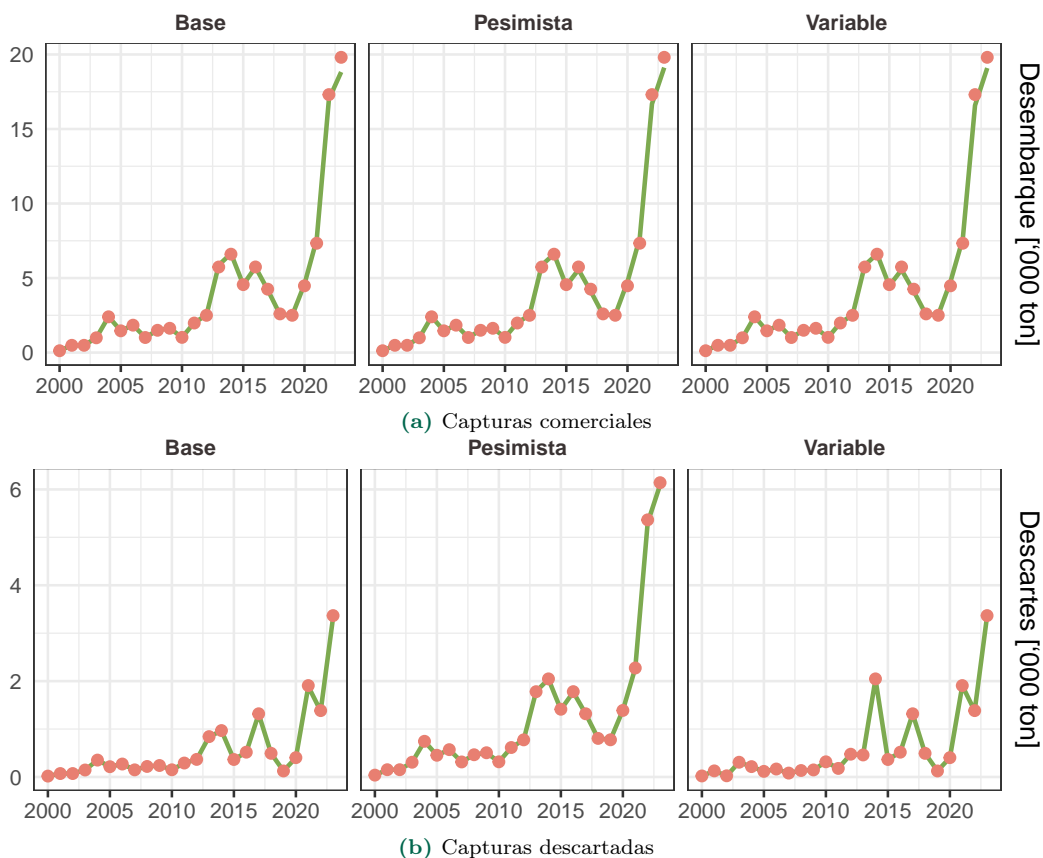


Figura 2.1 – Ajustes a series de captura para el período 2000 - 2023

2.2 Tallas medias

Un criterio clave para evaluar el desempeño del modelo en la predicción de datos estructurados, como tallas o edades, es analizar su capacidad para replicar la talla promedio de las capturas. En general, las tallas medias estimadas reflejan las tendencias de las fracciones de peces que componen la captura comercial (Figura 2.2a) y la descartada (Figura 2.2b). Específicamente, las tallas medias de los años 2016 y 2017 para la captura descartada están poco representadas, posiblemente debido a la correlación entre los reclutamientos que originaron estas cohortes y la flexibilidad del modelo para reproducir las variaciones anuales del reclutamiento.

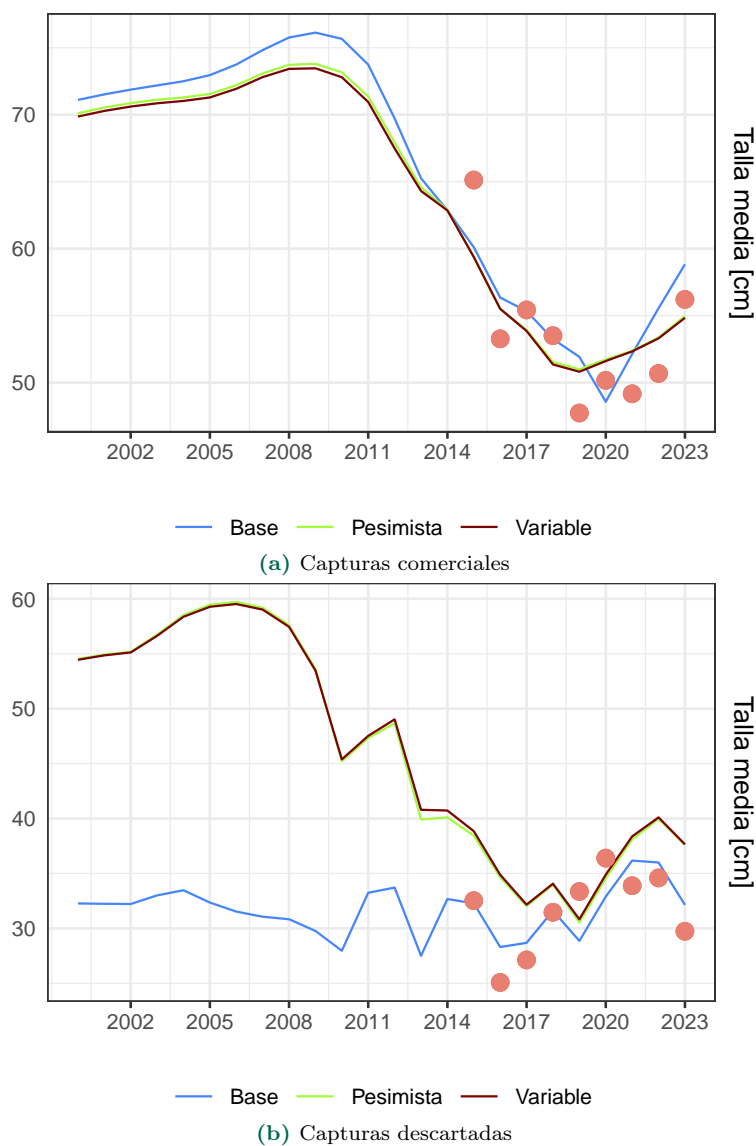


Figura 2.2 – Ajustes a series de talla anual media para el período 2000 - 2023

En los escenarios **Variable** y **Pesimista**, el modelo proyecta curvas de selectividades logísticas (Figura 2.3), lo que explica las elevadas tallas media de los descartes potencialmente vulnerables (Figura 2.2b). Aunque esto justifica los altos niveles de biomasa vulnerables al descarte antes de 2015 en estos escenarios (ver Figura 3.1), no implica necesariamente que los descartes absolutos sean igualmente altos, dado que el bajo nivel de reclutas durante el periodo 2000 - 2015 (ver Figura 3.2) no favorece el crecimiento poblacional.

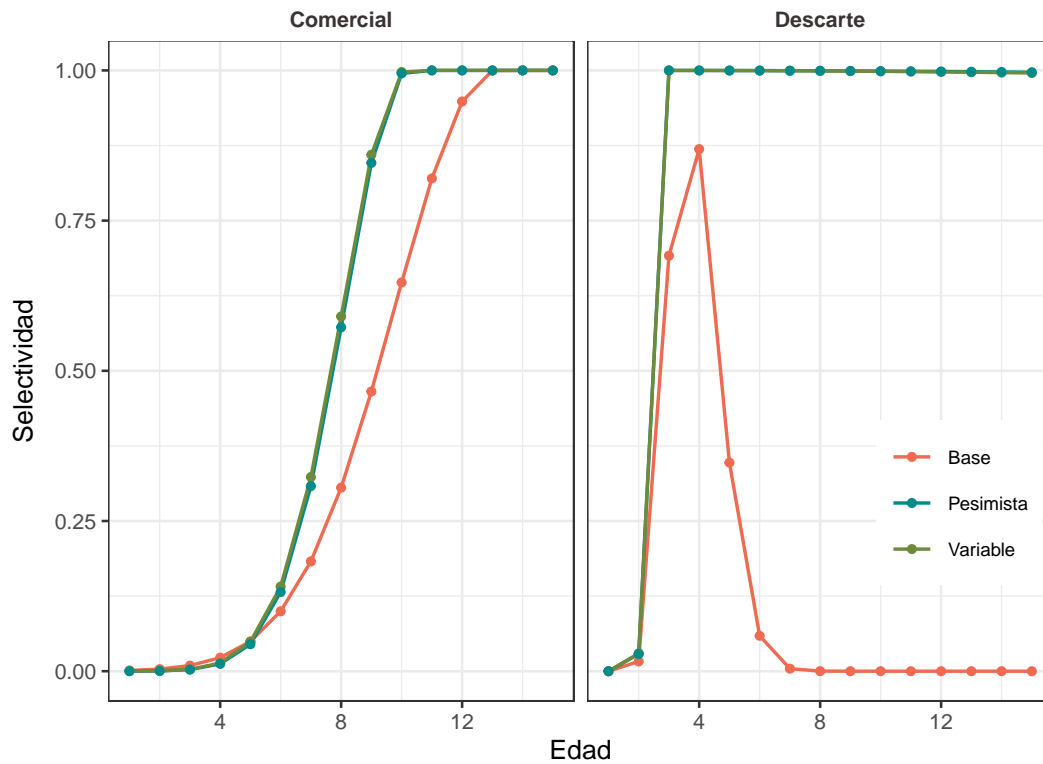


Figura 2.3 – Ajustes a series de talla anual media para el período 2000 - 2023

3.0 Variables de estado

3.1 Biomosas

Cuatro tipos de biomasa son relevantes para evaluar el estado de explotación de la merluza (Figura 3.1). Estas biomosas han disminuido desde el año 2000, estabilizándose en 2016, principalmente debido a estimaciones de reclutamiento elevadas en comparación con el pasado (Figura 3.2), posiblemente impulsadas por la información estructurada.

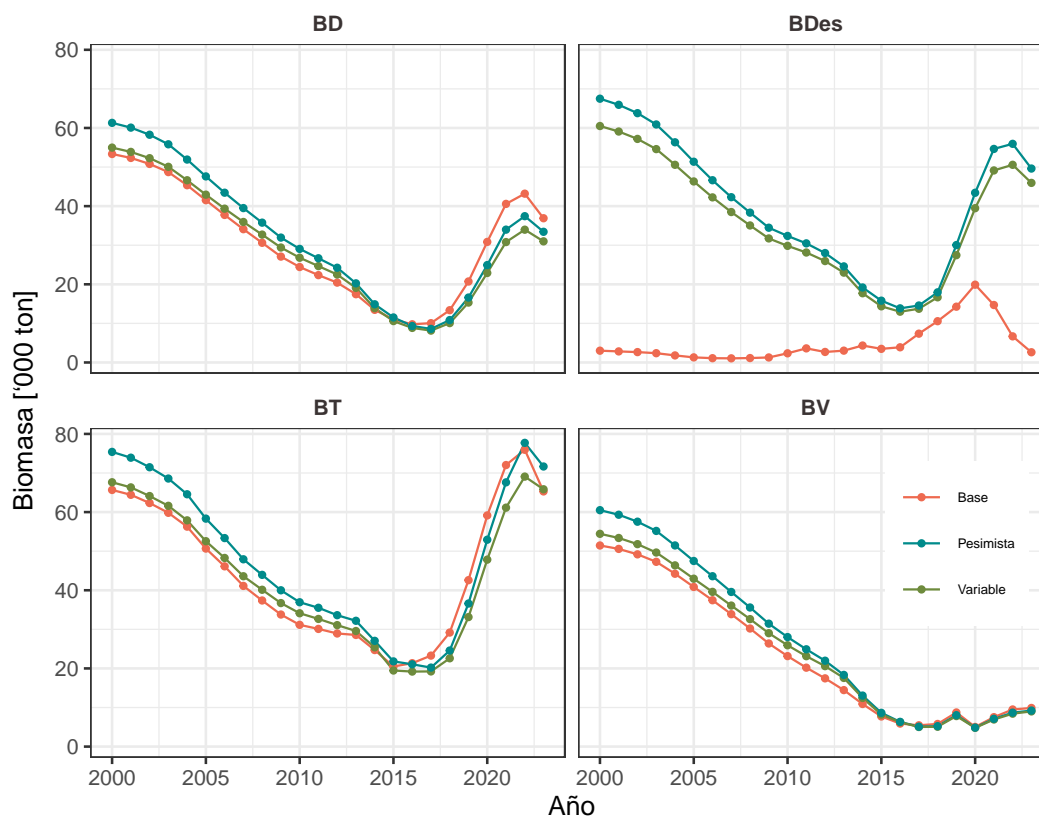


Figura 3.1 – Estimaciones de biomosas desovante (BD), total (BT), vulnerable por la pesquería (BV) y vulnerable al descarte (BDes) durante el período 2000 - 2023

Una excepción se observa en el escenario **Base**, donde la biomasa vulnerable al descarte es considerablemente menor durante el periodo anterior a 2015. Este comportamiento confirma que los niveles de biomasa de peces pequeños eran bajos antes de 2015, lo cual es

consistente con un periodo de reclutamiento deficiente (Figura 3.2). En años más recientes, se ha registrado un incremento en las biomazas (Figura 3.1), probablemente reflejando los reclutamientos estimados entre 2013 y 2017, que se situaron por encima del promedio histórico (Figura 3.2).

3.2 Reclutamientos

La dinámica de los reclutamientos es compleja (Figura 3.2). En los tres escenarios implementados, los reclutamientos a la edad 1, proyectados sobre las composiciones de tamaños del periodo 2015-2023, mostraron un promedio de 28.6 millones de individuos. No obstante, en los años sin respaldo de composiciones de tamaños, debido al desfase entre la edad de reclutamiento y la edad de reclutamiento para la pesca comercial o descartada, los reclutamientos se situaron por debajo de las condiciones de equilibrio sin pesca. Esto impacta la dinámica de las biomazas, que durante el periodo 2000-2012 muestran un descenso (ver Figura 3.1) bajo niveles de capturas reducidos (ver Figuras 2.1a y 2.1b).

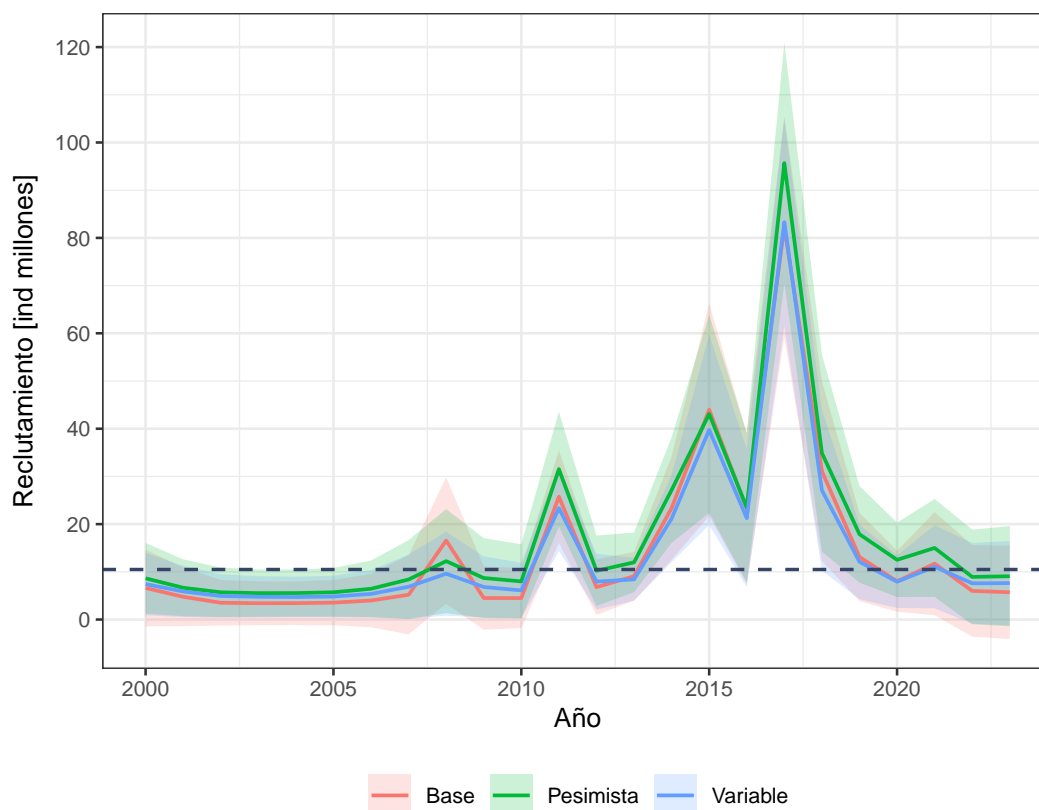


Figura 3.2 – Reclutamientos a las edad 1 para el periodo 2000-2023, intervalos (zona achurada) al 90%. Línea gruesa (azul) corresponde a los reclutamientos predichos por la relación stock-recluta. Línea segmentada representa el reclutamiento bajo condiciones de equilibrio sin pesca, 11,37 millones individuos.

3.3 Proyecciones

Con base en la estimación más reciente de la biomasa del crucero de área barrida, se proyectó la población de merluza en un horizonte de mediano plazo (2024 - 2042) utilizando un conjunto de ponderadores, de tal manera que $C_{proy} = \overline{BC} * f_{pond}$, donde C_{proy} representa la captura proyectada y f_{pond} son ponderadores de F1=2%, F2=4%, F3=6%, F4=8%, F5=10%, F6=12%, F7=15% y F8=20%.

3.3.1 Biomasa desovante

La Figura 3.3 presenta las proyecciones de biomasa bajo diferentes valores de f_{pond} , resaltando que para capturas inferiores a $\overline{BC} * F6$ (aproximadamente menos de 7.5 mil toneladas anuales de captura comercial, ver Sección 3.3.2), las biomasa logran recuperaciones significativas. En efecto, cuando los ponderadores comienzan a disminuir, las mortalidades proyectadas (F_{proy}) se reducen considerablemente en comparación con el año 2023 (Figura 3.4), permitiendo en los escenarios **Variable** y **Pesimista** recuperaciones de la biomasa desovante de al menos un 116% en relación con el año 2023.

Es probable que estas proyecciones incluyan varios errores de implementación, como la dinámica del reclutamiento, que sin el respaldo de composiciones de tamaño podrían llevar a reclutamientos proyectados muy próximos al reclutamiento en equilibrio (ver Sección 3.2). No obstante, se establecieron criterios de proyección para que los reclutamientos proyectados (Figura 3.5) se situaran alrededor de 28.6 millones de individuos, lo cual corresponde al reclutamiento promedio del periodo 2011 - 2016 (Figura 3.2).

3.3.2 Proyección de capturas

Durante el período proyectado (2024 - 2042), las capturas comerciales y descartadas oscilaron entre 1,296 y 13,904 toneladas, según el ponderador utilizado (Figura 3.6). Para ponderadores que favorecen el crecimiento de la biomasa desovante (Figura 3.1), en los casos donde $C_{proy} < \overline{BC} * F6$, las remociones no deberían exceder las 7,775 toneladas, que corresponde a la captura total (comercial y descarte) en el escenario 'Pesimista'.

Teniendo en cuenta ambas fracciones de capturas y bajo las suposiciones de partición de captura (ver Sección 1) y posibles errores de implementación debido a la dinámica de reclutamientos (ver Sección 3.2), la captura descartada no debería superar las 1,356 toneladas, mientras que la captura comercial no debería exceder las 6,621 toneladas (asumiendo un promedio entre escenarios).

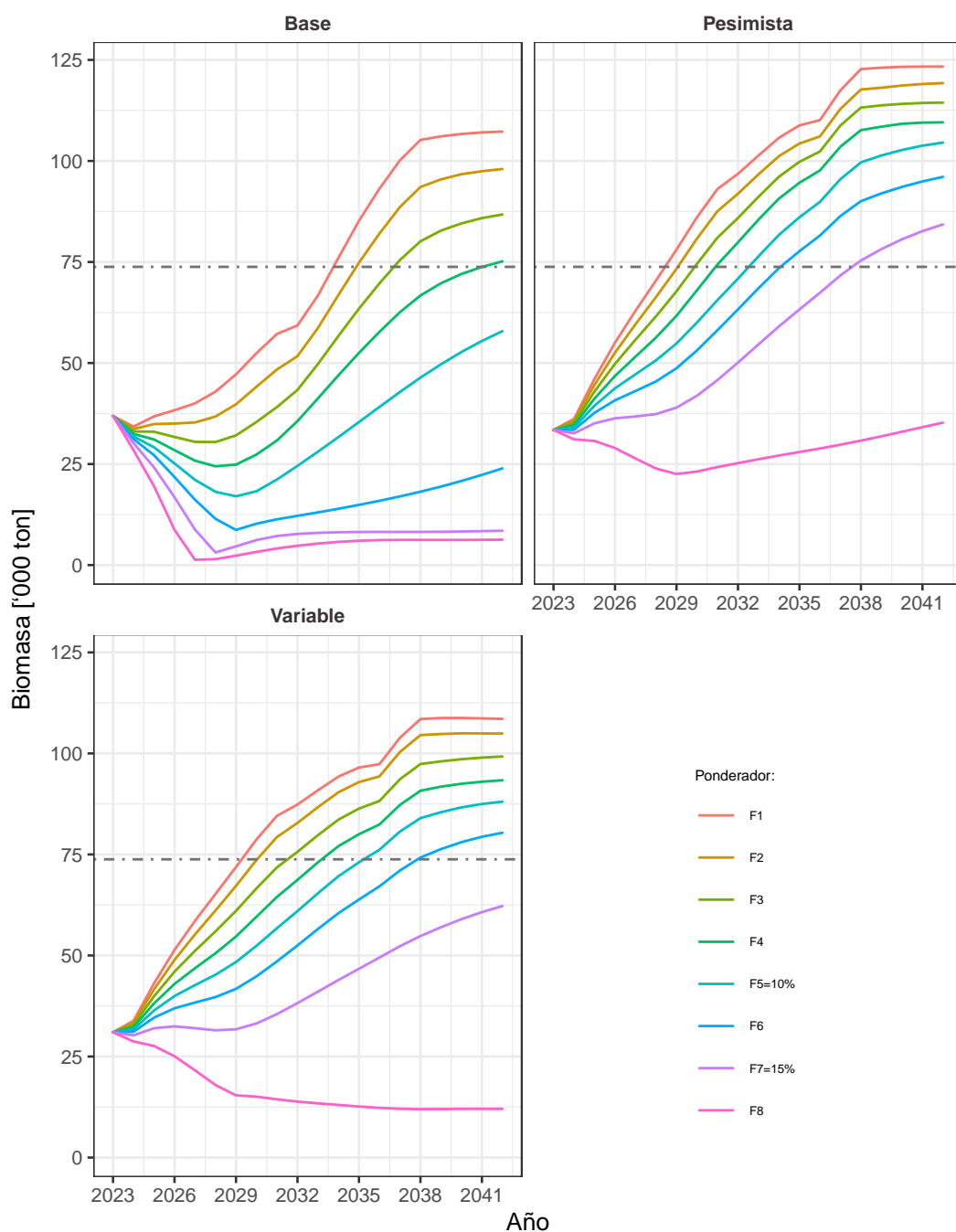


Figura 3.3 – Biomasa desovante proyectada empleando ponderadores entre F1=0% y F8=20% para el período 2024 - 2042. La línea horizontal segmentada indica una recuperación del 100% en comparación con la biomasa estimada para el año 2023 según el escenario Base.

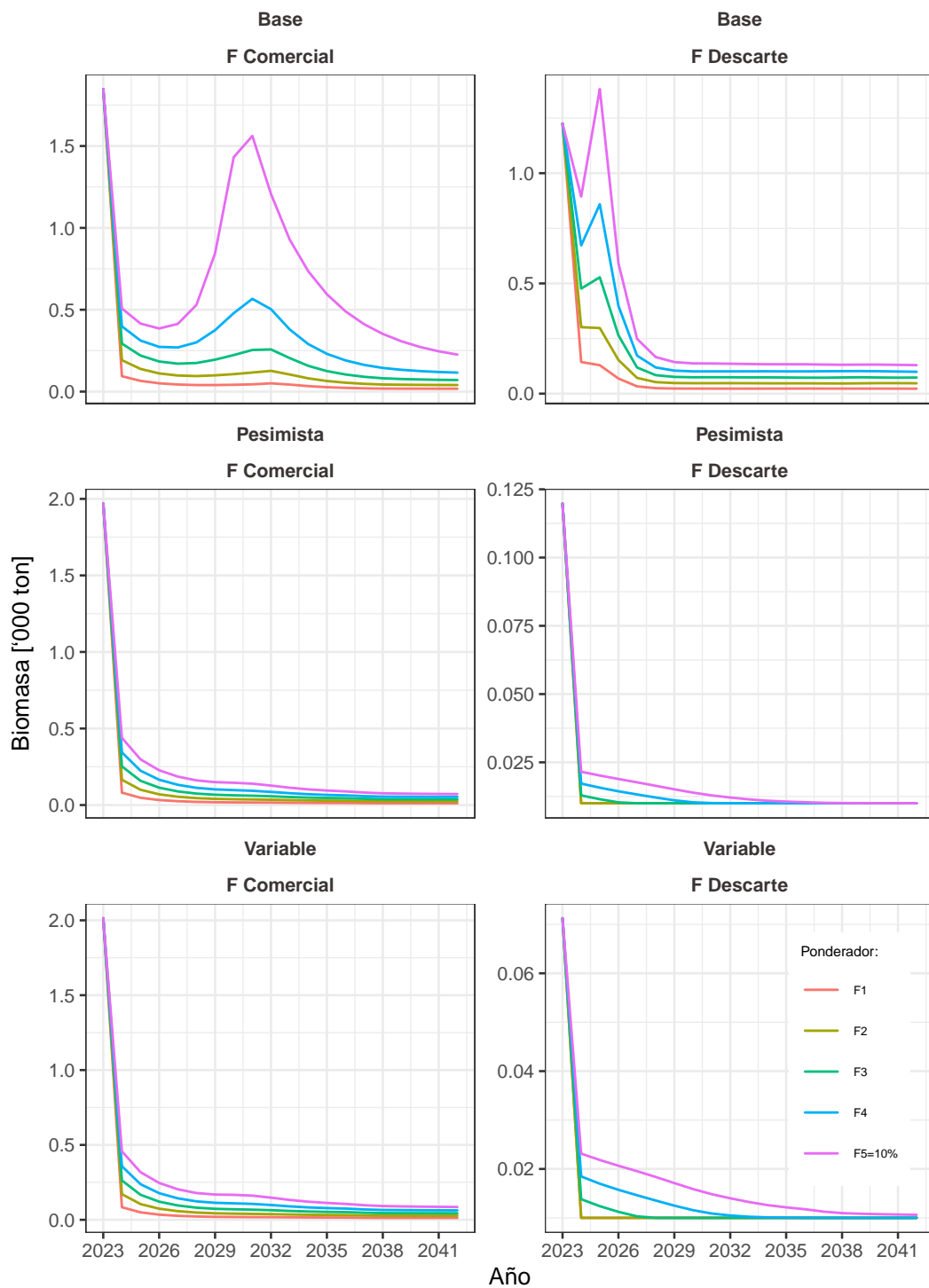


Figura 3.4 – Mortalidades por pesca proyectada empleando ponderadores entre F1=0% y F8=20% para el período 2024 - 2042, tanto para la captura comercial (columna izquierda) y descartada (columna derecha).

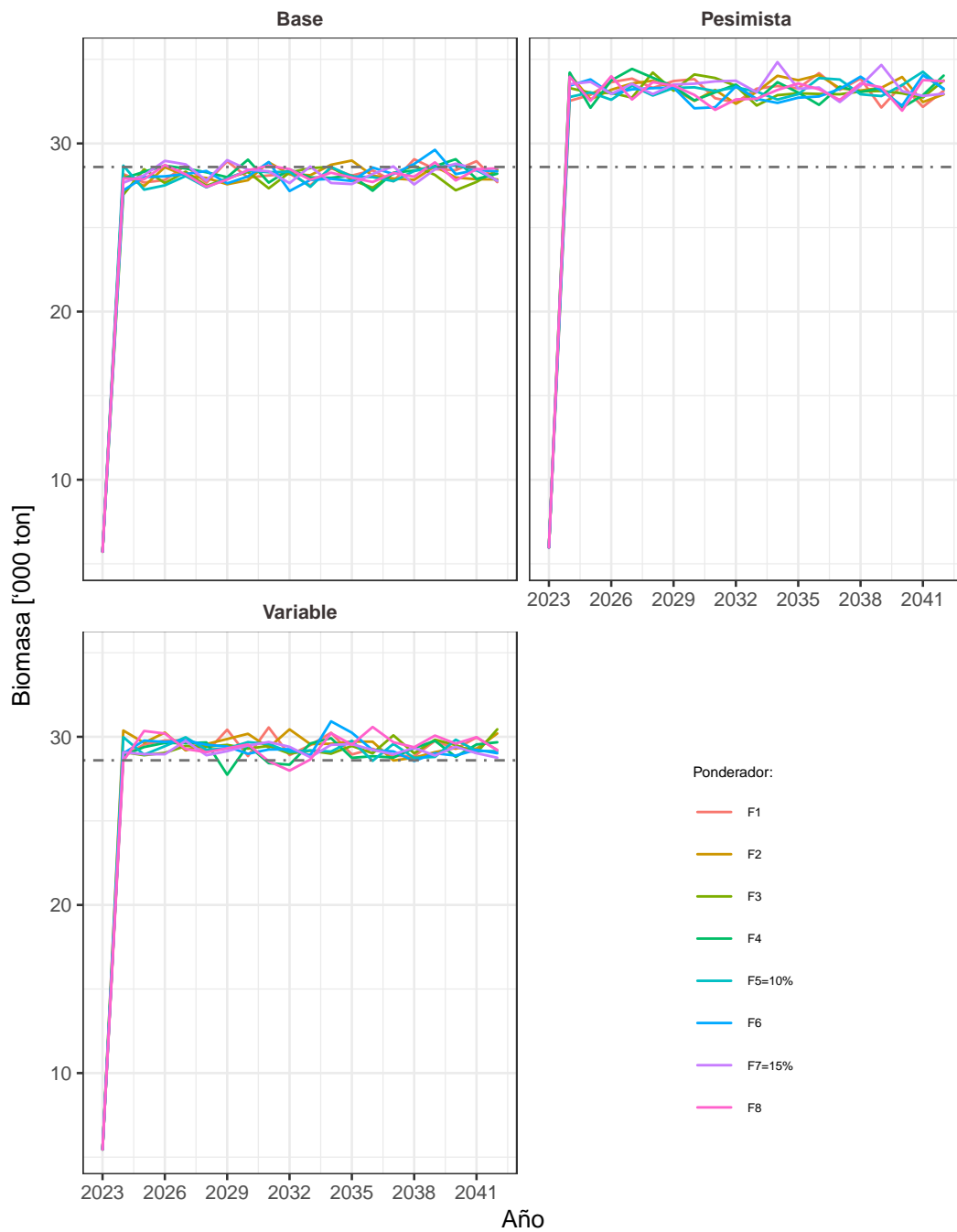


Figura 3.5 – Reclutamiento proyectado empleando ponderadores entre F1=0% y F8=20% para el período 2024 - 2042. La línea horizontal segmentada representa el reclutamiento promedio del período 2011 - 2016 conforme al escenario Base.

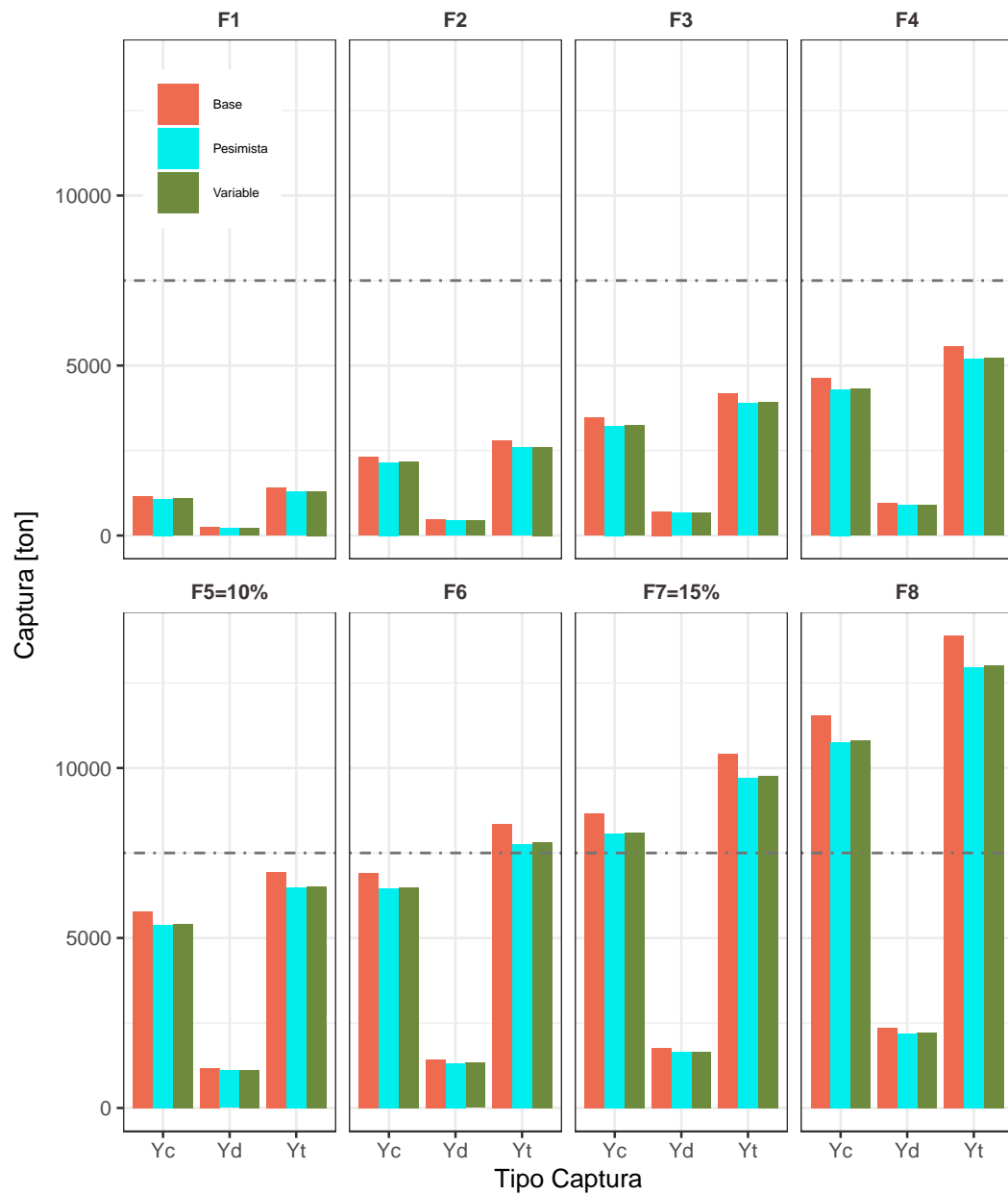


Figura 3.6 – Capturas totales (Yt), comerciales (Yc) y descartadas (Yd) aplicadas con ponderadores entre F1=0% y F8=20% para el periodo 2024 - 2042. La línea horizontal segmentada indica una captura de referencia de 7500 toneladas.

Referencias

Louis W. Botsford, J. Wilson White, and Alan Hastings. *Population Dynamics for Conservation*. Oxford University PressOxford, September 2019. ISBN 9780191818301. doi: 10.1093/oso/9780198758365.001.0001. URL <http://dx.doi.org/10.1093/oso/9780198758365.001.0001>.