



**DOCUMENTO TÉCNICO ASESORÍA A LA
GESTIÓN TÉCNICA**

Convenio de Desempeño 2023

Estatus y Posibilidades de Explotación Biológicamente Sustentables de los
Principales Recursos Pesqueros Nacionales, año 2024:

MERLUZA COMÚN

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Marzo 2024



DOCUMENTO TÉCNICO ASESORÍA A LA GESTIÓN TÉCNICA

Convenio de Desempeño 2023

Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de
los principales recursos pesqueros nacionales, año 2024:

MERLUZA COMÚN

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Marzo 2024

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
Gonzalo Pereira Puchy

Jefe División Investigación Pesquera
Carlos Montenegro Silva

JEFE DE PROYECTO

Renzo Tascheri Oyaneder

AUTOR

Renzo Tascheri Oyaneder



RESUMEN EJECUTIVO

Este informe reporta las actividades y entregables del estudio “Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2024: merluza común, desarrolladas y elaboradas en respuesta a los Términos Técnicos de Referencia (TTR) y objetivos de este proyecto. Para un mejor reporte de las actividades atendidas y los entregables producidos estos se han dividido en cuatro categorías: 1) Informe Técnico Asesoría, 2) Asesoría al Comité Científico Técnico, 3) Asesoría a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, y 4) Asesoría al Comité de Manejo.

En general y como parte de las actividades y entregables de este estudio se produjeron un informe técnico, siete presentaciones y se asistió a siete talleres/reuniones técnicas, las que comprendieron participaciones en sesiones del Comité Científico Técnico, Comité de Manejo y talleres relacionados al objetivo 4 de este estudio “Implementar análisis de Evaluación de Estrategias de Manejo basado en la plataforma openMSE”.

El informe final completo del objetivo 4 también se incluye en una sección separada de este informe de gestión, el que además de responder a este objetivo corresponde también a una actividad de asesoría a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura.

El formato adoptado para ejecutar el objetivo 4 fue la ejecución de tres talleres técnicos: 1) una introducción al proceso de EEM que incluyó además el contexto teórico y conceptual y la introducción a la plataforma de software empleada; 2) El estudio aplicado del desempeño de estrategias de manejo para la pesquería de merluza común y la redacción inicial del documento de especificación de las pruebas de EEM; 3) Entrenamiento en herramientas de visualización e interpretación de los resultados.

En el taller aplicado se desarrollaron un conjunto de cinco modelos operativos y se identificaron un total de siete procedimientos de manejo, que correspondieron tanto a los procedimientos de manejo actualmente incluidos en el plan de manejo pesquero como a nuevos procedimientos candidatos propuestos durante el taller. De modo similar, se establecieron seis métricas, en correspondencia con dos objetivos prioritarios para el manejo de esta pesquería: **a)** la sustentabilidad del recurso y **b)** la sustentabilidad de la pesquería. Las métricas fueron evaluadas en horizontes de corto plazo (1 - 5 años); mediano plazo (12 - 15 años) y largo plazo (24 -36 años).

El procedimiento de manejo candidato (PMC) propuesto por el comité de manejo fue el que demostró mayor robustez frente el rango de incertidumbre evaluado destacando, desde la perspectiva de sustentabilidad del recurso, como el más conservador entre el conjunto de PMC evaluados. Sin embargo, esto, tuvo lugar a expensas de una menor captura promedio en el corto y mediano plazo y de una mayor variabilidad de las capturas promedio en todos los horizontes de tiempo evaluados.



ÍNDICE GENERAL

	Página
1. OBJETIVOS DEL PROYECTO	3
1.1 Objetivo General	3
1.2 Objetivos Específicos.....	3
2. ANTECEDENTES.....	4
3. OBJETIVO 3. Asesorar a la SUBPESCA, Comité Científico y al Comité de Manejo.....	5
3.1 Actividades.....	5
3.1.1 Informe Técnico Asesoría (Estatus, Posibilidades de Explotación)	5
3.1.2 Asesoría al Comité Científico Técnico	6
3.1.3 Asesoría a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura	6
3.1.4 Asesoría al Comité de Manejo	7
4. ENTREGABLES/PARTICIPACIÓN.....	8
5. OBJETIVO 4. Evaluación de Estrategias de Manejo en openMSE.....	9
5.1 Introducción	9
5.2 Metodología.....	11
5.2.1 Modelos operativos y supuestos sobre la dinámica para cada caso.	14
5.2.2 Procedimientos de manejo	19
5.2.3 Métricas de desempeño	23
5.2.4 Número de simulaciones	25
5.1 Resultados	26
5.2 Discusión y conclusiones.....	38
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42



1. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.1 Objetivo General

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

1.2 Objetivos Específicos

1. Implementar el procedimiento de manejo vigente, determinando el estatus del recurso y la captura biológicamente aceptable (CBA).
2. Evaluar bajo incertidumbre la probabilidad de alcanzar los objetivos de manejo en plazos definidos bajo el procedimiento de manejo vigente.
3. Asesorar a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, al Comité Científico Técnico y a los Comités de Manejo en las materias técnicas y de oportunidad que esta Subsecretaría requiera.
4. Implementar análisis de Evaluación de Estrategias de Manejo basado en la plataforma openMSE.



2. ANTECEDENTES

Con el objetivo de atender la misión y sus objetivos estratégicos, la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA) impulsa anualmente un proceso de asesoría científica, en cuyo contexto, el proyecto denominado “Estatus y Posibilidades de Explotación Biológicamente Sustentables de los Principales Recursos Pesqueros Nacionales” constituye el sustento técnico fundamental para establecer los rangos de explotación biológicamente recomendables para los principales recursos pesqueros nacionales, cuyos niveles de biomasa son regulados mediante cuotas de captura. Al momento de su ejecución, este proyecto debe integrar el conocimiento científico disponible que haya sido generado por diversos estudios, proyectos y programas de investigación, realizados sobre estos recursos y sus pesquerías, así como también, toda la información técnica proveniente de los programas de seguimiento de las pesquerías y monitoreo de sus recursos, tales como los cruceros de evaluación directa, junto a otros antecedentes que permitan actualizar anualmente el estatus de conservación de estos recursos pesqueros. Sobre la base de lo anterior, es posible analizar posteriormente las posibilidades de explotación de los recursos para determinar sus niveles de Captura Biológicamente Aceptable (CBA).

La Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA) establece que el Instituto de Fomento Pesquero sea el ejecutor de este tipo de proyectos mediante la asignación directa de fondos sectoriales. En consecuencia, este instituto se constituye como un organismo asesor relevante que provee insumos fundamentales para el cumplimiento de la función reguladora de la administración pesquera del Estado. Ese cuerpo legal, establece que los antecedentes provenientes de este proyecto forman parte del proceso de asesoría científica anual, y deben ser canalizados hacia el Comité Científico Técnico de Recursos Demersales Zona Centro Sur (CCT-RDZCS). Este último, emplea este conocimiento para asesorar a las distintas instancias asesoras-consultivas del proceso decisional anual de las pesquerías nacionales (i.e., Ministerio de Economía, SUBPESCA, Comité de Manejo, Consejos Zonales y Nacional de Pesca, entre los principales) y para recomendar los niveles de captura apropiados cumpliendo de este modo con el mandato establecido en la LGPA.



3. OBJETIVO 3. Asesorar a la SUBPESCA, Comité Científico y al Comité de Manejo

3.1 Actividades

Este documento informa las actividades y entregables del estudio “Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2024: Merluza común”, desarrolladas y elaboradas en respuesta a los Términos Técnicos de Referencia (TTR) y objetivos de este proyecto. En particular, en el TTR se consideran parte integral de las actividades de este proyecto la participación de los equipos de trabajo en las reuniones que establezcan el Comité Científico Técnico (CCT). El TTR identifica también, entre los resultados esperados de este proyecto, un reporte de actividades que informe los eventos de asesoría solicitados y atendidos. Estas actividades técnicas están contenidas en el objetivo específico 3 del estudio, el que requiere explícitamente asesorar a la SUBPESCA, al Comité Científico Técnico y al Comité de Manejo en las materias técnicas y de oportunidad que la SUBPESCA requiera. El TTR del proyecto de estatus de merluza común extiende también el alcance de este reporte de actividades al objetivo 4 de este estudio.

Para un mejor reporte de las actividades atendidas y de los entregables producidos por este proyecto, estos se han dividido en tres categorías: 1) Informe Técnico Asesoría, 2) Asesoría al Comité Científico Técnico 3) Asesoría a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura y 4) Asesoría al Comité de Manejo.

3.1.1 Informe Técnico Asesoría (Estatus, Posibilidades de Explotación)

El Informe Técnico Asesoría (ITA) incluyó los resultados finales del proceso de evaluación anual completo y de aplicación del procedimiento de manejo (i.e., indicadores del stock, estatus), el estatus establecido con el marco de referencia biológico acordado y la determinación de la CBA. El ITA contribuyó tanto a las gestiones de la SUBPESCA como del CCT-RDZCS. Como parte integral y regular del proceso de gestión de estos informes técnicos, la Subsecretaría de Economía y EMT sometió el ITA a una evaluación externa por expertos nacionales, el que fue aprobado con observaciones menores en octubre 2023 (**Tabla 1**).



3.1.2 Asesoría al Comité Científico Técnico

Durante el año 2023 el equipo técnico del proyecto participó en tres sesiones del CCT-RDZCS. Estas correspondieron a las sesiones 2 a la 4 las que tuvieron lugar los días 6 de junio, 18 de agosto y 10 de octubre, respectivamente. En estas sesiones se realizaron un total de seis presentaciones (**Tabla 1**). En la segunda sesión del CCT-RDZCS el contenido de la presentación realizada cubrió los datos disponibles y las características del modelo base de evaluación del stock de merluza común. En esta presentación, también se introdujo la programación del trabajo para responder al objetivo 4 del proyecto. En la tercera sesión del CCT-RDZCS se presentó el enfoque de evaluación para determinar el estatus y CBA del año 2024 y se informó el desarrollo del taller presencial de Evaluación de Estrategias de Manejo (EEM), ejecutado como parte del trabajo enmarcado en el objetivo específico 4 de este proyecto. En el contexto de este último, en la tercera sesión del CCT se introdujo también el “Documento de especificación de las pruebas de EEM” (**Tabla 1**).

Durante la cuarta sesión del CCT-RDZCS se realizó un total de cuatro presentaciones que abarcaron, el estatus y CBA 2024 de merluza común y resultados preliminares de la implementación de la EEM. En particular las dos primeras presentaciones reportaron el estatus del recurso bajo diferentes escenarios de evaluación y la CBA 2024. Las presentaciones relacionadas a la EEM incluyeron, una introducción al enfoque administrativo bajo una aproximación de EEM y el documento de especificación de las pruebas de EEM en detalle, incluyendo algunos resultados preliminares de la EEM (**Tabla 1**).

3.1.3 Asesoría a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura

El desarrollo del objetivo específico 4 de este estudio del estatus de merluza común soporta directamente la gestión de la SUBPESCA, quien está impulsando una transición desde su actual perspectiva de administración para esta pesquería (en donde el trabajo del CCT-RDZCS sigue un proceso de deliberación técnica para definir el “mejor” modelo/escenario de evaluación de stock para basar su recomendación del rango de CBA y cumplir con el mandato de la LGPA) hacia un enfoque administrativo basado en la EEM, en donde la CBA queda definida por la aplicación de un procedimiento de manejo previamente establecido, una vez que se ha demostrado (mediante simulación) que este cumple con los objetivos dispuestos por la administración pesquera (Butterworth 2007).

El trabajo desarrollado en respuesta a este objetivo específico, incluyó presentaciones de las diferentes etapas y actividades del estudio de EEM en las sesiones 2, 3 y 4 del CCT-RDZCS, la ejecución de tres talleres técnicos (2 telemáticos y uno presencial) y una presentación al Comité de Manejo de merluza común (**Tabla 1**).



El reporte detallado de las actividades relacionadas con el objetivo específico 4 de este estudio se incluye en la sección 5 de este informe.

3.1.4 Asesoría al Comité de Manejo

El 17 de noviembre de 2023, en respuesta a una consulta de este comité respecto de aspectos de incertidumbre, el jefe del proyecto de estatus presentó la EEM para la pesquería de merluza común conducida en el marco del objetivo específico 4 de este proyecto. Durante esta jornada, en donde se realizaron presentaciones de los proyectos de evaluación directa e indirecta de este recurso pesquero, el jefe del proyecto de estatus realizó la presentación “Evaluación de estrategias de manejo (EEM)” la que abarcó aspectos como, las diferencias entre el actual enfoque de administración y un enfoque mediante EEM, los componentes de una EEM, los antecedentes de los consultores contratados por IFOP para apoyar este estudio y la plataforma de software utilizada para la implementación de los análisis realizados, las actividades ejecutadas en el marco del objetivo específico 4, el documento de especificación de las pruebas de EEM y los principales resultados del estudio de EEM (**Tabla 1**).



4. ENTREGABLES/PARTICIPACIÓN

Tabla 1.

Resumen de la asesoría realizada según las actividades enumeradas en la sección anterior de este documento. Los documentos indicados se encuentran en formato pdf y están vinculados a las etiquetas en la primera columna de la tabla.

Entregable/participación	Situación	Actividad
Informe Técnico Asesoría	Este informe fue entregado a la Subsecretaría de Economía y EMT en octubre de 2023.	3.1
Pt sesion 2 CCT	Presentación realizada en la segunda sesión del CCT-RDZCS 02/06/2023.	3.2
Pt sesion 3 CCT	Presentación realizada en la tercera sesión del CCT-RDZCS 18/08/2023.	3.2
Pt 1 sesion 4 CCT	Presentación 1 Estatus. Realizada en la cuarta sesión del CCT-RDZCS 10/10/2023.	3.2
Pt 2 sesion 4 CCT	Presentación 2 Estatus. Realizada en la cuarta sesión del CCT-RDZCS 10/10/2023.	3.3
Pt 3 sesion 4 CCT	Presentación 3 EEM. Realizada en la cuarta sesión del CCT-RDZCS 10/10/2023.	3.3
Pt 4 sesion 4 CCT	Presentación 4 EEM. Realizada en la cuarta sesión del CCT-RDZCS 10/10/2023.	3.3
Taller 1 EEM	Taller telemático de introducción a la EEM y al software openMSE. Este taller fue realizado entre los días 17 al 21 de julio de 2023.	3.3
Taller 2 EEM	Taller presencial del estudio aplicado del desempeño de estrategias de manejo para la pesquería de merluza común usando el software openMSE. Este taller fue realizado entre los días 7 al 11 de agosto de 2023.	3.3
Taller 3 EEM	Taller telemático sobre la visualización, interpretación y difusión de los resultados de una EEM usando la plataforma Slick App. Este taller fue realizado el 14 de noviembre de 2023.	3.3
Pt Sesión 56	Presentación EEM. Realizada en la sesión 56 del Comité de Manejo de Merluza común 17/11/2023.	3.4



5. OBJETIVO 4. Evaluación de Estrategias de Manejo en openMSE

5.1 Introducción

Entre los años 2012-2013 Chile realizó reformas significativas a la Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA). Algunos de los cambios más importantes en la legislación apuntan a lograr la conservación y uso sostenible de los recursos pesqueros nacionales (Reyes et al, 2017), incluyendo: la adopción del Enfoque Precautorio para la Ordenación Pesquera (FAO 1995), el Enfoque Ecosistémico en las Pesquerías (FAO 2003) y objetivos de manejo basados en el Máximo Rendimiento Sostenible (RMS; Maunder 2008).

La nueva legislación modificó también la estructura institucional para el manejo pesquero, creando los Comités de Manejo y Comités Científico Técnico (Reyes et al, 2017) confiriendo de este modo, en el proceso de toma de decisiones, un mayor peso a las recomendaciones fundadas en estudios científicos para la definición de los niveles de captura total permisibles (Leal et al. 2010).

De acuerdo con la constitución chilena, la LGPA reconoce el *acceso abierto* como el principio legal básico para las pesquerías nacionales, otorgando el estatus de *res nullius* a los recursos marinos renovables en el Mar Territorial y la Zona Económica Exclusiva (UNCLOS). De este modo, el acceso abierto prevalece hasta que este es restringido explícitamente mediante Decreto Supremo del Ministerio de Economía (Bernal et al. 1999). En consecuencia, la LGPA define cuatro regímenes de acceso a las pesquerías chilenas (Título III Párrafo 1° GLFA): 1) Régimen General de acceso; 2) Régimen de Plena Explotación; 3) Régimen de Desarrollo Incipiente; y 4) Régimen de Pesquería en Recuperación. La pesquería de merluza común fue declarada en Régimen de Plena Explotación en 1993 (D.EX N° 354 de 1993). De acuerdo con la LGPA, en las pesquerías sujetas al régimen de plena explotación se pueden fijar cuotas globales anuales de captura.

En las pesquerías bajo los regímenes de acceso 2 al 4, la Subsecretaría de Pesca debe establecer un plan de manejo pesquero (PMP; Título II Párrafo 3° GLFA).

Los PMP son instrumentos de administración vinculantes que especifican, entre otras disposiciones, los objetivos, metas y periodos para llevar o mantener las pesquerías al nivel que produce el RMS, conjuntamente con las estrategias para alcanzar los objetivos y metas que se declaren. Los PMP son la pieza central del actual arreglo institucional para el manejo de las pesquerías nacionales.

El PMP de la merluza común fue aprobado en el año 2016 (Res. Ex. 1308/2016 SUBPESCA). En el ámbito biológico (Hindson et al. 2005), las medidas 1.1.1 y 1.1.2 del plan (página 20 del PMP) definen la actual regla de control de la pesquería, especificando de esta manera una estrategia de manejo modelo basada (Rademeyer et al. 2007).



El caso base de la evaluación de stock de merluza común emplea un modelo estructurado por edades (Fournier and Archibald 1982, Tascheri 2023) para ajustar datos históricos de captura, composición de edades de las capturas comerciales y del crucero de evaluación directa y un índice de biomasa estimado usando métodos acústicos y geoestadísticos a partir de datos tomados a través de un crucero de evaluación directa (Molina et al., 2022). Los datos usados en la evaluación indirecta del stock son actualizados anualmente.

Tal como se observa en otras jurisdicciones de administración pesquera, la evaluación del stock de merluza común está sujeta a un alto nivel de incertidumbre. La Evaluación de Estrategias de Manejo (EEM) es el uso de simulación para evaluar el desempeño de combinaciones de métodos de evaluación de stock y reglas de control de captura (estrategias de manejo) en presencia de incertidumbre, dados los objetivos de manejo que se hayan adoptado (Smith et al. 1999). La EEM involucra el desarrollo de modelos que describen el sistema de manejo completo, incluidas la dinámica subyacente de la población, el esquema de recopilación de datos, el método de evaluación de stock utilizado para prestar asesoría al manejo y la(s) regla(s) de control de captura. El enfoque de la administración pesquera mediante la EEM es completamente coherente con el enfoque precautorio del manejo pesquero recomendado por FAO (Punt 2008).

El desempeño de estrategias de manejo candidatas para la merluza común, incluida aquella definida en el PMP, no ha sido aun formalmente evaluado.



5.2 Metodología

Los términos técnicos de referencia (TTR) del proyecto de determinación del estatus y capturas sostenibles de merluza común 2024, desarrollados por la SUBPESCA, incluyeron la EEM como un objetivo específico. Aun cuando similar objetivo fue también incluido en versiones previas de este proyecto, el objetivo 4 del TTR del año 2023 requirió explícitamente la participación de los expertos que desarrollan y mantienen el software openMSE y el uso de esta plataforma en la ejecución de la EEM.

openMSE es un paquete de software desarrollado en el lenguaje para la computación estadística y gráfica R (R Core Team 2023) que se compone de tres librerías: 1) para construir modelos operativos y simular la dinámica de una pesquería (MSEtool; Hordyk et al. 2023), 2) condicionar modelos operativos con datos y aplicar métodos de evaluación de stock intensivos en datos (SAMtool; Huynh et al. 2023) o 3) aplicar estrategias de manejo en situaciones de datos limitados (DLMtool; Carruthers y Hordyk 2018). Estos paquetes de software están diseñados para hacer que la simulación de la dinámica de una pesquería y el estudio del desempeño de estrategias alternativas de manejo en un ciclo cerrado sea lo más simple y efectivo posible. Estas librerías ya han sido aplicadas en numerosas pesquerías con diversas características, incluida la pesquería de merluza común (Hordyk y Newman, 2019).

El lenguaje de computación R ofrece importantes ventajas e.g., una amplia colección de herramientas para el efectivo manejo y análisis de los datos y amplias librerías para la exploración gráfica y la presentación de resultados. Estas ventajas se combinan con la buena documentación y diseño de las librerías de openMSE, lo que conjuntamente a su cualidad de software libre y de fácil acceso, contribuyen a facilitar la comunicación y transparencia necesarias para un exitoso proceso de EEM.

Comparado con el tiempo promedio comúnmente observado para el diseño, implementación y ejecución de estudios de EEM, la particular condición de este estudio de EEM como un objetivo específico de un proyecto de estatus, implicó un desarrollo necesariamente expedito de este proceso. Esto se vio reflejado en el tiempo presupuestado para las diferentes etapas identificadas para la ejecución del objetivo específico 4 (**Figura 1**).

Para el desarrollo de esta EEM durante el año 2023 se realizaron un total de tres talleres técnicos que incluyeron la participación de los expertos desarrolladores del software openMSE. Las actividades, trabajos y análisis realizados en el contexto de estos talleres se describen a continuación.

La primera actividad para alcanzar el objetivo específico 4 fue un taller de introducción al proceso de EEM, el que tuvo por objeto familiarizar a las partes interesadas en la pesquería con la EEM de merluza común proveyendo, simultáneamente, un contexto teórico y conceptual y una introducción a la plataforma de software en la que se realizaron los análisis de simulación de la dinámica de la pesquería y el estudio del desempeño de alternativas de estrategias de manejo (**Figura 1; Tabla 1**).

Esta actividad estuvo orientada principalmente a los administradores del departamento de pesquerías de la SUBPESCA, los investigadores del departamento de evaluación de recursos del IFOP y a los integrantes del CCT-RDZCS y del comité de manejo de la pesquería de merluza común. Esta actividad tuvo lugar los días 17 al 21 de julio de 2023 para lo que se usó un formato de taller telemático (**Figura 1; Tabla 1**).

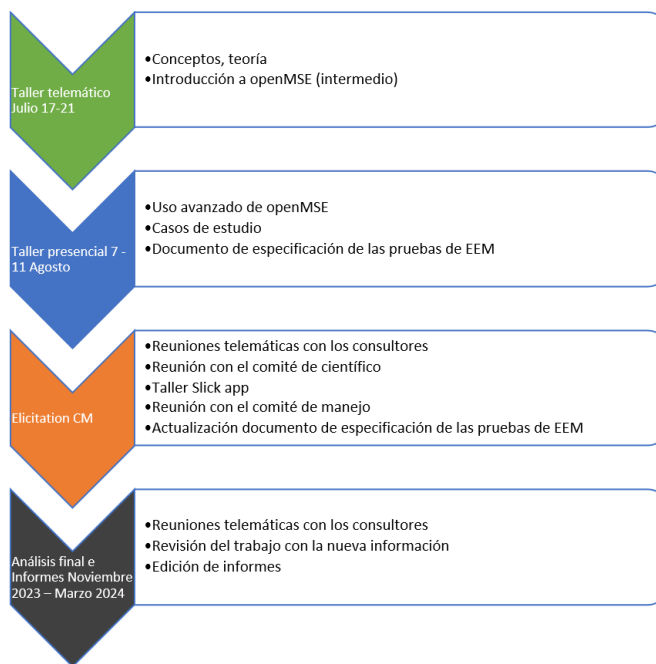


Figura 1. Línea de tiempo resumiendo las actividades asociadas al objetivo específico 4 del proyecto de estatus: “Implementar análisis de Evaluación de Estrategias de Manejo basado en la plataforma openMSE”.



Entre los días 7 al 11 de agosto de 2023 se realizó en Valparaíso un taller presencial de entrenamiento avanzado en EEM usando el software openMSE. Este taller fue conducido por el Dr. Quang Huynh, analista cuantitativo senior de Blue Matter Science. El taller estuvo orientado a construir capacidades en EEM en un equipo chileno de investigadores. Este grupo técnico incluyó a profesionales del IFOP, el Instituto de Investigación Pesquera de la Región del Biobío S.A. (también miembros de los comités de manejo y científico), además de profesionales de la SUBPESCA (**Figura 1; Tabla 1**).

El taller involucró el estudio aplicado del desempeño de estrategias de manejo para la pesquería de merluza común y la redacción inicial del Documento de Especificación de las Pruebas de EEM. Este documento describe las especificaciones para los modelos operativos (MO), los procedimientos de manejo candidatos (PMC) y las de métricas de desempeño (MD) que fueron propuestas y desarrolladas para la pesquería de merluza común. La mayor parte del contenido del documento de especificación se reproduce en esta sección metodológica.

Para la visualización e interpretación de los resultados se puede usar Slick App, una aplicación desarrollada para la presentación de resultados de una EEM y análisis de decisiones. Esta aplicación es una plataforma en línea (disponible gratuitamente y dirigida a un público general) que permite resumir los resultados de cualquier EEM y está organizada con relación a cuatro ejes principales:

- Estados de la naturaleza (modelos operativos)
- Incertidumbre dentro de los estados de la naturaleza (simulaciones)
- Estrategias (procedimientos) de manejo
- Métricas de desempeño

Para cargar los resultados de una EEM en la aplicación *Slick* mantenida en línea, los analistas sólo deben darles el formato adecuado creando un “objeto slick” y luego “subirlos” al sitio web.

A objeto de poder contar también con esta capacidad, el 14 de noviembre de 2023 se realizó un taller telemático sobre la visualización, interpretación y difusión de los resultados de una EEM usando la plataforma Slick App. Este taller contó con la participación de profesionales del departamento de pesquerías de la SUBPESCA e investigadores del departamento de evaluación de recursos del IFOP y fue conducido por el director de la consultora Blue Matter Science Dr. Thomas Carruthers (**Figura 1; Tabla 1**).



Un componente clave de una EEM son las partes interesadas en la pesquería, representadas en este caso por los integrantes del Comité de Manejo de la pesquería de merluza común. Por esta razón y en respuesta a una consulta por parte de este comité con relación a aspectos de incertidumbre, en la sesión número 56 del Comité de Manejo, realizada en Santiago el 17 de noviembre de 2023, se presentó la EEM de la pesquería de merluza común (sección 3.1.4; **Tabla 1**).

5.2.1 Modelos operativos y supuestos sobre la dinámica para cada caso.

Los componentes de una EMM son: los modelos operativos (MO), los procedimientos de manejo candidatos (PMC) y las métricas de desempeño (MD). En esta sección se describen los MO, PMC y MD que durante el taller presencial fueron propuestos y posteriormente desarrollados para la pesquería de merluza común.

Se desarrollaron un conjunto de cinco modelos operativos (MO). El proceso de identificación consideró aspectos tales como: el patrón de explotación de la pesquería, cambios interanuales en la probabilidad de madurez sexual con la edad, el procedimiento de ponderación de los datos de composición de edades de la captura comercial y del crucero de evaluación directa, pulsos en el reclutamiento y eventos extraordinarios de mortalidad (**Tabla 2**).

Respecto del error de proceso de los reclutamientos, durante el taller presencial se discutió la necesidad de modelar cohortes de mayor tamaño en comparación con la media del periodo histórico. Por esta razón, el error de proceso en el modelo operativo base (MO1) utiliza una desviación estándar en las proyecciones (0.5) mayor a la del periodo histórico (0.25), y considera una autocorrelación de los reclutamientos lag-1 igual a 0.65 (**Figura 2**).

Con respecto a los parámetros de historia de vida, en la mayoría de las proyecciones (**MO1, MO2, MO4 y MO5**) la ojiva de madurez correspondió a la usada en el modelo base de la evaluación de stock. Sin embargo, el **MO3** fue condicionado incluyendo variaciones en el patrón de madurez sexual con el tiempo de tal modo que la proyección consideró el promedio del patrón de madurez sexual estimado con datos tomados por el proyecto de evaluación directa durante los últimos cuatro años del periodo histórico (Molina et al., 2022; **Figura 3**).

El **MO5** fue condicionado incluyendo una dinámica de pulsos en la mortalidad natural (M), porque en la merluza común eventos de este tipo han sido asociados con la notable reducción de la población desovante entre los años 1996 y 2005 que afectó tanto el tamaño del stock como a su composición de edades (**Figura 4**).



Tabla 2.

Resumen de los modelos operativos identificados para la EEM de merluza común. Las descripciones se deben entender como variaciones respecto del modelo operativo base representado por MO1.

Identificador	Descripción
MO1	Condicionado con el modelo base de evaluación de stock. Incluye la ojiva de madurez histórica (sin variación entre años) e información de composición de edades de las capturas de la pesca con arrastre de fondo solamente.
MO2	Condicionado con un modelo JJM/amak incluyendo información de composición de edades de las capturas de la pesca con arrastre, espinel y enmalle y selectividad variable en el tiempo a través de una caminata aleatoria. En la proyección, la selectividad es una combinación de las tres flotas e incluye una caminata aleatoria.
MO3	Incluye un patrón de madurez sexual por edades variable entre años a partir del año 2000 (la información de madurez es tomada de los muestreos biológicos realizados en los cruceros de evaluación directa, Molina et al. 2022). La proyección considera el patrón promedio de madurez sexual por edades calculado sobre los últimos cuatro años del periodo histórico.
MO4	Igual al MO1, pero condicionado usando los ponderadores de Francis (2011).
MO5	Considera eventos de alta mortalidad natural.

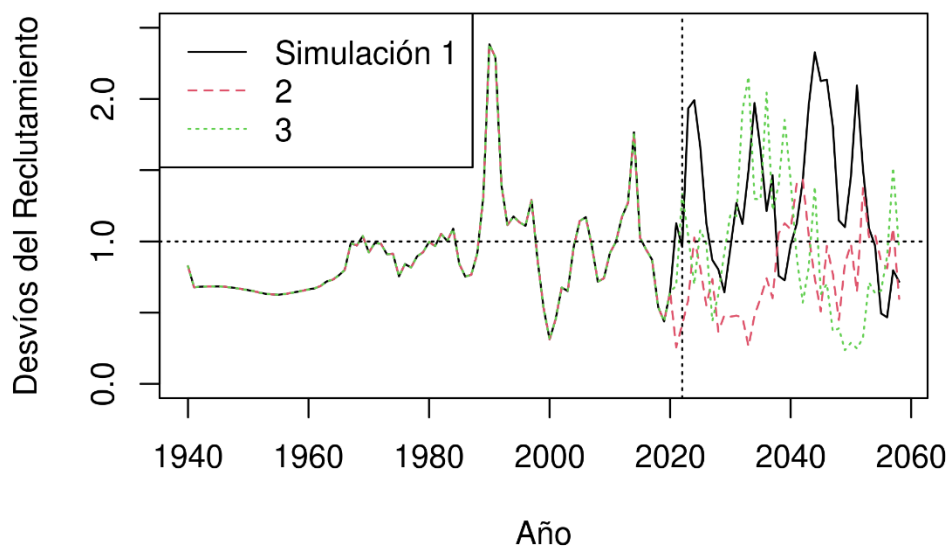


Figura 2. Comportamiento de los desvíos del reclutamiento en el período histórico y durante la proyección. Ejemplo usando tres simulaciones con el MO1.

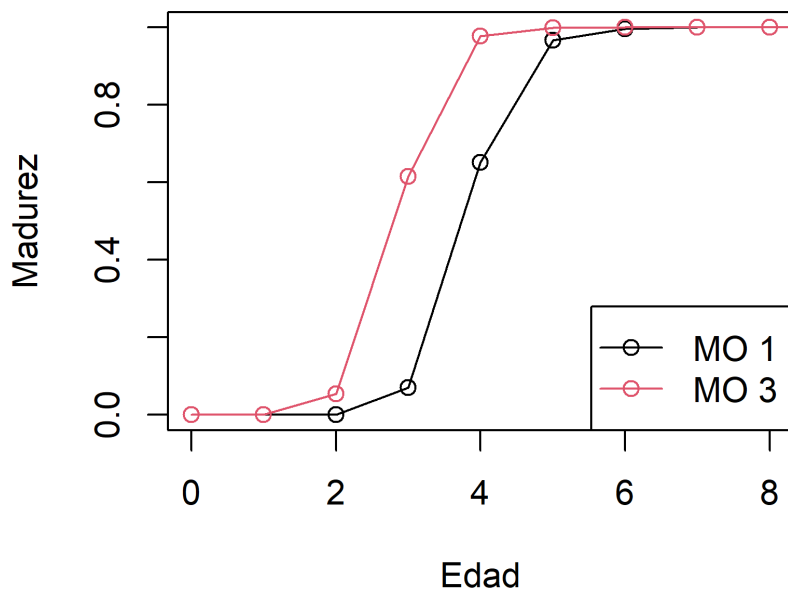


Figura 3. Comparación de las ojivas de madurez empleadas en las proyecciones. MO1: ojiva del modelo base usada en los MOs:1, 2, 4 y 5; MO3: promedio de los últimos cuatro años de las ojivas estimadas con información tomada en los cruceros de evaluación directa (Molina et al., 2022).

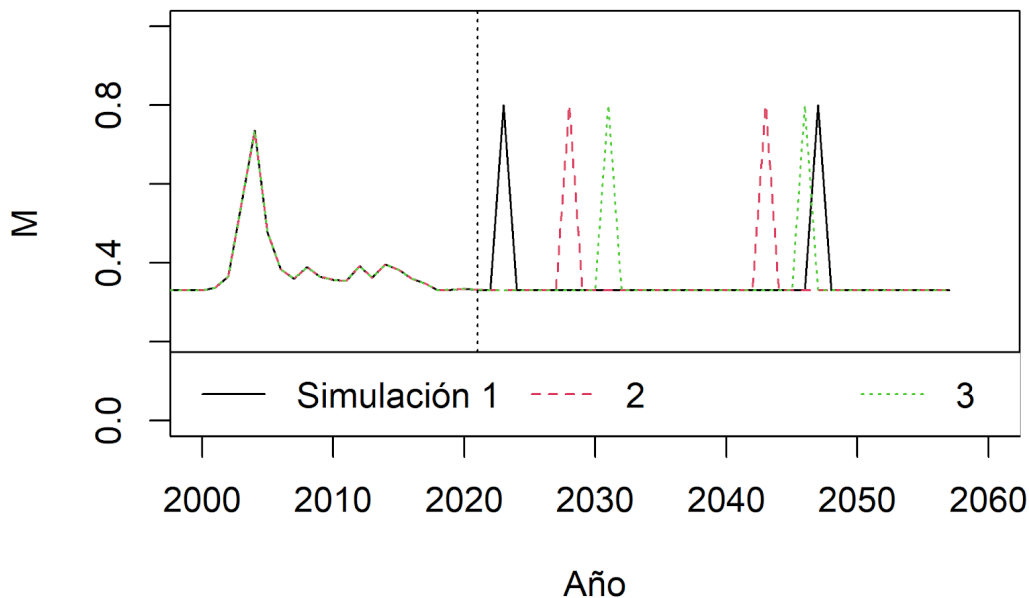


Figura 4. Comparación de tres simulaciones con el MO5 mostrando la dinámica de pulsos en la mortalidad natural (M).

Respecto de la selectividad, las proyecciones con los MO1, MO3, MO4 y MO5 emplean la selectividad correspondiente a la estimada para la flota de arrastre con el modelo base.

En el caso del MO2, la selectividad en la proyección es una combinación de las selectividades de las flotas de arrastre, espinel y enmalle e incluye una caminata aleatoria (**Figura 5**).

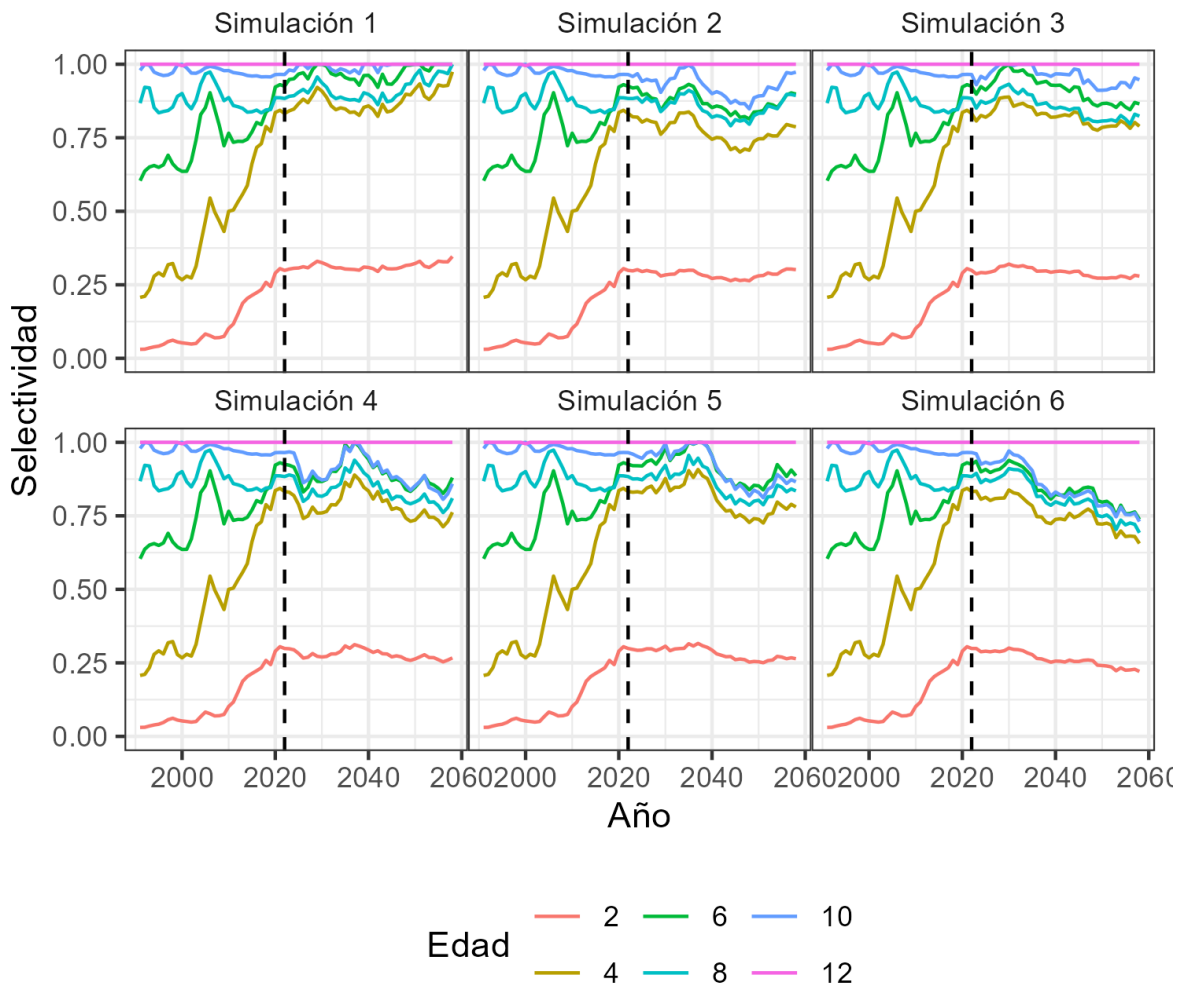


Figura 5. implementaci3n de la selectividad variable en el tiempo, agregada a trav3s de las tres flotas (arrastrero, espinal y enmalle). Se muestra la selectividad por edades durante el periodo hist3rico y la proyecci3n (separados por la l3nea segmentada vertical) para 6 simulaciones usando el MO2.

Las buenas pr3cticas en EEM sugieren identificar un *conjunto de referencia* (Rademeyer et al., 2007) de MOs que incluyan las principales incertidumbres. En este reporte el conjunto de MOs identificado en la **Tabla 2** es considerado como el conjunto de referencia dado que incluye las fuentes de incertidumbre sobre las que existe buen grado de consenso y/o son frecuentemente discutidas en el contexto del CCT-RDZCS o por las partes interesadas en la pesquer3a.



5.2.2 Procedimientos de manejo

Se identificaron un total de siete procedimientos de manejo que correspondieron tanto a los procedimientos de manejo actualmente incluidos en el plan de manejo pesquero (PMP) como a nuevos procedimientos candidatos propuestos durante el taller presencial. Estos 3ltimos fueron propuestos por el Comit3 de Manejo y la SUBPESCA como alternativas potenciales a ser consideradas en el proceso de revisi3n del PMP de la merluza com3n. Adicionalmente, se consideraron dos *procedimientos de referencia* “Sin Pesca” y “Manejo Perfecto” (**Tabla 3**). El prop3sito de los procedimientos de referencia no es explorar la viabilidad de estas estrategias de explotaci3n sino acotar el rango de desempe1o posible y determinar si las diferencias en el desempe1o de los PMC son significativas (Punt et al., 2016).

El PMP de merluza com3n (SUBPESCA 2016) define dos reglas de control de captura que responden a los objetivos 1.1 y 1.2 de la administraci3n pesquera. Cada regla de control tiene a su vez dos formas. La forma espec3fica de la regla depende del “*nivel de cumplimiento*” de la medida el cual, de acuerdo con el plan de manejo, es informado anualmente.

Regla de control 1.1.1 (responde al objetivo 1.1): Estrategia tasa de explotaci3n constante:

- Si $\%B_0 < 20\%B_0$, $F = X\% * F_{RMS}$;
- $X\%$ se ajusta en funci3n del *nivel de cumplimiento* de la medida: $X\%=60$ con bajo nivel de cumplimiento, o $X\%=75$ con alto nivel de cumplimiento.

Regla de control 1.1.2 (responde al objetivo 1.2.): Estrategia tasa de explotaci3n constante:

- Si $\%B_0 \geq 20\%B_0$, $F = X\% * F_{RMS}$;
- $X\%$ se ajusta en funci3n del nivel de cumplimiento de la medida: $X\%=75$ con bajo nivel de cumplimiento, o $X\%=100$ con alto nivel de cumplimiento.

Una tarea pendiente con relaci3n al PMP actual es que a3n no ha sido evaluado conforme a los est3ndares internacionalmente aceptados para la gesti3n pesquera, los que recomiendan someterlos a prueba antes de ser implementados con el prop3sito de evaluar si el PM es solvente para alcanzar los objetivos de gesti3n establecidos en el Plan de Manejo respectivo. En atenci3n al desarrollo metodol3gico y capacidad de c3mputo actuales, estas evaluaciones son realizadas mediante EEM.

En el marco de la evaluaci3n del Plan de Manejo, el Comit3 de Manejo de merluza com3n propuso una actualizaci3n a la regla de control de captura, la que requiere ser evaluada. La regla propuesta se muestra en la **Figura 6**.

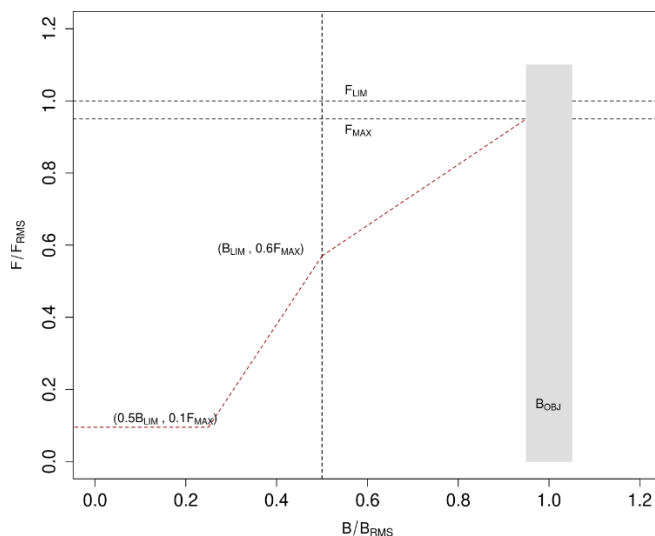


Figura 6. Descripción del PMC propuesto por el Comité de Manejo. Donde: $F_{MAX} = 0.95 F_{LIM}$, $B_{OBJ} = 0.4 B_0$, $B_{LIM} = 0.2 B_0$, rango de plena explotación = $0.95 B_{RMS} - 1.05 B_{RMS}$ (área gris). La CBA_{t+1} se restringió a una variación máxima del 15% respecto de la CBA_t .

Adicionalmente SUBPESCA propuso evaluar una regla de control de captura empírica basada en el índice de biomasa proveniente de estimaciones obtenidas por el crucero acústico que anualmente se realiza en este recurso (NAFO 2021, Annex I.F; **Figuras 7 y 8**).

$$CBA_{t+1} = CBA_t(1 + \lambda S_t)$$

Donde λ es un parámetro de ganancia, S_y es la pendiente del índice de abundancia relativa (el gradiente de una regresión log-lineal de la biomasa estimada en el crucero acústico). Se consideraron dos variantes (**Figuras 7 y 8**):

$$\lambda = \begin{cases} 1 & \text{si } S_t > 0 \\ 2 & \text{si } S_t < 0 \end{cases}$$

O una alternativa en donde $\lambda = 1$ independiente del valor de S_t

CBA_{t+1} fue restringida a una variación máxima del 10% respecto de CBA_t

La pendiente se estima respecto a los últimos 3 o 5 años de crucero (estimaciones anuales de biomasa acústica; **Figura 7**).

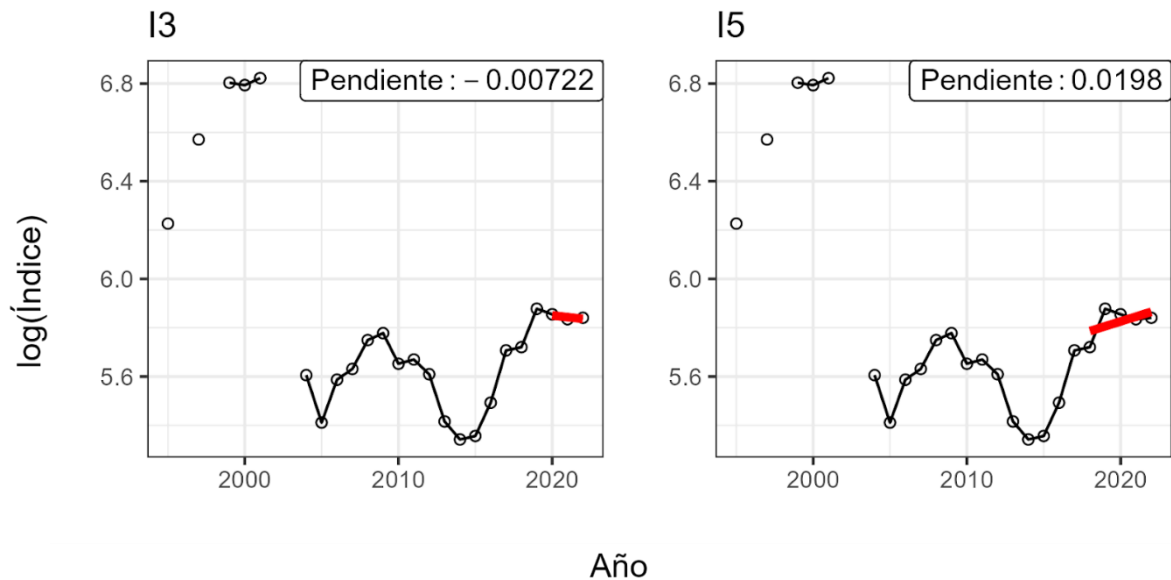


Figura 7. Representación del cálculo de la pendiente desde una regresión lineal (rojo) del logaritmo natural del índice en el año 2022. Panel izquierdo: usando 3 años; Panel derecho: usando 5 años.

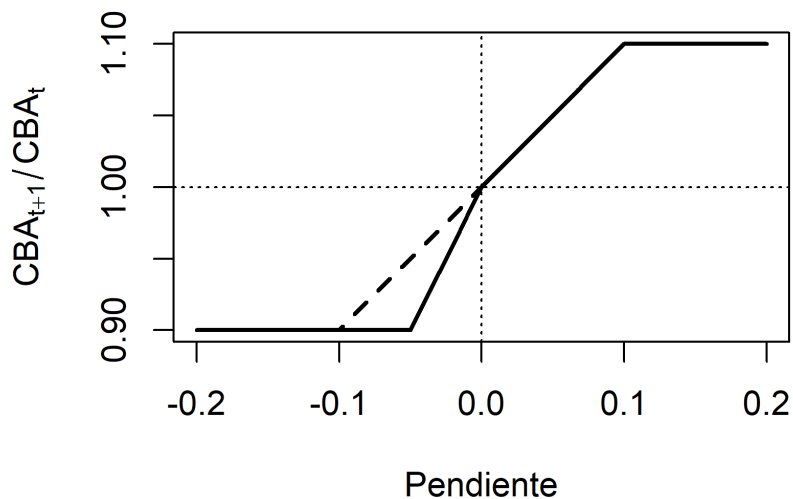


Figura 8. Relación entre la razón de la CBA del año siguiente ($t+1$) respecto de la CBA del presente año (t) y la pendiente del índice de abundancia. La línea sólida es la regla de control propuesta por la SUBPESCA, y la línea segmentada es una alternativa en donde el valor de λ mantiene el valor 1 si la pendiente es negativa.



Tabla 3.

Resumen de los PMC simulados. Todos los procedimientos candidatos (excluyendo los procedimientos de referencia y empíricos) restringieron los cambios de la CBA a 85-115% de los años anteriores. Los índices tienen un 10% de restricci3n.

Nombre	Descripci3n
PM_A	Regla de control actual con alto nivel de cumplimiento
PM_B	Regla de control actual con bajo nivel de cumplimiento
PM_C	Procedimiento alternativo propuesto por el comit3 de manejo
I3	PM basado en el índice de abundancia. Pendiente de los últimos 3 años
I5	PM basado en el índice de abundancia. Pendiente de los últimos 5 años
I3_lambda1	MP basado en el índice de abundancia. Pendiente de los últimos 3 años ($\lambda = 1$ si $S_t < 0$)
I5_lambda1	MP basado en el índice de abundancia. Pendiente de los últimos 5 años ($\lambda = 1$ si $S_t < 0$)
Sin Pesca	Procedimiento de referencia donde $F = 0$ (sin error de implementaci3n)
Manejo Perfecto	Procedimiento de referencia con conocimiento perfecto de la abundancia y puntos de referencia del RMS. $F = 0.95 F_{RMS}$ (valor del modelo operativo, sin error de implementaci3n)

5.2.3 Métricas de desempeño

Se establecieron seis métricas, en correspondencia con dos objetivos prioritarios para el manejo de esta pesquería: **a)** la sustentabilidad del recurso y **b)** la sustentabilidad de la pesquería, con el fin de evaluar el desempeño de los diferentes procedimientos de manejo identificados para esta EEM (**Tabla 4**). Estas fueron revisadas en tres horizontes de tiempo de proyección los que fueron definidos a partir del periodo de vida y desarrollo de la merluza común: **1)** corto plazo (1 - 5 años), para ver el tiempo generacional; **2)** mediano plazo (12 - 15 años), para seguir el desarrollo de dos generaciones; **3)** largo plazo (24 -36 años), con el fin de visualizar el cambio en la pesquería a través de dos ciclos completos de vida de la merluza común.

En relación con la sustentabilidad del recurso se diseñaron tres métricas que permiten evaluar la condición del stock en cualquier año y a través de las distintas simulaciones cuando este es sometido a los procedimientos de manejo identificados (usando su posición en el marco biológico de referencia (MBR), diagrama de fase o Kobe plot; **Figura 9**; **Tabla 4**). Con este fin, los puntos biológicos de referencia fueron calculados directamente desde la curva de rendimiento (i.e. corresponden a los PBRs asociados al RMS y no a valores sustitutos/proxies).

Respecto de la sustentabilidad de la pesquería, se consideraron tres métricas que buscaron medir el desempeño de los distintos procedimientos de manejo para maximizar la CBA y reducir su variabilidad (**Tabla 4**).

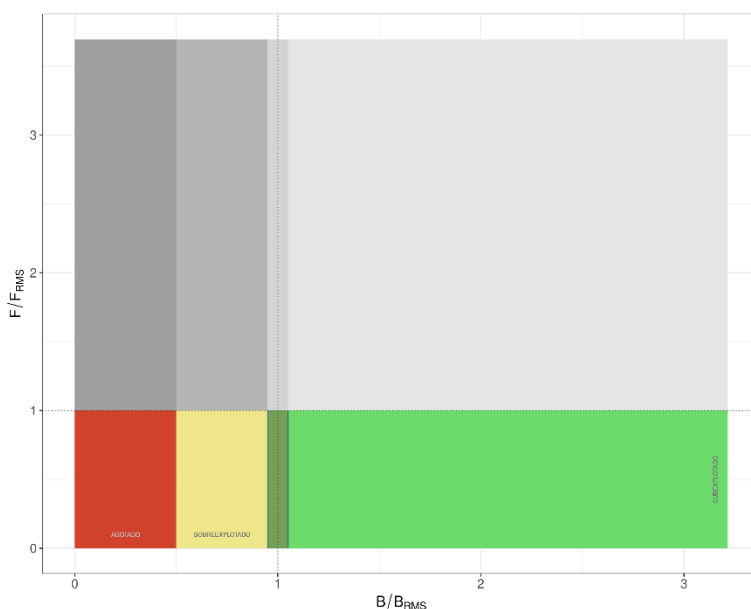


Figura 9. Marco biológico de referencia. Los límites de la zona de plena explotación fueron definidos por el CCT-RDZCS como $0,95 \cdot PBR$ y $1,05 \cdot PBR$. Las áreas en tonos de gris corresponden a un proceso de sobrepesca.

**Tabla 4.**

Métricas de desempeño para la EEM de la merluza común.

Objetivo	Nombre	Descripción	Ecuación
Sustentabilidad del recurso	Zona Verde (ZV)	Probabilidad del stock de encontrarse en plena o subexplotación del recurso (región verde del marco biológico de referencia)	$P(B > 0,95*B_{RMS})$
	No Zona Roja (NZR)	Probabilidad del stock de no encontrarse en condición de agotamiento (fuera de la región roja del marco biológico de referencia)	$P(B > 0.5B_{RMS})$
	No Sobrepesca (NSP)	Probabilidad del stock de no encontrarse en condición de sobrepesca (fuera de la región gris del marco biológico de referencia)	$P(F < F/F_{RMS})$
Sustentabilidad de la Pesquería	CBAmin	Probabilidad de que la CBA exceda el valor mínimo de la cuota (año 2014)	$P(CBA > 20 t)$
	CBAprom	CBA promedio en los periodos de corto, medio y largo plazo, previamente definidos	\overline{CBA}
	CBAv	Minimizar la variabilidad temporal de la CBA durante la proyección entre años	$\frac{CBA_{y+1}}{CBA_{y-1}} - 1$

Las guías de buenas prácticas recomiendan en general promediar las métricas de desempeño a través de las incertidumbres (estados de la naturaleza) representadas por el conjunto de referencia de modelos operativos (Un enfoque de ensamble para integrar a través de las incertidumbres de los MOs; Anderson et al, 2021).

5.2.4 Número de simulaciones

Se realizaron un total de 100 simulaciones con cada MO usando MSetool 3.7.1 y SAMtool 1.6.3. El valor de las métricas de desempeño tendió a estabilizarse por sobre las 75 simulaciones de manera que se espera que la realización de un número mayor de simulaciones no cambiara los resultados del estudio (**Figura 10**).

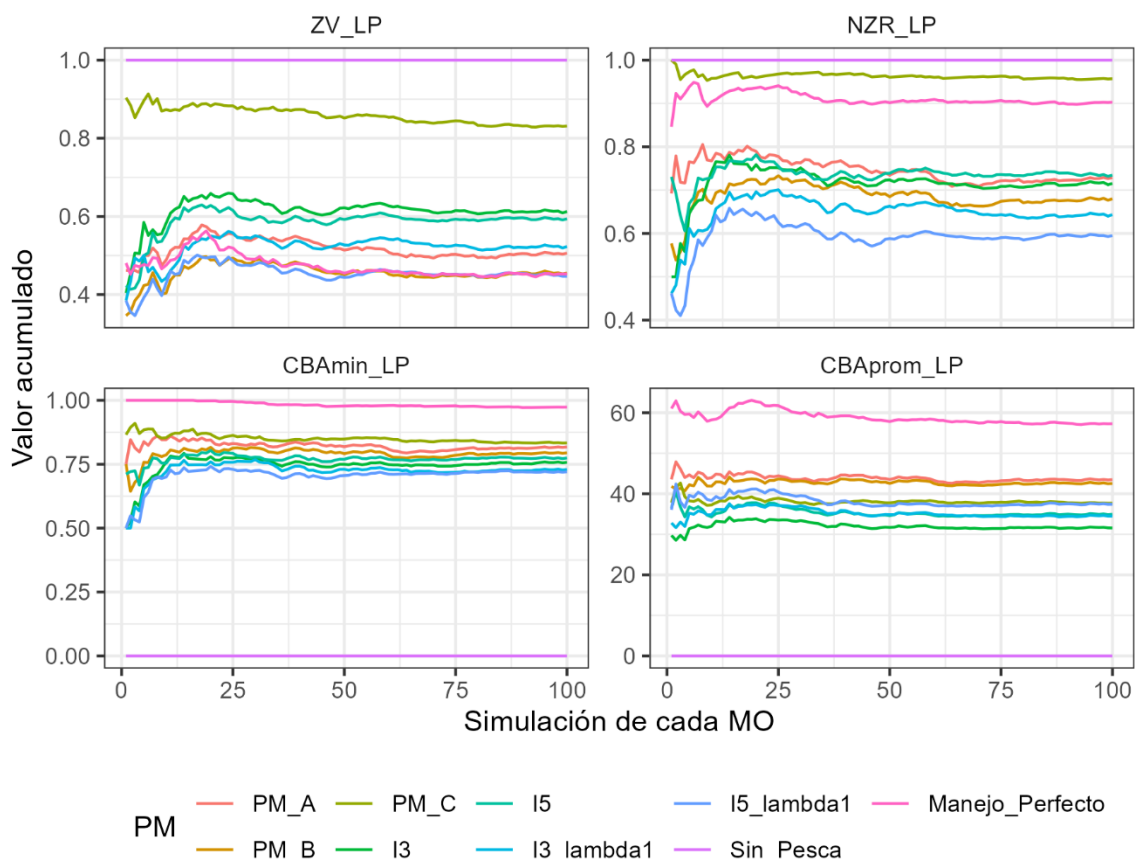


Figura 10. Valores promedio de los indicadores de desempeño Zona verde (ZV), No zona roja (NZR), CBAmin y CBAprom en el horizonte de tiempo de largo plazo e integrados a través de conjunto de referencia de MOs usando un número de simulaciones entre 1 y 100.

5.1 Resultados

La biomasa desovante del stock de merluza com3n se encontraba sobre 0,5 de B_{RMS} al final del per3odo hist3rico. La trayectoria de la mediana de la biomasa desovante de la poblaci3n proyectada implementando los procedimientos de manejo candidatos (PMC, **Tabla 4**) alcanz3 el objetivo de manejo en el mediano plazo para todo el conjunto de modelos operativos (MOs) de referencia s3lo en las proyecciones realizadas con los PMC de referencia y con el PM_C. Esto, porque los dem3s PMC no alcanzaron el objetivo de manejo cuando la proyecci3n fue realizada usando el OM 2 (**Tabla 2**, **Figura 11**).

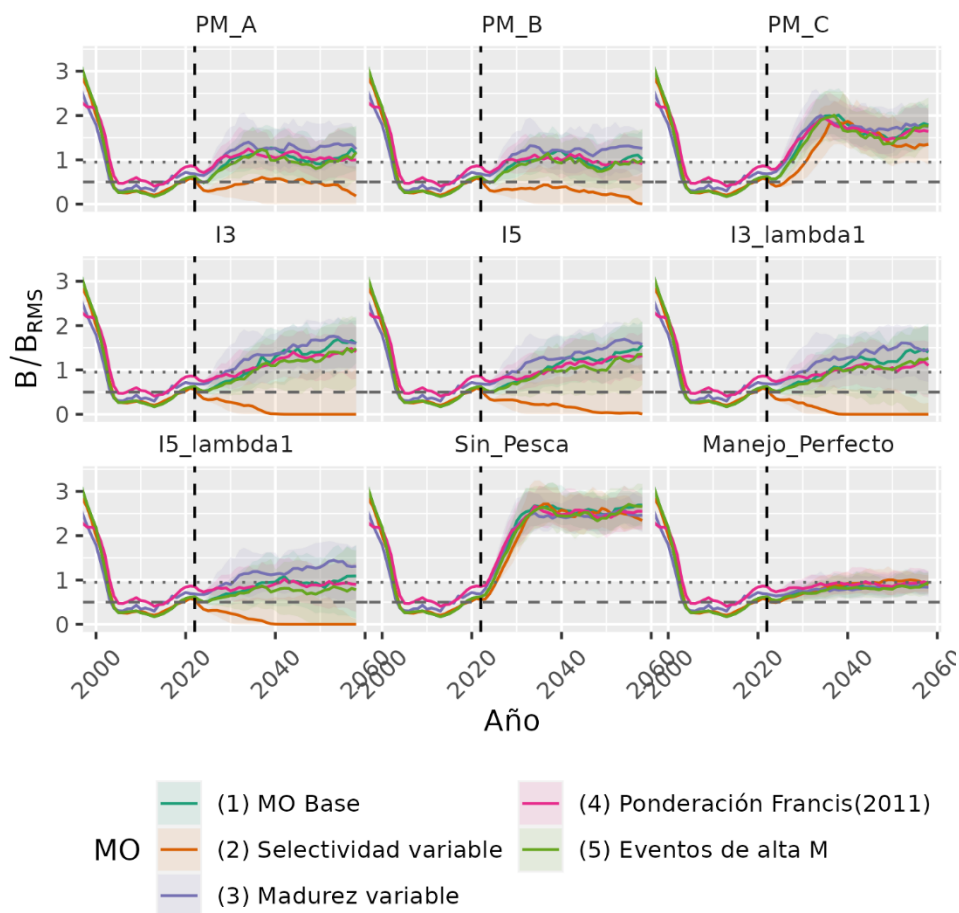


Figura 11. Series de la raz3n de la biomasa desovante (B) respecto de la biomasa en el m3ximo rendimiento sostenible (B_{RMS}) para cada modelo operativo (colores) y procedimiento de manejo candidatos (paneles). Las l3neas corresponden a la mediana y las bandas de color corresponden al cuantil 95% a trav3s de todas las simulaciones. El per3odo hist3rico (previo a 2023) est3 indicado por la l3nea vertical segmentada. Las l3neas horizontales segmentadas y punteada marcan el 50% y el 100% de B_{RMS} . El per3odo proyectado muestra las trayectorias que resultan de la implementaci3n de los procedimientos de manejo.



El valor de la mediana de la razón de la mortalidad por pesca y la mortalidad del máximo rendimiento sostenible (F/F_{RMS}) muestra que la mortalidad por pesca se encontraba alejada del valor límite al final del período histórico en todos los MOs con excepción del MO2 (**Tabla 2**). En este último, el valor de la mortalidad en el año 2022 se encontraba próximo al valor límite. En las proyecciones de mediano plazo, la trayectoria mediana de la mortalidad por pesca relativa (F/F_{RMS}) no exhibió una situación de sobrepesca en la mayoría de las situaciones simuladas (**Tabla 2**). La excepción fueron las proyecciones realizadas con el MO2 en donde todos los PMC (**Tabla 3**), con excepción de los PM de referencia y el PM_C, exhibieron una situación de sobrepesca en todos los horizontes de tiempo simulados. Una situación notable fue la observada con el PM_C, el que se encontró alejado de una situación de sobrepesca a través del rango completo de estados de la naturaleza y en todos los horizontes de tiempo simulados (**Figura 12**).

En el caso de los PMC empíricos, en las proyecciones del stock a través del rango de estados de la naturaleza representado por el conjunto de referencia de modelos operativos (**Tabla 2**), las trayectorias de la mediana de la captura biológicamente aceptable (CBA en toneladas) tendieron a fluctuar en torno al nivel actual de CBA (41 mil t). Sin embargo, aquí nuevamente la excepción fueron las proyecciones realizadas con el MO2 donde, para toda esta clase de PMCs, la captura y abundancia relativa declinaron significativamente a través del tiempo (**Figuras 13 y 14**). Con los PMC modelo basados que actualmente están vigentes en el plan de manejo (PM_A y PM_B; **Tabla 3**), la CBA en el mediano a largo plazo tendió a fluctuar en torno a las 46 mil toneladas y con una mayor variabilidad a través de los diferentes MOs en comparación a los PMC empíricos (**Tabla 3; Figuras 13**). También aquí la excepción fue la proyección realizada con el MO2 en donde la CBA fue notablemente menor a la proyectada con los demás MOs (**Figura 13**). El comportamiento del PMC modelo basado propuesto por el comité de manejo (PM_C) en este caso también fue claramente diferente al de los demás PMC, cuya implementación significó valores promedio de CBA comparativamente menores a los observados con los demás PMC, en particular en los horizontes de tiempo de corto y mediano plazo (**Tabla 3; Figura 13**). En general, los PMC modelo basados exhibieron en el corto plazo valores de CBA más bajos a los obtenidos con las implementaciones de los PMC empíricos (**Tabla 3; Figura 13**).

El desempeño promedio de los PMC a través de todo el set de OMs referencia se presenta en la **Figura 15**.

Los PMC ya adoptados en el actual plan de manejo (PM_A, PM_B) o el propuesto por el comité de manejo para el proceso de revisión del plan (PM_C) exhibieron una probabilidad del stock de no encontrarse en condición de agotamiento luego de dos ciclos de vida de la merluza común (NZR_LP) entre 0,68 y 0,96 y una probabilidad del stock de encontrarse en plena o subexplotación del recurso en el mismo período de tiempo (ZV_LP) en un rango de 0,46 a 0,83. En contraste, los PMC empíricos propuestos por SUBPESCA (I3, I5, I3_lambda1 e I5_lambda1), exhibieron probabilidades NZR_LP entre 0,60 y 0,73 y probabilidades ZV_LP entre 0,45 y 0,61 (**Figuras 14 y 15**).



Con relación a la probabilidad del stock de no encontrarse en condición de sobrepesca en el largo plazo (NSP_LP), los PMC modelo basados (PM_A, PM_B y PM_C) presentaron probabilidades en el rango 0,58 a 0,92 y los PMC empíricos (I3, I5, I3_lambda1 e I5_lambda1) en el rango 0,53 a 0,72 (**Tabla 3; Figura15**). Los PMC que exhibieron el mejor desempeño con relación a las métricas de sustentabilidad del recurso por clase de PMC fueron en el caso de los PMC modelo basados el PM_C y en el caso de los PMC empíricos I3 e I5 (**Tabla 3; Figuras 14 y 15**).

Todos los PMC exhibieron una probabilidad mayor a 0,5 de recomendar capturas mayores al mínimo histórico en todos los horizontes de tiempo evaluados y mayores a 0,7 en el horizonte de largo plazo. La menor probabilidad de recomendar capturas mayores al mínimo histórico en el mediano plazo correspondió a PM_C (0,58) con un valor promedio de CBA en los horizontes de corto y mediano plazo de 26 mil toneladas (**Figura15**).

Desde la perspectiva de sustentabilidad del recurso, el PM_C destacó como el más conservador entre el conjunto de PMC evaluados (**Figuras 14,16 y 17**).

En general los PMC empíricos exhibieron una menor variabilidad en la CBA que los PMC modelo basados. Sin embargo, estas diferencias se vieron aminoradas luego de transcurridos dos ciclos de vida del recurso (**Figura 15**).

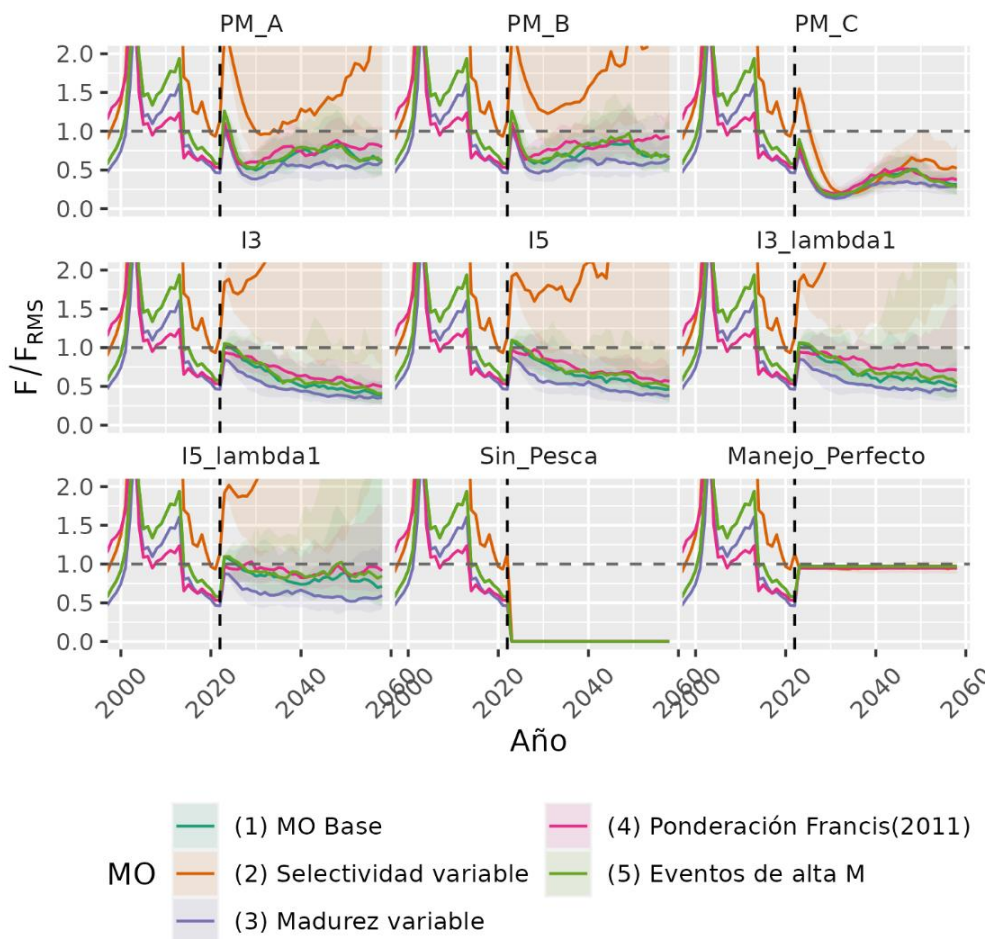


Figura 12. Series de la raz3n de la mortalidad por pesca (F) respecto de la mortalidad por pesca del m3ximo rendimiento sostenible (F_{RMS}) por modelo operativo (colores) y procedimiento de manejo candidatos (paneles) Las l3neas corresponden a la mediana y las bandas de color corresponden al cuantil 95% a trav3s de las simulaciones. La l3nea segmentada vertical marca el per3odo hist3rico (previo a 2023). La l3nea segmentada horizontal marca el valor $F/F_{RMS} = 1$. El per3odo proyectado muestra las trayectorias que resultan de la implementaci3n de los procedimientos de manejo descritos en la Tabla 3.

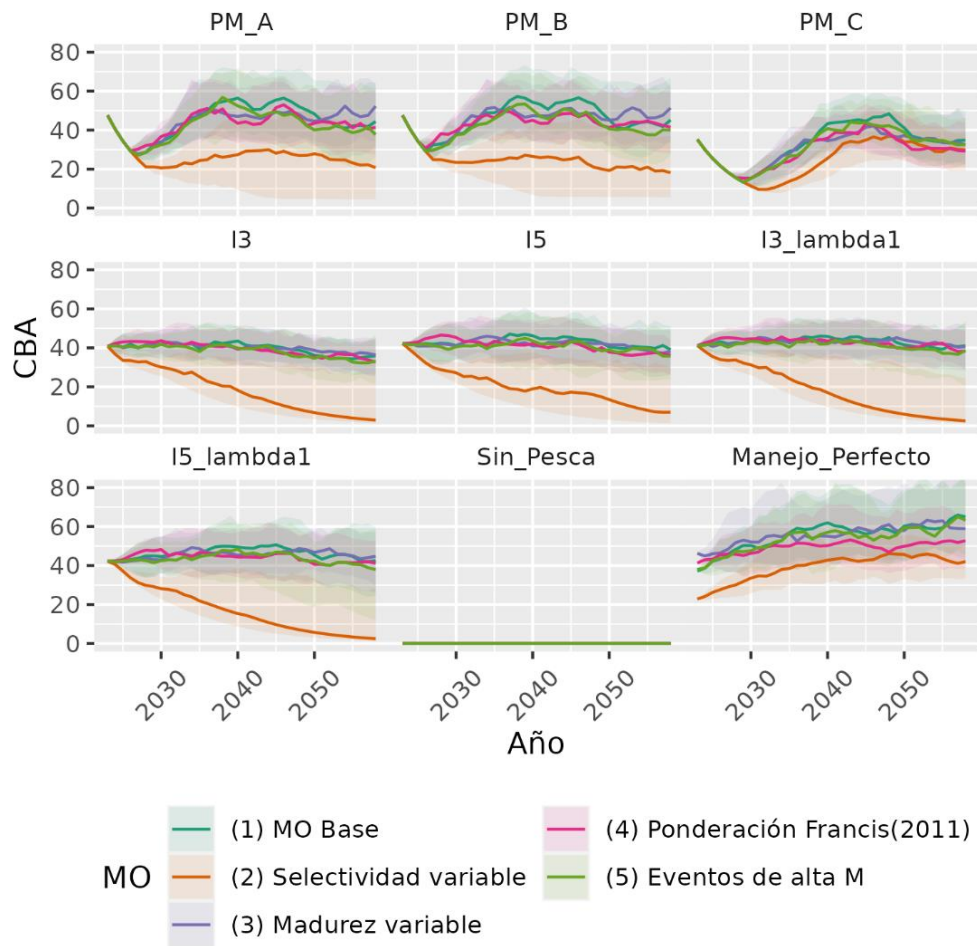


Figura 13. Series de captura biol3gicamente aceptable (CBA; miles de toneladas) por modelo operativo (colores) y procedimiento de manejo candidatos (paneles). Las l3neas corresponden a la mediana y las bandas de color corresponden al cuantil 95% a trav3s de todas las simulaciones. La figura muestra las trayectorias que resultan de la implementaci3n de los procedimientos de manejo descritos en la Tabla 3.

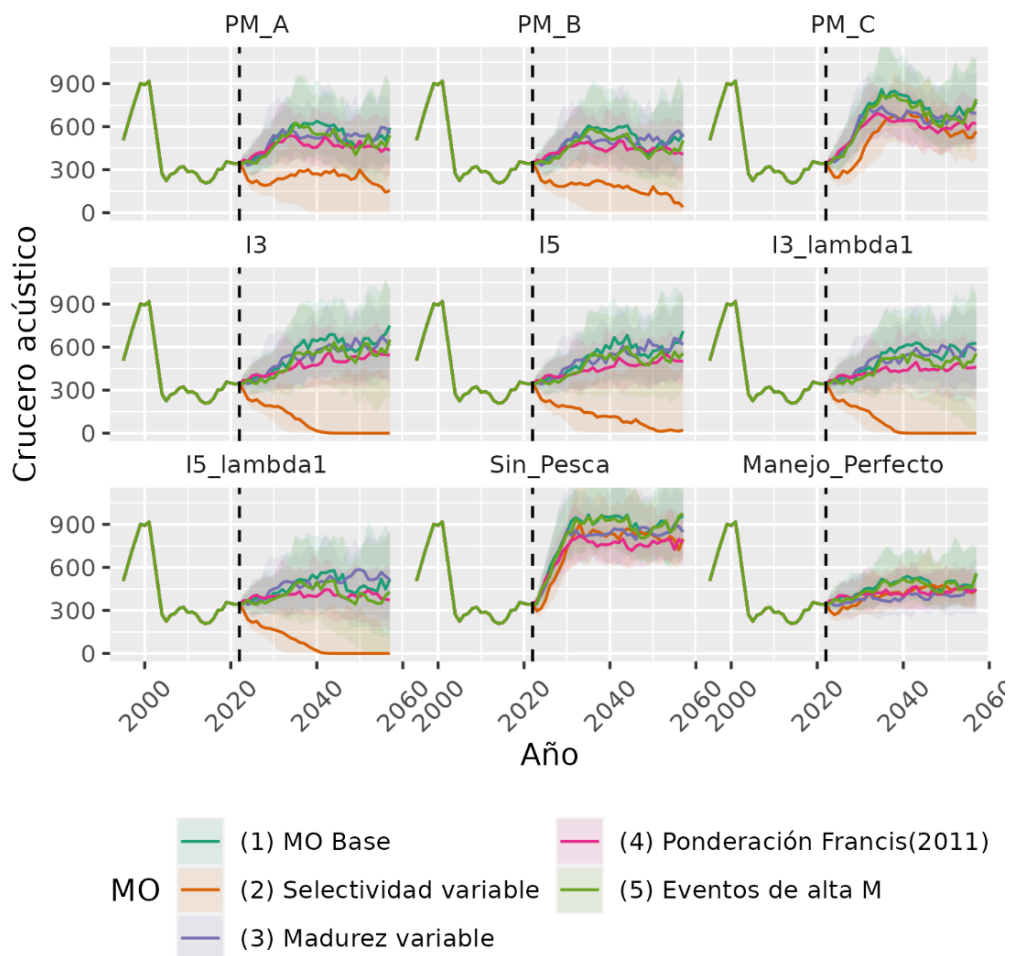


Figura 14. Índice de abundancia relativa (biomasa de merluza común estimada directamente por medios acústicos; Molina et al. 2022). La línea segmentada vertical marca la divisi3n entre los valores estimados para el período histórico (previo al año 2023) y los valores simulados para el período proyectado para cada modelo operativo (colores) y procedimiento de manejo candidatos (paneles). Las líneas corresponden a la mediana y las bandas de color corresponden al cuantil 95% a través de todas las simulaciones.



	ZV_CP	ZV_MP	ZV_LP	NZR_CP	NZR_MP	NZR_LP	NSP_CP	NSP_MP	NSP_LP	CBAmin_CP	CBAmin_MP	CBAmin_LP	CBAprom_CP	CBAprom_MP	CBAprom_LP	CBAY_CP	CBAY_MP	CBAY_LP
PM_A	0.12	0.58	0.51	0.68	0.81	0.73	0.58	0.73	0.62	1.00	0.88	0.82	36.5	45.3	43.5	0.14	0.13	0.12
PM_B	0.11	0.51	0.46	0.68	0.77	0.68	0.56	0.66	0.58	1.00	0.88	0.79	37.3	46.0	42.6	0.14	0.13	0.11
PM_C	0.21	0.93	0.83	0.81	0.99	0.96	0.85	1.00	0.92	0.82	0.58	0.83	26.3	26.4	37.7	0.15	0.14	0.13
I3	0.10	0.49	0.61	0.70	0.71	0.72	0.53	0.68	0.71	1.00	0.88	0.76	40.4	38.7	31.6	0.08	0.09	0.09
I5	0.10	0.46	0.59	0.68	0.72	0.73	0.50	0.66	0.72	1.00	0.85	0.77	41.0	40.5	35.0	0.07	0.08	0.08
I3_lambda1	0.10	0.45	0.52	0.69	0.68	0.64	0.50	0.62	0.60	1.00	0.88	0.73	41.1	40.6	34.5	0.08	0.08	0.08
I5_lambda1	0.09	0.40	0.45	0.67	0.65	0.60	0.48	0.55	0.53	1.00	0.85	0.72	41.7	42.7	37.4	0.06	0.08	0.08
Sin_Pesca	0.62	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.07	0.06
Manejo_Perfecto	0.06	0.37	0.45	0.83	0.87	0.90	1.00	1.00	1.00	0.98	0.97	0.97	41.0	54.1	57.3	0.09	0.09	0.09

Figura 15. Desempeño promedio de los procedimientos de manejo candidatos (PMC; Tabla 3) a trav3s de todos MOs del conjunto de referencia (Tabla 2). Los PMC est3n en dispuestos en filas por tipo de procedimiento y en orden decreciente de los valores de desempeo para cada tipo. Las m3tricas (Tabla 4) est3n dispuestas en columnas por tipo de m3trica y horizonte de tiempo. El tono en el color de las celdas refleja las probabilidades.

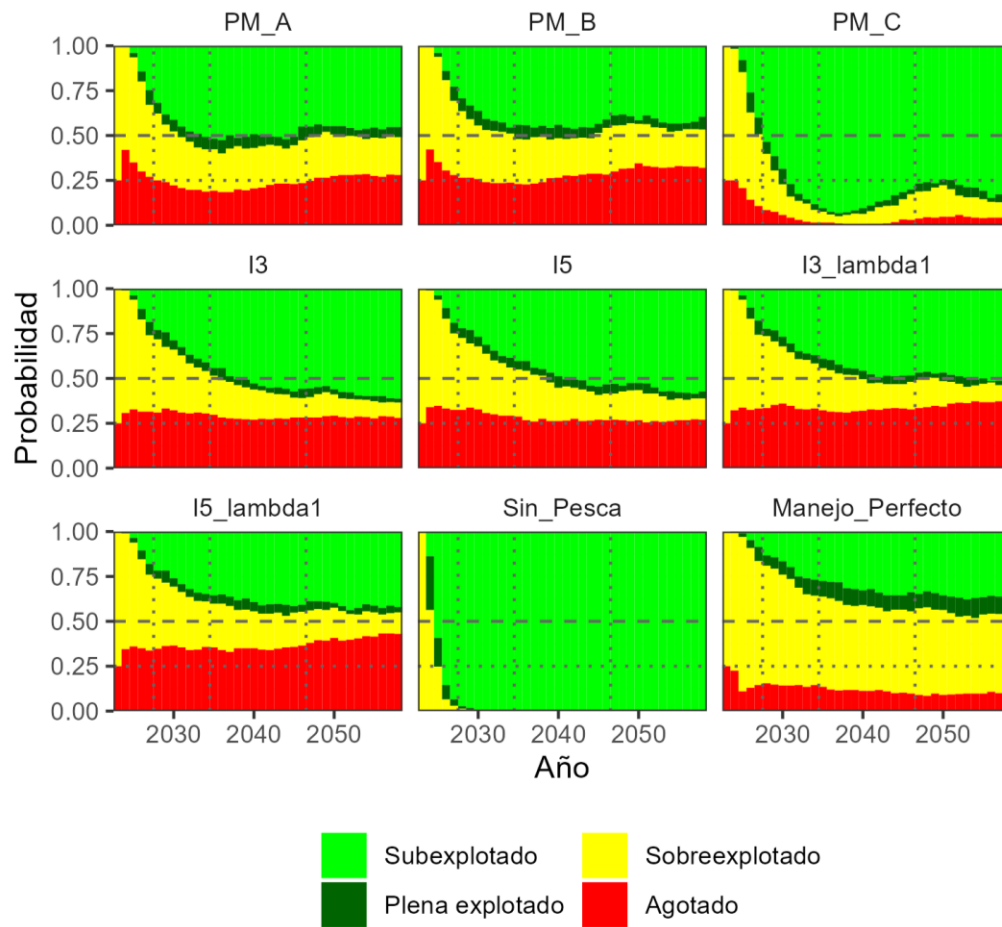


Figura 16. Marco biol3gico de referencia (Diagrama de fase o Kobe plot) temporal, con la proporci3n de las simulaciones de la condici3n del stock de merluza com3n respecto de su biomasa para cada a3o de la proyecci3n y para los procedimientos de manejo identificados en la Tabla 3 (paneles). Valores medios a trav3s de todos los MOs del conjunto de referencia (Tabla 2).

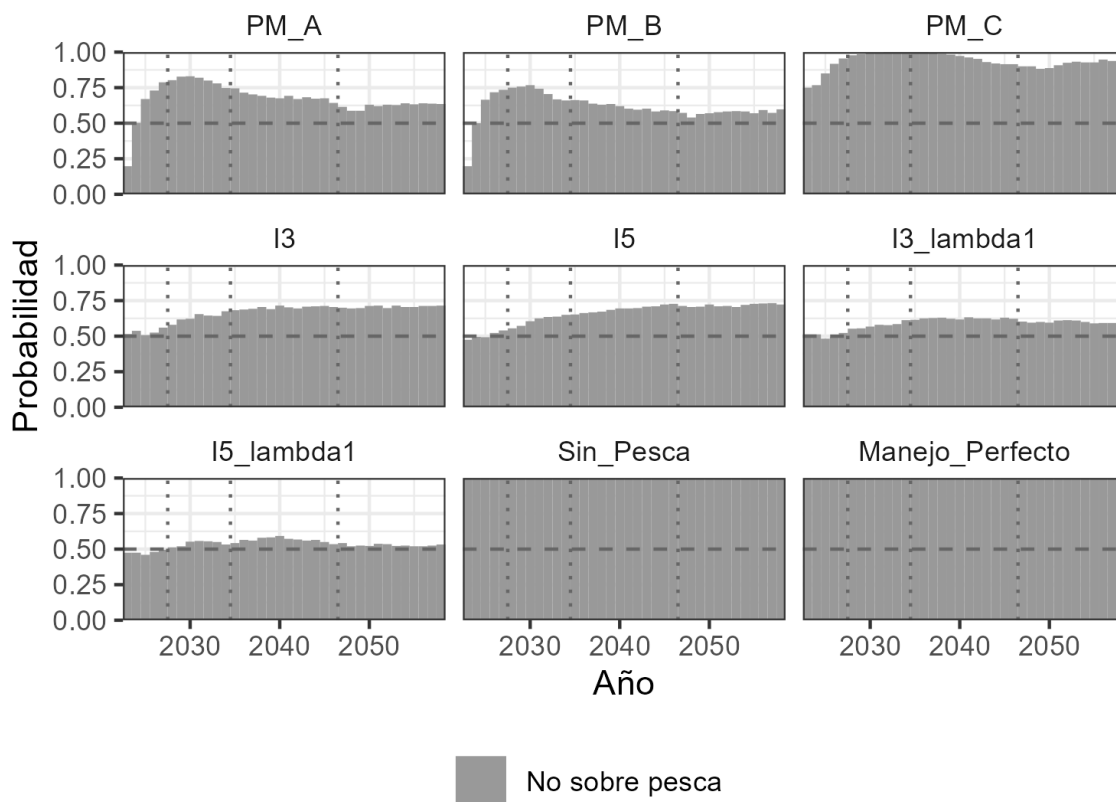


Figura 17. Probabilidad de no sobre-pesca de acuerdo con el Marco Biológico de Referencia (Diagrama de fase o Kobe plot) temporal, con la proporción de las simulaciones en donde la mortalidad por pesca de merluza común se encontró por debajo de F_{RMS} para cada año de la proyección y procedimiento de manejo identificado en la Tabla 3 (Paneles). Valores medios a través de todos los MOs del conjunto de referencia (Tabla 2).

Una guía para interpretar los gráficos de compromiso (trade-off plots) entre el logro de los objetivos de sustentabilidad del recurso y de sustentabilidad de la pesquería (o entre el logro de subobjetivos de estos conjuntos mayores, e.g., nivel de CBA vs su nivel de variabilidad para un horizonte de tiempo dado) se presenta en la **Figura 18**.

Es deseable encontrar procedimientos de manejo candidatos (PMC) que se encuentren en la esquina superior derecha de la **Figura 18**, con una alta probabilidad de que en el largo plazo el recurso se encuentre en la zona verde del marco biológico de referencia (ZV_LP) y con un nivel alto de captura promedio (CBAprom_LP) en el mismo período. Los PMC que tienen una baja probabilidad de alcanzar ambos objetivos se encuentran en la esquina inferior izquierda de la **Figura 18**.

Los PMC a menudo exhiben un compromiso (trade-off) entre objetivos diferentes, pudiendo alcanzar uno a expensas del otro. Estos PMC se van a encontrar fuera de la diagonal (línea segmentada en la **Figura 18**), por ejemplo, en la esquina superior izquierda o inferior derecha de la figura.

El gráfico de compromiso muestra que tan “comprometido” se encuentra el alcance de un objetivo respecto del otro (los objetivos están representados por las métricas de desempeño en cada uno de los ejes del gráfico) cuando se escoge un PMC en vez de otro.

Sobre la línea segmentada diagonal en la figura no existe ningún compromiso, en cuyo caso el mejor PMC (con relación a los dos objetivos considerados) es el que se encuentra más próximo a la región superior derecha de la **Figura 18**.

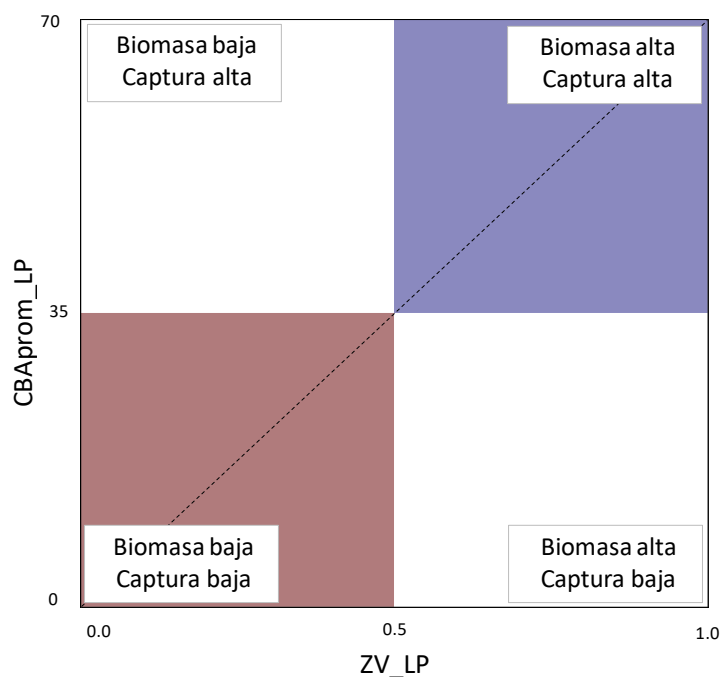


Figura 18. Esquema de un gráfico de compromiso (trade-off plot) entre la probabilidad del stock de encontrarse en plena o subexplotación en el largo plazo (ZV_LP) y la CBA promedio en el mismo periodo de tiempo (CBAprom_LP).



En promedio el PMC propuesto por el comité de manejo (PM_C) se destacó por una mayor probabilidad de alcanzar la zona verde del marco biológico de referencia (MBR) permitiendo al mismo tiempo extraer, en el largo plazo, capturas promedio equivalentes a las observadas con los demás PMC, fueran estos los PMC modelo basados actualmente incluidos en el plan de manejo o los PMC empíricos propuestos por SUBPESCA (**Figuras 16 y 19a**).

Sin embargo, esto tuvo lugar a expensas de una menor captura promedio en el corto y mediano plazo comparado con el desempeño de los demás PMC (**Figuras 13 y 19b**) y de una mayor variabilidad de las capturas promedio en todos los horizontes de tiempo evaluados (**Figuras 13, 15 y 19c**).

En el largo plazo, los PMC empíricos muestran una menor variabilidad en la CBA con una leve baja en la CBA promedio respecto de los PMC modelo basados (**Figuras 13 y 19c**). Con estos últimos, la situación fue en general inversa, dado que presentan una mayor variabilidad en la CBA de largo plazo, pero con capturas que en promedio son algo mayores en comparación con las de los PMC empíricos. El PM_C fue claramente la excepción, ya que en el largo plazo permitió extraer capturas promedio de un nivel intermedio respecto de los demás PMC, pero exhibiendo la mayor variabilidad (**Figuras 13 y 19c**).

Los PMC actualmente identificados en el plan de manejo (PM_A y PM_B) y los PMC empíricos (I3, I5, I3_lambda1 e I5_lambda1) tienen una mayor probabilidad de recomendar capturas sobre 20 t en el mediano plazo a expensas de una menor probabilidad de encontrarse en la zona verde en el mismo período de tiempo. Entre estos dos conjuntos de PMC, los que son identificados actualmente en el plan de manejo exhibieron un compromiso algo menor que los PM empíricos (**Figuras 13, 15, 16 y 19d**). El mayor compromiso, sin embargo, claramente lo presentó aquí también el PM_C, con una alta probabilidad de encontrarse en la zona verde del MBR en el mediano plazo a expensas de una menor probabilidad de recomendar capturas sobre 20 t en el mismo horizonte de tiempo (**Figura 19d**).

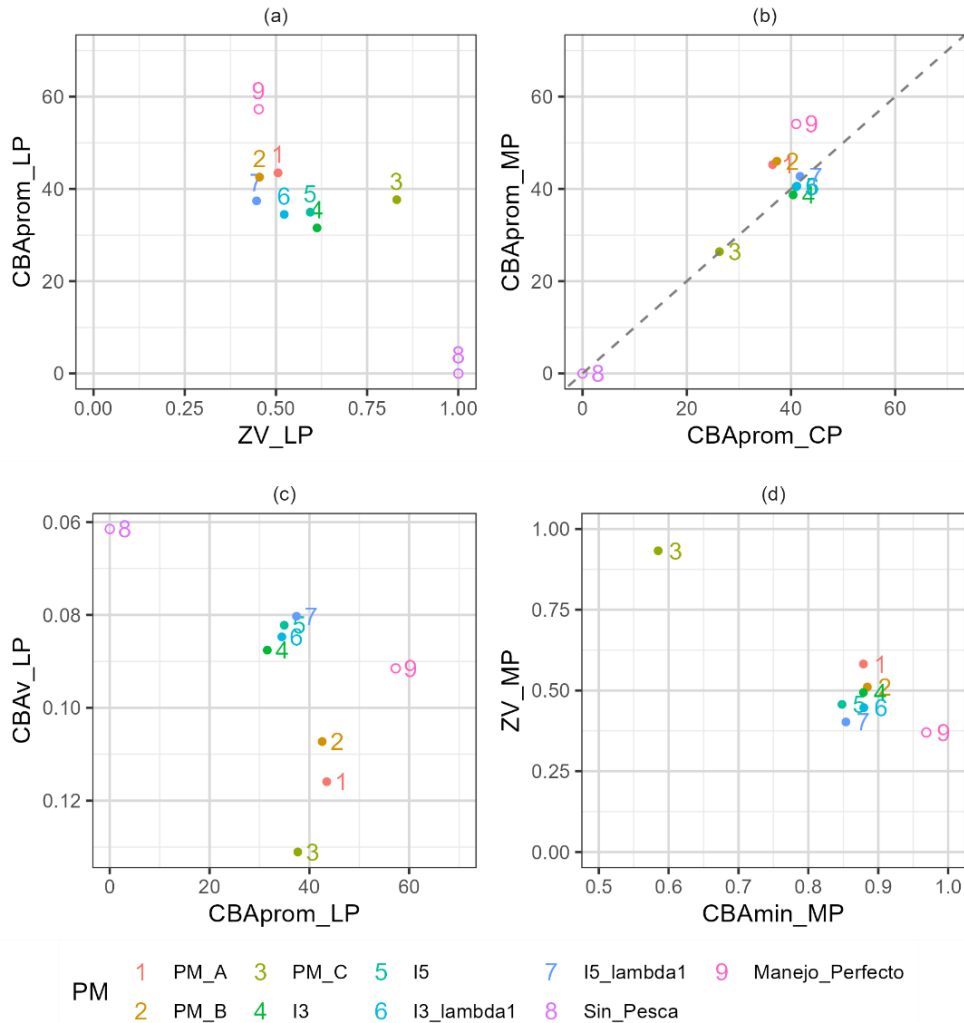


Figura 19. Gráficos de compromiso (trade-off plots; paneles a - d) entre pares de métricas de desempeño (ejes) para los PMC evaluados (los puntos de color con leyenda numerada). Valores medios a través de todos los MOs del conjunto de referencia. Los PMC se identifican en la Tabla 3 y los indicadores de desempeño en la Tabla 4.



5.2 **Discusión y conclusiones**

La Evaluación de Estrategias de Manejo (EEM) es una aproximación basada en análisis de riesgo que es ahora ampliamente usada en el manejo de poblaciones explotadas y que da cuenta de la incertidumbre tanto en la dinámica de la población como en el proceso de explotación. La EEM involucra la simulación del sistema explotado (modelos operativos), lo que incluye las hipótesis probables para la población y las dinámicas de explotación, observación y de implementación del manejo.

La EEM es usada para probar el desempeño de procedimientos de manejo (un modelo o algoritmo que provee recomendaciones de administración a partir de datos) a través de un período proyectado de tiempo, tomando en cuenta la retroalimentación con el sistema simulado que está representado por el modelo operativo. Este enfoque se diferencia de las tablas de decisión/capturas que son incluidas regularmente en los informes de evaluación de stock, principalmente porque estas últimas no incorporan en las proyecciones la retroalimentación entre las recomendaciones de manejo y el modelo operativo y porque requieren de la selección de un “mejor” modelo en el cual se basan las proyecciones (Butterworth 2007, Smith et al. 1999, Punt et al. 2016).

La Subsecretaría de Pesca (SUBPESCA) se encuentra actualmente impulsando un cambio en su perspectiva de administración de las principales pesquerías nacionales, desde está aproximación tradicional a un enfoque de administración mediante EEM. Con este fin, la autoridad administrativa está incluyendo la EEM en los términos técnicos de referencia de los proyectos de estatus y posibilidades de explotación sustentable de los principales recursos pesqueros nacionales, siendo este ahora un objetivo específico para un número creciente de estos recursos.

La ejecución de este nuevo objetivo específico, implicó la implementación de un proceso inclusivo de capacitación y entrenamiento en los conceptos generales asociados a este enfoque metodológico, la selección de una plataforma adecuada de software y entrenamiento para su uso, y procesos de consulta e investigación de las principales fuentes de incertidumbre respecto de la dinámica del recurso y la pesquería, entre las principales etapas.

El formato adoptado para estos efectos fue la ejecución de tres talleres técnicos: 1) una introducción al proceso de EEM que incluyó además el contexto teórico y conceptual y la introducción a la plataforma de software empleada; 2) El estudio aplicado del desempeño de estrategias de manejo para la pesquería de merluza común y la redacción inicial del documento de especificación de las pruebas de EEM; 3) Entrenamiento en herramientas de visualización e interpretación de los resultados.



Sin perjuicio del reducido presupuesto de tiempo disponible para el desarrollo de un objetivo específico de EEM (los proyectos de estatus normalmente tienen una duración anual), esto en la práctica no representó un real obstáculo para desarrollar el estudio. El taller introductorio fue ejecutado en julio, el taller de análisis en agosto, la reunión de difusión y consulta al CCT-RDZCS tuvo lugar en octubre y la presentación del proceso y resultados preliminares al comité de manejo ocurrió en noviembre, en donde se optó por la adopción de uno de los procedimientos de manejo evaluados (PM_C).

A pesar que la celeridad de este proceso puede ser un motivo de cautela, en la práctica el objetivo específico de EEM ha sido nuevamente incluido en la versión presente del proyecto de estatus, lo que provee la oportunidad de revisar este estudio y explorar con mayor detención aspectos de incertidumbre, procedimientos de manejo alternativos y establecer las fuentes de datos e información que, en circunstancias excepcionales, serán empleados para iniciar una reevaluación de los modelos operativos (Carruthers y Hordyk 2019).

En el presente existe una escasez de científicos calificados en evaluación de poblaciones de peces, al mismo tiempo que la EEM se ha transformando en un tema dominante en este campo que requiere la habilidad de realizar simulaciones de manera rápida y eficiente. Una mayor demanda para estos los análisis no puede cubrirse con una oferta limitada de analistas sin un aumento de la eficiencia. Esto necesariamente requiere de una plataforma estandarizada, accesible y bien documentada para la implementación de EEM que permita realizar sistemáticamente estas pruebas permitiendo de este modo avanzar con mayor rapidez en este campo (Schnute et al. 2007).

Con este fin, la SUBPESCA ha adoptado el uso de openMSE (Carruthers y Hordyk 2018), una plataforma de software que ofrece numerosas ventajas para extender la implementación de estudios de EEM, expeditando de este modo el proceso de formalización de los procedimientos de manejo en los planes de manejo pesqueros mandados por la LGPA.

Las buenas prácticas dictan que en los estudios de EEM el rol de analista, conductor de los talleres técnicos y de la supervisión de las diferentes etapas del proceso, idóneamente correspondan a personas o entidades separadas. En términos generales, en la EEM de la merluza común se puede argumentar que estos roles correspondieron a Blue Matter Science, el IFOP y la SUBPESCA, respectivamente. De esta manera, fue la combinación de una buena comunicación, el software, la estructuración del proceso y la asesoría experta identificada la que contribuyó a un proceso expedito de EEM en este recurso.



Las guías de buenas prácticas en EEM, recomiendan la identificación de un conjunto de referencia de modelos operativos (MOs) que incluyan las principales incertidumbres y un conjunto de robustez para capturar una gama más amplia de incertidumbres que se consideran menos posibles, pero que sin embargo deberían ser exploradas (Rademeyer et al., 2007). El conjunto de MOs explorado en esta EEM, fue considerado equivalente a un conjunto de referencia. Sin embargo, en el MO2 se usó un valor fijo de steepness igual a 0,7 (h ; Wiff et al. 2018) en circunstancia que el valor de h estimado de la relación stock-reclutas incluida en el OM1 (para el cual los parámetros de esta relación fueron estimados) correspondió a un valor de 0,98. De este modo, el MO2 más bien pertenece en un conjunto de robustez, dado que incluyó un valor de h significativamente menor. Esto explica el desempeño de la mayoría de los PMC cuando las simulaciones se efectuaron con el MO2.

Además de una versión del MO2, otros aspectos potenciales a considerar para un conjunto de robustez, son: hipótesis alternativas de la estructuración espacial del recurso (George-Nascimento 1996, Vidal et al. 2012, Canales et al 2023) y el efecto de factores ambientales sobre las tasas biológicas (Basson 1999, Cook and Heath 2005).

El procedimiento de manejo candidato (PMC) propuesto por el comité de manejo (PM_C) fue el único que demostró robustez en el caso del MO2, el que en el mediano plazo alcanzó el objetivo de manejo en el conjunto total de modelos operativos empleados (**Figura 11**). Del mismo modo, este PMC se encontró alejado de una situación de sobrepesca a través del rango completo de estados de la naturaleza y en todos los horizontes de tiempo simulados (**Figura 12**).

Desde la perspectiva de sustentabilidad del recurso el PM_C destacó como el más conservador entre el conjunto de PMC evaluados, con una mayor probabilidad de alcanzar la zona verde del marco biológico de referencia (MBR) en el largo plazo, permitiendo al mismo tiempo extraer capturas promedio equivalentes a las observadas con los demás PMC, fueran estos los PMC modelo basados actualmente incluidos en el plan de manejo o los PMC empíricos propuestos por la SUBPESCA.

Esto, sin embargo, tuvo lugar a expensas de una menor captura promedio en el corto y mediano plazo comparado con el desempeño de los demás PMC y de una mayor variabilidad de las capturas promedio en todos los horizontes de tiempo evaluados.

De manera acorde, los PMC actualmente identificados en el plan de manejo (PM_A y PM_B) y los PMC empíricos (I3, I5, I3_lambda1 e I5_lambda1) mostraron una mayor probabilidad de recomendar capturas sobre 20 t en el mediano plazo. Esto tuvo lugar a expensas de una menor probabilidad de encontrarse en la zona verde en el mismo período de tiempo.

En general los PMC empíricos exhibieron una menor variabilidad en la CBA que los PMC modelo basados. Sin embargo, estas diferencias se vieron aminoradas luego de transcurridos dos ciclos de vida del recurso.



La reforma de la Ley General de Pesca y Acuicultura de 2012-2013 creó los Comités de Manejo y Comités Científico Técnico, otorgando con ello un mayor peso a las recomendaciones fundadas en estudios científicos para la definición de los niveles de captura total permisibles (Leal et al. 2010). Sin embargo, muchos desafíos aún permanecen para la correcta instalación del nuevo modelo institucional (Reyes et al, 2017).

En años recientes la SUBPESCA ha promovido una mayor interacción entre los Comités de Manejo y Científico Técnico, lo que ha contribuido a una mejor comunicación y a generar mayor confianza entre los diferentes actores (Reyes et al, 2017). Sin embargo, es la ejecución y extensión de los procesos de EEM la que tiene el mayor potencial para mejorar considerablemente esta interacción, dado su fuerte énfasis en la participación y el entendimiento compartido entre científicos, administradores y las partes interesadas. Esto es promisorio, porque el logro de la pesca sostenible está muy vinculado al nivel de confianza que existe entre estos actores (Smith et al 1999, Benson y Stephenson 2017). Sin perjuicio de que el proceso pueda ser perfectible, la EEM de merluza común se considera como un paso sólido en esta dirección.



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, S.C., Forrest, R.E., Huynh, Q.C., and Keppel, E.A. 2021. A management procedure framework for groundfish in British Columbia. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2021/007. vi + 139 p.
- Basson, M. 1999. The importance of environmental factors in the design of management procedures. – ICES Journal of Marine Science, 56: 933–942.
- Bernal, P. A., D. Oliva, B. Aliaga and C. Morales. 1999. Ocean & Coastal Management 42:119—142.
- Butterworth, D. S. 2007. Why a management procedure approach? Some positives and negatives. – ICES Journal of Marine Science, 64:613 – 617.
- Canales CM, Sánchez N. and Adasme N. A. 2023. Spatial heterogeneity of biological traits and effects on fisheries management based on the assumption of a single stock. The case of the common hake (*Merluccius gayi*) in Chile. Front. Mar. Sci. 10:1241587.
- Carruthers, T. and A. Hordyk. 2018. The Data-Limited Methods Toolkit (DLMtool): An R package for informing management of data-limited populations. Methods in Ecology and Evolution. Vol. 9, No. 1. p. 2388-2395.
- Carruthers, T. and A. Hordyk. 2019. Using management strategy evaluation to establish indicators of changing fisheries. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 76: 1653–1668.
- Cook, R. M., and Heath, M. R. 2005. The implications of warming climate for the management of North Sea demersal fisheries. e ICES Journal of Marine Science, 62:1322-1326.
- FAO. Precautionary approach to fisheries. Part 1: Guidelines on the precautionary approach to capture fisheries and species introductions. Elaborated by the Technical Consultation on the Precautionary Approach to Capture Fisheries (Including Species Introductions). Lysekil, Sweden, 6–13 June 1995 (A scientific meeting organized by the Government of Sweden in cooperation with FAO). FAO Fisheries Technical Paper. No. 350, Part 1. Rome, FAO. 1995. 52 p.
- FAO Fisheries Department. The ecosystem approach to fisheries. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries. No. 4, Suppl. 2. Rome, FAO. 2003. 112 p.
- Fournier, D. and C. P. Archibald. 1982. A general theory for analyzing catch at age data. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 39:1195-1207.



- Francis, R. I. C. C. 2011. Data weighting in statistical fisheries stock assessment models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 68: 1124–1138.
- George-Nascimento, M. 1996. Populations and assemblages of parasites in hake, *Merluccius gayi*, from the southeastern Pacific Ocean: stock implications. 48 (49):557-806.
- Hindson, J., D. Hoggarth, M. Krishna, C. Mees & C. O'Neill. 2005. How to Manage a Fishery - A simple guide to writing a Fishery Management Plan. Marine Resources Assessment Group (MRAG), London, Centre for Environment Education, Ahmedabad, Scales Consulting Ltd, London. 86 pp.
- Punt, A. E. 2008. Refocusing stock assessment in support of policy evaluation. In: Tsukamoto, K. / Kawamura, T. / Takeuchi, T. / Beard Jr., T. D. / Kaiser, M. J. (Eds.). *Fisheries for Global Welfare and Environment*, 5th World Fisheries Congress. TERRAPUB p. 139–152.
- Hordyk, A. and D. Newman. 2019. Rebuilding Analysis of the Chile Common Hake Fishery. Final Report. Nekton Consulting. 43 p.
- Hordyk, A., Q. Huynh and T. Carruthers. 2023. MSEtool: Management Strategy Evaluation Toolkit. R package version 3.6.2.
- Huynh, Q., T. Carruthers and A. Hordyk. 2023. SAMtool: Stock Assessment Methods Toolkit. R package version 1.5.2.
- Leal, C. P. Quiñones, R. A. and Chávez, C. 2010. What factors affect the decision making process When setting TACs?: The case of Chilean fisheries Marine Policy. 34:1183–1195.
- Maunder, M.N. Maximum Sustainable Yield. Editor(s): Sven Erik Jørgensen, Brian D. Fath, *Encyclopedia of Ecology*, Academic Press, 2008, Pages 2292-2296, ISBN 9780080454054.
- Molina, E., J. Olivares, E. Díaz, M. Rojas, F. Osorio, J. Bonicelli, K. Gómez y B. Leiva. 2022. Evaluación directa de merluza común, 2021. Informe Final. Convenio de Desempeño 2021-2022. Subsecretaría de Economía y EMT.
- Punt, A. E. 2008. Refocusing stock assessment in support of policy evaluation. In: Tsukamoto, K. / Kawamura, T. / Takeuchi, T. / Beard Jr., T. D. / Kaiser, M. J. (Eds.). *Fisheries for Global Welfare and Environment*, 5th World Fisheries Congress. TERRAPUB p. 139–152.
- Punt, A.E., Butterworth, D.S., de Moor, C.L., De Oliveira, J.A.A., and Haddon, M. 2016. Management strategy evaluation: Best practices. *Fish. Fish.* 17(2): 303–334.



- R Core Team (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Rademeyer, R. A., Plagányi, É. E., and Butterworth, D. S. 2007. Tips and tricks in designing management procedures. – ICES Journal of Marine Science, 64: 618 – 625.
- Reyes, Francisca, Gelcich, Stephan y Ríos, Mónica, Capítulo IV: Problemas globales, respuestas locales: planes de manejo como articuladores de un sistema de gobernabilidad policéntrica de los recursos pesqueros.
- Benson, A. J. and R. L. Stephenson. 2017. Options for integrating ecological, economic, and social objectives in evaluation and management of fisheries. *Fish and Fisheries*. 1467-2960.
- Sainsbury, K. 2000. Design of operational management strategies for achieving fishery ecosystem objectives. *ICES Journal of Marine Science*. 57(3): 731–741.
- SUBPESCA 2016. Plan de Manejo de la Pesquería de Merluza Común. V 07.04.2016 Final. 65 p.
- Smith, A. D. M., Sainsbury, K. J., and Stevens, R. A. 1999. Implementing effective fisheries-management systems—management strategy evaluation and the Australian partnership approach. *ICES Journal of Marine Science*, 56: 967–979.
- Schnute, J. T., Maunder, M. N., and Ianelli, J. N. 2007. Designing tools to evaluate fishery management strategies: can the scientific community deliver? – *ICES Journal of Marine Science*, 64: 1077– 1084.
- Tascheri, R. 2023. Convenio de Desempeño 2023. Estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables de los principales recursos pesqueros nacionales, año 2024. Primer Informe Técnico. 83 p. Subsecretaría de Economía y EMT.
- Vidal, R. R., E. W. Carson and J. R. Gold. 2012. Population structure in Chilean hake *Merluccius gayi* as revealed by mitochondrial DNA sequences. *Journal of Fish Biology*. 81, 1763–1772.
- Wiff, R., A. Flores, S. Neira, B. Caneco. 2018. Estimating steepness of the stock-recruitment relationship in Chilean fish stocks using meta-analysis. *Fisheries Research* 200: 61–67



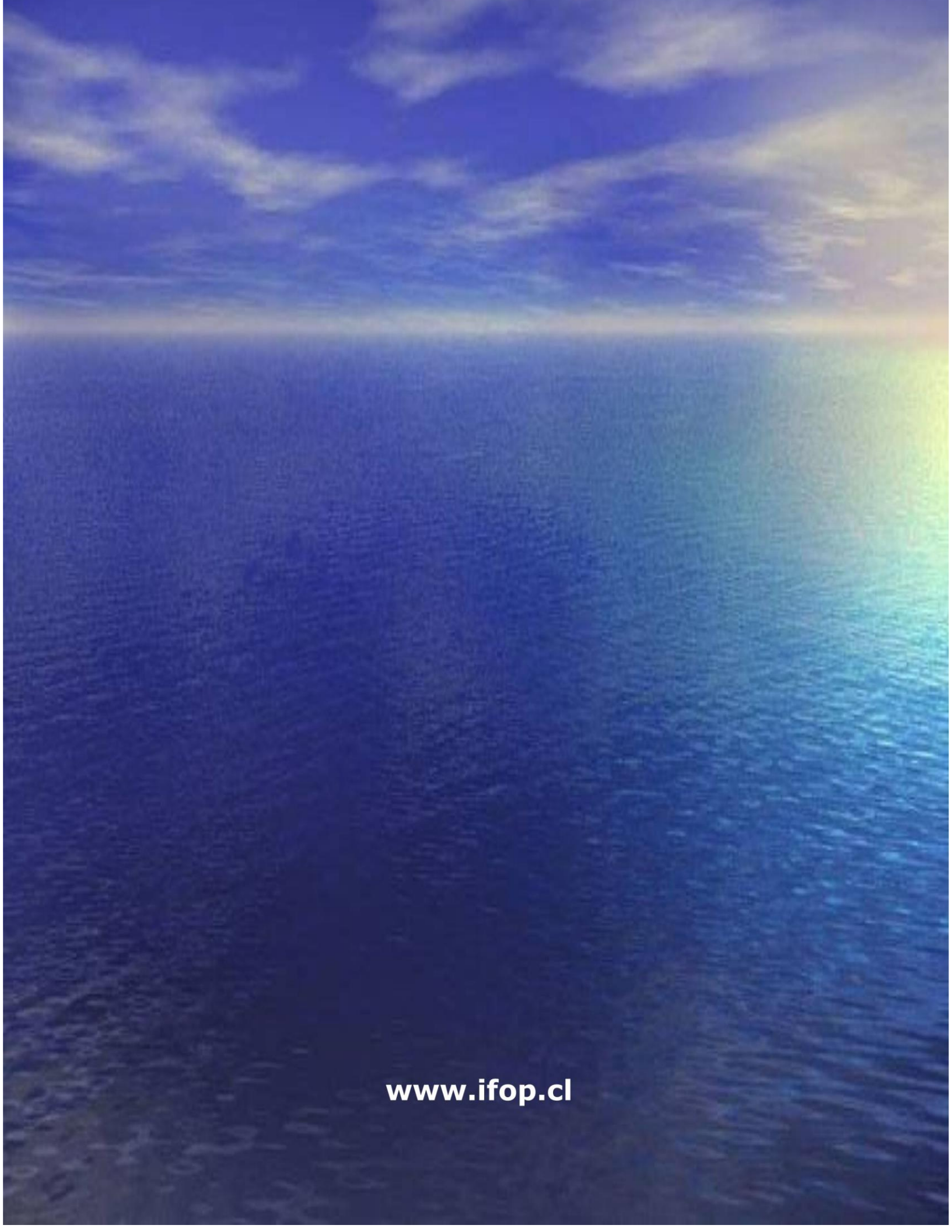
INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Almte. Manuel Blanco Encalada 839,

Fono 56-32-2151500

Valparaíso, Chile

www.ifop.cl



www.ifop.cl